

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMALARIN
ETKİNLİĞİNİN NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Serpil AYDIN

DOKTORA TEZİ

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMALARIN
ETKİNLİĞİNİN NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Serpil AYDIN

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2017**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Serpil AYDIN tarafından hazırlanan “Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Genetik Algoritmaların Etkinliğinin Network Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 13/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı’nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

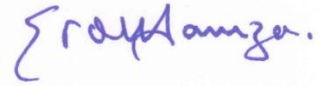
Danışman Yrd. Doç. Dr. Talat ŞENEL
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı
Jüri Üyeleri



Başkan Prof. Dr. Yüksel BEK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Biyoistatistik Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. Hamza EROL
Mersin Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. Türkan Erbay DALKILIÇ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. Mehmet Ali CENGİZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Uygulamalı İstatistik Anabilim Dalı



Üye Yrd. Doç. Dr. Talat ŞENEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum 13/11/2017

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

09.10.2017

Serpil AYDIN



ÖZET

Doktora

OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE GENETİK ALGORİTMALARIN ETKİNLİĞİNİN NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Serpil AYDIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İstatistik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Talat ŞENEL

Enerji, ekonomik gelişmeler için daima çok önemli olmuştur. Güvenilir bir enerji istatistiği, geleceğe ışık tutan bir veri bankası gibi düşünülebilir. Özellikle üretim ve tüketim safhalarının bilinmesi, tüm çevresel sorunlarla daha bilinçli mücadele etmemizi sağlayacaktır. Türkiye, enerjide dışa bağımlı bir ülke olup, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmekte ve bu da ülke ekonomisi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Aslında Türkiye'nin coğrafi yapısı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından avantajlı bir konumdadır. Dolayısıyla sürdürülebilir bir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin kullanımının artırılması ve bu konuda gerekli araştırmaların yapılması kaçınılmazdır. Elektrik, gittikçe artan ve çok geniş alanlarda kullanılan bir enerji taşıyıcısıdır. Üretilen elektrik, nihai kullanıcıya iletim hatları ve dağıtım ağları yardımıyla ulaştırılmaktadır. Bu tezde, uygulamada en sık kullanılan etkinlik değerlendirme yöntemlerinden birisi olan Veri Zarflama Analizinin sistemsel sorunları çözmede kullanılan yapısı Network Veri Zarflama Analizi ile sezgisel bir yöntem olan Genetik Algoritmalar incelenmiştir. İlk olarak ülkemizde üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi şehirler ve dağıtım bölgeleri açısından analiz edilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ve tüketimine dair çözüm önerilerini ortaya koymak adına Genetik Algoritmalar ve Network Veri Zarflama Analizi kullanılarak detaylı analizler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Ekim 2017, 140 sayfa

Anahtar Kelimeler:Yenilenebilir enerji, Elektrik, Network veri zarflama analizi, Genetik algoritmalar

ABSTRACT

Doctoral's Thesis

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF GENETIC ALGORITHMS IN THE SOLUTION OF OPTIMIZATION PROBLEMS WITH NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Serpil AYDIN

Ondokuz Mayıs University

Faculty of Sciences

Department of Statistics

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Talat ŞENEL

Energy has always been very important for economic development. A reliable energy statistic can be thought of as a data bank that sheds light on the future. Knowing the stages of production ve consumption in particular will enable us to struggle more consciously with all environmental problems. Turkey is an energy dependent country ve imports a large part of its energy needs, which has a negative impact on the country's economy. In fact, the geographical structure of Turkey is an advantageous position in terms of the use of renewable energy sources. Therefore, it is inevitable to increase the use of energy produced from renewable energy sources for sustainable development ve to carry out necessary researches on this subject. Electricity is an energy carrier that is used in ever-increasing ve wider areas. Produced electricity is delivered to the end user through transmission lines ve distribution networks. In this thesis, Data Envelopment Analysis, which is one of the most frequently ve effectively used evaluation methods, Network Data Envelopment Analysis which is the structure for solving systematic problems ve Genetic Algorithms which is an intuitive method, are examined. Firstly, the electricity produced ve consumed in our country has been analyzed in terms of cities ve distribution regions vethen detailed analyzes have been made using methods. The results evaluated about the propose solutions for electricity generation ve consumption from renewable energy sources.

October 2017, 140 pages

Key Words: Renewable energy, Electricity, Network data envelopment analysis, Genetic algorithm

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve büyük destek sağlayan saygıdeğer danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Talat Şenel'e, değerli fikir ve yardımlarından yararlandığım Sayın Prof. Dr. Mehmet Ali Cengiz ve Sayın Prof. Dr. Yüksel Bek'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve hayatım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme, babama, kardeşime ve her zaman desteğiyle yanımda olan eşime sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen bölüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, PYO.FEN.1904.16.014 no'lu bilimsel araştırma projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmektedir.

Ekim 2017, Samsun

Serpil AYDIN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1.Genel Bilgiler	5
2.2.Dünya’da Yenilenebilir ve Elektrik Enerjisi	6
2.3.Türkiye’de Yenilenebilir ve Elektrik Enerjisi	9
2.4.Kaynak Özetleri.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1.Genetik Algoritmalar.....	22
3.1.1.Temel kavramlar	23
3.1.2.Genetik algoritmanın çalışması	24
3.1.3.Kodlama	25
3.1.4.Seçim.....	26
3.1.5.Çaprazlama.....	28
3.1.6.Mutasyon.....	28
3.1.7.Durdurma kriteri.....	29
3.2.Veri Zarflama Analizi	29
3.2.1.CCR Modeli	31
3.2.1.1.Girdiye Yönelik CCR Model	31
3.2.1.2.Çıktıya Yönelik CCR Model.....	33
3.2.2.BCC Modeli	34
3.2.2.1.Girdiye Yönelik BCC Model	34
3.2.2.2.Çıktıya Yönelik BCC Model.....	36
3.2.3.Ağırlıklar Üzerine Kısıt Konulması	38
3.2.4.Sıralama.....	38
3.3.Network Veri Zarflama Analizi	42
3.3.1.Network Veri Zarflama Analizinde Etkinlik Değerlendirmesi	48
3.3.2.Network Sistemlerinde Kullanılan Modeller	55
3.3.2.1.Bağımsız Model	56
3.3.2.2.Sistem Uzaklığı Ölçü Modeli.....	56
3.3.2.3.Süreç Uzaklığı Ölçü Modeli.....	56
3.3.2.4.Faktör Uzaklığı Ölçü Modeli	56
3.3.2.5.Aylak Tabanlı Ölçü Modeli.....	57
3.3.2.6.Oran Formlu Sistem Etkinlik Modeli.....	57
3.3.2.7.Oran Formlu Süreç Etkinlik Modeli.....	57
3.3.2.8.Oyun Teorisi Modeli	58
3.3.2.9.Değer Tabanlı Model	58
3.3.3.Network Sistemlerde Kullanılan Yapılar	58
3.3.3.1.Temel İki Aşamalı Yapı	59
3.3.3.2.Genel İki Aşamalı Yapı.....	65
3.3.3.3.Genel Çok Aşamalı Yapı.....	69

3.3.3.4.Paralel Yapı	76
3.3.3.5.Karma Yapı	84
3.3.3.6.Hiyerarşik Yapı	88
3.3.3.7.Dinamik Yapı	95
3.4.Veriler	97
4. BULGULAR	105
5. SONUÇ	112
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	127



KISALTMALAR

CO₂ :	Karbondioksit
dk :	Dakika
EİE :	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPDK :	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB :	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ :	Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi
Gtpe :	Giga Ton Petrol Eşdeğeri
GWh :	Giga Watt / Saat
IEA :	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
J :	Joule
kg/m³ :	Kilogram / Metreküp
KVB :	Karar Verme Birimi
kW :	Kilo Watt
kwh :	Kilowatt - Saat
m² :	Metrekare
MTEP :	Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
Mtoe :	Milyon Ton Enerji
MW :	Mega Watt
TEDAŞ :	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ :	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TWh :	Ton Watt / Saat
VZA:	Veri Zarflama Analizi
W/m² :	Watt / Metrekare
Wh/m² :	Watt-saat / Metrekare
YEGM :	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dünyadaki yenilenebilir enerjinin 2014 yılı itibariyle birincil toplam enerjideki payı (Kaynak: IEA).....	6
Şekil 2.2. Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının 2014 yılı itibariyle dağılımı (Kaynak: IEA)	7
Şekil 2.3. 2014 yılı itibariyle dünya elektrik üretimi (Kaynak: IEA)	8
Şekil 2.4. Türkiye’de yenilenebilir enerji üretimi (Kaynak: YEGM).....	9
Şekil 2.5. Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: ETKB)	10
Şekil 2.6. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: YEGM).....	11
Şekil 2.7. Türkiye’nin jeotermal enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: YEGM).....	12
Şekil 2.8. Türkiye’nin hidroelektrik enerji potansiyel atlası (Kaynak: YEGM).....	12
Şekil 2.9. Türkiye’nin biyokütle enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: YEGM).....	13
Şekil 2.10. Elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı, 2015 (Kaynak: ETKB).....	14
Şekil 3.1. Gen, kromozom ve popülasyonun ilişkisi.....	23
Şekil 3.2. Genetik algoritma akış şeması	25
Şekil 3.3. Genetik algoritmaların pseudo kodu	25
Şekil 3.4. Rulet tekerleği seçim yöntemi.....	27
Şekil 3.5. Turnuva seçim yöntemi.....	27
Şekil 3.6. Tek noktalı çaprazlama	28
Şekil 3.7. İki noktalı çaprazlama	28
Şekil 3.8. Düzgün çaprazlama.....	28
Şekil 3.9. Değer dönüşümü mutasyon.....	29
Şekil 3.10. Karşılıklı değişim mutasyon	29
Şekil 3.11. Yer değişikliği mutasyon	29
Şekil 3.12. Ters çevirme mutasyon	29
Şekil 3.13. Üretim sisteminin gösterimi.....	45
Şekil 3.14. Üretim sisteminin network gösterimi.....	47
Şekil 3.15. Network üretim sistemindeki her k bölümünün işleyişi	47
Şekil 3.16. İki iş istasyonlu bir fabrika çalışma örneği	49
Şekil 3.17. Genel bir ağ yapısı	50
Şekil 3.18. Temel iki aşamalı sistem yapısı	60
Şekil 3.19. Geri besleme sisteminin yapısı	66
Şekil 3.20. Genel iki aşamalı sistem	67
Şekil 3.21. Paylaşılan girdili temel iki aşamalı sistem yapısı	69
Şekil 3.22. Temel seri yapı.....	70
Şekil 3.23. Seri sistemlerin genel yapısı	74
Şekil 3.24. Çok bileşenli paralel bir sistem	77
Şekil 3.25. Çok fonksiyonlu paralel bir sistem	80
Şekil 3.26. Karma bir sistem yapısı. (a) Orijinal, (b) Seri – Paralel ilişkili	85
Şekil 3.27. İki seviyeli çok bileşenli hiyerarşik bir sistem yapısı	89
Şekil 3.28. Üç seviyeli çok fonksiyonlu hiyerarşik bir sistem yapısı	93
Şekil 3.29. Temel dinamik yapı	95
Şekil 3.30. Türkiye’deki iller	97
Şekil 3.31. Türkiye’deki elektrik dağıtım şirketleri	97
Şekil 4.1. Dağıtım şirketlerinin veri zarflama analizi ile elde edilen genel etkinlik değerleri	106

Şekil 4.2. Dağıtım şirketlerinin network veri zarflama analizi ile elde edilen etkinlik değerleri	107
---	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (GWh)	14
Çizelge 3.1. Dağıtım şirketlerinin istatistiksel özellikleri	101
Çizelge 3.2. Şehirlerin istatistiksel özellikleri.....	101
Çizelge 4.1. Dağıtım şirketlerinin veri zarflama analizi ile elde edilen genel etkinlik değerleri.....	105
Çizelge 4.2. Dağıtım şirketlerinin network veri zarflama analizi ile elde edilen etkinlik değerleri	106
Çizelge 4.3. Şehirlerin genel etkinlik değerleri.....	108
Çizelge 4.4. Yıllara göre yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin etkinlik değerleri	109
Çizelge 4.5. Yıllara ait mevcut ve hedef girdi çıktı değerleri	110
Çizelge 4.6. Genetik algoritma ile hesaplanmış etkinlik değerleri	111

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmeler, değişen çevre koşulları ve uluslararası rekabet, ürün ve hizmet sektörlerinin performanslarını sürekli iyileştirmelerini zorunlu hale getirmiştir. Performansı ölçen en önemli temel iki bileşen etkinlik ve verimliliktir. Performans değerlendirmesi, bir üretim biriminin geçmişteki başarılarını daha iyi anlamak ve gelecekteki gelişimi için plan yapmak için yönetimde önemli bir görevdir. Amaç, karar verme biriminin, mevcut girdi miktarı ile çıktısını ne kadar arttıracak ya da verimliliğini arttırarak mevcut çıktı seviyesini üretirken ne kadar girdi kullanacağını anlamasıdır.

Kâr amaçlı kuruluşlar için, değerlendirmeler nispeten kolaydır, zira gelir, yatırım getirisi ve net kar gibi parasal koşullar, girdi ve çıktıları bir araya toplayıp bir kuruluşun kâr elde edilip edilmediğini göstermek için kullanılabilir. Bununla birlikte, bazı girdilerin veya çıktıların piyasa değeri yoksa veya kuruluşun tek amacının kar olmadığı durumda, bu endekslerin hesaplanması zorlaşır. Bu durum, verilen hizmetlerin çoğunun piyasa değeri olmadığı kar amacı gütmeyen kuruluşlar için daha da zordur; bu da kullanılan girdilerin ve üretilen çıktıların (hizmetlerin de dahil) bir araya getirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durumda genellikle ilgi alanına giren olayın girdi ve çıktı oranlarına bakılmasını gerektirir. Genel performansın bir ölçümü isteniyorsa, o zaman tüm oranlar bir dizin oluşturmak üzere bir araya getirilmelidir. Örneğin, bir orman; kereste üretimi, toprağın korunması, karbondioksit emilimi ve oksijen salınımı için arazi, emek, harcamalar ve orman stoklarını kullanır ve rekreasyon için vahşi yaşam ve görsellik için bir yaşam alanı sağlar. Bir ormanın performansını ölçmek için, çıktı-girdi oranlarının tüm kombinasyonları, örneğin çalışan başına üretilen kereste ve birim alan başına emilen karbon dioksit miktarı hesaplanmaktadır. Pek çok ekonomist ve yönetim bilim insanı, birden fazla çıktı üretmek ve birden çok girdi kullanan üretim biriminin performansını nesnel olarak ölçmek için uygun bir yöntem geliştirmeye çalışmaktadır.

Etkinlik ölçümü, bir birimin geçmişte elde ettiği başarılarla bakarak geleceğini planlamasında veya başarısızlıklarına bakarak düzeltmeler yapmasında önemli bir rol oynamaktadır. Charnes, Cooper ve Rhodes'in 1978 yılında yapmış oldukları çalışma ile birden çok girdi ve birden çok çıktı kullanabilen, karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmek için etkili bir teknik olan Veri Zarflama Analizi'ni (VZA) geliştirmişlerdir.

VZA başlangıçta karar verme biriminin iç yapısını dikkate almadan tüm birimin etkinliğini ölçmek için geliştirilmiştir. Başka bir deyişle sistem, çıktıları üretmek için gereken girdilerin bir arada içinde bulunduğu, girdiler ve çıktılar arasında pozitif bir korelasyonun varlığını kabullenen bir kara kutu olarak düşünülmüştür. Ancak, deneysel çalışmalara bakıldığında bu durumun her zaman doğru olmayabileceği görülmüştür. Örneğin, Cron ve Sobol (1983) çalışmalarında bilgi teknolojilerinin iş performansı üzerinde çok küçük bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Başka bir çalışmada, Wang ve ark. (1997) bankacılık ve benzeri endüstrilerin çalışmalarının iki süreçten oluştuğunu ve bu süreçlerin ise sermaye toplamak ve yatırım olduğunu dile getirmişlerdir. Dolayısıyla, aslında firmaların kar yapıp yapamayacaklarının doğru yatırım yapmış olmalarına bağlı olmasından ötürü, bilgi teknolojilerinden yararlanarak önceki durumları değerlendirebileceklerinden bahsetmişlerdir. Yani, karar verme birimlerinin performansı değerlendirilmek istenildiğinde etkinliklerin tespit edilebilmesi için onu oluşturan süreçlerin de incelenmesi gerekmektedir.

Büyük kapsamlı çalışmaları detaylı süreçlere ayırmak, girdi faktörlerinin gerçek etkisini belirlemeye yardımcı olur. En basiti, Charnes ve ark. (1986) ile Wang ve ark.(1997)'nin yaptığı gibi tüm çalışmayı iki sürece ayırmaktır. Çalışma, ikiden fazla sürece ayrıldığında çok daha fazla karmaşık durumlar oluşmaktadır. Bu süreçler birlikte bir seri yapı, paralel yapı veya her ikisinin bir arada kullanıldığı karma bir yapı oluşturabilmektedir. Genellikle bu yapılar “ağ (network) yapılar” olarak adlandırılır ve bir ağ yapısına sahip sistemlerin etkinliğini ölçmek için de Ağ (Network) Veri Zarflama Analizi kullanılır (Fare ve Grosskopf, 2000). Ağ veri zarflama analizi modelleri ilk defa Fare ve Grosskopf (1996) tarafından “The American Economic Review” kitabında tanıtılmıştır.

Literatürde np-hard adı altında geçen zor ve karmaşık problemlerin çözümünde klasik optimizasyon yöntemleri ile sonuçlar alınamadığından, sistemlerin çözümü ve etkinlik değerlendirmeleri de yapılamamaktadır.

IEA'ya (Uluslararası Enerji Ajansı) göre nüfus, kentleşme ve sanayileşme açısından en hızlı büyüyen ülkelerden biri Türkiye'dir. Tüm bu göstergeler, ülkelerin ekonomik genişlemesinin önemli işaretleri olup, enerji talebinin artmasına neden olmaktadır. Bu bakış açısına göre, Türkiye, hızlı enerji talebini yerli kaynaklarla uzun vadede karşılamak için enerji eylemleri ve stratejik planlar uygulamak zorunda

kalmıştır. Küresel enerji piyasasında, Türkiye'nin stratejik konumu ve coğrafi konumu onu önemli bir enerji üreticisi haline getirmektedir. Yabancı enerji kaynaklarına bağımlılık, enerji güvenliğini ve kesintisiz enerji akışını düşük maliyetle sürdürmek hükümetler için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Petrol ve doğalgaza aşırı bağımlılık uzun vadeli ekonomik sorunlara neden olmaktadır, çünkü enerji maliyetleri ithalatın en büyük payını (% 70) oluşturmaktadır. Bu nedenle, ekonomik bağımsızlık ve enerjinin sürdürülebilirliği için yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar önemli ölçüde arttırılmalıdır. İklim koşulları, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sağlamak için diğer ülkelerle karşılaştırıldığında Türkiye'ye çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Türkiye hükümeti, enerji stratejilerine, planlarına ve düzenlemelerine göre 2023 yılına kadar artan enerji talebini karşılamak için yenilenebilir kaynaklarını % 30 arttırmıştır. Bunu başarmak için teşvikler ve ücret tarifeleri değiştirilerek enerji yatırımları teşvik edilmiştir. Son on yılda enerji verimliliği yatırımları dünyada büyük önem kazanmıştır.

Ülke kaynakları göz önüne alındığında çeşitli enerji kaynakları ile üretilen ve tüketilen elektrik değerlerinin etkinlik sıralamalarının bölgelere göre oldukça farklı olacağı beklenmektedir. Bölgeler arasındaki bu farklılığı ortadan kaldırabilmek veya en aza indirebilmek amacıyla elektrik üretim ve tüketim değerlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Network veri zarflama analizinin temel amacı, incelenen bir sistemin kara kutusunu açmaktır. Yani, incelenen bir sistemin performansı ölçülmek istediğinde bu sistemi oluşturan bileşenleri dikkate almak gerekmektedir.

Literatürde, Veri Zarflama Analizi (VZA), karar verme birimlerinin (KVB) verimliliklerini ölçmede yaygın olarak kullanılan birimlerin kıyaslanmasında kullanılan bir araç olarak yer almaktadır. 1980'lerden itibaren elektrik enerjisi üretim birimlerinin göreceli performanslarını değerlendirmek için yaygın bir şekilde VZA kullanılmaktadır. Çelen (2013), 2002 – 2009 yıllarında 21 Türk elektrik dağıtım şirketinin etkinlik performansını değerlendirmiştir. Şirketlerin yönetimi ile ilişkili iki aşamalı veri zarflama analizi kullanmıştır. Liu ve Wang (2015), network veri zarflama analizi kullanarak Çin'in sanayi sektörünün enerji etkinliğini incelemişlerdir.

Çevreyi kirlüten ve tüketilmesi kaçınılmaz olan birincil enerji kaynaklarının yerini alabilecek, çevre kirliliği yaratmayan, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları;

güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, ve biyokütle enerjisi başlıkları altında incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan girdi ve çıktı parametre değerleri son 10 yılda Türkiye’de yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik üretim ve tüketim değerleridir. Bu parametre değerleri kullanılarak Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen ve tüketilen elektrik enerjisine ait değerler incelenerek etkinlik analizleri yapıldı. Bu çalışmada etkin olan bölgelerin etkinliklerinin daha da artırılması veya etkin olmayan bölgelerin olumsuz etkilerinden arındırılarak daha etkin hale getirilmesi amaçlandı. Kapsam olarak 2006-2015 yıllarından oluşan dönem ile ilgilenildi ve 2015 yılı için detaylı inceleme yapıldı.



2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Eskiden beri birçok ihtiyacın giderilmesi için çeşitli enerjilerden faydalanılmaktadır. Enerji, bir ülkenin sosyal ve ekonomik kalkınmasının en önemli göstergelerinden birisidir. Kalkınmanın başında da ilk sıralarda elektrik tüketimi gelmektedir. Ülkelerin kişi başına bir yılda tükettikleri elektrik enerjisi ve tüketilen enerjiler içinde elektrik enerjisinin payınındaha yüksek olması, ülkelerin uygarlık derecelerinin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Nüfusun artması, sanayileşme, şehirleşme ile birlikte artan ticaret ve üretim olanaklarına bağlı olarak doğal kaynaklara, enerjiye ve dolayısıyla elektrik enerjisine olan talep de her geçen gün hızlı bir şekilde artmaktadır (Narin, 2008).

2.1. Genel Bilgiler

Yenilenebilir enerji kaynakları, kısa olarak; sürdürülebilir, doğal ve tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları literatürde temiz enerji kaynakları olarak da tanımlanmaktadır. Bu kavram, enerji üretiminde CO₂ salınımı oluşturmadıkları ve çevre kirliliğini en alt düzeye çektikleri için kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan teknolojilerin geliştirilerek, bu teknolojiler yardımıyla üretilen elektriğin kullanıldığı gelişmiş ülkeler, 21. Yüzyılın gelişmişlik seviyesine sahip ülkelerdir. Çünkü bu kaynaklar temiz ve tükenmezdir. Türkiye’de de birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması ve kullanıldıklarında yarattıkları çevre kirliliği; yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı enerji üretiminin önemi, enerjiye olan talebin artmasıyla birlikte, her geçen gün daha da fazlalaşmaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında çeşitli avantajlara sahiptir. Sahip olunan yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji olarak sınıflanabilir. Türkiye’de 2015 yılında elektrik üretiminin %25,6’sı hidrolik enerjiden, %4,5’i rüzgâr enerjisinden ve %1,3’ü jeotermal enerjiden elde edilmiştir.

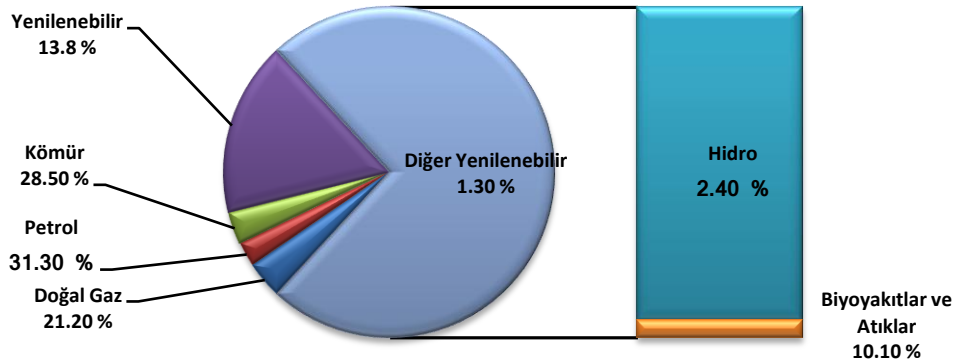
Ayrıca Türkiye, 2010 yılında dünya birincil enerji tüketiminde 21’inci sırada, 1999 - 2009 döneminde elektrik tüketim artış oranları bakımından

Avrupa'da ilk, dünyada ise Çin'den sonra ikinci sıradadır (Anonymous, 2011). Hidroelektrik enerji kapasitesinde 12'nci sırada, güneş enerjisi kapasitesinde 29'uncu sırada, rüzgar enerjisi kapasitesinde 16'ncı ve jeotermal enerji kapasitesinde ise 14'üncü sıradayeralmaktadır.

Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan santral sayısı, 2016 yılı Eylül ayı verileri göz önüne alındığında 2097 olarak belirlenmiştir. Toplam santraller içerisinde 577 tane hidrolik enerji santrali, 140 tane rüzgâr enerjisi santrali, 25 tane jeotermal enerji santrali ve 72 tane de yenilenebilir ve atık enerji santrali bulunmaktadır. Ayrıca 861 tane güneş enerjisi santrali, 19 tane rüzgâr enerjisi santrali ve 2 tane de hidrolik enerji santrali de lisanssız santral olarak mevcuttur. Kurulan yeni santraller ve artan kapasiteler ile birlikte elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2016 Yılı Eylül ayı sonu verilerine göre 78.072 MW olarak belirlenmiştir. Kurulu gücümüzün %33,7'si hidrolik enerjiden, %6,7'si rüzgâr enerjisinden, %0,9'u jeotermal enerjiden oluşmaktadır (YEGM, 2016 Faaliyet Raporu).

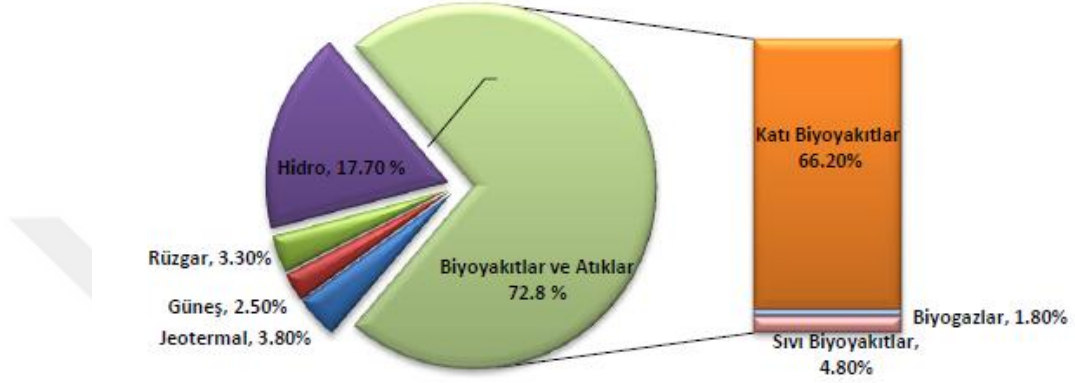
2.2. Dünya'da Yenilenebilir ve Elektrik Enerjisi

Bölgeler arasında önemli farklılıklar olmasına rağmen, ekonomik olarak büyüme, teknolojik gelişmeler ve artan nüfusa paralel olarak dünyanın enerji tüketimi sürekli olarak artmaktadır. Gelecek yıllarda da enerji tüketiminin artış göstermesi beklenmektedir. Yapılan değerlendirmelere göre 2014 yılında dünyanın sahip olduğu birincil enerji miktarı 13,700 Mtoe'dir. Bu enerji miktarının yaklaşık olarak %13,8 'i yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dünyadaki yenilenebilir enerjinin 2014 yılı itibariyle birincil toplam enerjideki payı (Kaynak: IEA)

Gelişmekte olan ülkelerde yaygın ticari olmayan kullanımı nedeniyle (örneğin konut ısıtma ve mutfakta kullanım) katı biyoyakıtlar, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde %66,2'lik bir oranla en büyük paya sahiptir (Şekil 2.2). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde %17,7'lik bir pay ile hidroelektrik enerji ikinci sıradadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ise toplam enerji miktarının küçük bir kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 2.2. Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynaklarının 2014 yılı itibarıyla dağılımı (Kaynak: IEA)

Güneş enerjisi potansiyeli:

Güneş enerjisi potansiyeli çalışmaları m^2 başına düşen güneş radyasyonunun enerjisi olarak hesaplanmaktadır. Bu rakamların hesaplanması yıllık ortalamalar, aylık ortalamalar, günlük ve güneşlenme saatine göre alınan ortalamalar şeklinde olmaktadır. Güneşe daha yakın ve güneş ışınlarını dik olarak alan Ekvator bölgesi doğal olarak en verimli bölgelerdir.

Rüzgar enerjisi potansiyeli:

Rüzgar enerjisi potansiyeli yüksekliğe göre değişmektedir. Bazı bölgelerde ölçüm yapmak oldukça zordur ve bu durumlar için sadece rüzgar enerjisi ve potansiyeli için geliştirilmiş WasP ve WindPro gibi yazılımlar kullanılmaktadır. Bölgeler arasındaki sıcaklık farkları, deniz ve karaların ısınması ve soğuması sırasında oluşan hava akımları rüzgarın oluşmasında temel faktörlerdir. Dünya rüzgar enerjisi potansiyel haritasına göre, Amerika Birleşik Devletleri'nin orta bölgeleri, Çin, Afrika'nın batı ve doğu bölgeleri ve Kuzey Avrupa yüksek rüzgar potansiyeline sahiptir.

Hidroelektrik enerji potansiyeli:

Hidro elektrik potansiyeli için yıllık yağış miktarı ortalamaları dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla yağışı fazla alan bölgelerde potansiyel yüksektir. Dünya’da hidroelektrik enerjiyi en çok üreten ülke Kanada’dır.

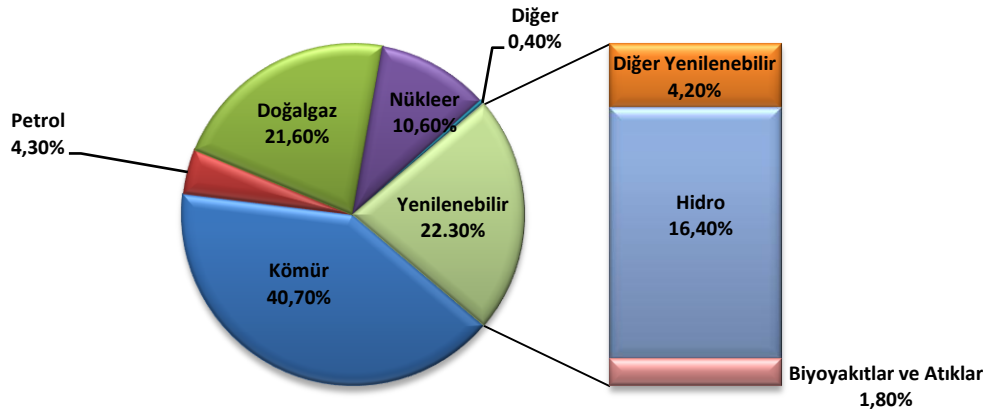
Biyokütle enerji potansiyeli:

Biyoenerji olarak da bilinen biyokütle enerjisi, genel olarak bitkilere dayalı bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla dünyadaki bitki örtüsüne bakılarak potansiyeline karar verilebilir. Potansiyeli yüksek olan bölgeler Güney ve Kuzey Amerika’dır. Ayrıca, Brezilya’da bu potansiyeli en iyi kullanan ülkedir.

Jeotermal enerji potansiyeli:

Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerindeki sıcak katman ve akışkanların, ısı enerjilerinin yeryüzüne ulaşması neticesinde değerlendirilmeleri ile elde edilmektedir. Dolayısıyla, fay hatlarının ve volkanların bulunduğu yerlerde enerji potansiyeli yüksektir. Türkiye ve İtalya fay hattı üzerinde bulunmalarından dolayı yüksek jeotermal enerjiye sahiptirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyada toplam elektrik enerjisi üretiminde ikinci sırada katkı sağlamaktadır. 2014 yılı verilerine göre, dünya toplam elektrik üretiminin %22,3’ü yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Hidroelektrik, yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin büyük bir çoğunluğunu sağlamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen toplam elektriğin %73,2’si ve dünya elektrik üretiminin %16,4’ü hidroelektrik enerjiden elde edilmektedir (Şekil 2.3).



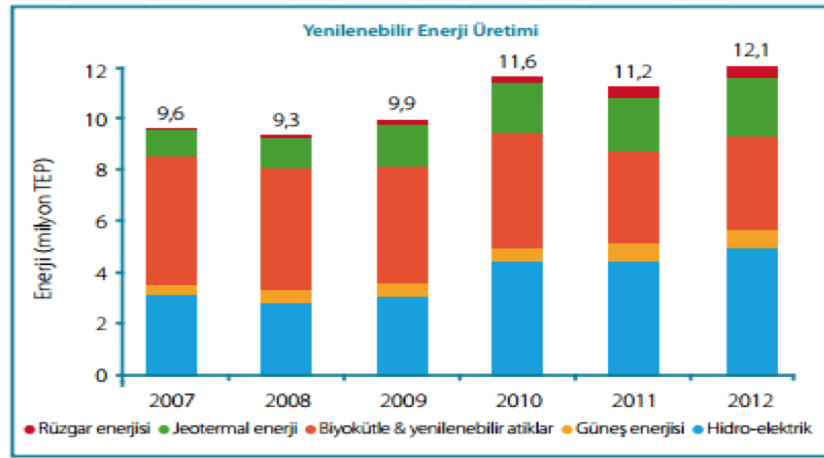
Şekil 2.3. 2014 yılı itibariyle dünya elektrik üretimi (Kaynak: IEA)

2014 yılında, dünya elektrik üretiminde Türkiye, yaklaşık 252 milyar kwh'lık elektrik üretimi ile dünyada 19. sırada yer almaktadır.

2.3. Türkiye’de Yenilenebilir ve Elektrik Enerjisi

Ülkemizde “yenilenebilir enerji” kavramı ilk kez 10 Mayıs 2005 tarihli 5346 sayılı “Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun”da yer almıştır. Ancak uygulamaları 1990’lardan itibaren yapılmaktadır. Kanunun çıkması ile birlikte yatırımlar artmış ve rüzgar enerjisine dayalı üretimde ciddi bir artış olmuştur. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları incelendiğinde 2015 yılında hidrolik enerji kapasitesinin 160,000 GWh/yıl, rüzgâr enerjisi kapasitesinin 48,000 MW, ortalama küresel güneş radyasyonunun 1,520 kwh/m², biyokütle potansiyelinin 10,6 MTEP ve jeotermal enerji kapasitesinin 31,500 MWt olduğu görülmektedir (YEGM, 2015 Faaliyet Raporu).

Hidroelektrik enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji kullanımı Türkiye’de enerji üretimine katkıda bulunan başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. (Şekil 2.4).

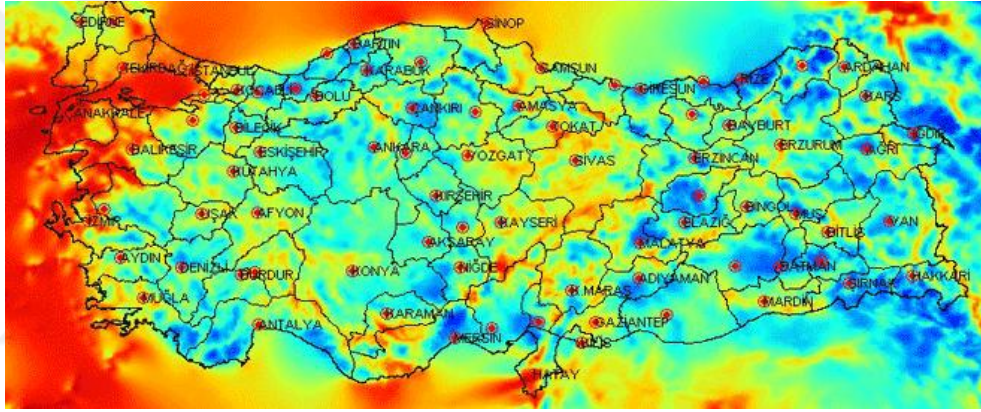


Şekil 2.4. Türkiye’de yenilenebilir enerji üretimi (Kaynak: YEGM)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerinin belirlenmesinde enerji potansiyel atlaslarından yararlanılmaktadır. Halihazırda ülkemiz için “Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)”, “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)” ve “Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA)” bulunmaktadır. “Dalga Enerjisi Potansiyel Atlası (DEPA)” için çalışmalar devam etmektedir.

Rüzgar enerjisi potansiyeli:

Yoğun rüzgar alan yerlerde kurulan rüzgar türbinleri ile rüzgarın kinetik enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülür. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla EİE tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasta verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Sarı alanlar rüzgar kapasite faktörünü ve mavi alanlar rüzgar hızını ifade etmektedir. Yer seviyesinden 50 m. yükseklikteki rüzgâr potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir.



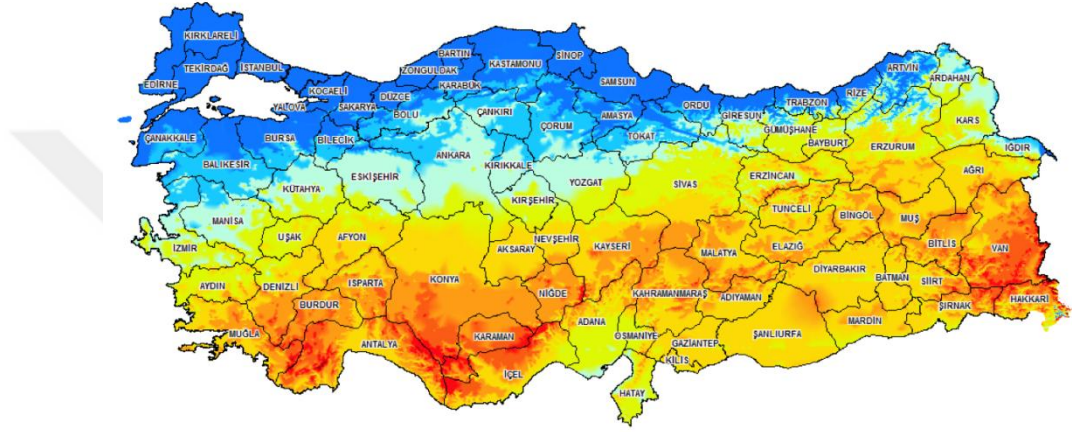
Şekil 2.5. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: ETKB)

Yatırım maliyetlerinin geçmiş yıllara oranla düşmesi ve teknolojik gelişmelerle rüzgarın tahmininin kolaylaşmasından ötürü rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en verimlilerden biri haline gelmiştir. 2006 yılında yapılan bir çalışmaya göre, Türkiye'nin karasal alanlarında 400 milyar kwh/yıl brüt potansiyel, 120 milyar kwh/yıl teknik potansiyel ve 50 milyar kwh/yıl ekonomik potansiyel bulunmaktadır.

Güneş enerjisi potansiyeli:

Güneş panelleri, güneş ışınlarını toplayarak ısı ve elektrik enerjisine dönüştürür. Çevreye hiçbir zararı olmayan güneş enerjisi öncelerde çok yüksek maliyetinden dolayı pek tercih edilmezken ancak son yıllarda maliyetin düşmesi, teşviklerin artması ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte güneş enerjisi kullanımı her geçen gün

daha da artmaktadır. Ülkemizde yılın 10 ayı güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür. Yaklaşık olarak günlük 7,2 saat güneşlenme süresi mevcuttur. Şekil 2.6'da kırmızı olarak görülen kısımlar, en yoğun güneş alan bölgelerdir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda Türkiye'de 56,000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kwh elektrik enerjisi üretim imkânının olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: YEGM)

Jeotermal enerji potansiyeli:

Jeotermal enerji, güneş enerjisinden elektrik üretimine benzer olarak jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun oluşturduğu buhar ile çalışan türbinler sayesinde elektrik üretir. Türkiye jeotermal enerji kaynakları açısından şanslı bir ülkedir ve dünya üzerinde bu enerji türünü yoğun olarak kullanan ilk 5 ülke arasında yer almaktadır. Ancak, ekonomik yaygınlık ve yatırım açısından çok tercih edilmediğinden rüzgar ve güneş gibi ciddi çalışmalar bulunmamaktadır. Şekil 2.7'de, küçük kırmızı üçgenler önemli jeotermal alanları, küçük kırmızı yuvarlaklar sıcak su kaynaklarını, pembelikler volkanitleri, büyük kırmızı yuvarlaklar volkan çıkışlarını ve çizgiler de ana fay hatlarını göstermektedir.

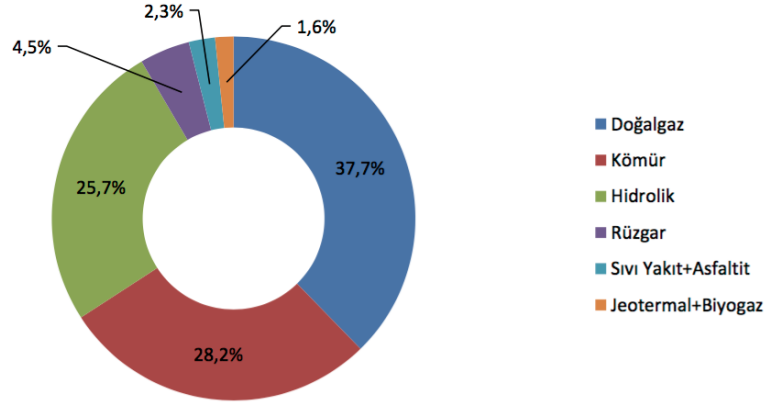




Şekil 2.9. Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: YEGM)

Türkiye dünyanın 17. ve Avrupa'nın ise 6.büyük ekonomisidir. Büyüyen ekonomisi ve artan nüfusu ile birlikte, Türkiye'deki enerji talebi hızlı bir şekilde artmaktadır ve bu durum hem elektrik hem de diğer enerji kaynakları için enerji arzını ülke ekonomisinde en üst sıralara taşımaktadır. Bu bağlamda, Türkiye, geleceğe dönük olarak yenilenebilir enerjinin önemli bir rol oynadığı yenilikçi bir enerji politikası yürütmektedir. Ülkemizdeki hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin yüksekliğinden hareketle 2023 yılına kadar bu kaynaklara dayalı elektrik üretimine ilişkin hedefler belirlenmiştir. Bu kaynakların daha fazla kullanımı ile birlikte 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı en az %30'a yükselecektir.

Ülkemizde ilk elektrik santrali, Mersin'in Tarsus ilçesinde 1902 yılında özel bir şirket tarafından kurulmuştur ve ardından 1913 yılında ilk termik santralimiz İstanbul – Silahtarğa'da hizmete girmiştir. 1935 yılında devletin öncülüğünde elektrik işletmeciliğinin başlamasını müteakiben 1948 yılından itibaren çok sayıda termik ve hidroelektrik santral ulusal elektrik sistemine bağlanmıştır. 2015 yılı, kaynaklar açısından elektrik üretiminin %25,7'si hidrolik enerji kaynaklarından, %4,5'i rüzgar enerjisinden ve %1,6'sı biyogaz ve jeotermal enerjiden elde edilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı, 2015 (Kaynak: ETKB)

Ülkemizde elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklara göre dağılımını incelediğimizde (çizelge 2.1), 2016 Yılı Eylül ayı sonu itibarıyla toplam elektrik enerjisi üretimi içinde termik santrallerden ürettiğimiz elektrik enerjisinin oranı %66,2'dir. Termik santralleri %26,2'lik pay ile hidrolik enerji takip etmektedir. 2016 Yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 2014 yılına göre rüzgar santrallerinde üretilen elektriğin toplam üretimdeki payının %3,4'ten %5,6'ya yükselmiş olması son derece önem arz etmektedir.

Çizelge2.1. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (GWh)

	2014		2015		2016 Eylül Sonu	
Birincil Enerji Kaynakları	Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı	Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı	Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı
Termik	200,42	0,80	179,37	0,69	134,77	0,66
Hidrolik	40,65	0,16	67,15	0,26	53,31	0,26
Rüzgar	8,52	0,03	11,65	0,04	11,32	0,06
Jeotermal	2,36	0,01	3,42	0,01	3,51	0,02
Güneş	17,40	0,00	194,00	0,00	589,00	0,00

2.4. Kaynak Özetleri

Charnes ve ark. (1986)'dan sonra network veri zarflama analizi ile ilgili yapılmış yüzlerce çalışma yayınlanmıştır. Bazı çalışmalarda, belirli koşullar altında etkinlik ölçümü için model geliştirilmiştir. Bazılarında, geliştirilen modellerin özellikleri incelenmiştir ve geri kalanlarda da gerçek dünya problemlerine çözüm üretmek için

mevcut modeller kullanılmıştır. Liang ve ark. (2011) seri bağlı iki süreçten oluşan ve ikinci sürecin sadece üretim için ilkinden gelen tüm çıktıları tükettiği iki aşamalı sistemler için kullanılan modelleri incelemişlerdir. Castelli ve ark.(2010) ortak akım modellerini, çok seviyeli modelleri ve bazı ağ modelleri üzerinde durmuşlardır. Ağ modelleri olarak, Fare ve Grosskopf (2000) tarafından geliştirilen network veri zarflama analizinin genel formunu incelemişlerdir.

En basit ağ yapısı temel iki aşamalı yapıdır. Tüm girdilerin ilk sürece girdiği ve sonucunda ara değişkenleri ürettiği ilk sistem ve ara değişkenlerin girdi olarak kullanılıp genel çıktıların ürettiği ikinci sistemden oluşur. Literatürde en fazla çalışma da bu ikinci yapı kullanılarak yapılmıştır. Wang ve ark.(1997) dünyada bilgi sistemlerini en etkin kullanan 100 bankadan 22'sinin performansı üzerinde bilgi sistemlerinin etkinliğini araştırmak için sistemi fon toplama ve yatırım olmak üzere iki sürece ayırmışlardır. Seiford ve Zhu(1999) Amerika'nın en iyi 55 ticari bankasının işlemlerini pazarlanabilirliği ve karlılığı ölçmek için iki sürece ayırmıştır. Bu çalışmaya dayanarak, Fortune 500 şirketleri için (Zhu,2000), Amerika'da bulunan ve varlıkları bir milyar dolardan fazla olan 245 banka için (Luo,2003), Tayvan'da bulunan 14 finansal holding şirketi için, (Lo ve Lu,2006,2009), Amerika S&P 500 firmaları için, (Lo,2010), Tayvan'da bulunan fabrikası olmayan 40 IC firması için, (Lu ve Hung,2009), Yunanistan'da bulunan 13 ticari banka için (Tsolas,2010) ve 19 inşaat firması için (Tsolas,2013) temel iki aşamalı yapı kullanılarak etkinlik incelemesi yapılmıştır.

Literatürde daha geniş bir yere sahip olan diğer bir yapı ise her iki aşamaya da son çıktıları üretmek ve dışarıdan tedarik edilen dış kaynaklı girdileri tüketmek için izin veren genel iki aşamalı yapıdır. Soteriou ve Zenios (1999), Kıbrıs'ta bulunan ticari bir bankanın 144 şubesinin pazarlama ve operasyon kalitesini genel iki aşamalı yapı kullanarak ölçmüştür. Golany ve ark.(2006), ortak girdilere sahip iki aşamalı sistemin etkinliğini ölçmek için üç model önermişlerdir. Sistem her süreçte uygun ara veya nihai ürünlerin elde edilmesi için süreçler arası değişime izin vermektedir. Yang ve ark. (2008), kirliliğin üretildiği ilk süreç ve oluşan kirliliği ortadan kaldırmak için ikinci süreci uyguladıkları iki aşamalı model ile Tayvan'da rastgele seçilen 39 domuz üretim çiftliğinin etkinliğini ölçmüşlerdir. Lozano ve ark. (2013), 39 İspanyol havalimanının etkinliğini ölçmek için yaptıkları çalışmada, havalimanı işlemlerini uçak hareketleri ve inişleri olarak iki sürece ayırmıştır.

Diğer bir yapı olan seri yapılar birbiri ardısıra birleştirilmiş bir dizi işlemi ifade eder. Yani, çok sayıda seri bağlı süreçten oluşur. Her süreç dış kaynaklı girdileri ve önceki süreçten üretilen ara ürünleri tüketir. Seri bir sistemin pek çok süreçten oluşabilmesi arzu edilse de teorik çalışmalar haricinde literatürde uygulanan en büyük seri sistem sadece beş süreçten oluşmaktadır. Park ve Park (2009) ara ürünleri kullanmadan 1999-2001 yılları arasında Güney Kore'deki 20 tane kablolu TV servis işlem biriminin etkinliğini ölçmüşlerdir. Wei ve ark. (2011), ara ürünler olmadan temel çok aşamalı bir sistemi incelemişlerdir. Kurdukları model, hem girdi hem de çıktı yönünde tüm süreçler ile ilişkili parametrelerin mesafelerinin toplamının minimumunu bulmayı amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda, sistemin etkinliğinin tüm süreçlerin ayrı ayrı ölçülmesine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Matthews (2013), Çin'de ki 15 bankanın risk yönetimi ve idari açıdan etkinliklerini ölçmüştür. Performansı kötü olan krediler üçüncü süreç için girdi olacak şekilde sistemi üç sürece bölmüşlerdir. Nouri ve ark. (2013), bitkisel yağ sanayisinin enerji etkinliğini araştırmak için yaptıkları çalışmada, İran'da 15 bitkinin etkinlik sürecini ve sistemin etkinliğini ölçmek için üretim sisteminde beş süreç tanımlamışlardır. Amaç fonksiyonu olarak sistem etkinliğini kullanmışlardır.

Ağ sistemleri için iki temel yapı vardır. Biri seri yapılar ve diğeri paralel yapılardır. Paralel yapılarda her bir süreç birbirinden bağımsız olarak işler. Yapısal olarak paralel sistem ile çok periyodlu sistem aynı şeydir. Tek farkları, çok periyodlu sistemde her periyodda kullanılan girdi ve çıktılar aynıdır. Fare ve ark. (1997) paralel sistemlerde ilk çalışmaları yapanlardan olmuştur. Kurdukları model ile çıktı sistem uzaklık fonksiyonunu maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, Güney Illinois tahıl çiftliklerini, kara mısır, soya fasulyesi, buğday bitkileri ve ikinci mahsul soya bitkisi için paylaştırmışlardır. Tsai ve Mar Molinero (2002), Birleşik Krallık'ta bulunan 27 akut hastanesinin etkinliğini tıbbi, cerrahi, doğum, psikiyatri ve diğer olmak üzere beş bölüm altında incelemiştir. Amirteimoori ve Nashtaei (2006) bir bankanın fonksiyonlarını mevduat, satış ve hizmetler olarak sınıflandırmıştır ve bazı çıktıların tüm fonksiyonları etkilediğini varsaymıştır. Vaz ve ark. (2010), Portekiz'de bulunan 78 perakende satış mağazasının etkinliğini paralel sistem kullanarak incelemiştir. Zemin alanı ortak girdi olarak kullanılmıştır. Rogge ve Jaeger (2012), Belçika'da 293 belediyede katı atık eğitiminin maliyet verimliliğini araştırmıştır. Konut atığı, diğer kamu atıkları, ambalaj atıkları, diğer EPR atıkları, yeşil atık ve iri

atıklar olmak üzere altı tür katı atık tanımlamışlardır. Taşıma maliyeti ortak girdi olarak kullanılmıştır. De la Cruz ve ark. (2013), ortak kaynakları kullanarak Portekiz’de 45 su aracının su atık hizmetlerini ve içme suyunun etkinliğini ölçmek için Rogge ve Jaeger ile aynı modeli kullanmışlardır.

Ağ sistemlerinde bazı yapılar ne seri yapıya ne de paralel yapıya uymaktadır. Bu durumda kullanılan yapılar, karma yapılardır. Lovell ve ark. (1994), Amerika’da liselerin performanslarını bu sistemle değerlendirmişlerdir. Araştırmada 1032 lise kullanılmış ve bağımsız karar verme birimleri için her bir süreç işlenmiştir. Hsieh ve Lin (2010), Tayvan’da bulunan 57 tane uluslararası turist oteli için servis verimliliği ve üretim etkinliğini incelemiştir. Çalışmalarında, üretim işlemlerini odalar ve restaurant kısmı olmak üzere iki aşamaya ayırmışlardır. Adler ve ark. (2013), 13 Avrupa ülkesinde bulunan 43 havalimanının performansını analiz etmişlerdir. Havalimanında gerçekleşen işlemleri iki aşama olarak düşünmüşlerdir. İlk aşamada, yolcu ve kargo oluşum sürecini ve ikinci aşamada havacılıkla ilgili ve havacılıkla ilgili olmayan faaliyetlerin sürecini incelemişlerdir. Her iki aşama birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir.

Ağ veri zarflama analizinin temel amacı, incelenen bir sistemin kara kutusunu açmaktır. Yani, bir sistemin performansı ölçülmek istediğinde sistemi oluşturan bileşenleri dikkate almaktadır. Hiyerarşik bir yapı, çeşitli seviyelere sahiptir. Ancak literatürde var olan çalışmalarda (Fare ve Primont, 1984; Kao, 1998; Cook ve ark., 1998; Castelli ve ark., 2004; Cook ve Green, 2005; Kao, 2009b) tarafından sadece tek ve iki seviye için hiyerarşik yapı kullanılmıştır. Ayrıca tek bir seviye varsa ve merkez ile bağlı bulundukları birimler arasında ilişki yoksa hiyerarşik yapıya sahip olan sistem paralel yapıli sistemler gibi düşünülebilir. Tek seviyeli sistemlerde, sistem etkinliği toplam çıktının toplam girdiye oranıdır. Aynı düşünce iki seviyeli sistemler için de düşünülebilir.

Son olarak dinamik yapılar, seri yapıların genelleştirilmiş halidir. Her periyod bir ağ yapısına sahip olabilir. Girdiler, çıktılar ve ara ürünler her periyod için aynıdır.

Genel olarak, ağ veri zarflama analizi ile yapılmış yayınlara bakıldığında 2000 yılından önce yapılan yayın sayısı yılda 2 veya 3 yayındır. Daha sonraları sürekli artan ilgiden de kaynaklı olarak toplam yayınlanan makalelerin yarısından fazlası 2009-2017 yılları arasındadır. Bu alanda yapılan uygulamalara bakıldığında, bankalar ve finansal kuruluşlar ilk sırada yer almaktadır. Çiftlikler (bitkisel ve

hayvansal üretim yapan), yerel ulaşım (otobüs, tren, uçak), enerji araçları da çok uygulaması yapılan alanlar arasındadır. Tüm bu uygulamaların odak konuları ise çoğunlukla tedarik ve karşılama üzerinedir.

Son yıllarda birçok akademisyen, farklı ülkelerdeki enerji verimliliği sorunlarını sektörler açısından, ekonomik yönden ve projeler ile değerlendirerek incelemektedir. Enerji etkinliği konusunda yayımlanan ilk çalışma Fare ve Grosskopf(1983) tarafından yapılmıştır ve elektrik üretim tesisleri ile ilgilidir. VZA yöntemini kullanarak enerji verimliliği konularını değerlendiren sayısız güncel araştırma, gelişmiş ekonomilerde ve Kanada, ABD, APEC ülkeleri, Japonya ve OECD ülkeleri gibi bazı batı ülkelerinde, Kore ve Hindistan gibi Asya'da gelişmekte olan ülkelerde yapılmıştır. Reinhard ve Lovell (2000)VZA yöntemiile Hollanda'da bulunan çiftlik işletmelerinin ekolojik etkinliğini değerlendirdi ve stokastik sınır analiz yöntemiyle karşılaştırdı. Dyckhoff ve Allen (2001) çevresel etkinliği ölçmek için ekolojik VZA modellerindensağlanan sistematik bir yaklaşım önermiştir. Lansink ve Silva (2003), 1991 – 1995 yılları arasında Hollanda'daki belirli sebze firmalarının enerji ve CO₂ etkinliğini ve girdiye yönelik teknik etkinlik skorlarını hesaplamak için VZA metodunu kullanmışlardır. Ampirik sonuçlar, şirketlerin enerjiyi oldukça verimli bir şekilde uyguladıklarını, ancak CO₂ salınımlarına ilişkin olarak daha az etkin olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan girdi değişkenleri; emek, sermaye, kömür alımı, gaz yağı alımı ve elektrik alımı iken, çıktı değişkeni olarakgayri safi yurt içi üretim kullanılmıştır .

Tone ve Sahoo (2004), üretim ölçeğinin esnekliğini değerlendirmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Sarkis ve Talluri (2004) ekolojik etkinlik araştırmasında VZA modelinin kullanımı ile ilgili bir inceleme hazırladılar. Lansink ve Reinhard (2004)Hollanda domuz çiftliklerindeki çevresel, ekonomik ve teknik performansı geliştirme olasılıklarını değerlendirmek için VZA modelini kullandılar.

Huang ve ark. (2005), tarla verimliliğini Çin menşeli ülkelerdeki ürün verimini dikkate alarak inceledi. Hu ve Wang (2006), 1995 ve 2002 yılları arasında 29 Çin bölgesinin enerji verimliliğini analiz etmek için VZA yaklaşımını kullandılar.VZA modelini su, sermaye ve iş gücü istihdamı gibi girdileri kullanarak su verimliliğini araştırmak için kullandı.

Azadeh ve ark. (2007),VZA'yı sektörlerdeki enerji verimliliğini değerlendirmek ve analiz etmek için kullandı. Wei ve Liaoi (2007); Çin'deki çelik ve

demir sektörlerinin enerji verimliliğini inceleyerek, enerji verimliliğinin iyileştirilmesini teknik değişiklik olarak değerlendirdi.Chien ve Hu (2007), ülke düzeyinde NRE teknolojisi verimliliklerini karşılaştırmak için VZA yaklaşımını kullandılar. 2001 ve 2002 yılları arasındaki 45 ülkede yenilenebilir enerjinin makroekonomik teknik etkinlik üzerindeki etkisini üç farklı girdi ve tek bir çıktı ile incelediler.Ayrıca, 45 KVB'nin OECD üye ülkelere ve üye olmayan ülkelere bölünmesi ile Tatari ve Kucukvar (2012), VZA yaklaşımını çeşitli inşaat malzemelerinde eko verimliliğin sıralaması için geliştirdi ve kullandı.Dış duvar bitimlerinin ve yaşam döngüsü etkisinin ölçülmesi için Bina Çevre ve Ekonomik Sürdürülebilirlik (BEES) yazılımını kullandılar.Lilienfeld ve Asmild (2007), 1992 yılından 1999 yılına kadar Kansas batıda 43 sulama suyu kullanım etkinliği üzerine sulama sistemi tipinin etkisini değerlendirmek için VZA yaklaşımını kullandılar.El-Mashaleh ve Edward Minchin Jr (2007),VZA yaklaşımını inşaat sektöründeki kıyaslama sistemlerinin iyileştirilmesi için uygulamıştır. Mevcut kıyaslama sistemlerinin, sanayinin etkin ve verimli performans elde etmesine yardımcı olması için bazı kısıtlamaları olduğunu belirtmişlerdir. Hu ve Kao (2007), Asya Pasifik Ekonomik İşbirliği Ekonomilerindeki enerji tasarrufu hedefine dayalı sürdürülebilir kalkınma için VZA modelini kullandı. Azadeh ve ark. (2007), sınır ağı ve Temel Bileşen Analizi (PCA) teknikleri kullanarak İran'daki enerji üretim sistemini değerlendirdi.

Zhang ve Bi (2008); 2004'te Çin'de 30 bölgenin üretim bölümlerinin ekolojik verimliliğini bir VZA modeli üzerinde inceledi ve Çin bölgelerinin çoğunda GSYİH miktarının daha fazla olduğu bölgelerin her birinin daha fazla çevre verimliliğine sahip olduğunu buldu.Zhou ve Ang (2008); VZA verimlilik ölçülerini ve çevresel VZA teknolojisini çevresel performansın ölçümüne entegre etti.Zhou ve Ang (2008); VZA'nın ekolojik ve enerji stratejisine uygulanması için yapılan 100'den fazla araştırmayı özetledi.Zhou ve Ang (2008); 21 OECD ülkesindeki ekonomi tabanlı enerji verimliliği performansını ölçmek için doğrusal programlamaya dayanan VZA modellerini önerdi.Horta ve Camanho (2009); şirket verimliliği, şirket performansı ve performans iyileştirmesini değerlendirmek için VZA yaklaşımını ve temel performans göstergelerini bütünleştirdi.Yang ve Pollitt (2009); aynı anda istenmeyen çıktıları ve kontrol edilemeyen değişkenleri Çin'de kömürle çalışan elektrik santralleri araştırmasına dayanan VZA tabanlı altı performans değerlendirme modeli önererek eşzamanlı olarak değerlendirdi.Welch ve Barnum (2009); elektrik üretim tesisleri

tarafından kullanılan farklı yakıt türleri arasındaki ekonomik ve çevresel dengeleri inceledi. Sözen ve Alp (2009); VZA ile Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerindeki sera gazı salımları ile yerel / bölgesel kirleticiler arasında bir karşılaştırma yapmıştır.

Chen ve ark. (2010), 2002-2007 yılları arasında Çin'in enerji kullanımı etkinliğini değerlendirdi. Araştırma sonuçları, Çin'in doğu bölgesinin batı bölgesi ile karşılaştırıldığında daha yüksek enerji ve ekolojik verimlilik kullandığını gösterdi. Shi, Bi (2010), 2000-2006 yılları arasında Çin'in 28 alanının imalat enerji etkinliklerini bir VZA modeli kullanarak inceledi.

Oggioni ve Riccardi (2011)VZA'yi hem arzulanan çıktıları (mallar) hem de istenmeyen çıktıları (CO₂ emisyonları) üreten bir girdi olarak analiz etmek için uygulamıştır. Mousavi-Avval (2011), VZA'yı çiftçinin verimliliğini ölçmek, verimli çiftçileri ayırt etmek ve Tahran eyaletinde elma üretimi için enerjiyi optimize etmek için kullanıcıya kayıpsız enerji bulması için istihdam sağladı. Bu çalışmanın sonuçları, 56 çiftçinin teknik ve saf teknik kriterlere dayanarak verimli olduğunu ortaya koymuştur. Lee ve Mogi (2011), VZA yaklaşımını ve bulanık AHP'yi hidrojen teknolojileri verimliliğinin ölçümü için birleştirdi. Bu çalışmanın sonucunda, dört hidrojen teknolojisinin taşınabilir yakıt hücresi teknolojisi içerdiğini buldu ve yakıt hücresi araçları teknolojisi, ev / sanayi sistemi teknolojisi ile hidrojen üretim teknolojisi en iyi teknolojilerdir. Mohammadi ve Rafiee (2011)VZA'yı çiftçilerin verimliliğini değerlendirmek için kullandı. Wang ve Zhang (2012), 2005 - 2009 yıllarında Çin'in 30 bölgesinde imalat sektörlerinin enerji verimliliğini değerlendirmek için konvansiyonel bir VZA modelini kullanmıştır. Wu ve ark. (2012), Çin eyaletlerinin endüstriyel sektörlerindeki enerji verimliliği performansını değerlendirmek ve dinamik ve statik enerji verimliliği performans endeksleri oluşturmak için çeşitli çevresel VZA modellerini kullandı. Wang ve Wei (2012), Çin'in 30 bölgesinde emisyon ve toplam faktör enerjisini ölçmek için VZA tabanlı çeşitli yaklaşımları kullandı. Bai-Chen ve Ying (2012), Çin'deki 30 eyalet idari bölgelerinin verimliliğini karşılaştırmak için iki aşamalı bir çevresel networkVZA modelini kullandı. Temiz enerji gelişimini teşvik eden politikanın nesil bölümünde hedefine ulaştığını ve daha fazla politika reformunun şebeke bölümüne yayılması gerektiğini buldular.

Tao ve Zhang (2013), 2000 yılından 2010 yılına kadar Yangtze Nehri Deltasındaki elektrik enerjisi endüstrisinin çevresel etkinliğini ölçmek için istenmeyen çıktıları içeren iki çevresel VZA modelini uygulamıştır. Zhou ve Sun (2013), radyal

olmayan bir VZA yaklaşımı ile entropi ağırlığını SBM ile entegre ederek Çin enerji santralının çevresel etkinliğini 2005-2010 yılları arasında eyalet düzeyinde incelemiştir.

Azadi ve Jafarian (2015), sürdürülebilir tedarikçilerin seçimi için bulanık küme teorisine dayanan, geliştirilmiş Russell ölçütü ile birleştirilmiş bir VZA yöntemi geliştirdi. Bu çalışmada, sunulan modelin belirsiz ortamdaki farklı α seviyeleri ile etkinliği ve verimliliği ölçebildiğini bulmuştur. Ekolojik süper verimlilik modeline göre, Yang ve Ouyang (2015), 2000-2010 döneminde Çin'de 30 bölgenin ekolojik etkinliğini değerlendirdi.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan yöntemler; Genetik Algoritmalar, Veri Zarflama Analizi ve Network Veri Zarflama Analizidir.

Genetik algoritmalar (GAs), doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alır ve güçlü nesillerin kendi yaşamlarını korurken, zayıf nesillerin yok olması ilkesine dayanır. GAs, rastlantısal arama ve optimizasyon teknikleri olarak günümüzde en yaygın bilinen ve uygulanan evrimsel hesaplama yöntemlerinden biridir. Matematiksel modellemenin yapılamadığı veya kesin çözümün olmadığı problemlerde genetik algoritmalarından yararlanılır. VZA ise uygulamalı ve teorik olarak geliştirilen, son yıllarda hızlı bir şekilde gelişmekte olan, parametrik olmaması sebebiyle de geniş kullanım alanına sahip doğrusal bir programlama yöntemidir. Bu teknikte, karar verme birimlerinin çıktılarını oluşturmak için mevcut olan kaynakların nasıl etkin bir şekilde kullanacağı belirlenir (Ramanathan, 2003; Yolalan, 1993). VZA başlangıçta karar verme biriminin iç yapısını dikkate almadan tüm birimin etkinliğini ölçmek için geliştirilmiştir. Ancak, deneysel çalışmalara bakıldığında bu durumun her zaman doğru olmayabileceği görülmüştür. Yani, karar verme birimlerinin performansı değerlendirilmek istenildiğinde etkinliklerin tespit edilebilmesi için onu oluşturan süreçlerin de incelenmesi gerekmektedir. Büyük kapsamlı çalışmaların detaylı süreçlere ayrılması, girdi faktörlerinin gerçek etkisinin belirlenmesine yardımcı olur. Çalışmalardaki işlemlerde bazı süreçlerin göz ardı edilerek yanıltıcı sonuçlar elde edilebildiğini ve tüm süreçleri etkin olmasa bile genel olarak sistemin etkin gözükebildiğini örnekleyen pek çok çalışma Kao ve Hwang (2010) tarafından incelenmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, süreçlerden oluşan çalışmalarda etkinliği ölçerken doğru sonuçlar üretmek için “Network Veri Zarflama Analizi”nin gerekli olduğu vurgulanmaktadır.

3.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar (GA), temel olarak bir önceki nesilden doğan yeni bireylerin şartlara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmesi ilkesine dayanır. Goldberg (1989a)’ın tanımına göre GA, rastlantısal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, Genetik algoritmalar, doğal seçim ve genetiğe dayalı sezgisel arama algoritmalarıdır. Genetik algoritmaları gerçek dünya optimizasyon problemine

uygulamak için iki konu ele alınmalıdır: potansiyel çözümleri kodlamak ve optimize edilecek uygunluk fonksiyonunu (amaç fonksiyonu) tanımlamak. Çözümleri değerlendirmek veya iyi çözümleri kötü olanlar dan ayırmak için, uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Algoritma, aday çözümlerin ilk popülasyonu ile başlar ve bir veya daha fazla durdurma kriterine ulaşıncaya kadar, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak arama sorununun çözümlerini geliştirir.

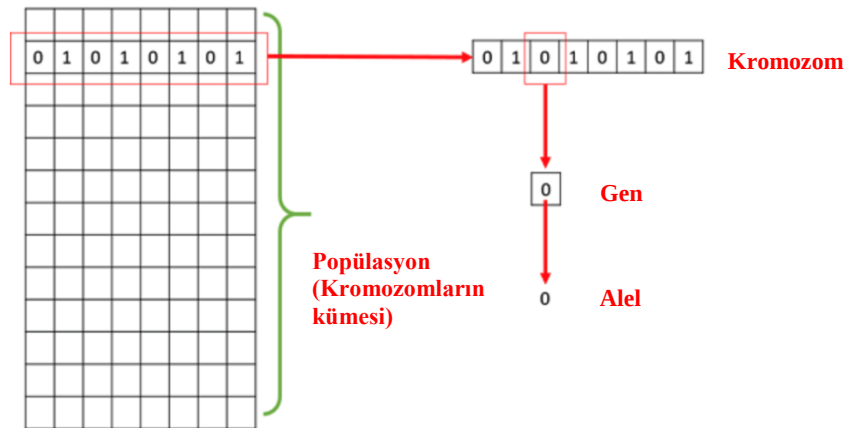
3.1.1. Temel kavramlar

GA'ların çalışmasında ve başarılı çözüm değerlerine ulaşmasında algoritma yapısının, algortmada kullanılan kavramların ve bu kavram değerlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. GA'nın çalışmasında kullanılan temel kavramlar aşağıda açıklanmaktadır.

Gen, Bir canlının (bireyin) kalıtsal özelliklerinden herhangi birini taşıyan parçadır. Her bir karar değişkeninin sayısal değeri, bir geni temsil eder. Bir problemde kaç adet karar değişkeni varsa o kadar da gen vardır (Koza,1995).

Kromozom, Genlerin bir dizi halinde sıralanması ile ortaya çıkan genler dizisidir. Yani, problemdeki karar değişkenlerinin her biri bir arada bulunmaktadır.

Popülasyon,Çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığınıdır. Verilen sorunun tüm olası (kodlanmış) çözümlerinin bir alt kümesidir. Popülasyon büyüklüğü yaygın olarak, 30 ile 100 adet arası kromozom içerecek şekilde düzenlenmektedir.



Şekil 3.1. Gen, kromozom ve popülasyonun ilişkisi

Kodlama,GA'ların çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması önemlidir.

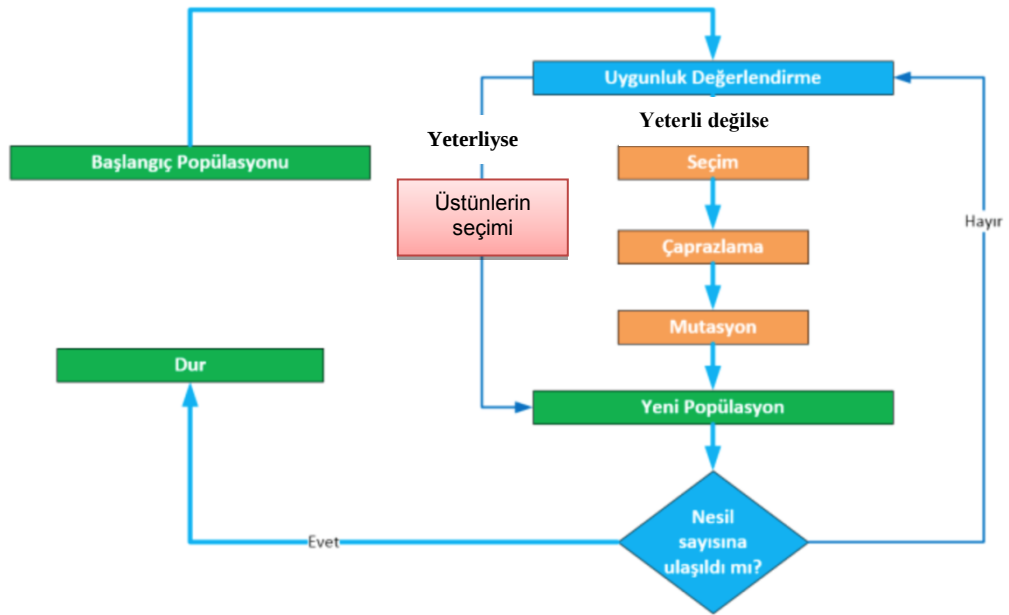
Uygunluk Fonksiyonu, Belirlenen çözümlerin uygunluk derecelerinin ölçülmesini sağlayan bir fonksiyondur. Her bir problem için ayrı ayrı uygunluk fonksiyonları belirlenmektedir.

Uygunluk Değeri,Genetik algoritmalarda oluşturulan tüm dizilerin amaç fonksiyonu değeri ile ilişkili bir uygunluk değeri vardır. Dizi ile taşınan genetik bilgi, her nesilde uygunluk değeri daha uygun olan dizilerin seçilmesini sağlar. Dizinin uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı da o kadar yüksektir.

3.1.2. Genetik algoritmanın çalışması

Genetik algoritmaların temel prensibi, her adımda bir önceki nesilden yeni bireyler oluşturarak amaç fonksiyonunun uygunluk derecesini artırmak ve sonuç olarak belli kısıtlamaları sağlayacak şekilde amaç fonksiyonunu sağlayan en uygun değerini elde etmektir.

Arama uzayındaki tüm gerçekleşmesi muhtemel çözümler dizi olarak kodlanır. Genellikle rastgele olarak başlangıç çözüm kümesi seçilir ve başlangıç topluluğu olarak kabul edilir. Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir. Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastgele olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir. Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur. Önceden belirlenen nesil sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir. Belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya kadar iterasyon işlemi sona erdirilir. Uygunluk fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir. Şekil 3.2'de Genetik algoritma akış şeması ve Şekil 3.3'de pseudo kod gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Genetik algoritma akış şeması

Inputs: Population size ps , Termination condition, Crossover rate cr , Mutation rate mr , Elitism rate er

Start

Set iteration number $t=1$;
 Initialize population p ;
 Evaluate population according to fitness value $f(p)$;
While termination condition is not met **do**
 $t=t+1$
 Hold $ps \times er$ chromosomes with best fitness value in the new population;
 Select parents from current population by roulette wheel selection and perform reproduction;
 Perform crossover operator to the randomly selected chromosomes according to cr ;
 Perform mutation operator to the randomly selected chromosomes according to mr ;
 Generate new population np ;
 Evaluate population $f(np)$;
 $p=np$;
End
 Return best fitness value, order batching and routing results
End

Şekil 3.3. Genetik algoritmaların pseudo kodu

3.1.3. Kodlama

Bir problemin çözümü için genetik algoritmalarda ilk adım kodlamadır ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Çözümler kodlanarak, genetik algoritmanın kullanacağı şekle dönüştürülür. Tüm problem tipleri için geçerli olan belirli ortak

birkodlama şekli yoktur. Hatta benzer problemler bile bazen farklı kodlamalar gerektirebilir. Literatürde sıklıkla kullanılan kodlamalar aşağıda açıklanmaktadır.

İkili Kodlama: Hem kolaylığı hem de pek çok probleme uygulanabilirliği açısından en yaygın kullanılan kodlama biçimidir. Problemin olası çözümleri 0 ve 1 değerleri kullanılarak kodlanır.

Sıralı (Permütasyon) Kodlama: Sıralı kodlama genellikle birleşti optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır. Bu tip problemlerde dizinin uyum değeri, gen değerlerine ve ayrıca genlerin sırasına da bağlıdır.

Değer Kodlaması:Değer kodlaması, karmaşık değerlerin kullanıldığı problemler için uygun bir kodlama yöntemidir. Değer kodlamasında her dizi, bir değerler dizisinden oluştuğu varsayılmaktadır.

Ağaç Kodlaması:Bu kodlama yöntemi, özellikle genetik programlamada kullanılmaktadır. Yöntemde her dizi, nesnelerden oluşan bir ağaç olarak ifade edilir.

Genetik algoritmalarda kodlama yapılıp, rastgele ilk popülasyon oluşturularak, uygunluk değeri hesaplandıktan sonra yapılacak işlem, elde edilen bu popülasyona temel genetik işlemleri uygulamaktır. Genetik işlemler, ilerleyen nesillerde daha kaliteli ve daha çeşitli çözümler elde etmemizi sağlar.

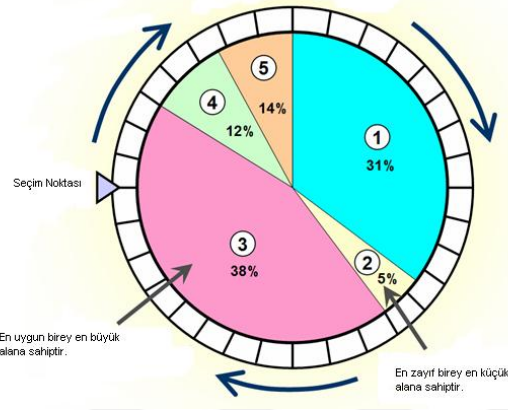
3.1.4. Seçim

Seçim işlemi, dizilerin uygunluk fonksiyonundan elde edilen değerlere göre oluşan bir süreçtir. Bu yöntemin amacı, uygunluk değeri ortalamanın üzerinde olan bireylere çoğalma fırsatı vermektir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında; Rulet Tekerleği (Roulette Wheel) ve Turnuva (Tournament) yöntemleri sayılabilir.

Rulet Tekerleği Yöntemi,ilk defa Holland (1975) tarafından ortaya konmuşve toplumdaki her bir bireyin uygunluk değerlerini gösteren f_i 'ler yardımıyla hesaplanır. Bireylerin uygunluk değerleri toplanarak toplumun uygunluk değeri elde edilir. Her bireyin uygunluk değerleri, toplumun uygunluk değerine bölünerek, bireylerin seçilme olasılıkları elde edilir.

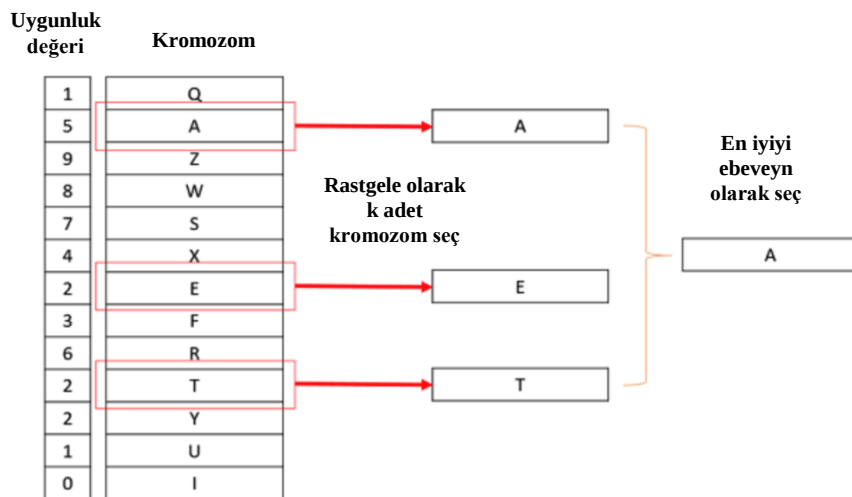
$$F_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad i = 1, \dots, n(3.1)$$

Bireyler seçilme olasılıkları kadar büyüklükle rulet çarkında yer alırlar. Bu durumda hangi bireyin olasılık değeri daha yüksekse o bireyin seçilme olasılığı daha fazla olacaktır. Şekil 3.4’de rulet tekerleği seçim yöntemi gösterilmiştir. Zayıf bireyin kendi olasılığı kadar seçilme şansı vardır.



Şekil 3.4. Rulet tekerleği seçim yöntemi

Turnuva Yöntemi,turnuva seçim yönteminde, yeteneklilerin yani uyumluların yaşaması diğerlerinin ise yaşamaması ilkesi temel alınmıştır. Bu durumda rastgele seçilen iki kromozom uygunluk değerlerine göre turnuvaya sokulur ve iyi olan turnuvayı kazanarak hayatta kalmaya devam eder. Ortalama uygunluk değerine sahip olanlar ise en iyi kromozomların yarısı kadar bir sıklıkta seçilmiş olur. Bu şekilde popülasyonun ortalama uygunluk değeri de giderek artar. Şekil 3.5’ de turnuva seçim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Turnuva seçim yöntemi

Şekil 3.5’de araç rotalama problemine ait kromozomların permütasyon kodlama ile kodlanması, araç rotalama problemidir. Araç rotalama probleminde amaç, gidilecek tüm şehirlere en kısa mesafeden ulaşmak olduğundan, kromozomlar turnuvaya sokulduğunda daha az kilometreye sahip olan kromozom turnuvayı kazanarak yaşamaya devam etmektedir.

3.1.5. Çaprazlama

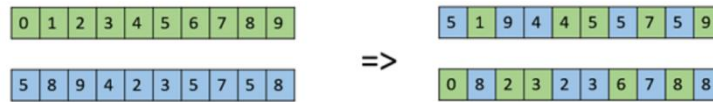
Çaprazlama, ebeveynlerde bulunan genlerin yeni oluşturulan bireylere aktarılmasıdır. İşlem, ebeveyn olarak seçilen kromozomlar üzerinde rastgele belirlenen konum/konumlarda, bilgilerin çapraz bir şekilde yer değiştirilmesi yolu ile gerçekleştirilmektedir. Çaprazlama işlemi, popülasyonda bulunan kromozomların belirli bir oranına uygulanmaktadır. Bu oran, algoritmanın başında ya da her yeni popülasyonu oluşturmadan önce belirlenmektedir. P_c çaprazlama oranı olmak üzere, popülasyonda N üye varsa, $N.P_c$ kadar üye çaprazlama için seçilmelidir. Literatürde en sık kullanılan çaprazlama türleri tek noktalı, iki noktalı ve düzgün çaprazlamadır.



Şekil 3.6. Tek noktalı çaprazlama



Şekil 3.7. İki noktalı çaprazlama

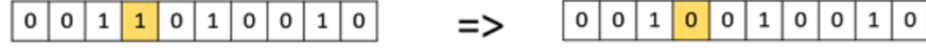


Şekil 3.8. Düzgün çaprazlama

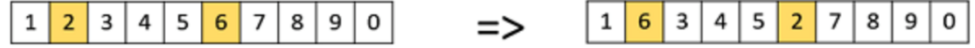
3.1.6. Mutasyon

Kromozomların başkalaştırılması ya da farklılaştırılması için kullanılan bir operatördür. Çaprazlama işlemi ile elde edilemeyecek farklılıkları oluşturmak

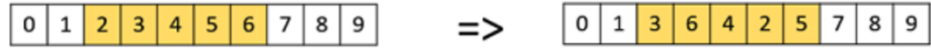
amacıyla yapılmaktadır. Mutasyon, kromozomdaki genlerin değişimidir ve problemin yapısına bağlı olarak aşağıdaki mutasyon operatörlerinden biri seçilebilir (Bolat ve diğ.,2004).



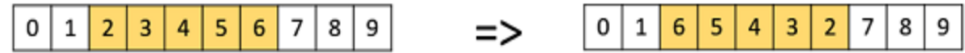
Şekil 3.9. Değer dönüşümü mutasyon



Şekil 3.10. Karşılıklı değişim mutasyon



Şekil 3.11. Yer değişikliği mutasyon



Şekil 3.12. Ters çevirme mutasyon

3.1.7. Durdurma kriteri

Genetik algoritmalar, her bir problem için belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar hesaplama işlemlerini yapmaya devam ederler. GA'yı sonlandırmak amacıyla kullanılabilecek en iyi durma tercihleri;

- Seçilen en iyi kromozom, bilinen en iyi çözüme ulaştığında,
- Belirlenen istatistiksel değerlere erişildiğinde,
- Belirlenen nesil sayısı tamamlandığında,
- Nesillerin sonuçları açısından bir gelişme olmadığında,
- Optimuma yakın bir değere erişildiğinde,

kriterleri olabilir (Haupt ve Haupt,2004). Sıkça kullanılan durdurma kriterleri; iterasyon sayısı, yeni nesiller için oluşturulan çocuk (offspring) sayısı (Wang ve Cao,2002) ve algoritmanın çalışma süresidir (Naphade vd.,1997, (Brucker vd.,1999).

3.2. Veri Zarflama Analizi

Sanayi devriminden bu yana, insanlar minimum girdi ile maksimum çıktıyı üretmek için çalışıyorlar,böylece insan kaynağı da dahil tüm kaynakların daha verimli kullanılması sağlanır.Üretim şirketleri, üretim sürecini daha iyi kontrol etmek ve

retkenliği artırmak için belirli bir girdi türünün bir birimi ile üretilmesi gereken öğe sayısı gibi durumları başarmak için standartlar geliştirir. Benzer şekilde, hizmet şirketleri, bir çalışan tarafından hizmet sunulan müşteri sayısını belirli bir sürede artırmayı hedeflemektedir.

Veri zarflama analizi (VZA), Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından önerilen doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir optimizasyon tekniğidir. VZA, retim sürecini oluşturan karar verme birimlerinin (KVB) belirli girdileri kullanarak belirli çıktıların üretildiği göreli etkinliklerinin değerlendirilmesine olanak sağlar. Aslında, bir karar verme biriminin etkin olmama durumu girdiler için aşırılıklar ve çıktılar için eksiklikler olarak görülür. Dolayısıyla etkinlik değerinin 1'e eşit olduğu etkin bir birim, girdi tüketimini arttırmadan mevcut çıktı seviyelerini arttıramaz. VZA, çok yönlülüğü sayesinde araştırmacılar tarafından pek çok sektörde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Emrouznejad ve diğ., 2008). Verimlilik genellikle bir girdi birimi tarafından üretilen çıktı miktarı olarak tanımlanır. Teorik olarak, ancak mükemmel koşullar altında elde edilebilecek maksimum verimlilik vardır. Bu bağlamda, verimlilik daima birden daha düşük veya eşittir.

Birden fazla çıktı üretmek için birden fazla girdi uygulayan bir üretim faaliyeti inceleyelim. Belirli bir zamanda, j birimi tarafından kullanılan i girdi miktarı X_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$ olsun. Aynı zamanda üretilen r çıktı miktarı da Y_{rj} , $r = 1, 2, \dots, s$ olsun. Bu durumda verimlilik, toplam çıktının toplam girdiye oranı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \quad (3.2)$$

j – nci biriminin verimliliği P_j ile gösterilmektedir. u_r , r çıktısının ağırlığını ve v_i , i girdisinin ağırlığını göstermektedir (Bitran ve Chang, 1984). Bu formül oldukça basit ve hesaplanması kolaydır. Bununla birlikte, çoğu durumda, bazı girdi ve çıktıların piyasa değeri olmaması, girdilerin ve çıktıların toplanmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, bir ormanın verimliliğini hesaplarken, toprağın korunması, karbon dioksit emilimi ve vahşi yaşam yerleşiminin parasal değerlerini belirlemek zordur. Bu nedenle, verimliliğin hesaplanmasında ölçülebilirlik problemi olduğunda bir çıktı ve bir girdinin birbirine oranı ile uzunca bir süre sınırlı kalmıştır.

3.2.1. CCR Modeli

Charnes ve ark. (1978) CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) adını verdikleri kesirli bir programlama modeli önerdiler. Model, KVB'nun verimlilik oranını hesaplamak için en uygun u_r ve v_i ağırlıklarının seçmesine izin vermektedir. Tek kısıtlama, bu KVB tarafından seçilen ağırlıklardan hesaplanan tüm KVB'ların verimlilik oranlarının birden düşük veya bire eşit olması gerekir. Bu oran sıfır ve bir arasında olduğundan ve bu KVB'nun aynı KVB girdisi ile üretilebilecek maksimum çıktıya oranının bir KVB'nun gerçek çıktısına eşit olduğu gösterilebilir, bu bir verimlilik ölçüsüdür. Bir örnekten elde edilen maksimum çıktı göreceli bir ölçüttür.

3.2.1.1. Girdiye Yönelik CCR Model

0 indisli bir KVB'nin göreceli verimliliğini ölçmek için CCR modeli şöyledir:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$
$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

(3.3)

İlgili çarpanlara sıfır atanarak bazı olumsuz faktörlerin gözardı edilmemesi için, çarpanlar u_r ve v_i 'nin küçük bir pozitif sayı ε 'dan daha büyük olması gereklidir (Charnes ve ark., 1978). Bu küçük sayı " ε " Arşimet olmayan sayı denir (Charnes ve Cooper 1984). $E_0 = 1$ ise karar verme birimi Pareto etkindir diye adlandırılır (Koopmans, 1951). Pareto etkinliği aslında, bir değişkenin değerini arttırırken mutlaka diğerinin değerini düşürür. Koopmans (1951), herhangi bir faktörde bir iyileşmenin, yani bir çıktıda bir artış veya bir girdide bir azalmanın, en azından bir başka faktörün bozulmasını, yani en az bir çıktıda bir azalmayı veya en az bir girdide bir artışı gerektirir. Buna Pareto-Koopmans verimliliği denir (Charnes ve Cooper 1961). Eğer alt sınır ε kaldırılırsa ve bir KVB'nun etkinliği hala $E_0 = 1$ 'e sahipse; o zaman bu KVB sadece zayıf bir şekilde etkilidir (Charnes ve ark., 1986, 1991), çünkü bu durumda herhangi bir KVB girdi miktarını azaltabilir veya bazı çıktı miktarını arttırabilir ve yine $E_0 = 1$ 'e sahip olabilir. Zayıf etkili durumun aksine, normal durumda $E_0 = 1$ ise; çarpanlara dayatılan alt sınır ε 'ya kuvvetli bir şekilde

etkili denir. Yukarıdaki model yaygın olarak kullanılan“oran modeli” olarak adlandırılır. Charnes ve Cooper (1962) 'de ortaya konan fikirlere dayanan kesirli program aşağıdaki doğrusal modele dönüştürülebilir:

$$E_0 = \max. \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} &= 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

(3.4)

Bu modele çarpan modeli denir. Tek bir girdi ve bir çıktı olduğunda, bu model, tüm KVB'lara üretim sınırı olarak menşei geçerek ve üst üste bindirerek düz bir hat kullanır. Üretim sınırı orijin boyunca geçtiği için, bu durum girdideki orantılı bir değişimin çıktıda aynı orantılı değişikliğe yol açtığına işaret eder. Dolayısıyla ölçeğe göre sabit bir getiri durumu vardır. Eşitlik (3.4) ile verilen modelin duali Eşitlik (3.5)'teki model ile formüle edilebilir:

$$E_0 = \min. \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^- &= \theta X_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ &= Y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j, S_i^-, S_i^+ &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

θ , sınırlanmamış

(3.5)

$S_i^-, S_i^+ \geq 0$ olduğundan;

ilk iki kısıtlama kümesi $\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq \theta X_{i0}$ ve $\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{r0}$ ifade eder; bu da tüm gözlemlerin üretim sınırında $(\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij}, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj})$ noktasına göre daha fazla girdi ve az miktarda çıktıya sahip olduğunu belirtir. Başka bir deyişle, gözlemler üretim sınırı tarafından zarflanır. Buna göre Eşitlik (3.5) ile verilen modele “zarflama modeli” denir.

3.2.1.2. Çıktıya Yönelik CCR Model

Etkinlik, çıktı yönünden de ölçülebilir. Bu durumda, CCR etkinliği $1/E_0$ şeklindedir.

Çıktıya yönelik model:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

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

(3.6)

Amaç fonksiyonu dışında aslında model girdiye yönelik ile aynıdır. Modelin doğrusal formu Eşitlik (3.7)’deki gibidir:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \sum_{i=1}^m v_i X_{i0}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

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

(3.7)

Modelin duali Eşitlik (3.8)'deki gibidir:

$$\frac{1}{E_0} = \max. \quad \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^- = X_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = \varphi Y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_i^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

φ , sınırlandırılmamış

(3.8)

Bu modelin kısıtları, bu modelin girdileri X_{i0} 'nin mevcut seviyesinde sabitlediğini ve çıktıların genişletilebileceği en büyük φ 'yi araştırmaktadır. Bu nedenle bu model çıktıya yönelik bir modeldir.

3.2.2. BCC Modeli

CCR modeli, çıktıların girdi ile aynı oranda artması nedeniyle ölçeğe göre sabit getirilidir. Tek bir girdi ve tek bir çıktı durumunda, üretim sınırı orijinden geçen düz bir çizgidir. Üretim ekonomisinde, sabit girdi etkisinden dolayı, değişken girdi miktarı nispeten küçük olan üretimin erken safhasında ölçeğe dönüşler genellikle artmaktadır. Girdi değişkeninin miktarı arttıkça, ölçeğe dönüşler sabit kalacak ve nihayet azalıyor olacaktır. Banker ve ark. (1984), ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanan BCC (Banker, Charnes, Cooper) modelini geliştirmişlerdir. Kavramsal olarak, girdi veya çıktıları toplamada bir sabit koyarak üretim sınırının orijinden uzaklaşmasına izin verdiler. Sabit, doğrusal üretim sınırında kesişimin rolünü oynar. Bu modelin ayrıca girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olmak üzere iki biçimi vardır.

3.2.2.1. Girdiye Yönelik BCC Model

Çıktı-girdi oranına dayanan verimlilik ölçütü fikri, çıktıları bir sanal çıktıya ve girdileri de bir sanal girdiye toplamak ve bunların oranını etkinlik ölçüsü olarak almaktır. Girdi modelinde çıktılar, beklenen (minimum) sanal girdiyi hesaplamak

için açıklayıcı değişkenler olarak ele alınır. Minimum sanal girdinin gerçek sanal girdiye oranı, çoklu girdilerden toplanır ve girdi etkinliği olur. Banker ve ark. tarafından geliştirilen modelin (1984) girdiye yönelik hali:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

u_0 , sınırlandırılmamış

(3.9)

Girdiye yönelik CCR modeli ile BCC modeli arasındaki tek fark u_0 değişkeninin modele dahil edilmesidir. Girdiye yönelik BCC modelinin doğrusallaştırılmış hali Eşitlik (3.10)'daki gibidir:

$$E_0 = \max. \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} - u_0$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - u_0 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

u_0 , sınırlandırılmamış

(3.10)

Bu doğrusal model, kesirli bir programın doğrusal bir programa dönüştürülmesi için Charnes ve Cooper (1962) 'de verilen fikri uygulayarak da elde edilebilir. Modelin dual formu Eşitlik (3.11)'deki gibi gösterilebilir:

$$E_0 = \min. \quad \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^- = \theta X_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = Y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

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

$$\lambda_j, S_i^-, S_i^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

θ , sınırlandırılmamış

(3.11)

Girdiye yönelik CCR modelinden farklı olarak dual model de $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ kısıtı eklenmiştir.

3.2.2.2. Çıktıya Yönelik BCC Model

Verimliliği ölçmek için belirtilen çıktı düzeylerini üretmek için gerekli olan minimum girdi miktarının elde edildiği girdiye yönelik modelin aksine, çıktıya yönelik model verimliliği ölçmek için verilen girdi miktarından üretilebilecek azami çıktı miktarını araştırır. Bu konseptte dayanarak, bir KVB'nun verimliliğini ölçmek için çıktıya yönelik BCC modeli şu şekildedir:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \quad \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

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

v_0 , sınırlandırılmamış

(3.12)

Kesirli modelin doğrusal hali:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + v_0$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_0 - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

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

v_0 , sınırlandırılmamış

(3.13)

Modelin duali aşağıdaki gibidir. Dual model ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanmaktadır ve CCR modelinden farklı olarak $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ kısıtı modele dahil edilmiştir.

$$\frac{1}{E_0} = \max. \quad \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^- = X_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - S_r^+ = \varphi Y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

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

$$\lambda_j, S_i^-, S_i^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

φ , sınırlandırılmamış

(3.14)

3.2.3. Ağırlıklar Üzerine Kısıt Konulması

VZA yaklaşımının ilk zamanlarında geniş olarak tartışılan bir konu, Arşimet olmayan küçük ε sayısı için hangi değerin kullanılacağıdır. Bu sayı çok küçükse, yuvarlamadan dolayı bilgisayar hesaplarında göz ardı edilecektir. Öte yandan, yeterince küçük değilse, karar verme birimi Pareto etkinliğini sağlamayabilir. Lewin ve Morey (1981), ε değeri için 10^{-6} değerini önermişlerdir. Ancak, girdi ve çıktıdeğişkenleri için farklı ölçüm birimleri ε 'nin işlevini etkileyeceğinden (örneğin santimetreye karşılık kilometre), farklı ölçeklerin değişkenleri için aynı değeri ε 'ye atamak uygun değildir. Charnes ve Cooper (1984) verimlilik yüzdelik olarak ifade edildiğinde (örn. $E_0 = 1$ 'den ziyade $E_0 = 100$ kullanıldığında) $\varepsilon = 10^{-5}$ kullanılması önerilmiş ve girdi ve çıktısı sayısı 1 ile 100 arasında tutulmuştur. ε değerini belirleme de farklı öneriler de mevcuttur (Fare ve Hunsaker 1986).

Pek çok durumda, ilgili çarpanları belirli aralıklarda (Dyson ve Thanassoulis 1988) formüle eden faktörlerin önemi ile ilgili önceden bilgi vardır:

$$\begin{aligned} L_i^l &\leq v_i \leq U_i^l, & i &= 1, 2, \dots, m \\ L_r^o &\leq u_r \leq U_r^o, & r &= 1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

(3.15)

3.2.4. Sıralama

Ağırlıklara getirilen kısıtlamalarla yakından ilgili olan bir konu da sıralamadır. VZA teknolojisi, etkin KVB'ları tanımlar ve genellikle etkin birden fazla KVB bulunur. Tüm etkin KVB'lar, birinin mükemmel etkinlik skoruna sahiptir, bu da onların sıralamasını zorlaştırmaktadır. Ağırlıklar için sıkı aralıkların uygulanması, etkin KVB'ları ayırt etmeye yardımcı olabilir. Ağırlık kısıtlamalarına ek olarak, sıralama için başka birçok yaklaşım da vardır. Yüksek etkinlik skoruna sahip KVB'lar genellikle daha etkin kabul edilir ve bu nedenle daha yüksek sıralara sahiptir. Bununla birlikte, bazı bilim adamları, verimliliği ölçmek için farklı sınır yönü kullanan KVB'ların karşılaştırılabilir olmadığına ve yalnızca aynı sınır yönü kullananların karşılaştırılabileceğine inanmaktadır. Aynı sınır yönü etkinlik skorlarını hesaplamak için aynı ağırlık değeri anlamına gelir. Bu fikre dayanarak, bazı çalışmalar etkinliği hesaplamak için tüm KVB'lar için aynı ağırlığı kullanıyor.

Bu fikri öne süren ilk makalenin yazarları Roll ve ark. (1991), her KVB'nun etkinliğini hesaplamak için tüm KVB'lardan en yüksek ortalama etkinlik skorunu veren çarpanları kullanmaktadır. Ölçeğe göre sabit getiri altındaki model:

$$\max. \sum_{j=1}^n E_j / n$$

Kısıtlar;

$$E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

(3.16)

j - nci karar verme biriminin etkinliği $E_j = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ij}$ olarak hesaplanır. Böylece ölçülen etkinlik skorları sıralamada ortak bir temel oluşturur. Ortak ağırlık sınırı, tüm KVB'ları üst üste bindiren bir hiperplanedir ve tüm DMUlar etkinliği hesaplamak için bu sınırı kullanır.

Kao ve Hung (2005), çarpanları belirlemek için tüm karar verme birimlerinin ideal etkinlik (geleneksel CCR veya BCC modellerinden hesaplanan) ile fiili etkinlik (ortak ağırlıklardan hesaplanan) değerleri arasındaki toplam farkı en aza indiren ortak ağırlık kümesini belirlemek için bir çözüm önerdiler. Model:

$$\min. \sum_{j=1}^n \left(E_j^* - \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \right)^p$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, \dots, m.$$

(3.17)

E_j^* , CCR modelinden hesaplanan KVB j'nin etkinlik değerini göstermektedir. $p > 1$ olmak üzere uzaklık parametresidir. $p = 1$ olduğunda, model ilk model ile eşdeğerdir ve bu nedenle, tüm KVB'ların ortalama etkinliğini en üst düzeye çıkarma fikrinin bir

uzantısı olarak düşünülebilir. Kao ve Hung (2005), minimum varyansın bir sonucu olarak $p = 2$ olarak kullanmayı önerdi.

Ortak ağırlık ile ilgili bir başka fikir, çapraz etkinliktir (Doyle ve Green 1994). Bu yaklaşım, tüm diğer KVB'ların etkinliğini hesaplamak için KVB j tarafından seçilen çarpanları kullanır. Bu nedenle, her KVB, n KVB tarafından seçilen n çarpan kümesinden hesaplanan n çapraz verimliliğe sahiptir. Daha sonra, her KVB'dan gelen n çapraz etkinlik ortalamaları sıralamada kullanılır. Her KVB'nun etkinliğini ölçmek için CCR veya BCC modellerini kullanmak için birden fazla çözüm bulunduğu için yanlış seçilen çarpanlar yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Bir başka yaklaşım, tüm KVB'ların maksimum ağırlıklı ortalama etkinliğini üreten çarpanları seçmektir. Bu yaklaşım, E_0 değerini elde etmek için karar verme biriminin etkinliğini hesaplayan konvansiyonel VZA modelini kullanır. Daha sonra, n tane KVB'nun ağırlıklı ortalama etkinliğini maksimize eden çarpanlar Eşitlik (3.18)'deki model yardımıyla bulunur:

$$\max. \quad \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} = E_0 \sum_{i=1}^m v_i X_{i0}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

(3.18)

Amaç fonksiyonu, $\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} / \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}$ oranı ile ağırlıklandırılmıştır ve bu durumda $E_j = \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}$, $j = 1, 2, \dots, n$ etkinliklerinin ortalamasıdır. En uygun çözüm (u^* , v^*), her KVB d'nin etkinliğini E_{d0} hesaplamak için kullanılır. Bu durum, her KVB d'nin çapraz etkinliğini E_{df} elde etmek için her KVB f tarafından tekrar edilir. KVB d için ortalama etkinlik $\bar{E}_d = \sum_{f=1}^n E_{df} / n$ ile hesaplanır ve elde edilen etkinlik değerlerine göre sıralama yapılır.

Sıralama yöntemlerinin çoğu etkinlik hesaplamasında kullanılan çarpanların aralığını kısıtlama fikrine dayanmaktadır. Buna karşılık, Andersen ve Petersen

(1993), n tane KVB'nin etkinliğini hesaplayıp sıralamak içingeri kalan (n-1) adet KVB'lerin sınırlarını oluştururken ele alınan KVB'yi ortadan kaldırmayı önermişlerdir. Bununla birlikte, bu yöntem yalnızca etkin KVB'leri sıralamak içindir. Ortadan kaldırılan KVB'ler etkin olduklarından, yeni sınırın kapsadığı bölgenin dışına çıkacak ve bu sınır üzerinden hesaplanan etkinlik skorları birden büyük olacaktır. Bu nedenle bu etkinlik endeksinin süper etkinliği ölçtüğü söylenmektedir. Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında, ele alınan KVB'nun süper etkinliğini hesaplamak için çıktıya yönelik model Eşitlik (3.19)'daki gibidir:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \quad \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}$$

Kısıtlar;

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

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

v_0 , sınırlandırılmamış

(3.19)

CCR ve BCC modelleri arasındaki en büyük fark ölçek etkisidir ve birçok makale bu konuyu ele almaktadır. Seiford ve Zhu (1999) ölçeğe dönüşleri belirlemek için üç temel yöntemi ve birden fazla çözümün etkilerini gözden geçirdi. Banker ve ark. (2004) çeşitli VZA modelleri için ölçeğe geri dönüşleri tartıştı. Bu konuyla ilgili bazı diğer eserler arasında Jahanshahloo ve Soleimani-Damaneh (2004), Zarepisheh ve Soleimani-Damaneh (2009) ve Fukuyama (2000) sayılabilir.

Ağırlık kısıtlamaları konusu VZA literatüründe de geniş bir şekilde tartışılmaktadır ve ilgili yöntemleri sınıflandırmanın farklı yolları vardır. Aşağıdaki çalışmalar bu konuyla ilgili literatürü gözden geçirmiştir: Roll ve Golany (1993), Allen ve ark. (1997), Angulo-Meza ve Estellita Lins (2002), Joro ve Viitala (2004) ve Sarrico ve Dyson (2004). Podinovski ve Thanassoulis (2007), Khalili ve ark. (2010), Podinovski ve Bouzdine-Chameeva (2013) ve Førsund (2013) da bu konuyu tartışmaktadırlar.

Soltanifar ve Lotfi (2011), birkaç sıralama metodunun güçlü ve zayıf yönlerini tartışmış ve analitik hiyerarşi süreci metodunu önermişlerdir. Wu ve ark. (2012), sıralama için farklı çapraz verimlilik yöntemlerini karşılaştırdı. Sıralama için

kullanılan yöntemlerin diğer kapsamlı incelemeleri Adler ve ark. (2002), Singh ve Chand (2007), Jablonsky (2012) ve Hosseinzadeh ve ark. (2013). şeklindedir.

3.3. Network Veri Zarflama Analizi

Fiziksel bilimlerde, birkaç faktör arasındaki ilişkiyi gösteren teorik standartlar sıklıkla mevcuttur, bu da bir üretim biriminin performans ölçümünü mümkün kılar. Bununla birlikte, gözlemlerden derlenen ampirik standartların dayandığı sosyal bilimler için durum böyle değildir. Farrell'in (1957) ABD'deki 48 eyalette üretken verimlilikleri üzerine çalışması muhtemelen verimlilik ölçümüyle ilgili ilk ampirik çalışma idi. Bu çalışma, bir standart oluşturdu ve bunları üretken verimliliği ölçmek için kullandı. Bu öncü çalışmada çıktıların sayısı bir ile sınırlıydı ve ölçeğe dönüşler sabit kabul edildi. Bunlar daha sonra Farrell ve Fieldhouse (1962) tarafından değiştirilebilir duruma getirildiler. Bu yöntemin bir özelliği, üretim fonksiyonunun matematiksel formunu belirtmek zorunda kalmaması ve bu nedenle parametrik olmayan bir yaklaşım olarak anılmasıdır. Bunun aksine, Aigner ve Chu (1968) bir Cobb-Douglas üretim fonksiyonu yardımıyla bir çıktıya sahip olan ABD'deki birincil metal endüstrisi için matematiksel programlama tekniğini kullandılar. Üretim fonksiyonunun matematiksel formu bilindiği için buna parametrik bir yaklaşım denmektedir.

Charnes ve ark. (1978), çıktıları bir sanal çıktıya ve girdileri bir sanal girdiye birleştirmek için kesirli bir programlama tekniği önermiş ve bunların bir üretim biriminin göreceli verimliliğini temsil eden oranı kullanılmıştır (Karar verme birimi, Decision Making Units (KVB) olarak genelleştirilmiştir). Dual formülasyonunda, gözlemler üretim fonksiyonu tarafından zarflanır ve tekniğe Data Envelopment Analysis (VZA) olarak kısaltılan veri zarflama analizi adı verilir. Bu çalışmanın üçüncü yazarının doktora tezinde (Rhodes 1978) bu ad ilk kez tanıtıldı. İşlev formunun belirtilmesi gerekmediğinden, parametrik olmayan bir yaklaşımdır. Ölçeğe dönüşlerin Charnes ve ark. (1978) tarafından sabit olduğu varsayılmıştır. Banker ve ark. nın daha sonraki bir çalışmasında (1984), bu varsayım, değişken getirilerin ölçeklenmesine izin vermek için esnetilmiştir. Aynı yıl Byrnes ve ark. (1984) mesafe fonksiyonları kavramına dayalı aynı verimlilik türünü türetmiştir (Shephard 1970). Førsund ve ark. (1980), verimlilik ölçüm yöntemlerini altı kategoriye ayırmışlardır, ancak temelde yukarıda belirtildiği gibi parametrik ve parametrik olmayan iki yaklaşıma aittir.

Charnes ve ark. (1978)'nın çalışmalarından sonra,VZA metodolojileri ve uygulamaları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Gerçekten de, bu sayı birkaç inceleme çalışmasında gösterildiği gibi her geçen yıl artmaktadır(Seiford 1996; Gattoufi ve arkadaşları 2004; Emrouznejad ve ark. 2008; Cook ve Seiford 2009; Liu ve arkadaşları 2013a, b; Lampe ve Hilgers 2015).Bu tür çalışmalar, KVB'ların bütün bir ünite olarak verimliliğini ölçmek üzerine yoğunlaşmıştır; sadece KVB tarafından sağlanan girdiler ve KVB tarafından üretilen çıktılar dikkate alınmıştır.Gerçekte, organizasyonlar genellikle her biri farklı işlevler yerine getiren ve örgütsel performansa neden olacak şekilde çok yönlü etkileşime giren birkaç bölümden oluşur. Bölümler arasındaki etkileşimler dikkate alınmadığında, sonuçlar çarpıtılır ve yanıltıcı olur.Örneğin, bankacılık ve benzeri endüstrilerin işlemleri, sermaye toplama ve yatırım olmak üzere iki işleme sahiptir. Bilgi teknolojisinin (BT) bir bankanın performansı üzerindeki etkisini araştıran biri, karlılık üzerinde doğrudan bir etkisinin bulunmadığı sonucuna varabilir.Bunun nedeni, BT'nin sermaye toplama için yararlı olması, ancak bir bankanın kâr edip etmeyeceği ya da yapılmadığı doğru yatırım kararlarına bağlı olmasıdır.Bu nedenle, bir KVB'nun performansını incelemek için, bileşen bölümlerini incelemek gerekir, böylece herhangi bir verimsizliğin nedeni saptanabilir ve ölçülen etkinlik anlamlı olacaktır.

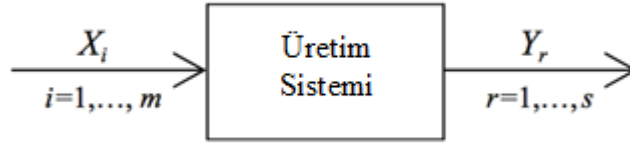
VZA'nın gelişiminin ilk evrelerinde, Charnes ve ark. (1986), iki süreçten oluşan ordu işe alım çalışmalarında bu olgunun farkına vardılar: ilk olarak reklamlar yoluyla farkındalık yaratıldı ve ikinci olarak oluşturulan sözleşmeler. Büyük operasyonları daha küçük olanlara ayırmak, girdi faktörlerinin gerçek etkisini belirlemeye yardımcı olur. Verimliliği ölçmede, bir üretim sisteminin bileşen bölümlerini de değerlendirme fikri 1980 ve 1990'larda literatürde tartışılmış olsa da, network VZA'nın ilk incelenmesi 2000'de olmuştur (Fare ve Grosskopf, 2000). Tüm bir birimin veya kara kutunun performans ölçümünün yapılması nispeten basittir, çünkü sadece KVB tarafından üretilen çıktılar ve tedarik edilen girdiler göz önünde bulundurulmalıdır. Aksine, ağ sistemi performans ölçümleri, genel bir model kullanarak ifade etmek zordur, çünkü ağ üretim sisteminin farklı yapıları söz konusudur.Ağ sistemlerinin en basit yapısı iki aşamalı tandem sistemidir; burada sistemin nihai çıktılarını üretmek için ikinci aşamada kullanılacak bir ara ürün seti üretmek için dışardan gelen girdilerin hepsi ilk aşamada kullanılır. Basit yapısı ve geniş uygulaması nedeniyle, bu sistem literatürde yaygın olarak tartışılmıştır (Cook

ve ark.nın (2010) çalışmasına bakınız). Bununla birlikte, sistemin karmaşıklığı arttıkça, modelin sistematik ifadesi de ancak belirli sistem türleri için mümkün olmaktadır. Bu, tüm birim analizleri için halihazırda mevcut olan sorunlar ve diğer sorunlarla birlikte, ağ analizini daha da karmaşık hale getirebilir. Network VZA ile ilgili olarak Kao (2014)'nin yaptığı inceleme, birçok ilgili model ve uygulamanın ayrıntılarını sunar ve bu konunun iyi bir genel görünümünü sunar.

Ekonomik teoride üretim fonksiyonu, mevcut teknoloji göz önüne alındığında, herhangi bir girdi setinden üretilebilecek azami çıktı miktarını gösteren matematiksel bir denklemdir (Ferguson ve Gould 1986). Bu bağlamda, üretim fonksiyonu, bir üretim biriminin belli bir girdi kombinasyonu ile elde etmeyi umduğu en yüksek çıktı sınırını belirler. Maksimum üretim miktarı ile bir üretim birimi tarafından üretilen gerçek miktar arasındaki fark, bu birimin verimsizliğinden kaynaklanmaktadır.

Üretim fonksiyonu genellikle bilinmemektedir ve gerçek hayattan toplanan verilerden tahmin edilmelidir. Bunu gerçekleştirmek için kullanılan örnekleme süreci kapsamlı olmayabilir ve birimlerin hiçbirinin verimli bir şekilde çalışmaması da mümkündür, ampirik olarak tahmin edilen üretim fonksiyonu daima gerçek değer altında bulunur. Böylece, tahmin edilemeyen üretim fonksiyonundan ölçülen birim etkinlik daima abartılmıştır. Bu nedenle, ampirik üretim fonksiyonundan ölçülen verimlilik, mutlak verimlilik yerine, göreceli verimlilik olarak adlandırılır ve bu da örnek alınan diğer birimlerle ilişkili bir önlem olduğunu vurgular.

Bir üretim sürecinin en genel durumu çoklu girdilerin çoklu çıktılar üretmek için kullanılmasıdır. Bu, gerçek dünyada çok yaygındır. Örneğin, bu bölümün başında belirtildiği üzere, bir orman, kereste üretimi için toprak, işçilik, masraflar ve orman stoklarını kullanır ve toprağın korunması, oksijen üretimi, karbon dioksit emilimi, dinlenme tesisleri ve yaban hayatı yaşam alanı hizmetlerini sunmak için kullanılır. Genel bir üretim sistemi şekilde gösterildiği gibi bir kara kutu ile temsil edilebilir. Burada, m adet girdi $X_i, i = 1, 2, \dots, m$ ve s adet çıktı $Y_r, r = 1, 2, \dots, s$ bulunmaktadır. Girdiler ve çıktılar arasındaki ilişki, tüm birimlerin $P(.) \leq 0$ koşulunu sağlaması varsayımı altında $P(X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_s) = 0$ üretim sınırı ile açıklanabilir. Üretim sınırında yer alan bir k birimi, $P(X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_s) = 0$ ise verimli, $P(X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_s) < 0$ ise verimsizdir.



Şekil 3.13. Üretim sisteminin gösterimi

$P(.)$ üretim sınırını oluşturmak için farklı yollar vardır ve üretim sınırındaki farklı verimlilik noktaları üretmek için referans olarak kullanılabilirler. Önceki bölümlerde görülen grafik çizimler, parametrik olmayan VZA yaklaşımının, değerlendirilmekte olan tüm birimler için en uygun verimlilik ölçümlerini verdiğini göstermektedir. Bu nedenle VZA etkinlik ölçümü için etkili bir yaklaşım olarak düşünülmüştür. Üretim sınırı; örneklenmiş birimlerden yapıldığı için, her birim için ölçülen etkinlik, sonuçların, sınırın oluşturulmasında kullanılan diğer birimlerle ilişkili olduğu göz önüne alınarak, görece bir ölçüttür. Daha fazla birim dahil edildiğinde, üretim sınırı yükseltilecek ve dolayısıyla ölçülen verimlilik düşecektir.

Bir sistem genelde birçok bölümden oluşur ve her biri belirli işlevleri yerine getirir. Sistemin bütününe performansı ile ilgilenildiğinde, yalnızca sisteme girilen girdiler ve üretilen çıktılar göz önünde bulundurulduğunda, tüm sistem veya kara kutu analizi olarak adlandırılır; çünkü çıktılar ara ürünlerin girdilerinden dönüştürülmesi ile ilgilenmez. Eğer bir bölümün etkinliği ile ilgileniyorsa, bölüm bir kara kutu olarak ele alınabilir ve yalnızca girilen girdiler ve üretilen çıktılar düşünülebilir. Bir başka deyişle, bölüm KVB olarak düşünülür. n tane KVB'nin etkinliğinin değerlendirildiğini düşünelim.

j - ncı KVB'yi, $j = 1, \dots, n$, $Y_{rj}, r = 1, 2, \dots, s$ çıktılarını üretmek için $X_{ij}, i = 1, 2, \dots, m$ girdilerini kullanır. Verimlilik, girdi ve çıktı olmak üzere iki açıdan ölçülür; ilk olarak aynı miktarda çıktı üretirken girdinin ne kadar azaltılabileceği ile ilgilendiği ve ikincisi, aynı miktarda girdi tüketirken, çıktı miktarının ne kadar artırılabilceği ilgilendirir. Daha sonra hem girdilerin hem de çıktılarının, ölçüm verimliliklerinde sabitlenmesi gerektiği bulunmuştur. Verimliliği ölçmek için karşılaştırma ölçütleri olarak, daha fazla çıktı ve daha az girdi bulunan baskın birimler kullanılabilir. Bu türdeki modellere, birleşik girdi- çıktı modelleri

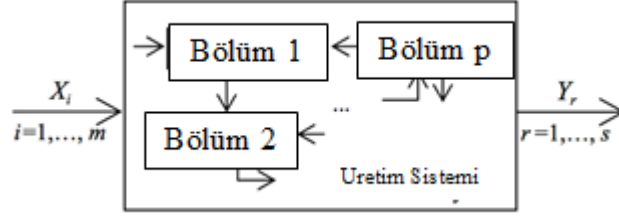
denir. Mevcut modellerin tümü, girdi, çıktı ve birleşik girdi-çıktı olmak üzere üç tipten birine aittir.

Verimliliği ölçmek için kullanılan modellerin, farklı ölçüm kavramlarına dayanan farklı matematiksel formları vardır. Birincisi, etkinliği toplam çıktının toplam girdiye oranı olarak ifade eden bir çıktı-girdi oranı ölçüsüdür. İkincisi, değerlendirilmekte olan KVB arasındaki mesafeyi ve verimliliği ölçmek için üretim sınırındaki bir referans noktasını kullanan bir uzaklık fonksiyonu ölçüsüdür. Üçüncüsü, verimliliği ölçmek için tüketilen aşırı girdileri ve çıkıştaki eksiklikleri kullanan aylak tabanlı bir ölçüdür. Üçüncüsü, verimliliği ölçmek için tüketilen aşırı girdileri ve çıktıdaki eksiklikleri kullanan aylak tabanlı bir ölçüdür.

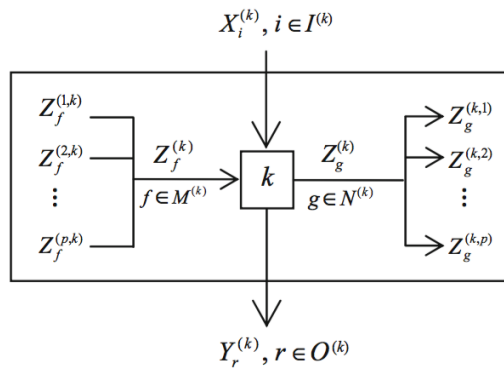
Klasik üretim teorisinde, üretim; girdi değişkeninin marjinal ürünü olarak artan, azalan ve negatifleşen farklı evrelere ayrılır ve KVB'ların farklı evrelerdeki verimliliğini değerlendirmek için farklı VZA modelleri geliştirilir. Üretim aşamalarına ek olarak, girdi ve çıktı faktörleri arzu edilip edilmediği gibi özel karakteristiklere sahip olabilirler ve veriler farklı türde olabilir.

Tüm sistem analizi bir sistemin performansı hakkında genel bir fikir vermektedir. Bununla birlikte, bir sistem genellikle birbirine bağımlı olarak çalışan birkaç bölümden oluştuğundan, bileşen bölümlerinin işlemlerini göz ardı etmek yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Literatürde, tüm bileşen bölünmeleri yokken bile genel bir sistemin verimli olabileceğini göstermek için bir takım örnekler sunulmuştur (Kao ve Hwang 2008). Daha da önemlisi, bir sistemin tüm bileşen bölümlerinin başka bir sistemin performansından daha kötü performans sergilediği ve halen daha iyi bir sistem performansına sahip olduğu durumlar vardır (Kao ve Hwang 2010). Bu bulgular, verilerin mevcut olması durumunda verimin ölçülmesinde doğru sonuçlar üretmek için bir üretim sisteminin iç yapısının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Şekil, bir sistemin bileşen bölmelerinin, sisteme üretilen ve tüketilen bazı ara ürünler vasıtasıyla sisteme verilen girdileri nihai çıktılara dönüştürdüğünü gösteren kavramsal bir diyagramdır. Birçok model, iç yapı düşünülürken, bu tür sistemlerin etkinliklerini ölçmek için geliştirilmiştir. Bir sistemin p bölümden oluştuğunu varsayalım. (Alt birim, alt-KVB ve bileşenler gibi bunun için başka terimler de kullanılmıştır ve belirsizlik olmadığında bölüm terimini kullanacağız).

$k = 1, 2, \dots, p$ bölüm sayısı olmak üzere, j.karar verme birimi için $X_{ij}^{(k)}$, dışarıdan sağlanan i.girdi ve $Y_{rj}^{(k)}$, sistemin son çıktısı olsun.



Şekil 3.14. Üretim sisteminin network gösterimi



Şekil 3.15. Network üretim sistemindeki her k bölümünün işleyişi

Tüm p adet bölüm için $X_{ij}^{(k)}$ ve $Y_{rj}^{(k)}$ 'nin toplamaları, X_{ij} sistem girdisi ve Y_{rj} sistem çıktısını ifade etmektedir. Yani, $\sum_{k=1}^p X_{ij}^{(k)} = X_{ij}$ ve $\sum_{k=1}^p Y_{rj}^{(k)} = Y_{rj}$ 'dir. a bölümü tarafından üretilen f. ara değişkeni $Z_{fj}^{(a,k)}$ ile ve b bölümü ile üretilen g. ara değişkeni $Z_{gj}^{(b,k)}$ ile gösterelim. k bölüm için farklı bölümler tarafından üretilen aynı f ara değişkeni $Z_{fj}^{(k)}$ olarak toplanabilir. Yani, $\sum_{h=1}^p Z_{fj}^{(h,k)} = Z_{fj}^{(k)}$ 'dir. Benzer şekilde, g. ara değişkeni için de $\sum_{k=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} = Z_{gj}^{(k)}$ yazılabilir. Bu notasyonlarla birlikte yukarıdaki şekilde genel bir ağ yapısı gösterilmektedir.

NetworkVZA modellerinin geliştirilmesinde kullanılan iki temel kavram vardır, etkinlik ayrıştırması ve etkinlik toplanması. Etkinlik ayrıştırmasının temel fikri, bileşen bölümlerinin işlemlerini göz önüne alırken, ona verilen girdilere ve üretilen çıktılara dayalı bir sistemin verimliliğini ölçmektir. Her bir bölümün verimliliği hem ara, hem tüketilen girdilere, hem final, hem de ara bölümlere bölünerek üretilen çıktılara dayalı olarak ölçülür. Sistemin verimliliği, genellikle, bir

fonksiyonla ifade edilen bileşen bölümlerine ayrılabilir. Etkinlik toplanması için, sistemin etkinliği bölümlerinkinin bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu durumda, bölünmenin verimliliğini ölçmek için ara ürünler, sistem verimliliğinin hesaplanmasına dahil edilmişlerdir ve bu, bu yaklaşım ile etkinlik ayırıştırma yaklaşımı arasındaki temel farklılıktır.

Ağ üretim sistemleri farklı yapılara sahiptir ve verimlilik ölçümünün tartışması genellikle sistemin yapısına dayanmaktadır. Ağ sisteminin en basit yapısı ve en çok tartışılan sistem iki gruba ayrılmış tandem sistemidir ve genelde iki aşamalı sistem olarak adlandırılır. Burada tüm girdiler ikinci bölümün tüm nihai çıktıları üretmesi için bir dizi ara ürün üretmek amacıyla ilk bölüme verilir. Bu yapının bir uzantısı, birinci bölümün çıktılarının birçoğunun son çıktılar olmak üzere sistemden gönderildiği genel iki aşamalı sistemdir ve ikinci bölüm de dışarıdan tedarik edilen girdileri tüketir. Genel iki aşamalı sistem birden fazla aşamaya genelleştirilebilir. Bütün bu sistemlerin bir seri yapısı vardır. Serilerden farklı olarak başka bir yapı, sistemde bağımsız olarak çalışan bazı bölümlerin dışarıdan temin edilen bir takım girdileri içerdiği ve bir dizi nihai çıktı ürettiği paralel yapıdır. Bütün bu yapılar modellerle sistematik bir şekilde açıklanabilir. Modellerle sistematik olarak tarif edilemeyen, ancak sistematik olarak tanımlanabilen bir yapıya dönüştürülebilen iki simetrik yapı monte ve demonte yapılarıdır. Birincisi, çeşitli girdileri bir araya getirmek için farklı bölümlerden üretilen birkaç aracı ürünü bir araya getirirken, ikincisi bir takım girdileri birkaç bölme yoluyla farklı çıktılara dönüştürür. İkincisinin özel bir örneği hiyerarşi sistemidir, burada bir bölümdeki girdiler operasyon olmaksızın kendi alt bölümlerine iletilir. Bu yapıların dışındaki sistemler yapılandırılmamış genel ağ sistemidir.

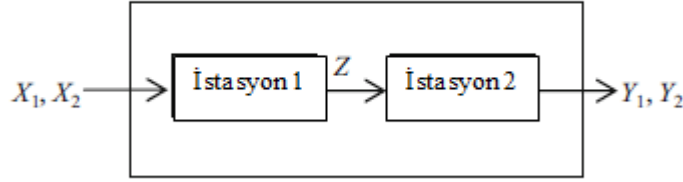
Bu çalışmada, sistemin ve süreçlerin etkinliğini ölçmek için sistemin ve sistem içerisinde yer alan süreçlerin ara ilişkilerinin de hesaba katıldığı ilişkisel bir ağ veri zarflama analizi modeli ele alınmıştır.

3.3.1. Network Veri Zarflama Analizinde Etkinlik Değerlendirmesi

Bir KVB'nun etkinliğini ölçerken, onu bir fabrika olarak değerlendirebiliriz ve değerlendirici, ürün üretimine giren malzeme miktarını ve işçi sayısını sayarak tesisin dışında durur. Bir süre sonra değerlendirici, fabrika tarafından gönderilen ürün miktarını sayar. Tüketilen girdilerden ve üretilen çıktılarından, konvansiyonel VZA tekniği ile diğer fabrikalarla karşılaştırıldığında bu fabrikanın görece verimliliğini

ölçebilir. Bu durumda fabrika, malzemelerin fabrika içindeki çıktılara nasıl dönüştürüldüğü bilinmediğinden, bir kara kutu olarak ele alınır.

Bir fabrika düşünelim. Y_1 ve Y_2 çıktılarını üretmek için X_1 ve X_2 girdilerini kullansın. CCR modeline göre yapılan değerlendirme sonucunda fabrikanın etkin olmadığı ortaya çıksın. Bu durumda, işletme müdürü iyileştirme kararı alarak, değerlendiricilerden yardım ister. Değerlendiriciler mevcut teknolojiye girdilerin ne kadar düşürülebileceğini ve çıktıların ne kadarının artırabileceğini incelemek için fabrikaya girer ve bütün üretim sürecinin iki iş istasyonunda gerçekleştirilen iki önemli işlemi içerdiğini tespit eder. Spesifik olarak, istasyon 1, ara ürün Z 'yi üretmek için X_1 ve X_2 girdilerini kullanır ve istasyon 2, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, ara çıktıyı kullanarak Y_1 ve Y_2 nihai çıktıları üretir.

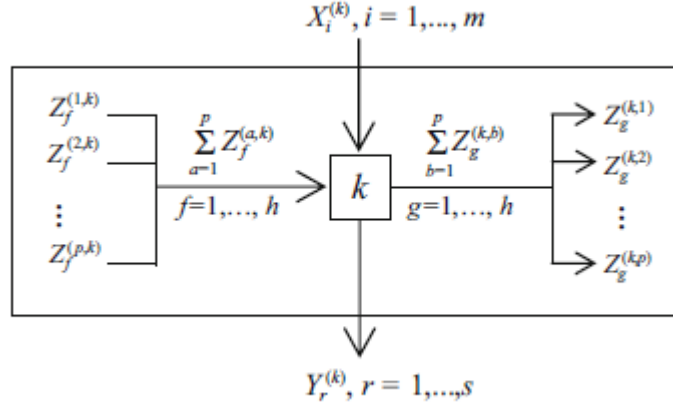


Şekil 3.16. İki iş istasyonlu bir fabrika çalışma örneği

Bu örnek, tüm birimin bir parçası olan istasyonların operasyonlarının verimlilik ölçümünde dikkate alınmadığı takdirde, tüm birim olarak tesisin verimliliğinin abartılmış olacağını göstermektedir. Daha fazla istasyon bulunduğunda abartmanın daha ciddi olacağı beklenmektedir. Bu nedenle, veri mevcut olduğunda, istasyonların operasyonları anlamlı sonuçlar elde etmek için düşünülmelidir.

Kao (2009), ilişkili modelleri bağımsız, bağlı ve ilişkisel olmak üzere üç tür halinde sınıflandırdı. Literatürde, network sistemlerinin etkinliğini ölçen çalışmalarda, ilgilenilen birim için sistem ve KVB ve bileşenler için de alt KVB, alt birim ve alt süreç gibi farklı terimler kullanılmıştır. p bölümden oluşan bir sistem düşünelim. j . karar verme biriminin $j = 1, 2, \dots, n$, $X_{ij}^{(k)}$, $i = 1, 2, \dots, m$ dışarıdan sağlanan i .nci girdisi ve $Y_{rj}^{(k)}$, $r = 1, 2, \dots, sk.nci$ bölümden $k = 1, 2, \dots, p$ üretilen r .nci nihai çıktısı olsun. j .nci KVB tarafından üretilen r .nci çıktı için $Y_{rj} =$

$\sum_{k=1}^p Y_{rj}^{(k)}$ ve kullanılan i . girdi için $X_{ij} = \sum_{k=1}^p X_{ij}^{(k)}$ şeklindedir. Şekil 3.4’de genel bir ağ sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Genel bir ağ yapısı

Network sistemleri karakterize eden bir özellik de ara üründür. Dışardan tedarik edilen dışsal girdilerden ve dışarıdan üretilen nihai çıktılardan farklı olarak, ara ürünler sistem içinde üretilir ve tüketilir; dolayısıyla dışarıdan görülemez. b bölümü için a bölümü tarafından üretilen $g = 1, 2, \dots, h$ olmak üzere g . ara ürün $Z_{gj}^{(a,b)}$ ile gösterilsin. Bu durumda, $\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)}$ diğer bölümlerin kullanımı için k bölüm tarafından üretilen g . ara ürünün toplam miktarıdır. Benzer şekilde, $\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)}$ de k bölümün kullanımı için diğer bölümler tarafından üretilen f . ara değişkenin toplam miktarıdır. Teorik olarak her bölüm tüm girdileri ve ara ürünleri tüketebilir ve tüm çıktıları ve ara ürünleri üretebilir. Bununla birlikte, gerçekte, bir bölüm yalnızca belirli girdileri ve ara ürünleri tüketerek, belirli çıktılar ve ara ürünler üretecektir. Başka bir deyişle, pek çok $X_{ij}^{(k)}$, $Y_{rj}^{(k)}$ ve $Z_{gj}^{(a,b)}$ sıfırdır.

Sistemin, sadece dışarıdan temin edilen dış kaynaklı girdilerin ve dışarıdan üretilen nihai çıktıların dikkate alınması şeklinde bir kara kutu olarak ele alındığını varsayalım.

Ağırlıklandırılmış formda CCR girdiye yönelik modeli şöyledir:

$$\max. \sum_{r=1}^s u_r \left(\sum_{k=1}^p Y_{r0}^{(k)} \right)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i \left(\sum_{k=1}^p X_{i0}^{(k)} \right) &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r \left(\sum_{k=1}^p Y_{rj}^{(k)} \right) - \sum_{i=1}^m v_i \left(\sum_{k=1}^p X_{ij}^{(k)} \right) &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

(3.20)

Bir network sistemin performansını araştırmanın en basit yolu, her bir bölümün verimliliğini bağımsız KVB'ler olarak değerlendirerek ölçmektir. Başka bir deyişle, bir KVB'nin her bir bölümü, konvansiyonel VZA modellerini uygulayarak diğer KVB'lerin ilgili bölümüyle karşılaştırılmıştır.

Bir KVB'nin k. bölümünün girdiye yönelik CCR modeline göre oluşturulmuş etkinliğinin ağırlıklandırılmış düzenlenmiş hali:

$$\max. \sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{g0}^{(k,b)} \right)$$

(3.21)

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{i0}^{(k)} + \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right) &= 1 \\ \left[\sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{ij}^{(k)} + \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)} \right) \right] &\leq 0, \\ j = 1, 2, \dots, n \quad u_r^{(k)}, v_i^{(k)}, w_g^{(k)}, \hat{w}_f^{(k)} &\geq 0, \quad \forall r, i, g, f \end{aligned}$$

Bu modelde, bölüm tarafından üretilen ara girdiler ve ara çıktılar da verimliliği ölçerken dikkate alınır. Sonuçlar, k. bölümün diğer KVB'lere kıyasla nasıl bir performans sergilediğini göstermektedir. Eşitlik (3.22) her bir KVB'nin bir bölümüne

karşılık gelir. Tüm p bölüm için Eşitlik (3.22) çözülerek, her bir bölümden birer tane olmak üzere, tüm p bölümün etkinlikleri elde edilir. p tane doğrusal program, aşağıdaki formdaki gibi ayrılabilir bir program oluşturmak üzere bir araya getirilebilir, böylelikle tüm p bölümlerinin etkinlikleri bir seferde elde edilebilir:

$$\max. \quad \sum_{k=1}^p \left[\sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{g0}^{(k,b)} \right) \right]$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{i0}^{(k)} + \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right) = 1, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

(3.22)

$$\left[\sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{ij}^{(k)} + \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)} \right) \right] \leq 0,$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad u_r^{(k)}, v_i^{(k)}, w_g^{(k)}, \hat{w}_f^{(k)} \geq 0, \quad \forall r, i, g, f$$

Amaç fonksiyonundaki köşeli ayraç içindeki her terim, bir bölümün verimliliğine karşılık gelir ve kısıtlar, p bölüm için numaralandırılan modelin kısıtlarıdır.

Fare ve Grosskopf (1996a, 2000), network bir sistem için belirlenen üretim olasılığını formüle etmişler ve üretim imkânı üzerinde tanımlanan mesafe işlevlerini sistemin etkinliği olarak kullanmışlardır. Çok sayıda network VZA çalışmaları bu fikri sistemin verimliliğini ölçmek için kullanmaktadır. Modellemede, bölümler ara ürünler vasıtasıyla bağlanır ve ilgili modellere Kao (2009) tarafından “bağlı model” adı verilir.

Girdiye yönelik CCR modelinin ağırlıklandırılmış şekli:

$$\max. \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{r0}^{(k)} + \sum_{k=1}^p \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{g0}^{(k,b)} \right) - \sum_{k=1}^p \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{i0}^{(k)} = 1,$$

(3.23)

$$\left[\sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^m v_i^{(k)} X_{ij}^{(k)} + \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)} \right) \right] \leq 0,$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad u_r^{(k)}, v_i^{(k)}, w_g^{(k)}, \hat{w}_f^{(k)} \geq 0, \quad \forall r, i, g, f$$

Bu model, bağımsız modele çok benzemektedir, yalnızca normalleştirme kısıtı, p tane normalleştirme kısıtlarının toplamıdır ve ara girdi değişkenleri de amaç fonksiyonuna eklenir. Girdiye yönelik etkinlik Eşitlik (3.24)'deki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$\sum_{k=1}^p \left[\frac{\sum_{r=1}^s u_r^{(k)} Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^{(k)} \left(\sum_{b=1}^p Z_{g0}^{(k,b)} \right) - \sum_{f=1}^h \hat{w}_f^{(k)} \left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right)}{\left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right)} \right]$$

(3.24)

Bağımsız model, bölüm verimliliklerini bağımsız olarak ölçmektedir. Sistem verimliliği isteniyorsa, genellikle bölüm verimliliklerinin toplamı olarak harici olarak tanımlanmalıdır. Bağlı model, bölümlerin işlevlerini dikkate alarak sistem verimliliğini ölçer. Genellikle bölümlerin verimliliği elde edilemez ve bölümler KVB olarak ele alınarak bağımsız bir model üzerinden ölçülmelidir. Bu iki modelin kavramlarını birleştiren Kao (2009), hem sistemin hem de bölümlerin verimliliğini ölçebilen bir ilişkisel model önermişlerdir. Dahası, farklı ağ yapıları için sistem verimliliği ve bölüm verimliliği arasındaki ilişki olduğu söylenebilir. Bağlı modele benzer şekilde, ilişkisel modelin ana amacı, sistem verimliliğini ölçmektir. Ayrıca, ilişkisel model, bölümlerin işlevleri göz önünde bulundurulduğunda, bölümlerin etkinliklerini aynı anda, ekstra çaba harcamadan ölçebilir. İlişkisel model, hangi faktörün hangi çarpanla aynı olduğuna, hangi bölüme karşılık geldiğine veya girdi,

çıktı veya ara ürün gibi hangi rolleri oynadığına bağlı olarak çarpan biçiminde formüle edilir.

Girdiye yönelik CCR modelinin ağırlıklandırılmış şekli:

$$\max. \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}^{(k)}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m v_i X_{i0}^{(k)} = 1$$

$$\left(\sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(k)} \right) - \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m (v_i X_{ij}^{(k)}) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\left[\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g \left(\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(k)} + \sum_{f=1}^h w_f \left(\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)} \right) \right] \leq 0,$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad u_r, v_i, w_g \geq 0, \quad \forall r, i, g$$

(3.25)

Amaç fonksiyonu, sistemin etkinliğidir. İkinci kısıt kümesi bir KVB'ye ve üçüncü kısıt kümesi bir bölüme karşılık gelir. $Z_g^{(a,b)}$, a bölümü tarafından üretilip b bölümü tarafından kullanılacak olan ara değişkeni göstermektedir. Bütün p bölüm tarafından üretilen ara çıktıların toplamı, tedarik edilen ara girdilerin toplamına eşittir. Yani,

$$\sum_{k=1}^p \sum_{f=1}^h w_f \left(\sum_{a=1}^p Z_{fj}^{(a,k)} \right) = \sum_{k=1}^p \sum_{g=1}^h w_g \left(\sum_{b=1}^p Z_{gj}^{(k,b)} \right)$$

şeklindedir.

İlişkisel modelin en önemli özelliği, amaç fonksiyonundan sistem etkinliği E_0 'ın elde edilmesi ve kısıtlardan da bölüm etkinlikleri olan $E_0^{(k)}$ etkinliklerinin elde edilmesidir.

Bu durum Eşitlik (3.26)'da gösterilmektedir.

$$E_0 = \frac{\sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} = \sum_{k=1}^p \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)} \quad (3.26)$$

$$E_0^{(k)} = \frac{\left[\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g=1}^h w_g^* \left(\sum_{b=1}^p Z_{g0}^{(k,b)} \right) \right]}{\left[\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)} + \sum_{f=1}^h w_f^* \left(\sum_{a=1}^p Z_{f0}^{(a,k)} \right) \right]}$$

$$k = 1, 2, \dots, p$$

Pek çok network yapıda, sistem verimliliği, bölüm verimliliklerinin bir fonksiyonu olarak parçalanabilir. Kao (2009), sistem verimliliği ile bölüm verimliliği arasında daima bir ilişki olduğunu gösterdi. Bu nedenle bu tip bir model, ilişkisel model olarak adlandırılır.

Bağımsız modelin network sistemlerde uygulamaları üzerine birçok çalışma vardır, Wang ve ark. (1997), Seiford ve Zhu (1999) ve Sexton ve Lewis (2003) en ünlüleridir. Network sistemler için verimlilik ölçümünü tartışmak için network bir yaklaşım kullanan ilk çalışma muhtemelen Fare ve Whittaker (1995)'dir. Fare ve arkadaşlarının network sistemlerinin modellenmesi ile ilgili diğer çalışmalar arasında Fare ve Grosskopf (1996a, b) ve Fare ve ark. (2007, 2014) gösterilebilir. İlişkisel model Kao'ya (2009) atfedilirken, Kao (2013, 2014a) daha sonra çalışmaları ile katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda Network sistemler için aylak tabanlı etkinlik ölçümleri Fukuyama ve Mirdehghan (2012), Avkiran ve McCrystal (2012), Kao (2014b), Tone ve Tsutsui (2014a, 2014b) ve Lozano (2015) tarafından artış göstermiştir. Network VZA modelleri farklı çalışmalarda farklı şekillerde sınıflandırılmış veya ayrıştırılmıştır. Castelli ve ark. (2010), Cook WD ve ark. (2010a, b), Kao ve Hwang (2010), Chen ve ark. (2013) ve Kao (2014c) çalışmalarına bakılabilir.

3.3.2. Network Sistemlerinde Kullanılan Modeller

Ağ yapılı üretim sistemlerinin etkinliğini ölçmek için pek çok model geliştirilmiştir. Fare ve Grosskopf (2000), dönüşüm işleminin yapısına göre ağ veri zarflama analizini temel olarak üç modelde sınıflandırmıştır. Bunlar; durağan, dinamik ve paralel modeldir. Ancak literatürde bunların daha genişletilmiş hali olarak farklı model tanımları bulunmaktadır. Birbirine benzer modeller sistematik sınıflama olması açısından aynı tür olarak sınıflandırılmıştır.

3.3.2.1. Bağımsız Model

Bir sistemin ve ağ yapılı bir sistemin alt süreçlerinin etkinliğini ölçmenin en basit yolu sistemlerin her birini birbirinden bağımsız karar verme birimleri gibi düşünmek ve her birinin etkinliğini ayrı ayrı ölçmektir. Sistem ve süreçler birbirinden bağımsız olarak ele alındığında, teknik ve ölçek etkinlikleri BCC ve CCR modelleri kullanılarak hesaplanabilir.

3.3.2.2. Sistem Uzaklığı Ölçü Modeli

Bir sistem uzaklık ölçü modeli, sistemin etkin olabilmesi için maksimum çıktı uzaklık ölçüsünü (θ) veya minimum girdi uzaklık ölçüsünü (ϕ) bulmak için kullanılır. Çıktı parametresini maksimum ve girdi parametresini minimum hale getirebilmek için daha çok ikinci durumda model dual veya negatif formda ifade edilir. Ayrıca, uzaklık fonksiyonu yönlü de olabilir. Yani, uzaklık g gibi bir yön boyunca ölçülebilir. Bu durumda, amaç fonksiyonu uzaklık parametresi (θ)'yı maksimize etmektir. Bu tür modeller özellikle istenmeyen çıktıların oluşturduğu durumlar için kullanılır.

3.3.2.3. Süreç Uzaklığı Ölçü Modeli

Bir sistemin etkinliğini ölçerken, sistem uzaklık ölçü modelinde her bir sürecin aynı (θ) uzaklık parametresine sahip olması gerekir. Sistem uzaklık ölçü modelinin bir uzantısı olan süreç uzaklık ölçü modeli, her bir sürecin kendine ait farklı bir ($\theta^{(k)}$) parametresine sahip olmasına izin verir. Bu durumda, sistem etkinliği süreç etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması olacaktır: $\min \sum_{k=1}^p w^{(k)} \theta^{(k)}$. Eğer model çıktıya yönelik olarak oluşturulursa o zaman minimizasyon yerine maksimizasyon durumu değerlendirilecektir.

Model geliştirmelerde kullanılan yönlü uzaklık fonksiyonu da sistem uzaklık ölçü modeline benzer olduğundan dolayı bu kategori içerisinde sınıflandırılabilir.

3.3.2.4. Faktör Uzaklığı Ölçü Modeli

Uzaklık ölçü modellerinin en genel durumu olan faktör uzaklık ölçü modeli, farklı parametrelere sahip faktör kullanımına izin verir ve amaç fonksiyonu olarak ağırlıklandırılmış ortalamaların minimizasyonunu kullanır. Girdi ve çıktı parametrelerini karşılaştırabilmek için çıktı parametrelerinin ifadesinde dual modeller kullanılır. Sistemde sadece tek bir süreç olduğunda, model Russell etkinlik ölçü

modeline indirgenir. Dual ifade modeli lineer olmayan modele dönüştürür. Bunun üstesinden gelmek için, çıktı faktörlerine karşılık gelen girdi faktörlerinin ortalamalarından oluşan oran formu kullanılır.

Bu tür modelleri basitleştirmek için, faktörler türlerine göre (girdi, çıktı, intermediate (ara değişken)) sınıflandırılmalıdır ve literatürde yer aldığı şekilde aynı tür faktörlere aynı tür parametreler atanmalıdır. Ayrıca, bu tür modellerde uzaklık g gibi bir yön boyunca da ölçülebilir.

3.3.2.5. Aylak Tabanlı Ölçü Modeli

Tone ve Tsutsui (2009) bir ağ sisteminin alt süreçlerinin ve sistemin etkinliğini ölçmek için aylak tabanlı ölçü modelini önermişlerdir. Farklı faktörleri karşılaştırmak için karar verme birimlerinin gözlemlere bölünmesiyle aylak değişkenler ayarlanarak değerlendirilmeler yapılır. Aylak tabanlı ölçü modeli için iki farklı türde amaç fonksiyonu önerilmiştir. Birinde intermediate (ara) değişkenler dikkate alınırken, diğerinde dikkate alınmamaktadır. Ancak, doğru bir sonuç için aylak değişkenlerin ara değişkenler ile ilişkileri de hesaba katılmalıdır. Aylak tabanlı ölçü modeli daha çok istenmeyen çıktıların olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

3.3.2.6. Oran Formlu Sistem Etkinlik Modeli

Bir sistemin etkinliği, çıktıların girdilere oranı olarak ölçülebilir. Bu tür modellerin özel bir formu Kao (2009a) tarafından genel ağ sistemleri için önerilmiştir. Bu tür modeller genellikle çarpan (multiplier) formda ifade edilir. Ancak, çarpan ve zarf formları primal-dual ilişkisine sahip olduklarından dolayı aslında bu kategorideki modellerin karşılığı sistem uzaklığı ölçü modelleridir.

3.3.2.7. Oran Formlu Süreç Etkinlik Modeli

Oran formlu sistem etkinlik modeline benzer olarak, bir sürecin etkinliği çıktıların girdileri oranı olarak ifade edilebilir. Sistem etkinlik modelinin tersine, ilk olarak sistemi etkin yapan en uygun çarpanlar aranır ve daha sonra sistem ve süreç etkinlikleri arasında bir ilişki kurulur. Süreç etkinlik modelinin temel düşüncesi genellikle ağırlıklandırılmış ortalamalardan elde edilen süreç etkinlikleridir. Uygun ağırlık seçimi ile model lineer forma dönüştürülür.

3.3.2.8. Oyun Teorisi Modeli

p oyunculu bir Nash denge oyununda, oyuncuların rakiplerine karşı olabildiğince çok strateji tahmin etmeleri gerekir. $(b_1, b_2, \dots, b_p)$ zarar değerlerinin bir kümesi ve u_k , k. oyuncunun zararı olmak üzere, her bir oyuncunun zararı “ $\max \prod_{k=1}^p (u_k - b_k)$ ” ile elde edilebilir. u_k , k. sürecin etkinliği olarak ele alınırsa en iyi strateji etkinlik skorlarını hesaplayan çarpanlar olarak ifade edilebilir ve böylece sistem etkinliği hesaplanabilir.

3.3.2.9. Değer Tabanlı Model

Değer tabanlı model, bir ağ sistemindeki çıktıları veya karları maksimize etmeyi amaçlar.

Sonuç olarak, model açısından bakıldığında oran formulu sistem etkinlik modeli en çok kullanılan model yapısıdır. Daha sonra süreç uzaklık ölçü modeli kullanılmaktadır. Bu iki model de her tür yapıda uygulamalara sahiptir. Faktör uzaklık ölçü modeli ve oyun teorisi modelleri en az kullanılan modellerdir. Yapısal olarak bakıldığında ise, temel ve iki aşamalı yapılar en çok kullanılırken hiyerarşik yapı en az kullanılan yapı türüdür. Bunun sebebi hiyerarşik yapının karmaşık bir yapıya sahip olması ve uygulanabilirliğinin azlığıdır. Bağımsız model temel iki aşamalı yapıya sahip problemlerde ve değer tabanlı model dinamik yapıya sahip problemlerde uygulanmıştır. En çok uygulamaya sahip olan oran formulu sistem etkinlik modeli paralel yapılarda kullanılırken oran formulu süreç etkinlik modeli daha çok genel iki aşamalı yapılarda kullanılmıştır. Son olarak, oyun teorisi modeli sadece iki aşamalı yapılarda uygulanmıştır.

3.3.3. Network Sistemlerde Kullanılan Yapılar

Network sistemler çeşitli yapı türlerine sahiptirler. Network veri zarflama analizi kullanılarak yapılan her çalışmada etkinliği ölçmek için kullanılan modele dayalı bir yapı mevcuttur. Özellikle çalışmalarda en çok kullanılan yapılar seri, paralel, karma, hiyerarşik ve dinamik yapılardır. Literatürde bulunan pek çok çalışma seri yapıların özel bir hali olan iki aşamalı yapılardan oluşmaktadır. Ancak, network veri zarflama analizi modelinin standart bir hali yoktur. Model, incelenen ağın yapısına göre değişmektedir (Kao, 2009). Dolayısıyla network veri zarflama analizinde kullanılan modeller hakkında bilgi sahibi olabilmek için sıklıkla kullanılan yapıları ayrı ayrı incelemek daha doğru olacaktır.

3.3.3.1. Temel İki Aşamalı Yapı

En basit ağ yapısı olan temel iki aşamalı yapı da sistem iki bölüme ayrılır. Bu tür bir sistem ilk olarak Charnes ve ark.(1986) tarafından ABD Ordusu'nun istihdam performansını incelerken fark edilmiştir. Askeri istihdamın aslında iki aşamalı olduğunu keşfettiler; bu da reklamcılıkla ve sözleşmeleri imzalayarak farkındalık yaratmıştır.

Bir girdinin sistemin performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek ve bu girdinin gerçek etkisinin anlaşılabilmesi için, girdinin ilişkili olduğu bölümü bilmek gerekir. Temel iki aşamalı sisteme dayanan VZA metodolojisine “iki aşamalı VZA” denir. Temel iki aşamalı sistemin verimliliğini ölçmek için kullanılan; bağımsız model, oran formulu etkinlik modelleri, uzaklık ölçü modelleri ve aylak tabanlı ölçü modelleri olarak sınıflandırılan modellerle sınırlıdır.

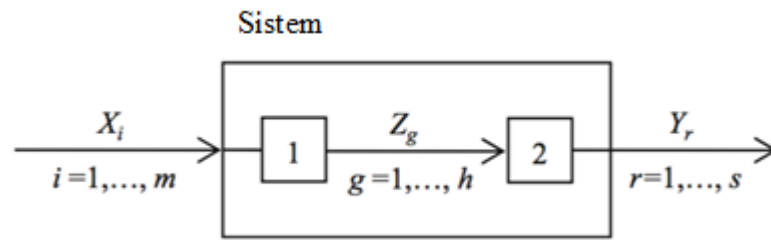
Bağımsız model, VZA modelleri önerilmeden önce temel iki aşamalı sistemleri incelemek için tek tercihti. Dahası, ağ modellerinin geliştirilmesiyle bile, bağımsız model kullanımda kalmıştır. Başlıca IT'nin etkilerini araştıran iki uygulama IT'nin toplama ve yatırım aşaması (Wang ve ark. 1997) ile 22 bankanın performansı üzerindeki etkisini araştırmak ve karlılık açısından ilk 55 ABD ticari bankasının performansını incelemek ve pazarlanabilirlik (Seiford ve Zhu, 1999) ile ilgilidir. Bu çalışmalardan yola çıkarak Fortune 500 şirketlerini (Zhu, 2000), ABD'de bir milyardan fazla maddi olanakları olan (Luo, 2003) 245 bankayı, Tayvan'da 14 finansal holding şirketi incelemek için başka çalışmalar yapılmıştır (Lo ve Lu 2006).

Kao ve Hwang (2008) 'ın çalışması sonrasında, 40 internet şirketinin (Cao ve Yang, 2011) pazarlanabilirlik ve karlılığı gibi incelemelerle bu yaklaşımın çeşitli uygulamalarının yanısıra, oran formulu etkinlik ölçütü ile ilgili birçok model önerilmiştir. Sahoo ve ark. (2014), Kao ve Hwang'ın (2008) tam tahsis verimliliğini varsaymasına karşın; sistem verimliliğini gidermek için tek bir ağ teknolojisi kullandı. Kao ve Liu (2011) gözlemler bulanık veriler olduğunda verimliliği nasıl hesaplayacaklarını tartıştılar. Etkinlik toplama için, Lim ve Zhu (2013), Chiou ve arkadaşlarında (2010) sunulan fikirlerde bazı değişiklikler yaptı. Tayvan'daki 39 şehirlerarası otobüs şirketinin teknik ve ölçek etkinliğini ölçmek için iki bölüm verimliliğinin ortalamasını kullanmıştır. Lu ve ark. (2012), ABD'deki 30 havayolu şirketinin üretim ve pazarlama verimliliğini ölçmek için her bir bölüm için BCC modeli kullanmayı önerdi. Wang ve ark. (2014), 16 büyük Çin ticari bankasının

istenmeyen çıktılarla etkinliğini ölçtü. Uzaklık fonksiyonu verimlilik ölçütü, temel iki aşamalı sistem için de geniş çapta incelenmiştir. Yang ve ark. (2011), Çin'in Anhui Eyaletindeki Çin İnşaat Bankasının 17 şubesinin tedarik zinciri verimliliğini ölçtü. Bu model ayrıca, hedef uzaklık ayar parametresini maksimuma çıkarmaya ek olarak, bir hedef programlama modelinde, iki hedefi de içerecek şekilde genişletilmiştir.

Aylak tabanlı yaklaşım için Zhu ve ark. (2014), böcek ilacının iki aşamalı üretiminde ve kullanımında on pestisit in eko-etkinliğini ölçtü. Lu ve ark. (2014), 30 ülkenin ulusal yenilik sisteminin Ar-Ge ve ekonomik etkinlikler yönünden performansını incelemiştir. Liu ve ark. (2015), istenmeyen girdileri, çıktıları ve ara ürünleri ele almak için bir model önermişlerdir.

Temel iki aşamalı sistemde, sadece bir bölüm dışsal girdilere ve bir bölüm son çıktılarına sahiptir. Şekil 3.18 temel iki aşamalı sistemin yapısını göstermektedir. İlk bölümde ara değişkenleri üretmek için tüm dışsal girdiler ($X_i, i = 1, 2, \dots, m$) tüketilir ve daha sonra nihai çıktıları ($Y_r, r = 1, 2, \dots, s$) üretmek için ilk bölümün çıktıları ikinci bölümün girdileri olan ara değişkenler ($Z_g, g = 1, 2, \dots, h$) tüketilir. Bu tür sistemlerin performansını araştırmanın en basit yolu, iki birimi kendi verimliliklerini ölçmek için bağımsız KVB'ler olarak gören bağımsız modeli kullanmaktır. Bütün sistem bir bütün olarak veya bir kara kutu olarak da ele alınabilir ve verimliliği geleneksel VZA modelleri kullanılarak ölçülebilir.



Şekil 3.18. Temel iki aşamalı sistem yapısı

Verimlilik ölçümünün bir türü, verimliliği toplam çıktının toplam girdiye oranı olarak ifade etmektir. Modellerin bu dalı, etkinlik ayrıştırması ve etkinlik toplaması olmak üzere iki türde sınıflandırılabilir. Verimlilik bozunmasında sistem verimi, ara ürünler hariç toplam çıktının toplam dışsal girdiye oranı olarak ifade edilir. Modelin yapısı nedeniyle, sistem verimliliği belirli matematiksel formlarda

bölüm verimliliğine ayrılabilir. Aksine, verimlilik toplaması, ara ürünlerin dahil edildiği bölüm verimliliklerinin önceden belirlenmiş matematiksel bir formda sistem verimliliğini tanımlar. Bu iki fikir altında birçok model önerilmiştir.

Temel iki aşamalı bir sistemin gerçek performansını bulmakve bir KVB'nin verimliliğini ölçmek için iki bölümün işlemleri dikkate alınmalıdır. Bölümlerin işlevlerine göre, Kao ve Hwang (2008) 'da ifade edildiği gibi, toplam çıktının toplam girdiden daha düşük veya eşit olması ve aynı faktöre aynı çarpanın uygulanması gerekir. Başka bir deyişle, sistem verimliliği hem sistem hem de iki bölümün etkinliği ile ölçülür.

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan modelin çarpan formu:

$$E_0 = \max. \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} = 1$$

Sistem kısıtları:

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

Bölüm kısıtları:

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad g = 1, 2, \dots, h$$

(3.27)

Optimal durumda, E_0 sistem etkinliği ve $E_0^{(k)}$ bölüm etkinlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} E_0 &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0} \\ E_0^{(1)} &= \sum_{g=1}^h w_g^* Z_{g0} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0} \\ E_0^{(2)} &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0} / \sum_{g=1}^h w_g^* Z_{g0} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Özellikle; sistem etkinliği, iki bölüm etkinliğinin bir ürünüdür:

$$E_0^{(1)} \times E_0^{(2)} = \left(\sum_{g=1}^h w_g^* Z_{g0} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0} \right) \times \left(\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0} / \sum_{g=1}^h w_g^* Z_{g0} \right) = \left(\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0} \right) = E_0 \quad (3.29)$$

Geleneksel kara kutu modelinde, sabit ve değişken getiri sağlayan etkinlikler arasındaki fark ölçek ekonomisinden kaynaklanmaktadır. Spesifik olarak, BCC etkinliğine CCR etkinliğinin oranı ölçek etkinliğidir. Bu tip verim ayrıştırması, Kao ve Hwang'da (2011, 2014) tartışılan temel iki aşamalı sistem için de geçerlidir. Fikir, ara ürünlerin miktarlarını sabit tutarak, girdilerin ilk aşamada ne kadar azaltılabileceğini bulmak için bir girdi modeli kullanmak ve ikinci aşamada çıktıların ne kadar genişletilebileceğini bulmak için bir çıktı modeli kullanmaktır. Ara ürünlerin sabit tutulması, ara ürünlere 1. aşamanın çıktısı ve 2. aşamanın girdisi olarak çatışma hedefleri üretme ihtimalini ortadan kaldırır.

Teknik ve ölçek etkinliklerini ölçmek için öncelikle Eşitlik (3.29) ile genel verimlilik ölçülür ve gerekirse Eşitlik (3.29) uygulanmaktadır. Aşama 1 için, girdi teknik etkinliği $T_0^{(1)}$ aşağıdaki model yardımıyla ölçülür ve bu aşamanın $E_0^{(1)}$ 'deki verimliliği sabitlenir.

$$T_0^{(1)} = \max. \left(\sum_{g=1}^h \widehat{w}_g Z_{g0} - \widehat{w}_0 \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^m \widehat{v}_i X_{i0} = 1$$

Ölçeğe göre sabit getiri kısıtları:

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} = E_0^{(1)} \sum_{i=1}^m v_i X_{i0}$$

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Ölçeğe göre değişken getiri kısıtları:

$$\left(\sum_{g=1}^h \widehat{w}_g Z_{g0} - \widehat{w}_0 \right) - \sum_{i=1}^m \widehat{v}_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g, \widehat{v}_i, \widehat{w}_g \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad g = 1, 2, \dots, h$$

(3.30)

$T_0^{(1)}$ teknik etkinlik hesaplandıktan sonra, ölçek etkinliği $S_0^{(1)} = E_0^{(1)} / T_0^{(1)}$ hesaplanır.

2.aşama için, çıktı yönlü teknik etkinlik modeli:

$$1/T_0^{(2)} = \max. \left(\sum_{g=1}^h \widehat{w}_g Z_{g0} + \widehat{w}_0 \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{r=1}^s \widehat{u}_r Y_{r0} = 1$$

Ölçeğe göre sabit getiri kısıtları:

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} = E_0^{(2)} \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}$$

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Ölçeğe göre değişken getiri kısıtları:

$$\left(\sum_{r=1}^s \widehat{u}_r Y_{rj} \right) - \left(\sum_{g=1}^h \widehat{w}_g Z_{gj} + \widehat{w}_0 \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g, \widehat{u}_r, \widehat{w}_g \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad g = 1, 2, \dots, h$$

(3.31)

$T_0^{(2)}$, teknik etkinliği hesaplandıktan sonra $S_0^{(2)} = E_0^{(2)} / T_0^{(2)}$ ölçek etkinliği

hesaplanır. Bir karar verme biriminin teknik ve ölçek etkinlikleri sırasıyla iki aşamalı bir ürün olarak hesaplanır. Böylelikle,

$$E_0 = E_0^{(1)} \times E_0^{(2)} = \left(T_0^{(1)} \times S_0^{(1)} \right) \times \left(T_0^{(2)} \times S_0^{(2)} \right)$$

$$E_0 = T_0 \times S_0 = \left(T_0^{(1)} \times T_0^{(2)} \right) \times \left(S_0^{(1)} \times S_0^{(2)} \right)$$

(3.32)

T_0 , KVB'nin teknik etkinliği ve S_0 , ölçek etkinliğidir.

Bağımsız modelin eksikliği ile iki bölümün verimliliği uygun bir şekilde ölçülebilmesine rağmen, sistem verimliliği ölçülememektedir. Bununla başa çıkmanın bir yolu, bölüm verimliliğini sistem etkinliği olarak tanımlamak ve bunu, iki bölümün işlevlerini kısıtlamalar olarak kullanarak matematiksel bir programın amaç fonksiyonu olarak kullanmaktır. Matematiksel program çözüldükten sonra sistem ve bölüm verimliliği aynı anda elde edilir.

İki bölüm verimliliğini birleştirmenin basit bir yolu, bölüm etkinlik ortalamalarını sistem verimliliği olarak kullanmaktır (Chiou ve ark. 2010). Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında girdiye yönelik model Eşitlik (3.33)'de verildiği gibidir.

$$\overline{E_0} = \max. \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} - w_0}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}} + \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} - u_0}{\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}} \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - w_0 - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - u_0 - \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad g = 1, 2, \dots, h.$$

(3.33)

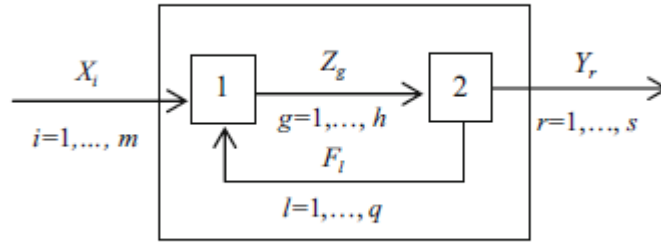
Optimal durumda, amaç fonksiyonunun ilk kısmı birinci bölümün etkinliğini ve diğer kısmı ikinci bölümün etkinliğini göstermektedir. Onların ortalaması olan $\overline{E_0}$, sistemin etkinliğidir.

3.3.3.2. Genel İki Aşamalı Yapı

Temel iki aşamalı yapı, birinci bölüm tarafından üretilen tüm ara ürünlerin, ikinci bölüm tarafından tüketildiği bir üretim türünü tanımlamaktadır. Spesifik olarak, sistemden hiçbir ara ürün akışı olmaz ve ikinci bölüm, ara ürünler haricinde dışardan tedarik edilen diğer girdileri tüketmez. Bununla birlikte, gerçek dünya problemlerinin genellikle bu iki aşamalı sistemden daha karmaşık olduğuna dikkat edilmelidir. Bu durumu dikkate alarak, birinci bölümün son çıktıları ve ikinci bölümün

dışsalgirdilere sahip olmasını sağlayan genel iki aşamalı bir sisteme sahibiz. Bu tür sistemlerin etkinliğini ölçmek için birçok model önerilmiştir ve birçok uygulama literatürde yer almıştır (Kao 2014a).

Teorik olarak, genel iki aşamalı sistemin tamamı daha karmaşıktır, çünkü birinci bölümde üretilen bazı çıktılar ikinci bölüme verilebilir, ancak ikinci bölüm tarafından üretilen bazı çıktılar da birinci bölüm tarafından kullanılabilir. İkinci duruma “geri besleme” adı verilir. Dolayısıyla, genel iki aşamalı sistem, geri beslemeli temel iki aşamalı sistem ve geri beslemesiz genel iki aşamalı sistem olarak ikiye ayrılmıştır. Geri besleme sistemlerinin ilk çalışması Liang ve ark. (2011) tarafından, nihai çıktı olan araştırma fonlarının ikinci aşamadan başlayıp birinciye geri gönderildiği bir üniversitenin performansını incelemektedir ve diğer dışsal girdilerle birlikte dergi makaleleri üretmekte ve bunun sonucunda araştırma fonları üretmektedir. Geribesleme sisteminin önde gelen diğer örnekleri atık maddeler ve atık suyun geri dönüşümüdür. Şekil 3.19’da geri besleme sisteminin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Geri besleme sisteminin yapısı

1. Bölüm tarafından tüketilen girdiler X_i dışsal girdileri ve geri besleme çıktıları F_l 'dir. Ayrıca çıktılar, Z_g ara ürünleri tarafından üretilmektedir. 1. Bölümün etkinliği $E_0^{(1)}$ ve 2. Bölümün etkinliği $E_0^{(2)}$,

$$E_0^{(1)} = \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} / \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + \sum_{l=1}^q c_l F_{l0} \right)$$

$$E_0^{(2)} = \left(\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + \sum_{l=1}^q c_l F_{l0} \right) / \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}$$

(3.34)

ile hesaplanır ve bu durumda sistem etkinliği, iki bölümün etkinliğinin ortalamasını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Matematiksel form:

$$E_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + \sum_{l=1}^q c_l F_{l0}} + \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + \sum_{l=1}^q c_l F_{l0}}{\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}} \right)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + \sum_{l=1}^q c_l F_{lj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

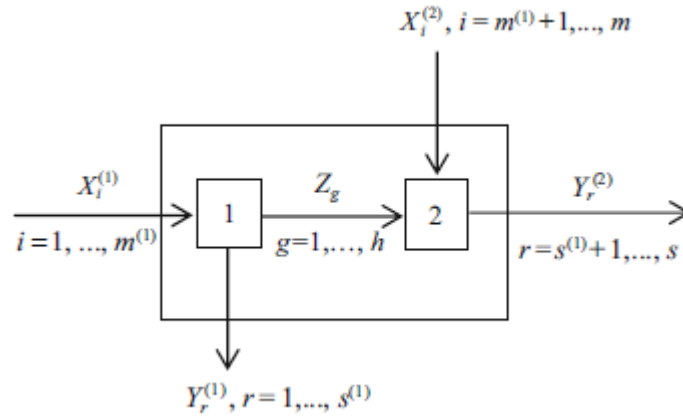
$$\left(\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + \sum_{l=1}^q c_l F_{lj} \right) - \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g, c_l \geq \varepsilon, \quad \forall r, i, g, l$$

(3.35)

biçimindedir.

Genel iki aşamalı sistemin verimliliğini ölçmenin en basit yolu, iki bölümü iki bağımsız sistem olarak ele almak ve iki VZA modeli tarafından verimliliklerini ayrı ayrı ölçmektir.



Şekil 3.20. Genel iki aşamalı sistem

Ölçeğe göre sabit getiri altında, şekil de gösterilen sistemin oran formundaki modelleri şunlardır:

$$E_0^{(1)} = \max. \frac{\sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} + \sum_{r=1}^{s^{(1)}} u_r Y_{r0}^{(1)}}{\sum_{i=1}^{m^{(1)}} v_i X_{i0}^{(1)}}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} + \sum_{r=1}^{s^{(1)}} u_r Y_{rj}^{(1)} - \sum_{i=1}^{m^{(1)}} v_i X_{ij}^{(1)} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq \varepsilon, \quad \forall r, i, g$$

$$E_0^{(2)} = \max. \frac{\sum_{r=s^{(1)}+1}^s u_r Y_{r0}^{(2)}}{\sum_{i=m^{(1)}+1}^m v_i X_{i0}^{(2)} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}$$

Kısıtlar;

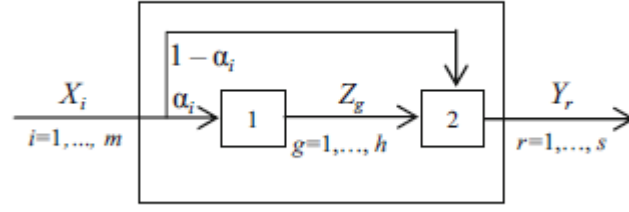
$$\sum_{r=s^{(1)}+1}^s u_r Y_{rj}^{(2)} - \left(\sum_{i=m^{(1)}+1}^m v_i X_{ij}^{(2)} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \right) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq \varepsilon, \quad \forall r, i, g$$

(3.36)

$E_0^{(1)}$ ve $E_0^{(2)}$ bölüm etkinlikler hesaplandıktan sonra bölüm etkinliklerinin ortalaması olarak sistem etkinliği hesaplanabilir. Bu tür bir ölçüm, bölümler arasındaki etkileşimleri yoksayar. Bununla birlikte, basittir ve her bir KVB'nin diğerlerine kıyasla nasıl bir performans gösterdiğini kabaca göstermektedir.

Network üretim sistemlerinde, girdilerin üretim için birkaç bölüm tarafından paylaşıldığı durumlar vardır. Örneğin, bir akademisyen, çalışma saatlerini eğitim - öğretimde, kalanını ise araştırma yapmakla geçirir. Eğer akademisyen tarafından iki görev için ayrılan zaman biliniyorsa, konvansiyonel VZA modelleri, ilgili etkinlikleri ölçebilir. Bununla birlikte, zaman paylaşımı net değilse, paylaşılan girdi sistemi kategorisinde etkinlik ölçülmelidir. Şekil de paylaşılan girdili durum için temel iki aşamalı sistem gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Paylaşılan girdili temel iki aşamalı sistem yapısı

Burada, a_i ve $1 - a_i$ sırasıyla bölüm 1 ve bölüm 2 tarafından izin verilen girdi miktarlarını göstermektedir. Eğer herhangi i . girdi bölüm 1 tarafından tamamen kullanılmış ise $a_i = 1$ olacaktır. Aynı şekilde i . girdi ikinci bölüm tarafından tamamen kullanılmış $a_i = 0$ olacaktır. Sistem etkinliğinin matematiksel formu:

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \max. \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} \\
 \text{Kısıtlar;} \\
 \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} &= 1 \\
 \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} - \sum_{i=1}^m v_i (a_i X_{ij}) &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \left[\sum_{i=1}^m v_i (1 - a_i) X_{ij} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{gj} \right] &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 L_i &\leq a_i \leq U_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 u_r, v_i, w_g &\geq \varepsilon, \quad \forall r, i, g
 \end{aligned}
 \tag{3.37}$$

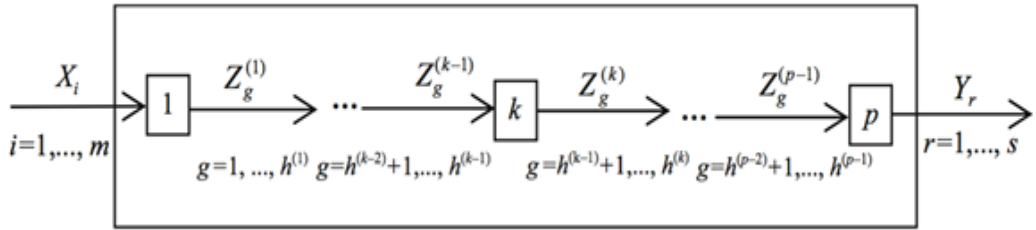
3.3.3.3. Genel Çok Aşamalı Yapı

Önceki iki bölümde, birbirine seri bağlı iki bölümden oluşan sistemler incelenmiştir. Sezgisel olarak, iki aşamalı sistem daha genel durumlara uyacak şekilde birden fazla aşamaya genişletilebilir olmalıdır. Nitekim, pek çok gerçek dünya sistemi, çok aşamalı bir yapıya sahiptir; montaj hatları tipik örneklerdir, burada, ham materyallerin bir takım iş istasyonlarından geçerek nihai ürünler haline gelmeleri

sağlanır. Bu bağlamda çok aşamalı sistemin anlamı oldukça belirsizdir, çünkü bir aşama farklı yapılarda birçok bölüme ayrılabilir.

Genel çok aşamalı sistemlerin verimliliğini ölçmek için birçok model önerilmiştir. Bir model önerildiğinde genellikle bir yapıya dayanır ve bu bölümde üç yapı türü incelenmektedir. İlki, bir bölümün tüm çıktılarının sonraki aşamanın girdileri haline geldiği temel serilerdir ve her bölüm, birincisi hariç, dışsal girdileri tüketmez. İkincisi, her bölümün dışsal girdileri tüketebileceği genel serilerdir ve bazı çıktılar sistemin dışına çıkan dışsal çıktılar haline gelebilir. Üçüncü ve son yapı ise, ters bir bağlantıya sahip seri yapılarıdır. Burada, daha sonraki bir aşamadaki bir bölümün çıktıları daha erken bir aşamada kullanılmak üzere bir bölüme geri gönderilebilir.

Temel iki aşamalı sistemlerde, ilk aşamada tüm dışsal girdiler tüketilir ve ikinci aşamada son çıktılar üretmek için tüketilen çıktılar üretilir. İlk aşamadaki çıktılara genellikle ara ürün adı verilir. Bu tür sistemler, Şekil 3.22’de gösterilen yapı ile temel seri yapı olarak genelleştirilebilir.



Şekil 3.22. Temel seri yapı

Network analizlerde, seri ve paralel olmak üzere iki temel yapı vardır. Şekil 3.22’de gösterildiği gibi, sistemin birinci bölümü, dıştan temin edilen tüm dışsal girdileri (X_i) tüketir ve böylece ara ürünler ($Z_g^{(1)}$) üretilir; daha sonra ($Z_g^{(2)}$) üretilmesi için ikinci bölüm tarafından kullanılır. Bu süreç son p bölüme kadar devam eder ve p bölümünün çıktıları sistemin nihai çıktıları (Y_r) olur. İlk bölüm hariç hiçbir bölüm de dışsal girdiler tüketilmez ve son bölüm hariç hiçbir bölümde nihai çıktılar üretilmez. Bu tür sistemleri çözebilen pek çok model vardır ve bu tezde sadece ikisine değinilecektir.

Etkinlik ayrıştırma kavramı, kullandığı dışsal girdilere ve ürettiği dışsal çıktılara dayalı bileşenlerinin işlemlerini hesaba katan bir sistemin etkinliğini ölçmektir. Sistem ve bölüm etkinliği arasında bir ilişki aranırken, bir bölümün etkinliği tükettiği girdilere ve ürettiği çıktılara dayalı olarak ölçülür. Bu etkinlik ölçme metodunun özelliği, bir birimin etkinliği ister sistem ister bir bölüm olsun, toplam çıktıların toplam girdilerine bölünmesiyle bulunur. Sabit getiri varsayımı altında etkinlik ayrıştırma modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0, & j = 1, \dots, n \\ \sum_{g=1}^{h^{(1)}} w_g Z_{gj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} &\leq 0, & j = 1, \dots, n \\ \sum_{g=h^{(k-1)}+1}^{h^{(k)}} w_g Z_{gj} - \sum_{g=h^{(k-2)}+1}^{h^{(k-1)}} w_g Z_{gj}^{(k-1)} &\leq 0, & k = 2, \dots, p-1, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{g=h^{(p-2)}+1}^{h^{(p-1)}} w_g Z_{gj}^{(p-1)} &\leq 0, & j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$u_r, v_i, w_g \geq \varepsilon, \forall r, i, g$$

(3.38)

Kısıtların ilk kısmı, bir bütün olarak sistem işleyişini tanımlar. Kalan kısıtlar kümesi ise p bölümün işleyişini gösterir. Sisteme karşılık gelen kısıtlama, sistemdeki p bölüme karşılık gelen p tane kısıtın toplamıdır. Optimum durumda, amaç fonksiyonunun almış olduğu değer, sistem etkinliğidir ve bölüm etkinlik değerleri kısıtlara dayalı olarak Eşitlik (3.39)'daki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$\begin{aligned}
E_0^{(1)} &= \sum_{g=1}^{h^{(1)}} w_g^* Z_{g0}^{(1)} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0} \\
E_0^{(k)} &= \sum_{g=h^{(k-1)}+1}^{h^{(k)}} \frac{w_g^* Z_{g0}^{(k)}}{\sum_{g=h^{(k-2)}+1}^{h^{(k-1)}} w_g^* Z_{g0}^{(k-1)}}, k = 2, \dots, p-1, \\
E_0^{(p)} &= \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0} / \sum_{g=h^{(p-2)}+1}^{h^{(p-1)}} w_g^* Z_{g0}^{(p-1)}
\end{aligned}
\tag{3.39}$$

p tane bölüm etkinliğinin çarpımının $E_0 = \prod_{k=1}^p E_0^{(k)}$, sistem etkinliğine eşit olduğu açıktır. Başka bir deyişle, sistem etkinliği bölüm etkinliklerine ayrıştırılabilir. Temel iki aşamalı sistemde sistem etkinliği, iki bölüm etkinliğinin çarpımıdır. Dolayısıyla burada bu durum, iki sistemden çok sisteme genelleştirilmiştir.

Her bölüm tarafından birden fazla ara ürünün üretildiği karmaşık sistemler için birden çok çözüm mevcut olabilir. Bu durumda sistemin etkinliği değişmeden kalır. Bununla birlikte, bölüm etkinlikleri, çarpanlar farklı olacağından farklılık gösterebilir ve bu da onları farklı KVB'ler için eşsiz hale getirir. Her bölümün etkinliğini ölçmek için ortak bir model, karşılaştırma yapabilmek için gereklidir.

Toplam çıktının toplam girdiye oranı olarak ifade edilen sistem etkinliğinin hesaplandığı etkinlik ayrıştırmanın aksine etkinlik toplamı, önceden belirlenmiş matematiksel ilişkiler yardımıyla bölüm etkinliklerinin toplamı olarak sistem etkinliğini ifade eder. Sistem etkinliğini ifade eden toplamsal form, bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış bir ortalamasıdır. $w^{(k)}$ ağırlıkları, veriden yansıyacak olan her bölümün önemini veya değişkenlerini temsil etmek üzere karar verici tarafından önceden belirlenmiş sabitler olabilir.

Ağırlıkların veriden etkilendiği durumda ve temel iki aşamalı sisteme benzer olarak, tüm bölümler tarafından tüketilen toplam girdinin bir bölüm tarafından tüketilen girdiye oranı olarak ağırlıklandırılmış model:

$$\omega^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^m V_i X_{i0}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{i0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}$$

$$\omega^{(k)} = \frac{\sum_{g=h^{(k-2)}+1}^{h^{(k-1)}} w_g Z_{g0}^{(k-1)}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{i0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}, k = 2, \dots, p$$
(3.40)

Bu durumda, ağırlıklandırılmış ortalama,

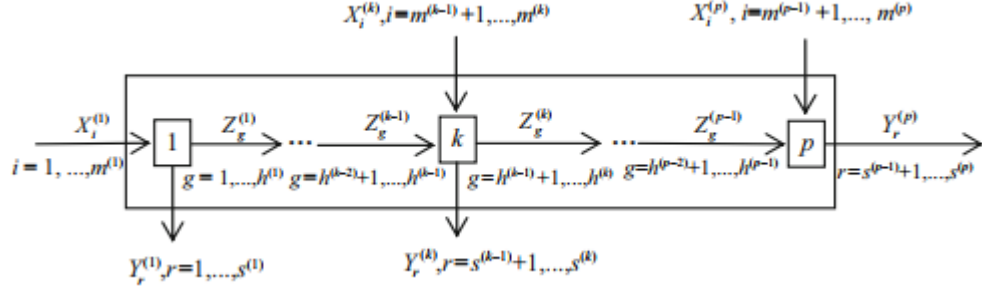
$$\sum_{k=1}^p \omega^{(k)} E_0^{(k)} = \left(\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} \right) / \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0} \right),$$
(3.41)

$\sum_{k=1}^p \omega^{(k)} = 1$ ve $\omega^{(k)} \geq 1, k=1, \dots, p$ olmak üzere etkinlikleri ölçen amaç fonksiyonu:

$$\max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0} + \sum_{g=1}^h w_g Z_{g0}}$$
(3.42)

şeklindedir.

Temel seri sistemler teorik açıdan önemlidir. Bununla birlikte, gerçekte, ara ürünlerin son çıktıları haline getirilmesi için başka girdilere ihtiyaç duymayan sistemleri bulmak nadirdir. Ayrıca, bazı ara ürünlerin yedek ürünler olarak kullanıldığı durumlar da vardır. Daha gerçekçi bir yapı, her bir bölümün dışsal girdileri tüketmesine ve dışsal çıktılar üretmesine izin vererek genel bir seri sistem olmasını sağlamaktır. Şekil 3.23, p tane bölümün seri bağlandığı genel seri sistemi göstermektedir. Her bölüm dışarıdan tedarik edilen $X_i^{(k)}$ dışsal girdilerini tüketir. Önceki bölüm tarafından üretilen $Z_g^{(k-1)}$ içsel girdileri tüketilerek dışarıya göndermek için $Y_r^{(k)}$ dışsal çıktıları üretilir. İçsel çıktılar $Z_g^{(k)}$ sonraki bölümde kullanılmak içindir. İlk ve son bölümler biraz farklıdır. Çünkü sadece ilk bölüm dışsal girdileri tüketir ve sadece son bölüm dışsal çıktıları üretir. Ara ürünlere ek olarak, dışsal girdilerin ve dışsal çıktıların da her bölüm için farklı olduğu varsayılır. Şekil 3.23’de genel seri sistemlerin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.23. Seri sistemlerin genel yapısı

Bu tür sistemlerin etkinliğini ölçmek için çeşitli modeller önerilmiştir. En basit olanı, her bir bölümü bağımsız bir KVB olarak gören ve etkinliklerini ayrı ayrı ölçen bağımsız bir modeldir. Başka bir deyişle, p bölümün etkinliğini ölçmek için p tane VZA modelleri gereklidir. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında p tane model:

$$E_0^{(1)} = \max. \frac{\sum_{r=1}^{s^{(1)}} u_r Y_{r0}^{(1)} + \sum_{g=1}^{h^{(1)}} w_g Z_{g0}^{(1)}}{\sum_{i=1}^{m^{(1)}} v_i X_{i0}^{(1)}}$$

Kısıt;

$$\sum_{r=1}^{s^{(1)}} u_r Y_{r0}^{(1)} + \sum_{g=1}^{h^{(1)}} w_g Z_{g0}^{(1)} - \sum_{i=1}^{m^{(1)}} v_i X_{ij}^{(1)} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq \varepsilon, \forall r, i, g$$

$$E_0^{(k)} = \max. \frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r Y_{r0}^{(k)} + \sum_{g=h^{(k-1)}+1}^{h^{(k)}} w_g Z_{g0}^{(k)}}{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i X_{i0}^{(k)} + \sum_{g=h^{(k-2)}+1}^{h^{(k-1)}} w_g Z_{g0}^{(k-1)}}$$

Kısıt;

$$\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r Y_{rj}^{(k)} + \sum_{g=h^{(k-1)}+1}^{h^{(k)}} w_g Z_{gj}^{(k)} - \left(\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i X_{ij}^{(k)} + \sum_{g=h^{(k-2)}+1}^{h^{(k-1)}} w_g Z_{gj}^{(k-1)} \right) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, w_g \geq \varepsilon, \forall r, i, g$$

$$E_0^{(p)} = \max. \frac{\sum_{r=s^{(p-1)}+1}^{s^{(p)}} u_r Y_{r0}^{(p)}}{\sum_{i=m^{(p-1)}+1}^{m^{(p)}} v_i X_{i0}^{(p)} + \sum_{g=h^{(p-2)}+1}^{h^{(p-1)}} w_g Z_{g0}^{(p-1)}}$$

Kısıt;

$$\sum_{r=s^{(p-1)}+1}^{s^{(p)}} u_r Y_{rj}^{(p)} - \left(\sum_{i=m^{(p-1)}+1}^{m^{(p)}} v_i X_{ij}^{(p)} + \sum_{g=h^{(p-2)}+1}^{h^{(p-1)}} w_g Z_{gj}^{(p-1)} \right) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

(3.43)

Sonuçlar, bağımsız bir KVB olarak ölçülen her bir bölümün etkinliğini göstermektedir. Bu model seti, etkinlikleri ölçmek için diğer modellerin temelini oluşturur ve yalnızca zayıf yönü, sistemin etkinliğini göstermemesidir.

Genel çok aşamalı sistem, Kao (2014c) çalışması ile gerçek dünyada geniş uygulamalara sahiptir. Bununla birlikte, network VZA konusu son yıllarda büyük ilgi gördüğünden, birçok çalışma ortaya çıkmıştır.

Literatürde yer alan en büyük seri sistem sadece beş bölümden oluşmaktadır. Ara ürün içermeyen sistemlere örnek olarak, Kao ve Liu (2014), 2009-2011 döneminde Tayvan'da 22 ticari bankanın performansını ölçtüler. Medina - Borja ve Triantis (2014), ABD'deki kar amacı gütmeyen insani ve sosyal hizmet kuruluşlarının bağış toplama etkinliğini, kapasite geliştirmesini, hizmet kalitesini ve etkililiğini değerlendirmek için bağımsız bir model kullandı.

Oran – formülü etkinlik ölçümlerine örnek olarak; Nouri ve ark. (2013), üretim sisteminde beş bölüm tanımladı ve İran'daki 15 bitkisel yağ bitkisinin sistem etkinliğini amaç fonksiyonu olarak kullanarak sistem ve bölüm etkinliğini hesapladı. Lee ve Johnson (2012), 15 ABD Havayolunun performansını araştırmak için kapasite tasarımı, talep üretimi, operasyonlar ve talep tüketimi olmak üzere dört bölümden oluşan karma bir üretim sistemi tasarladı.

Uzaklık fonksiyonu ve aylak tabanlı etkinlik ölçümlerine örnek olarak; Tone ve Sahoo (2003), bölünmezliklerin varlığında ölçeğe getirileri araştırmak için sistem uzaklık ölçüm modelini geliştirdiler. Mallikarjun (2015) 27 ABD havayolunun verimliliğini ölçmek için girdi ve çıktı uzaklıklarını üç aşamalı bir sistemde inceledi. Matthews (2013) aylak tabanlı model ile Çin'deki 15 bankanın risk yönetimi ve yönetsel etkinliklerini inceledi. Tsutsui ve Goto (2009) ABD'de 90 tane elektrik şirketinin performansını incelemek için ağırlıklı bir aylak tabanlı model kullandılar. Üretim, iletim, dağıtım, satış ve genel yönetim olmak üzere beş bölüm düşünüldü ve ağırlıklar maliyet paylaşımları oldu. Mirhedayatian ve ark. (2014), alkolsüz içecek üreten on İranlı şirket için istenmeyen ve bulanık verilere sahip dört aşamalı bir tedarik zincirinin verimliliğini ölçtü.

Ters bağlantılı seri sistemler de çeşitli uygulamalara sahiptir. Yang ve ark. (2014), Çin'de 29 belediyenin su geri dönüşüm ve kullanım sistemini değerlendirdi. Momeni ve ark. (2014) ters lojistikte tedarik zincirlerinin verimliliğini incelemek için

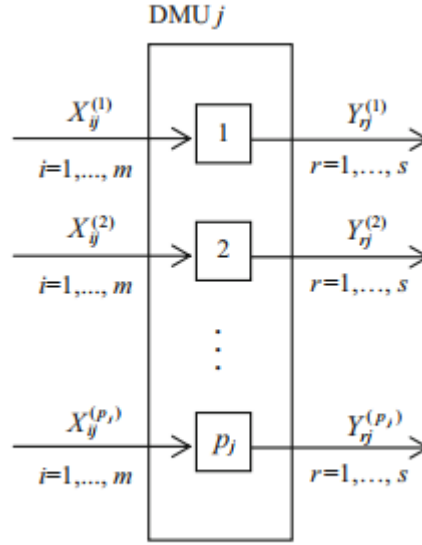
tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve müşteriler de dahil olmak üzere dört aşamalı bir model önermiştir. Kawaguchi ve ark. (2014), 2007 yılından 2009 yılına kadar Japonya'daki 112 belediye hastanesinin etkinliğini ölçmüştür. Shafiee ve ark. (2014), İran gıda endüstrisinin 22 tedarik zincirinin performansını değerlendirmek için dört aşamalı bir yaklaşım kullanmıştır.

3.3.3.4. Paralel Yapı

Network analizde genel ağ yapısını oluşturan seri ve paralel olmak üzere iki temel yapı vardır. Seri yapılarda, bir sistemin bölümleri birbiri ardına düzenlenir; bir bölümün çıktıları bir sonraki sistemin girdileri olur. Genel olarak, bir bölüm, yalnızca önceki bölümlerin çalışmaları tamamladıktan sonra çalışmaya başlayabilir. Paralel yapılarda, bir sistemin tüm bölümleri paralel görünür; her bölüm birbirlerini etkilemeden aynı anda bağımsız olarak çalışır.

Paralel sistemler, bölümlerin fonksiyonuna göre iki şekilde sınıflandırılabilir: çok bileşenli veya çok fonksiyonlu sistemler. Çok bileşenli sistemlerde, benzer çıktıları üretmek için benzer girdileri kullanan benzer işlevlerin çeşitli bölümlerinden oluşur ve her bir KVB'nin aynı sayıda bölüme sahip olması gerekmez. Örneğin, bir elektrik şirketi genellikle bağımsız olarak çalışan birkaç enerji santraline sahiptir. Her güç şirketi farklı sayıda enerji santraline sahiptir ancak aynı çıktıları elde etmek için aynı girdileri tüketirler. Çok fonksiyonlu sistemlerde, her bir KVB için aynı sayıda bölüm vardır. Yani, her bölüm özel bir fonksiyondur. Örneğin, uluslararası bir otel genellikle konaklama, yemek ve alışveriş işlevleri için sırasıyla oda, restoran ve mağazadan sorumlu üç bölüme sahiptir. Her bölüm kendi girdilerine sahiptir ve üç işlevi yerine getirmekte oldukça bağımsızdırlar.

Kao (2009b), Tayvan'daki orman bölgelerinde; kereste, rekreasyonel ziyaretçiler ve toprak koruma etkisi yaratmak için arazi, emek, orman stokları ve işletme giderleri olarak 4 girdiyi kullanan bir etkinlik değerlendirmesi yapmıştır. Her bölge aynı işlevleri yerine getiren bir takım çalışma çevrelerine ayrılmıştır. Bu örnekte bölge KVB, çalışma çevreleri ise bölümlerdir. Şekil 3.24'de, çok bileşenli paralel bir sistemin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Çok bileşenli paralel bir sistem

j.nci karar verme birimi, p_j bölüme sahiptir ve her bölüm benzer çıktıları Y_r üretmek için benzer girdileri X_i kullanır.

j.nci KVB'nin p_j bölümleri tarafından üretilen toplam çıktı ve tüketilen toplam girdi sırasıyla $X_{ij} = \sum_{k=1}^{p_j} X_{ij}^{(k)}$, $i = 1, 2, \dots, m$ ve $Y_{rj} = \sum_{k=1}^{p_j} Y_{rj}^{(k)}$, $r = 1, 2, \dots, s$. Network bir yapıda, bir KVB'nin göreceli etkinliğini ölçmek için Kao (2009a), sistemdeki bölümlerin ilişkisini korumak için aynı çarpan faktörünü gerektiren ilişkisel bir model önerdi. Bu fıkre dayanarak, tüm bölümlerin işlemlerini göz önüne alan, ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan model:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

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

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

(3.44)

Kısıtlar, tüm KVB'ler tarafından üretilen üretim sınırını gösterir. Optimal durumda, sistem ve bölüm etkinlikleri amaç fonksiyonu ve kısıtlardan Eşitlik (3.45)'deki gibi hesaplanabilir:

$$E_0 = \frac{\sum_{r=1}^S u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$

$$E_0^{(k)} = \frac{\sum_{r=1}^S u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}, k = 1, \dots, P_0$$
(3.45)

Bölümler bağımsız çalıştığı için birbirlerini bağlayan ara ürünler olmadan bölüm etkinliklerinin ağırlıklı ortalaması sistem etkinliğine eşit olacaktır. Bu, girdi ve çıktı olmak üzere iki açıdan doğrulanabilir. Girdi yönünden bakacak olursak, k bölümü ile ilişkilendirilen ağırlık, tüm bölümler tarafından tüketilen toplam girdinin bu bölüm tarafından tüketilen girdiye oranı olsun. Yani,

$$\omega^{(k)} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$
(3.46)

p_0 bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması,

$$\sum_{k=1}^{P_0} \omega^{(k)} E_0^{(k)} = \sum_{k=1}^{P_0} \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} \times \frac{\sum_{r=1}^S u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} \right) = \sum_{k=1}^{P_0} \left(\frac{\sum_{r=1}^S u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} \right)$$

$$= \frac{\sum_{r=1}^S u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$
(3.47)

$\sum_{k=1}^{P_0} \omega^{(k)} = 1$ ve $\omega^{(k)} \geq 0, k=1, \dots, p_0$. Sistem etkinliğinin bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış aritmetik ortalamaları olarak ayrıştırılabilir. Bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması sistem etkinliğine eşit olduğu zaman çok bileşenli sistemler için etkinlik ayrıştırma modeli etkinlik toplamı modeli ile aynıdır. Yukarıda verilen model girdiye yönelik bir modeldir. Çıktıya yönelik model de amaç fonksiyonu, $1/E_0 = \min. \sum_{i=1}^m v_i X_{i0} / \sum_{r=1}^S u_r Y_{r0}$ biçiminde ve kısıtlar aynıdır. Bölüm

k' nın ağırlığını, tüm bölümler tarafından üretilen toplam çıktının bu bölüm tarafından üretilen çıktıya oranı olarak tanımlanırsa,

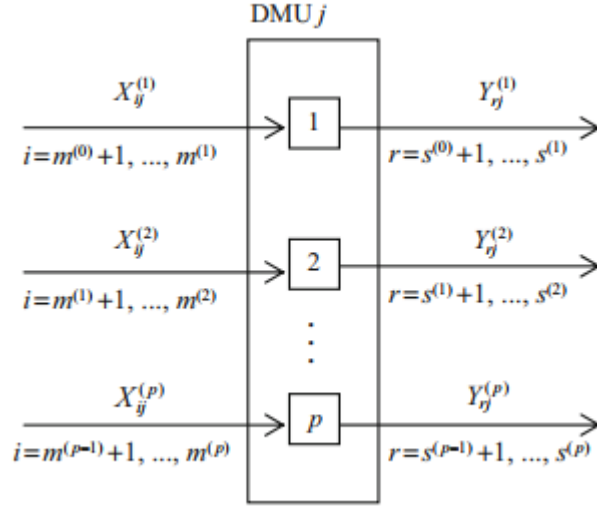
$$\omega^{(k)} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}} \quad (3.48)$$

p_0 , bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması;

$$\sum_{k=1}^{P_0} \omega^{(k)} \left(\frac{1}{E_0^{(k)}} \right) = \sum_{k=1}^{P_0} \left(\frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}} \times \frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}} \right) = \frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}} = \frac{1}{E_0} \quad (3.49)$$

sistem etkinliğinin bölüm etkinliklerinin ağırlıklandırılmış harmonik ortalaması olduğunu gösterir. Sistem etkinliği ağırlıklandırılmış harmonik ortalama aracılığıyla bölüm etkinliklerine ayrıştırılabilir.

Çok bileşenli sistemlerde, aynı işleve sahip bölüm sayısı farklı olan, yalnızca aynı KVB için değil aynı zamanda farklı KVB'ler arasında da karşılaştırılabilen sistemlere değinilmektedir. Gerçek dünyada daha yaygın olan, aynı sayıda bölümden oluşan sistemler ve her bölümün kendine özgü işlevleri vardır. Bir KVB'nin bölümleri homojen olmadığı için birbirleriyle karşılaştırılamazlar. Bununla birlikte, aynı işleve sahip farklı KVB'lerin bölümleri karşılaştırılabilir niteliktedir. Örneğin, Tayvan'daki postane, posta hizmetleri ve bankacılık olmak üzere iki ana hizmete sahiptir. Bu iki hizmetin girdi ve çıktıları farklıdır ve bu nedenle aynı branşta karşılaştırılabilir değildir. Bununla birlikte, farklı şubelerin aynı posta veya bankacılık hizmetleri karşılaştırılabilir niteliktedir.



Şekil 3.25. Çok fonksiyonlu paralel bir sistem

Şekil 3.25, çok fonksiyonlu sistemlerin yapısını göstermektedir. Çok fonksiyonlu sistemlerde bölüm sayısı tüm KVB'ler için aynıdır ve aynı KVB'nin farklı bölümlerinin girdi ve çıktı sayıları temel olarak farklıdır. Aynı girdi için, örneğin çalışanlar, bölümler arasında paylaşılıyorsa, bunlar farklı girdiler olarak kabul edilir. Gerçek dünyada bu oldukça normaldir. Postane örneği için, posta bölümünde çalışan personel bankacılık bölümündeki kişilere yardımcı olamaz.

Bir KVB'nin k. bölümünün etkinliği, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında,

$$E_0^{(k)} = \max. \frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r Y_{r0}^k}{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i X_{i0}^{(k)}}$$

Kısıtlar;

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

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

(3.50)

biçiminde modellenir. Her bir KVB için n tane kısıt vardır. Tüm p bölümler birlikte düşünülürse model:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

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

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

(3.51)

biçimindedir. n tane KVB'nin her birinde p bölüm olduğunu varsayarsak pxn tane kısıtımız olacaktır.

Optimal çözümlerin bir kümesi (u^*, v^*) elde edildiğinde, sistem ve bölüm etkinlikleri sırasıyla amaç fonksiyonu ve kısıtlar olacaktır.

$$E_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$

$$E_0^{(k)} = \frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(k)}}, k = 1, \dots, P$$

(3.52)

Bölüm k için ağırlık tüm bölümler için tüketilen toplam girdinin bu bölüm için tüketilen girdiye oranı olarak,

$$\omega^{(k)} = \frac{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}, k = 1, \dots, p$$

(3.53)

biçiminde tanımlanırsa, sistem etkinliği p bölümün etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalamasına ayrıştırılabilir.

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} = \sum_{k=1}^p \left(\frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} \right)$$

$$\sum_{k=1}^p \left(\frac{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} \times \frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(k)}} \right) = \sum_{k=1}^p \omega^{(k)} E_0^{(k)}$$

(3.54)

Aksine, sistem etkinliğini p bölüm etkinliğinin ağırlıklandırılmış ortalaması olarak tanımlanırsa sistem etkinliği,

$$\sum_{k=1}^p \omega^{(k)} E_0^{(k)} = \left(\frac{\sum_{i=m^{(k-1)}+1}^{m^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} \right) \times \left(\frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{r=1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}} \right)$$

$$\sum_{k=1}^p \left(\frac{\sum_{r=s^{(k-1)}+1}^{s^{(k)}} u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} \right) = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$

(3.55)

etkinlik ayrıştırmasının amaç fonksiyonu tanımı ile aynıdır.

Paralel sistemlerin etkinliğini ölçmek, çoklu fabrika şirketlerinin verimlilik ölçümünü inceleyen Fare ve Primont'un (1984) çalışmasına dayanmaktadır, ancak paralel sistemler fikri o zaman net değildir. Kao (1998) aynı fikri Tayvan'daki 13 orman bölgesine bağlı 34 çalışma çevrelerinin verimliliğini ölçmek için izlemiştir.

Paralel sistemlerle ilgili yapılan çalışmaların çoğu, paylaşılan girdi ve / veya çıktı faktörlerine sahip çok fonksiyonlu sistemler ile ilgilidir. İngiltere üniversitelerindeki kimya ve fizik bölümlerinin performans ölçümünde Beasley (1995) öğretim ve araştırmanın etkinliğini toplamak için bir model geliştirdi. Sistemin yapısı paralel olarak ifade edilmemesine rağmen, model paraleldir. Yang ve ark. (2000) sistem verimliliğinin, CCR modelinden bağımsız olarak ölçülen bölüm verimliliklerinin maksimumuna eşit olduğunu bulmak için bir model oluşturmuştur. Cook ve Hababou (2001), satış ve hizmetleri iki ana işlev olarak Kanada da 20 banka şubesinin performansını ölçtü. Model, sistem verimliliğini en üst düzeye çıkaran paylaşılan kaynakların en iyi şekilde ayrılmasını sağlamayı başardı. Cook ve ark. (2000) aynı sorunu inceledi, ancak farklı bölümler tarafından kullanılan aynı kaynağın farklı değerlere sahip olduğu varsayıldı ve bu nedenle farklı çarpanlar eklendi. Cook ve Green (2004) aynı düşüncüyü, her bir bitkinin üretimi için dört bileşene sahip olduğu 10 çelik bitkinin performansını incelemek için izledi.

Jahanshahloo ve ark. (2004a), işlevleri mevduat, satış ve hizmetler olarak sınıflandırılan ve paylaşılan girdi ve çıktıların yer aldığı İran'daki bir ticari bankanın 39 şubesinin performansını değerlendirdi. Aynı faktörün aynı çarpan sayısına sahip olmasını istemek suretiyle, sistem verimliliğinin bölüm verimliliklerinin ağırlıklı bir

ortalaması olduğu bulundu. Jahanshahloo ve ark. (2004b), bu modeli, isteğe bağlı girdileri dahil etmek için genişletmiştir. Bian ve ark. (2015), Çin'deki 18 demiryolu firmasını, iki önemli işlev olarak yolcu ve yük taşımacılığı yönünden performansını değerlendirdi.

Kao (2009b), sistem verimliliğinin bileşen bölümlerinin etkinliklerinin ağırlıklı ortalaması olduğu için, paralel sistemler için bir modeldeki sistem ve bölüm verimliliklerini ölçmek için ilişkisel bir model önerdi. Kao (2012), İngiltere'de 52 kimya departmanının öğretim ve araştırma verimliliklerini ölçmek için aynı modeli uyguladı (Beasley (1995) tarafından derlenen verileri kullanarak). Bi ve ark. (2011), kaynak dağılımı ve hedef belirleme ile ilgili sorunları incelemek için bazı değişikliklerle birlikte Kao'nun ana fikrini (2009b) inceledi. Lei ve diğ. (2015) Olimpiyat Oyunlarındaki 25 ülkenin başarılarını, Yaz ve Kış Olimpiyatlarını iki paralel oyun olarak değerlendirerek kişi başına düşen GSYİH ve nüfusu paylaşılan girdiler, üç madalya türünü de paylaşılan çıktılar olarak değerlendirdi.

Fare ve ark. (1997), paralel sistemlerdeki en eski eserlerden biridir ve model, çıktı sistem uzaklık parametresini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. 57 Güneydoğu Illinois'deki hububat çiftliklerinin incelenmesinde, arazi mısır, soya fasulyesi, buğday ve çift mahsul soya fasulyesi için paylaşıldı. Çözüm, her çiftliğin etkinliğini değil, aynı zamanda her ürün için en iyi arazi tahsisi de gösterdi. Bi ve ark. (2012), bir işletmenin üretim faaliyetlerini çekirdek ve çekirdek olmayan üretime dönüştürmüş ve paralel bir şekilde faaliyet göstermiştir. Girdiler paylaşıldı ve çıktılar her iki bölümün katkıları oldu. Yu (2008) otobüs servislerinin otoyol ve kentsel alanlara ayrıldığı çok modlu transit firmaların performansını inceledi. Daha sonra Tayvan'daki 60 otobüs şirketinin performansını ölçmek için bir bölüm uzaklık ölçüm modeli kullandı. Tsai ve Mar Molinero (2002) İngiltere'de 27 hastane performansını, tıbbi, cerrahi, doğum, psikiyatri ve ark. olmak üzere beş kategoriye ayrılmış uzaklık ölçüm modelini kullanarak araştırdılar. Diez Ticio ve Mancebon (2002), İspanyol Polis Hizmetlerinin etkinliğini analiz etmek için Beasley (1995), Mar Molinero (1996) ve Mar Molinero ve Tsai (1997) 'te sunulan fikirleri uyguladılar. Hizmetler "polisin kontrolü" ve "emirlerin korunması " olarak ayrılmış, polislerin sayısı paylaşılan bir girdi olarak ve ölçüm için 47 eyalet başkentinden gelen gözlemler toplanmıştır. Chao ve ark. (2010), finansal holding şirketlerinin işlevlerini bankacılık, sigorta, güvenlik ve diğer alanlara ayırdı ve Tayvan'daki 12 finansal holding

şirketinin performansını ölçtü. Ölçümdeki her bölüm için en uygun payı bulmak için paylaşılan girdiler de dahil edildi.

Arzu edilmeyen çıktılar olduğunda, paralel sistemler için verimliliği ölçmek için yönlü uzaklık ölçümleri uygulanmıştır. Yu ve Fan (2006) otobüs servislerinin karayolu ve kentsel alanlara ayrıldığı çok modlu transit firmaların performansını inceledi. Bu model Tayvan'daki 24 otobüs şirketinin performansını ölçmek için uygulanmış olup kazaların sayısı istenmeyen bir çıktıdır.

Paralel sistemlerin verimliliğini ölçmek için aylak tabanlı yaklaşımlar nispeten daha az ilgi görmüştür. Lozano (2015), iki süreçte (üretim ve kirlilik yaratan) kullanılan ortak girdileri olan paralel sistemlerin verimliliğini ölçmek için bir model önerdi ve 92 kömür yakıtlı enerji santralinin verimliliği değerlendirdi.

3.3.3.5. Karma Yapı

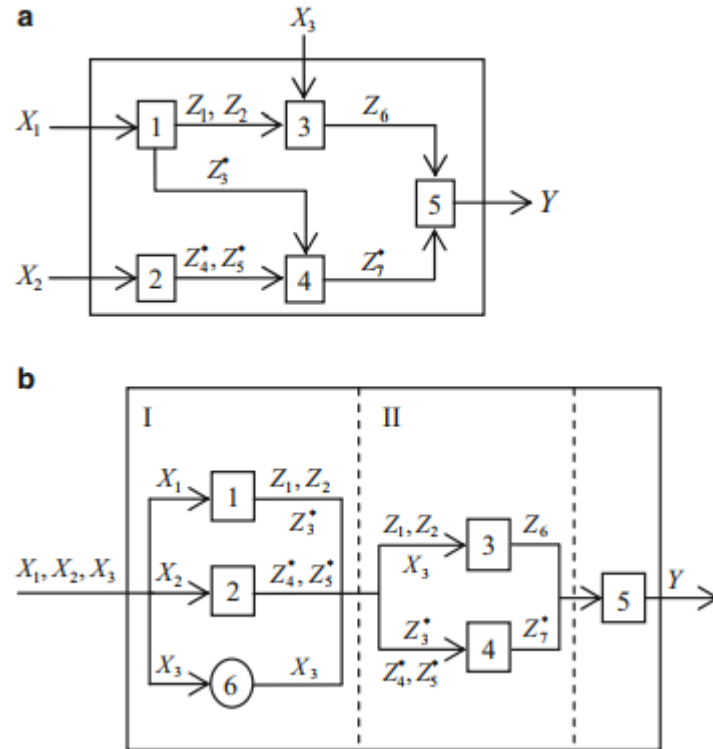
Literatürde çok az karma sistem bulunmaktadır; bunların etkinliklerini ölçmek için kullanılan modeller, bağımsız, oran formulu, uzaklık fonksiyonlu ve aylak tabanlı olmak üzere geniş kategorilere ayrılır.

Karma bir sistemin performansını araştırmanın en basit yolu, bileşen bölümlerinin verimliliğini ayrı ayrı ölçmektir. Herhangi bir bölüm verimsiz ise, sistem de verimsizdir ve düşük verimlilikteki bölümler üst yönetimin daha fazla dikkat etmesi gereken bölümlerdir. Bununla birlikte, bu bölümlerin sistemin performansı üzerinde büyük etkisi olup olmadığı yapıdaki konumlarına bağlıdır. Bu nedenle, bileşen bölümleri arasında yapısal ilişkilerin araştırılması gerekmektedir.

Lewis ve Sexton (2004), bir sezon boyunca ABD'de Major League Baseball (MLB)'da oynayan 30 beyzbol takımının verimliliğini ölçmek için ilginç bir problem üzerinde çalışmışlardır. Her ekip, Şekil 3.26'da gösterildiği gibi, beş bölüme sahip bir KVB olarak düşünülür. Bölüm 1 ve 2 büro işlemlerini, Bölüm 3, 4 ve 5 ise saha içi işlemleri oluşturmaktadır.

Bölüm 1, ödenen maaşları (X_1) tüketerek, toplam kazanılan sayı (Z_1), kazanılan yol (Z_2) ve savunma hatalarını (Z_3^*) üretir. Yıldızla işaretlenen kısımlar istenmeyen çıktılardır. Bölüm 2, atıcı maaşlarını (X_2) tüketerek, atıcıların aldığı toplam sayı (Z_4^*) ve savrulan sayıları (Z_5^*) üretir. Atıcıların aldığı ve savurduğu sayılar istenmeyen çıktılardır. Bölüm 3, toplam kazanılan sayı (Z_1), kazanılan yol (Z_2) ve

kazanılan hatalar (X_3)'ı tüketir ve takımın muhalifleri tarafından kazanılan şutları (Z_6) üretir. Bölüm 4, istenmeyen savunma hatalarını (Z_3^*), istenmeyen atıcıların aldığı toplam sayıyı (Z_4^*) ve istenmeyen savrulan sayıları (Z_5^*) tüketir, istenmeyen yolları (Z_7^*) üretir. Son olarak Bölüm 5, takımın muhalifleri tarafından kazanılan şutları (Z_6) ve istenmeyen yolları (Z_7^*) tüketir ve kazanılan oyun (Y) üretir. Her bölümün etkinliği bağımsız olarak bir uzaklık fonksiyonu modeli kullanılarak ölçülmüştür. İstenmeyen faktörler için, gözlem işaretleri ters çevrilir ve karşılık gelen uzaklık parametreleri kullanılır. Bu örnekte Bölüm 1, iki hedefe gönderilen çıktılar üretir ve Bölüm 3, örneğin, iki kaynaktan sağlanan girdileri tüketir ve sistem karma bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada sistem verimliliğini hesaplamak için ekstra girdi kaynakları ve ek çıktı yerleri taşıyan kukla bölümü kullanılmıştır. Bölüm 3'e dışarıdan tedarik edilen girdiyi sisteme dahil etmek için Bölüm 6 kukla (dummy) bölüm olarak eklenmiştir. Şekil 3.26.b de Alt sistem 1, Alt sistem 2 ve Bölüm 5 birbirine seri bağlıdır. Aynı zamanda, Bölüm 1, 2 ve 6'dan oluşan alt sistem 1 ile Bölüm 3 ve 4'ten oluşan alt sistem iki de kendi içlerinde paralel yapı ile bağlıdır. Şekilde gerçek bölümler kare ile ve kukla bölümler yuvarlak ile gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Karma bir sistem yapısı. (a) Orijinal, (b) Seri – Paralel ilişkili

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan modelin sistem etkinliği:

$$E_0 = \max. \frac{uY_0}{\sum_{i=1}^3 v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

$$w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} + w_3 Z_{3j}^* - v_1 X_{1j} \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$w_4 Z_{4j}^* + w_5 Z_{5j}^* - v_2 X_{2j} \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$w_6 Z_{6j} - (v_3 X_{3j} + w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$w_7 Z_{7j} - (w_3 Z_{3j}^* + w_4 Z_{4j}^* + w_5 Z_{5j}^*) \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$uY_j - (w_6 Z_{6j} + w_7 Z_{7j}^*) \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$v_3 X_{3j} - v_3 X_{3j} \leq 0, \quad j = 1, \dots, 30$$

$$u, v_i, w_g \geq \varepsilon, i = 1, 2, 3, g = 1, \dots, 7$$

(3.56)

Burada, amaç fonksiyonu sistem etkinliğidir. Her bir kısıt bir bölümün işlevine karşılık gelir. Dikkat edilmesi gereken bir durum, kukla bölüme karşılık gelen kısıt aynı girdi ve aynı çıktıya sahip olduğundan optimal çözümü etkilememektedir. Dolayısıyla daima etkin çıkmaktadır.

Optimal çözüm kümesi (u^*, v^*, w^*) elde edildikten sonra, sistem ve bölüm etkinlikleri kısıtlar ile birlikte;

$$E_0 = u^* Y_0 / (v_1^* X_{10} + v_2^* X_{20} + v_3^* X_{30})$$

$$E_0^{(1)} = (w_1^* Z_{10}^* + w_2^* Z_{20}^* + w_3^* Z_{30}^*) / v_1^* X_{10}^*$$

$$E_0^{(2)} = (w_4^* Z_{40}^* + w_5^* Z_{50}^*) / v_2^* X_{20}^*$$

$$E_0^{(3)} = w_6^* Z_{60}^* / (v_3^* X_{30}^* + w_1^* Z_{10}^* + w_2^* Z_{20}^*)$$

$$E_0^{(4)} = w_7^* Z_{70}^* / (w_3^* Z_{30}^* + w_4^* Z_{40}^* + w_5^* Z_{50}^*)$$

$$E_0^{(5)} = u^* Y_0 / (w_6^* Z_{60} + w_7^* Z_{70})$$

$$E_0^{(6)} = v_3^* X_{30} / v_3^* X_{30} = 1$$

(3.57)

biçiminde modellenenebilir.

Seri bağlanmış bileşen bölümlerinin olduğu bir sistemin etkinliği, bileşen bölümlerinin çarpımıdır ve paralel bağlı bileşen bölümlerinin olduğu bir sistemin etkinliği bileşen bölümlerinin ağırlıklı ortalamalarıdır. Sistemin verimliliği, Alt Sistem I, Alt Sistem II ve Bölüm 5'in verimliliğidir ve iki alt sistemin verimliliği, sırasıyla Bölüm 1, 2 ve 6'nın ve Bölüm 3 ve 4'ün ağırlıklandırılmış ortalamalarıdır.

Matematiksel form olarak:

$$E_0 = [\omega^{(1)} E_0^{(1)} + \omega^{(2)} E_0^{(2)} + \omega^{(6)}] x [\omega^{(3)} E_0^{(3)} + \omega^{(4)} E_0^{(4)}] x E_0^{(5)}$$

(3.58)

Burada,

$$\omega^{(1)} = v_1^* X_{10} / (v_1^* X_{10} + v_2^* X_{20} + v_3^* X_{30}),$$

$$\omega^{(2)} = v_2^* X_{20} / (v_1^* X_{10} + v_2^* X_{20} + v_3^* X_{30}),$$

$$\omega^{(6)} = 1 - \omega^{(1)} - \omega^{(2)},$$

$$\omega^{(3)} = (v_3^* X_{30} + w_1^* Z_{10} + w_2^* Z_{20}) / (v_3^* X_{30} + \sum_{g=1}^5 w_g^* Z_{g0}),$$

$$\omega^{(4)} = 1 - \omega^{(3)}.$$

(3.59)

Sezgisel olarak, seri bir yapının bileşenleri, paralel bir yapıya kıyasla sistem performansı üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir. Başka bir durum ise, paralel yapıdaki bir sistem ne kadar az bölüme sahip olursa sistem performansı üzerinde o kadar çok etkili olacaktır.

3.3.3.6. Hiyerarşik Yapı

Network VZA çalışmalarının temel amacı, etkinliği ölçerken bileşen bölümlerin operasyonlarını göz önüne alarak bir sistemin kara kutusunu açmaktır. Böylelikle, akademisyenler, genel network sistemin yapılarını belirleyerek ve sınıflandırarak sistematik bir şekilde analizler yapabilirler. Hiyerarşik bir sistem, paralel yapıların iki veya daha fazlasından oluşan bir sistemdir.

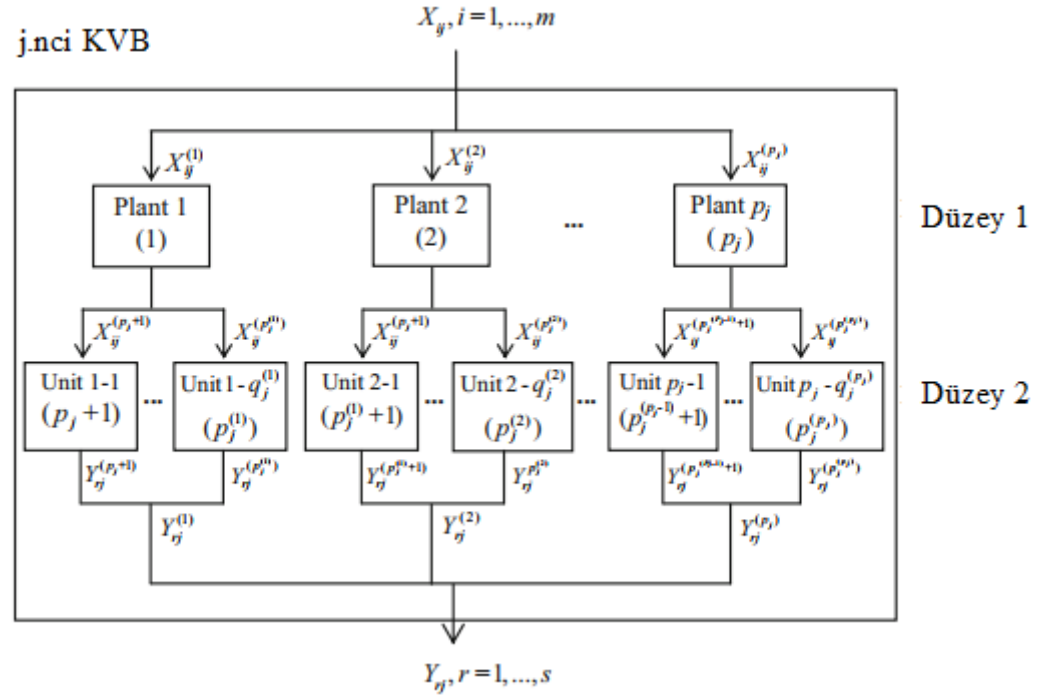
Gerçek dünyada, büyük organizasyonların yönetimi genel olarak hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve bölüm sürecinin üç yaygın yolu vardır: işlevsel, ürün ve bölgesel. Fonksiyonel bölümlendirme ile yönetim, çeşitli bölümlere bölünür ve her biri farklı işlevleri yerine getirir ve büyük departmanlar daha da bölümlere ayrılabilir. Benzer şekilde, ürün bölümlendirme, idareyi bir şirketin ürettiği ürünlere göre böler. Birçok ürün üreten şirketler için ürün bölümlerinin üstünde ürün grupları olacaktır. Ürün sayısına bağlı olarak bölümlerin çeşitli seviyeleri de olabilir. Bölgesel bölümlendirme, idareyi bölgelere böler. Aynı tipteki farklı firmalar farklı sayıda bölgeye sahip olabilirler ve bölgelerde de iller ve ilçeler olacaktır. Bölümlendirmenin bu üç yolu da bir arada kullanılabilir, örneğin ilk aşamada bölgesel, ikincisinde işlevsel olabilir.

Hiyerarşik bir sistemin çalışması, organizasyonun üst yönetiminin girdilerini birinci basamaktaki bölümlere tahsis etmesidir. İlk seviyedeki bölümler daha sonra birinci basamaktan aldıkları girdileri ikinci düzeydeki kendi alt birimlerine tahsis eder. Bu girdi tahsisi süreci, kuruluşun yapısının altındaki bölümlere kadar devam eder. En alt seviyedeki bölümlerin çıktıları, ürettikleri miktardır. Diğer düzeylerin bölüm çıktıları, onların alt bölümlerinin çıktılarıdır. Üst düzey yönetim, birinci basamaklardaki bölümlerin performansı ile ilgilidir ve bu bölümdeki bölümlerin başkanları, ikinci düzeydeki kendi alt birimlerinin performansı ile ilgilidir. Bu durum, bölüm başkanlarının kendi operasyonlarının performansı ile ilgilendiği en düşük düzeye kadar devam eder.

Hiyerarşik bir sistem, her bir bölümün aynı işlevi yerine getirip getirmediğine göre çok bileşenli veya çok işlevli bir sistem şeklinde iki gruba ayrılabilir. Çok bileşenli bir sistemde, her seviyedeki bölmeler aynı işlevi yerine getirir. Bu tür bir sistem genellikle, farklı düzeydeki KVB'ler için her bir seviyedeki bölümlerin aynı olması gerektiği bölgesel bölümlendirme ile ortaya çıkar. Çok işlevli bir sistemde her bölüm farklı işlevlere sahiptir. Bu tip sistemin en önemli özelliği, her seviyede

aynı bölüm sayısına sahip olması ve her KVB'nin aynı sayıda alt bölümünün ayırıcı işlevleri yerine getiriyor olmasıdır. Başka bir deyişle, her bir KVB'nin tüm bölümlerinin bire bir yazışmaları vardır ve bunlar, karşılaştırma için aynı temellere sahip olmalıdır. Hiyerarşik sistem kavramı basit olmakla birlikte, bunu açıklamak için genel bir model oluşturmak o kadar da basit değildir.

Çok bileşenli hiyerarşik bir sistem, tüm bölümlerin aynı çıktıları elde etmek için aynı girdileri kullandığı birkaç bölüm seviyesine sahip bir network sistemdir. Tipik bir örnek Cook ve Green (2004), çeşitli enerji santrallerine sahip enerji şirketi ve her santral birkaç güç ünitesine sahip olduğu durumda sistemin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Şekil 3.27 hiyerarşik sistemin yapısını göstermektedir.



Şekil 3.27. İki seviyeli çok bileşenli hiyerarşik bir sistem yapısı

İki seviyeli çok bileşenli hiyerarşik sistem, j. güç şirketine aittir. Kolay görülmesi açısından, fabrikalar ve birimler sırasıyla parantez içindeki sayılarla numaralandırılmıştır. Bölüm 1'den bölüm p_j 'ye kadar p_j adet fabrika vardır. Her k fabrikası, $q_j^{(k)}$ birime sahiptir. Örneğin, k. fabrikanın a. birimi, birim k – a olarak gösterilmiştir. n tane şirket olduğunu varsayalım, bir şirketin etkinliğini ölçmek için kara kutu modeli, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

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

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

(3.60)

Açıkçası, eğer fabrika ve birimlerin faaliyetleri dikkate alınmazsa, fabrika ve birimlerinin çoğu olmasa da bir şirketin etkin olması mümkündür. Bu durumu ortadan kaldırmak için sistemin iç yapısı dikkate alınmalıdır.

Kao'nun (2009a) ilişkisel model fikrinden yola çıkarak, hangi bölüme karşılık gelirse gelsin aynı faktörün aynı çarpan ile ilişkili olması gerekir; Şekil 3.27'deki hiyerarşik sistem için network modeli şöyledir:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

Şirket Kısıtları:

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

Fabrika Kısıtları:

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

Birim Kısıtları:

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

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

(3.61)

k bitkisinin alt güç birimlerinin etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması:

$$\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \omega^{(d)} E_0^{(d)} = \sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}}{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} v_i^* X_{i0}^{(d)}} \times \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(d)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}} \right)$$

$$\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \left(\frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(d)}}{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}} \right) = \frac{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(d)}}{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} = E_0^{(k)}$$

(3.62)

Başka bir deyişle, ilk seviyedeki bölümün etkinliği ikinci seviyedeki alt bölümlerin ağırlıklandırılmış ortalamasıdır. Eğer k fabrikasının ağırlığı, tüm fabrikalar tarafından tüketilen toplam girdinin k fabrikası tarafından tüketilen girdiye oranı olarak ağırlıklandırılırsa,

$$E_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* \sum_{k=1}^{p_0} Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* \sum_{k=1}^{p_0} X_{i0}^{(k)}}$$

$$= \sum_{k=1}^{p_0} \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{p_0} v_i^* X_{i0}^{(k)}} \times \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} \right)$$

$$= \sum_{k=1}^{p_0} \omega^{(k)} E_0^{(k)}$$

(3.63)

Sistem etkinliği, hiyerarşik yapının ilk seviyesindeki alt bitkilerin etkinliklerinin ağırlıklandırılmış ortalaması olarak ayrıştırılabilir. Eşitlik (3.64)'e göre, birinci kademedeki bir bölümün etkinliği ikinci kademedeki alt bölümlerin ağırlıklı ortalamasıdır.

Eşitlik (3.65)' deki sistem etkinliği bu nedenle daha da ayrışabilir:

$$\begin{aligned}
E_0 \sum_{k=1}^{P_0} \omega^{(k)} E_0^{(k)} &= \sum_{k=1}^{P_0} \left(\omega^{(k)} \sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \omega^{(d)} E_0^{(d)} \right) \\
&= \sum_{k=1}^{P_0} \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}} \right) \sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}}{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} v_i^* \sum_{i=1}^m X_{i0}^{(d)}} x \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(d)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}} \right) \right] \\
&\sum_{k=1}^{P_0} \sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} \left(\frac{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}}{\sum_{d=p_0^{(k-1)}+1}^{p_0^{(k)}} v_i^* \sum_{i=1}^m X_{i0}^{(d)}} x \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(d)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(d)}} \right) = \sum_{d=p_0+1}^{p_0^{(p_0)}} \hat{\omega}^{(d)} E_0^{(d)}
\end{aligned}
\tag{3.64}$$

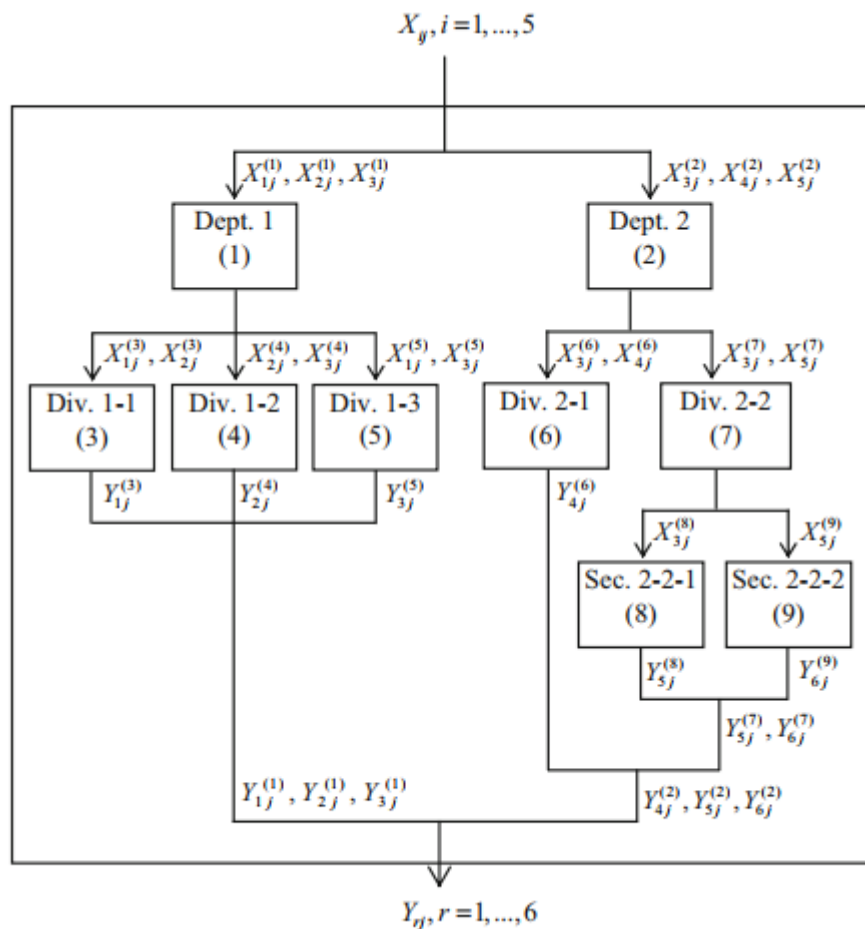
Sistem verimliliğinin, ikinci düzey bölümlerin verimliliklerinin ağırlıklı bir ortalaması olduğu sonuç olarak elde edilir; bu, bir sistemin tüm alt bölümleri verimli olduğu takdirde verimli olduğuna işaret eder. Birinci seviye ve sistem kısıtlamaları silindiğinde, sistemin paralel bir yapıya sahip ikinci seviye bölümlerden oluştuğu görülür.

Çok bileşenli hiyerarşik sistem homojen bir yapıya sahiptir, çünkü her bölüm hangi seviyede olursa olsun benzer girdileri benzer çıktıları üretmek için kullanır ve üretim sınırı tüm bölümlerden oluşur. Bu nedenle, tüm kademelerdeki bölümler karşılaştırılabilir niteliktedir.

Her bölümün benzer çıktıları üretmek için benzer girdileri kullanarak aynı işlevi yerine getiren çok bileşenli sistemden farklı olarak, çok fonksiyonlu sistem farklı işlevleri yerine getiren bir dizi bölümden oluşur; burada farklı çıktıları üretmek için farklı girdiler kullanılır. Bu tip bir sisteme örnek olarak Tayvan'daki Chunghwa postanesi verilebilir. Her şubede, posta ve bankacılık hizmetleri olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır ve bölümlerde posta kutusu tasarrufu ve basit hayat sigortası bölümlerine ayrılmıştır. Şube müdürü, iki departmanın performansı ile ilgilenmekte ve bankacılık departmanı başkanı, iki alt bölümün performansı ile ilgilenmektedir. Posta ve bankacılık departmanları karşılaştırılabilir değildir ve posta tasarrufu ve basit hayat sigortası bölümleri de karşılaştırılabilir değildir ve yalnızca şubeler arasında karşılaştırılabilir. Sistem verimliliği bölüm verimliliğinin

bir fonksiyonu olduğu için, Sistem verimliliğinin ölçülmesiyle bölüm verimliliği aynı anda elde edilecektir.

Çok fonksiyonlu hiyerarşik sistem standart bir yapıya sahip değildir. Böyle bir sistemin verimliliğini ölçmek için bir örneğe bakmak daha iyidir. Şekil 3.28’de gösterilen, sistemin birinci kademedeki iki bölümden oluştuğu oldukça temsili yapılanmayı göz önünde bulunduralım. Bu iki bölümde, sırasıyla, 1-1, 1-2, 1-3, 2-1 ve 2-2 olarak adlandırılan ikinci düzeyde üç ve iki bölüm vardır ve Bölüm 2-2’de de üçüncü düzey olarak iki bölüm vardır: 2-2-1 ve 2-2-2 olarak gösterilir.



Şekil 3.28. Üç seviyeli çok fonksiyonlu hiyerarşik bir sistem yapısı

Sistemde tedarik edilen 5 girdi vardır ve 3. girdi paylaşılan girdidir. Her bir bölüm, kendisine tahsis edilen girdileri, ana bölümden, daha sonraki dağıtım için kendi alt bölümlerine dağıtır. Örneğin, Bölüm 7'nin çıktıları Bölüm 8 ve 9 tarafından üretilir. Bölüm 2, Bölüm 6 ve 7 tarafından üretilir.

Aynı yapıdaki n tane KVB'nin göreceli verimliliklerini ölçerken karşılaştırmaları gerektiğini varsayalım. Bu sistemin verimliliğini ölçmek için

hiyerarşik model, bölümlerin operasyonlarını dikkate alarak sistemin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için kullanılır. İlişkili model:

$$E_0 = \max. \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}}$$

Kısıtlar;

Sistem kısıtı:

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

Bölüm kısıtı:

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(k)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(k)} \leq 0, \quad k = 1, \dots, 9, j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m$$

(3.65)

Optimal çözüm (u^*, v^*) hesaplandıktan sonra, sistem ve bölüm etkinlikleri:

$$E_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}}$$

$$E_0^{(k)} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(k)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(k)}}, k = 1, \dots, 9$$

(3.66)

Geleneksel CCR modelinin bölüm kısıtlamaları olmadığını unutmayalım. Hiyerarşik modelden hesaplanan sistem verimliliği açıkça CCR modelinden hesaplanana eşit veya daha azdır.

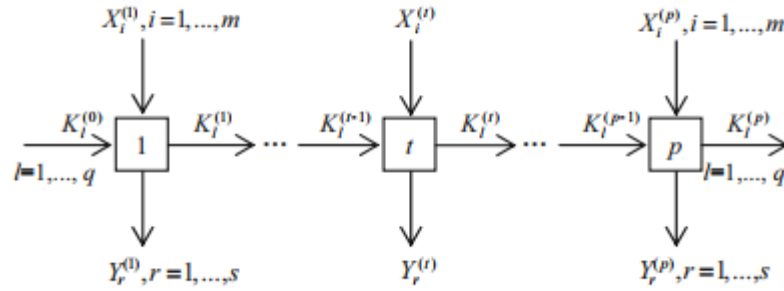
Çoğu kurum hiyerarşik bir yapıya sahip olmakla birlikte, bu form, Kao (2014) çalışmasında açıklandığı üzere, nispeten az ilgi görmüştür. Castelli ve ark. (2004), bir üst düzeydeki birimlerin daha düşük seviyede ortak alt birimlere sahip olabildiği bir ve iki düzeyli hiyerarşik bir sistemin performansını ölçmek için bir model önermişlerdir. Tek düzeyli sistemler, paralel olanlarla aynı yapıya sahip olduklarından, Kao'nun (2009b) ikinci sistemin verimliliğini ölçme modeli de eski modüller için kullanılabilir. İki seviyeli sistemler ile ilgili olarak Castelli ve ark.

(2004) KVB verimliliğini ölçmek için ağırlık dengelemesi gerçekleştiren iki model önermiştir.

3.3.3.7. Dinamik Yapı

Şimdiye kadar ele alınan verimlilik ölçümleri, ya girdilerin belirtilen zaman periyodunda çıktıları üretmek için tamamen kullanıldığını ya da sermaye üretimi varsayımı altında duran statik modellere odaklanmaktadır. Ardışık dönemlerde üretim birimi için girdi kullanımı ve çıktı gerçekleşmesi arasında zaman bağıllığı yoktur ve bu modeller sermaye girdilerini değişken girdilerden ayırmaz. Bununla birlikte, gerçekte, yarı-sabit faktörler orta ve uzun vadede değişebilir ve bu da girdiler arasında zamanlar arası bir etkiye neden olur. Yarı sabit faktörlerin değişimlerinden kaynaklanan etkileri yakalamak için dinamik bir analiz gereklidir. Genel bir üretim sisteminin davranışları hakkında bilgi vermek için dinamik modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Temel bir dinamik sistem Şekil 3.29'da gösterilmektedir. Sistem, $K_l^{(t)}$ aktarmaları ile bağlantılı bir seri sistemdir. Her t periyodunda dışarıdan tedarik edilen $X_i^{(t)}$ ve $t - 1$ periyodundan aktarılan $K_l^{(t-1)}$ girdileri tüketilerek, sistemin dışına gönderilen $Y_r^{(t)}$ ve $t + 1$ periyodunda kullanılacak $K_l^{(t)}$ çıktıları üretilir.



Şekil 3.29. Temel dinamik yapı

Yapısal olarak, temel dinamik sistem çok aşamalı sisteme benzemektedir. Yani, temel dinamik sistem çok aşamalı sistemin özel bir durumudur. Kao (2013)'ün önerdiği ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan matematiksel model:

$$\frac{1}{E_0} = \min. \frac{\sum_{t=1}^p \sum_{i=1}^m v_i X_{i0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l K_{l0}^{(0)}}{\sum_{t=1}^p \sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l K_{l0}^{(p)}}$$

Kısıtlar;

$$\left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l K_{lj}^{(t-1)} \right) - \left(\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l K_{lj}^{(t)} \right) \geq 0,$$

$$j = 1, \dots, n, t = 1, \dots, p$$

$$u_r, v_i, c_l \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m, l = 1, \dots, q$$

(3.67)

Optimal çözüm (u^*, v^*, c^*) elde edildiğinde, tüm p periyotları (E_0) ve t periyodu $(E_0^{(t)})$ için etkinlikler:

$$E_0 = \left(\sum_{t=1}^p \sum_{r=1}^s u_r^* X_{r0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l^* K_{l0}^{(p)} \right) / \left(\sum_{t=1}^p \sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l^* K_{l0}^{(0)} \right)$$

$$E_0^{(t)} = \left(\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{r0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l^* K_{l0}^{(p)} \right) / \left(\sum_{i=1}^m v_i^* X_{i0}^{(t)} + \sum_{l=1}^q c_l^* K_{l0}^{(t-1)} \right), t = 1, \dots, p$$

(3.68)

formülüyle hesaplanabilir.

Sonuç olarak, model açısından bakıldığında oran formulu sistem etkinlik modeli en çok kullanılan model yapısıdır. Daha sonra süreç uzaklık ölçü modeli kullanılmaktadır. Bu iki model de her tür yapıda uygulamalara sahiptir. Faktör uzaklık ölçü modeli ve oyun teorisi modelleri en az kullanılan modellerdir. Yapısal olarak bakıldığında ise, temel ve iki aşamalı yapılar en çok kullanılırken hiyerarşik yapı en az kullanılan yapı türüdür. Bunun sebebi hiyerarşik yapının karmaşık bir yapıya sahip olması ve uygulanabilirliğinin azlığıdır. Bağımsız model temel iki aşamalı yapıya sahip problemlerde ve değer tabanlı model dinamik yapıya sahip problemlerde uygulanmıştır. En çok uygulamaya sahip olan oran formulu sistem etkinlik modeli paralel yapılarda kullanılırken oran formulu süreç etkinlik modeli daha çok genel iki aşamalı yapılarda kullanılmıştır. Son olarak, oyun teorisi modeli sadece iki aşamalı yapılarda uygulanmıştır.

3.4. Veri

Ülkemizde mevcut 81 adet il (Şekil 3.29) ve 21 adet elektrik dağıtım şirketleri (Şekil 3.30) bulunmaktadır. Bu projede elektrik üretim ve tüketimine dayanan girdi ve çıktı değişkenlerinden yararlanılarak elde edilen veri setleri kullanılmıştır.



Şekil 3.30. Türkiye’deki iller

Söz konusu değişkenler T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yayınlamış olduğu değerler olup, ilgili veriler kamu kaynaklı resmi istatistiklerden oluşmaktadır. Ayrıca, Bakanlık sitesinde bulunmayan verilerin elde edilmesi için elektrik üretim, iletim ve dağıtımından sorumlu ilgili kurumların veri tabanları kullanılmıştır.



Şekil 3.31. Türkiye’deki elektrik dağıtım şirketleri

Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. (Dicle EDAŞ): Dicle Elektrik Dağıtım bölgesi Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin, Siirt ve Şırnak illerinde yaklaşık 1,3 milyon aboneye sahip bu bölge 2011 Sayıştay Raporlarına göre %71,37 oranla Türkiye’ nin en fazla kayıp-kaçak değerine sahiptir. 1,3 milyon abonenin bulunduğu bu bölgedeki elektrik tüketim miktarı yıllık 15 Milyar kWh civarındadır.

Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ): Bitlis, Hakkari, Muş illerini kapsayan dağıtım bölgesi Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ) olarak adlandırılmaktadır. Bölgedeki toplam abone sayısı 405 bin civarında ve yıllık abonelere dağıtılan enerji miktarı ise 3 Milyar kWh civarındadır.

Aras Elektrik Dağıtım A.Ş. (Aras EDAŞ): Erzurum, Ağrı, Ardahan, Bayburt, Erzincan, Iğdır, Kars illerini kapsayan dağıtım bölgesi Aras Elektrik Dağıtım A.Ş. (Aras EDAŞ) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık 815 bin abonenin bulunduğu Aras EDAŞ dağıtım bölgesinde yıllık abonelere dağıtılan enerji 2.8 Milyar kWh civarındadır.

Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. (Çoruh EDAŞ): Trabzon, Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize illerini kapsayan bu dağıtım bölgesi Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. (Çoruh EDAŞ) olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık 1 milyon abonenin bulunduğu bölge 33202 kilometrekarelik bir alana sahiptir. Bölgede yıllık olarak abonelere dağıtılan enerji ise 3 Milyar kWh civarındadır.

Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. (Fırat EDAŞ): Elazığ, Malatya, Bingöl ve Tunceli illerini kapsayan dağıtım bölgesi Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. (Fırat EDAŞ) olarak adlandırılmıştır. 37493 kilometrekarelik bir alana sahip bu dağıtım bölgesinin toplam nüfusu yaklaşık 1.7 Milyon dur. Bölgedeki abone sayısı 700 bin civarında ve yıllık abonelere dağıtılan enerji miktarı ise 2.6 Milyar kWh civarındadır.

Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş. (Çamlıbel EDAŞ): Sivas, Tokat ve Yozgat illerinin dahil olduğu bu bölge Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş. (ÇEDAŞ) olarak adlandırılmıştır. 52000 kilometrekarelik bu alanda Çamlıbel EDAŞ yaklaşık 750 bin abonenin elektrik erişimini sağlamaktadır.

Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş. (Toroslar EDAŞ): Adana, Gaziantep, Hatay, Kilis, Mersin ve Osmaniye illerinin dahil olduğu bu bölge Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş. (Toroslar EDAŞ) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık 7.7 milyon kişinin elektrik erişiminin sağlandığı Toroslar EDAŞ bölgesi, 76.603 km lik dağıtım hattı üzerinden yaklaşık 12,5 tWh elektrik dağıtımı gerçekleştirmektedir. Bu değer, Türkiye' nin tüketilen enerjisi göz önüne alındığında % 7,3' lük orana tekabül etmektedir.

Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. (MEDAŞ): Konya, Aksaray, Niğde, Kırşehir, Nevşehir ve Karaman illerini kapsayan; 6 il, 65 ilçe, 331 belde, 1379 köyün bulunduğu bu dağıtım bölgesi Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. (MEDAŞ) olarak

adlandırılmıştır.Yaklaşık 1.6 milyon abonenin bulunduğu Meram EDAŞ dağıtım bölgesindeki abonelere dağıtılan enerji 6 Milyar kWh civarındadır.

Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş. (Başkent EDAŞ): Ankara, Bartın, Çankırı, Karabük, Kastamonu, Kırıkkale ve Zonguldak illerini içine alan bu bölge dağıtım şebekesinin ve hizmet verilen coğrafi alanın büyüklüğü dikkate alındığında Türkiye’ nin en büyük dağıtım bölgesidir. 2012 yıllı verilerine bakıldığı takdirde 100.000 km lik dağıtım hattında, 13,6 milyar kWh elektrik dağıtımı gerçekleşmiştir. 3,6 milyon abonenin yani yaklaşık olarak 7 milyon kişinin elektrik erişiminin sağlandığı bu bölge, Türkiye’ nin tüketilen enerjisi bakımından %9’ unu oluşturmaktadır.

Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş. (AEDAŞ):Antalya, Burdur, Isparta illerini kapsayan dağıtım bölgesi Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş. (AEDAŞ) olarak adlandırılmaktadır.

Bölgedeki toplam abone sayısı yaklaşık olarak 1.6 Milyon olan bu bölgede, yıllık olarak abonelere dağıtılan enerji miktarı 7 Milyar kWh civarındadır.

Gediz Elektrik Dağıtım A.Ş. (Gediz EDAŞ):İzmir ve Manisa illerinin dahil olduğu dağıtım bölgesini kapsayan dağıtım bölgesi Gediz Elektrik Dağıtım A.Ş. (Gediz EDAŞ) olarak adlandırılmaktadır.Yaklaşık 2.4 Milyon abonenin bulunduğu bu bölgede abonelere yıllık olarak dağıtılan enerji ise 14 Milyar kWh civarındadır.

Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ):Marmara’ nın güneyinde bulunan; Bursa, Balıkesir, Çanakkale ve Yalova illerini kapsayan dağıtım bölgesi Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ) olarak adlandırılmıştır.2.2 milyon aboneye hizmet verilen bu dağıtım bölgesi 35501 kilometrekarelik bir alana sahiptir. Türkiye’ nin tüketilen elektrik enerji değerleri göz önüne alındığı takdirde %9’ luk bir orana tekabül etmektedir.

Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş. (TREDAS):Kırklareli, Tekirdağ, Edirne illerinin dahil olduğu bu dağıtım bölgesi Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş. (TREDAS) olarak adlandırılmıştır.1.57 milyon kişinin yaşadığı 20000 kilometrekarelik alandaki hat uzunluğu 18000 km civarındadır. Bu bölgedeki abone sayısı yaklaşık 1 Milyondur ve abonelere yıllık dağıtılan enerji 7 Milyar kWh civarındadır.

Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş. (AYEDAŞ):İstanbul Anadolu Yakasıdağıtım bölgesinin bulunduğu bölge Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş. (AYEDAŞ) olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık 4.7 milyon kişinin elektrik erişimini sağlayan bu bölgenin dağıtım hattı uzunluğu yaklaşık 18.500 km dir. Bu bölgede yaklaşık 10

milyon kwh elektrik dağıtımı gerçekleştirilmektedir. Türkiye’ nin tüketilen enerjisi göz önüne alındığında %5.8’ lik orana tekabül etmektedir.

Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. (SEDAŞ):Sakarya, Kocaeli, Bolu, Düzce illerinin dahil olduğu bu dağıtım bölgesi Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş (SEDAŞ) olarak adlandırılmıştır.4 il, 45 ilçe, 66 belediye, 1441 köyün bulunduğu ve yaklaşık 3 Milyon kişinin yaşadığı bu dağıtım bölgesindeki abone sayısı 1,4 Milyon’ dur. Abonelere dağıtımı yapılan enerji yıllık enerji miktarı ise yaklaşık 8 Milyar kWh’ dir.

Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. (OEDAŞ):Eskişehir, Afyon, Bilecik, Kütahya, Uşak illerini kapsayan dağıtım bölgesi Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. (OEDAŞ) olarak adlandırılmaktadır. Bölgedeki toplam abone sayısı yaklaşık olarak 1.4 Milyon olan bu bölgede, yıllık olarak abonelere dağıtılan enerji 5.2 Milyar kWh civarındadır.

Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ):Boğaziçi Elektrik Dağıtım bölgesi İstanbul’ un Avrupa Yakası’ nı kapsamaktadır. 3.573 kilometrekarelik alanda yaklaşık 4.3 milyon aboneye yıllık 25 Milyar kWh elektrik dağıtımı yapmaktadır. Bu değer Türkiye dağıtım piyasasının %13’ lük pazar payına karşılık gelmektedir.

Kayseri ve Civarı Elektrik Türk A.Ş. (KCETAŞ):Bu dağıtım bölgesi diğer dağıtım bölgelerinden farklı olarak 1990 yılında özelleştirilmiş bir bölgedir ve TEDAŞ’ a bağlı değildir. Yaklaşık 600 bin abonenin bulunduğu bu dağıtım bölgesinde abonelere dağıtımı yapılan enerji miktarı yıllık 3 Milyar kWh’ dir.

Aydem Elektrik Dağıtım A.Ş. (Aydem EDAŞ): Denizli, Muğla, Aydın illerinin dahil olduğu bu dağıtım bölgesi Aydem Elektrik Dağıtım A.Ş. (Aydem EDAŞ) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık olarak 1.5 Milyon abonenin bulunduğu bu bölgede abonelere dağıtılan yıllık enerji miktarı ise 6 kWh civarındadır.

Göksu Elektrik Dağıtım A.Ş. (Göksu EDAŞ): Kahramanmaraş, Adıyaman illerini kapsayan dağıtım bu bölgesi Göksu Elektrik Dağıtım A.Ş. (Göksu EDAŞ) olarak adlandırılmaktadır. Bölgedeki toplam abone sayısı yaklaşık olarak 520 bin olan bu bölgede, yıllık olarak abonelere dağıtılan enerji 4 Milyar kWh civarındadır.

Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş. (YEDAŞ): Samsun, Amasya, Çorum, Ordu, Sinop illerini kapsayan dağıtım bölgesi Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş. (YEDAŞ) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık 1.5 milyon abonenin bulunduğu 40344 kilometrekarelik bu YEDAŞ dağıtım bölgesinde abonelere dağıtılan enerji miktarı 4.9 Milyar kWh civarındadır.

Çalışmamızda kullanılan illerin ve dağıtım şirketlerinin verilerinin 2015 yılı için istatistiksel özellikleri Çizelge3.1 ve Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge3.1. Dağıtım şirketlerinin istatistiksel özellikleri

2015	Min.	Max.	Ortalama	Sta.Sapma
Dağıtım Gerilim	72,1	12.008.027.000,0	926.207.067,9	319.905.006,9
İletim Gerilim	10,4	394.698.000,0	31.148.561,8	104.954.113,7
Üretilen enerji	7,3	2.072.411.000,0	163.065.037,7	551.206.367,4
Dağıtım şirketlerine satılan enerji	7,0	887.286.000,0	70.917.481,4	235.704.160,9
Dağıtım sistemine giren enerji	5,2	245.900.000,0	19.492.342,6	65.363.265,35
Abone Sayısı	7,6	625.921.000,0	49.751.177,9	166.341.478,8
Kayıp Kaçak Oranı	6,6	764.676.000,0	61.279.007,0	203.082.914,5
Personel Sayısı	12,5	2.197.523.000,0	172.872.015,6	584.490.746,4
Hat Uzunluğu	7,3	507.255.000,0	40.663.725,0	134.715.304,0
Trafo Gücü	6,9	1.137.775.000,0	90.462.406,6	302.360.887,0
Trafo Sayısı	59,7	2.345.819.000,0	181.015.563,1	624.925.805,5
Kurulu Güç	7,9	475.311.000,0	37.887.852,7	126.288.265,2

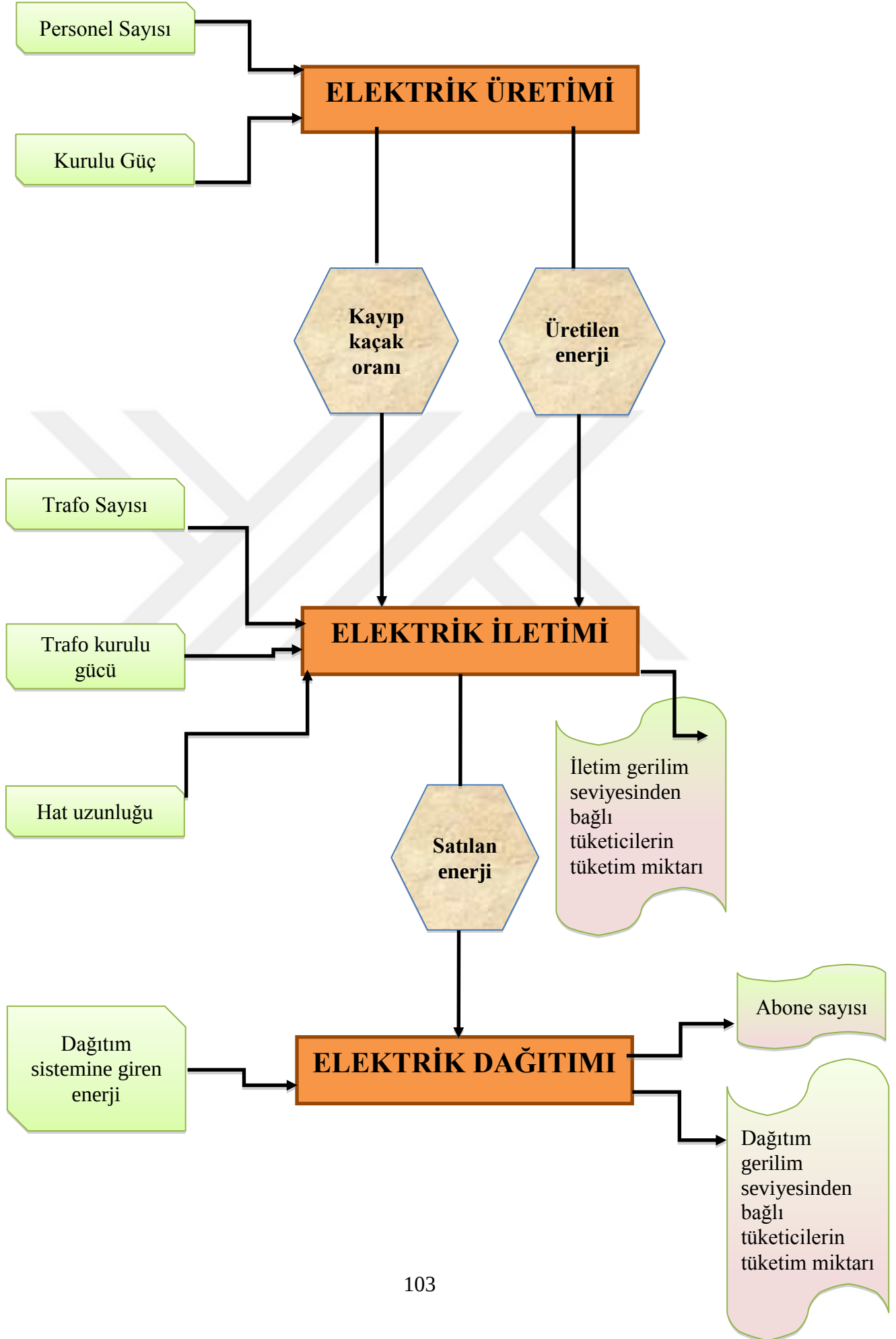
Çizelge3.2. Şehirlerin istatistiksel özellikleri

2015	Min.	Max.	Ortalama	Sta.Sapma
Kurulu Güç	0	11.680.340	1.034.505	2.808.398,058
Santral Sayısı	0	1.118.050	212.637	368.108,771
Lisanssız Kurulu Güç	0	572.971	119.433	199.268,941
Lisanssız Elektrik Üretimi	0	355.305	54.396	105.245,713
Yıllık Yaklaşık Üretim	0	1.321.869	236.897	421.429,525
Tüketim Miktarı	0	694.095	114.213	211.906,095
Abone Sayısı	0	980.845	130.603	282.612,287
Hat Uzunluğu	0	883.775	127.771	261.469,168
Trafo Sayısı	0	312.340	55.577	102.965,486
Trafoların Kurulu Gücü	0	86.468	17.441	31.554,0007

Çalışmada öncelikle olarak şehirlerin ve dağıtım şirketlerinin ayrı ayrı veri zarflama analizi ile etkinlikleri incelenmiştir. Bunun için, dağıtım şirketlerinin genel etkinlik değerlendirilmesinde girdi olarak, personel sayısı ve kurulu güç; çıktı olarak ise dağıtım gerilim seviyesinden bağlı tüketicilerin tüketim miktarı ve abone sayısı alınmıştır. Daha sonra şehirlerin genel etkinlik değerlendirilmesi hesaplanırken girdi

olarak kurulu güç ve personel sayısı; çıktı olarak ise üretilen enerji miktarı ve abone sayısı alınmıştır. İki girdi ve iki çıktıdan oluşan modeller, girdiye yönelik CCR modeli kullanılarak Max – Dea programı ile çözülmüştür.

Elektrik dağıtım bölgelerinin ve şehirlerin elektrik enerjisi etkinliği değerlendirilirken aslında veri zarflama analizinin hatalı sonuçlar verebileceği düşüncesi ile network veri zarflama analizi ile sistem aşağıdaki şekilde tekrar modellenmiştir. Çünkü aslında elektrik enerjisi üretimi ve tüketiminin tek bir süreç olarak düşünülmesi yanlıştır. Elektrik üretimi, üretilen elektriğin iletilmesi ve son olarak iletilen elektriğin de dağıtım şirketleri aracılığıyla tüketicilere ulaşımı söz konusudur. Dolayısıyla tek bir sistem gibi görünen kara kutu, üç ayrı sistemden oluşmaktadır. Network veri zarflama analizinin paralel yapı modelleri kullanılarak oluşturulan sistem aşağıda modellenmiştir.



Burada, elektrik üretim aşamasında personel sayısı ve kurulu güç girdi alınarak üretim süreci başlamıştır. Üretim sürecinin çıktıları ve iletim sisteminin girdileri olan kayıp kaçak oranı ve üretilen enerji ara değişkenlerdir (Link 1). İletim sürecinin girdileri trafo sayısı, trafo kurulu gücü ve hat uzunluğu iken tek çıktı iletim gerilim seviyesinden bağlı tüketicilerin tüketim miktarıdır. Aynı zamanda iletim sürecinin diğer bir çıktısı ve dağıtım sürecinin girdisi olan dağıtım şirketlerine satılan enerji ise ara değişkendir (Link 2). Son süreç olan dağıtım sürecinde ise girdi olarak dağıtım sistemine giren enerji ve çıktılar olarak da dağıtım gerilim seviyesinden bağlı tüketicilerin tüketim miktarı ile abone sayısı kullanılmıştır.

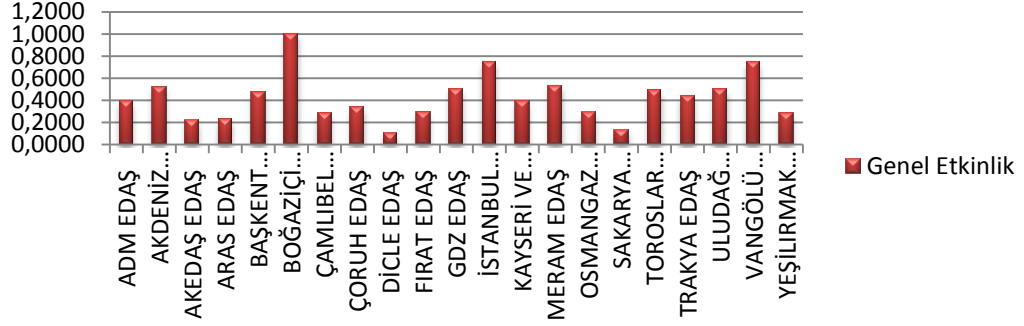
Son olarak, genetik algoritmalar yardımıyla etkinlik değerlendirilmesi yapabilmek için Matlab R2009b programı kullanılmıştır. Sezgisel bir optimizasyon tekniği olan GA'da, başlangıç popülasyonu 500 ve nesil sayısı 1000 seçilmiştir. Algoritmada rulet tekerleği seçim yöntemi, mutasyon fonksiyonu olarak yer değiştirme ve tek noktalı çaprazlama kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Analizlerin hepsinde girdiye yönelik CCR modeli kullanılmıştır. Network veri zarflama analizinde üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç süreç ve üç ara değişken kullanılmıştır. Max - VZA Ultra paket programı kullanılarak hesaplanan dağıtım şirketlerinin genel etkinlikleri çizelge 4.1’de ve etkinliklerin şekilsel gösterimi Şekil 4.1’da verilmiştir.

Çizelge4.1. Dağıtım şirketlerinin veri zarflama analizi ile elde edilen genel etkinlik değerleri

Dağıtım Şirketleri	Genel Etkinlik
ADM EDAŞ	0,3892
AKDENİZ EDAŞ	0,5152
AKEDAŞ EDAŞ	0,2160
ARAS EDAŞ	0,2276
BAŞKENT EDAŞ	0,4646
BOĞAZİÇİ EDAŞ	1,0000
ÇAMLIBEL EDAŞ	0,2769
ÇORUH EDAŞ	0,3358
DİCLE EDAŞ	0,1021
FIRAT EDAŞ	0,2859
GDZ EDAŞ	0,4936
İSTANBUL ANA. Y. EDAŞ	0,7470
KAYSERİ VE CİVARI EDAŞ	0,3913
MERAM EDAŞ	0,5295
OSMANGAZİ EDAŞ	0,2830
SAKARYA EDAŞ	0,1320
TOROSLAR EDAŞ	0,4825
TRAKYA EDAŞ	0,4370
ULUDAĞ EDAŞ	0,4947
VANGÖLÜ EDAŞ	0,7455
YEŞİLIRMAK EDAŞ	0,2773



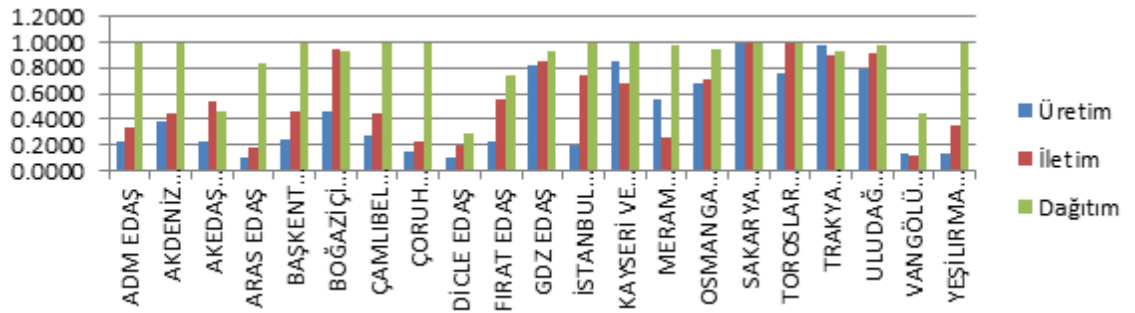
Şekil 4.1. Dağıtım şirketlerinin veri zarflama analizi ile elde edilen genel etkinlik değerleri

Dağıtım bölgelerinin genel etkinlik değerleri incelendiğinde 2015 yılı için sadece Boğaziçi EDAŞ'ın etkin olarak çalıştığı görülmektedir. Ancak, sistemi üç sürece ayırıp etkinlik değerlerini incelediğimizde ise bu durumun aslında gerçeği yansıtmadığını görmekteyiz. Çizelge 4.2'de network veri zarflama analizi ile etkinliklerin hesaplandığı üç sürecin etkinlik değerleri ve bu değerlerin şekilsel gösterimi Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Dağıtım şirketlerinin network veri zarflama analizi ile elde edilen etkinlik değerleri

Dağıtım Şirketleri	Üretim	İletim	Dağıtım
ADM EDAŞ	0,2258	0,3414	1,0000
AKDENİZ EDAŞ	0,3815	0,4422	1,0000
AKEDAŞ EDAŞ	0,2188	0,5365	0,4659
ARAS EDAŞ	0,1003	0,1792	0,8381
BAŞKENT EDAŞ	0,2475	0,4546	1,0000
BOĞAZİÇİ EDAŞ	0,4640	0,9401	0,9347
ÇAMLIBEL EDAŞ	0,2716	0,4495	0,9926
ÇORUH EDAŞ	0,1471	0,2177	1,0000
DİCLE EDAŞ	0,1017	0,1923	0,2881
FIRAT EDAŞ	0,2228	0,5467	0,7385
GDZ EDAŞ	0,8257	0,8559	0,9372
İSTANBUL ANA. Y. EDAŞ	0,1885	0,7442	0,9948
KAYSERİ VE CİVARI EDAŞ	0,8498	0,6796	1,0000
MERAM EDAŞ	0,5597	0,2510	0,9801
OSMANGAZİ EDAŞ	0,6790	0,7051	0,9474
SAKARYA EDAŞ	1,0000	1,0000	1,0000
TOROSLAR EDAŞ	0,7656	1,0000	1,0000
TRAKYA EDAŞ	0,9788	0,9016	0,9296
ULUDAĞ EDAŞ	0,7935	0,9110	0,9744
VANGÖLÜ EDAŞ	0,1286	0,1094	0,4430
YEŞİLIRMAK EDAŞ	0,1364	0,3503	1,0000

Sonuçları incelediğimizde, elektriğin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması süreçlerinin üçünde de etkin olan tek bölge Sakarya bölgesi ve dağıtım şirketi de Sakarya EDAŞ'tır. Diğer bölgeler kendilerine Sakarya bölgesini referans alarak girdilerinde artış veya çıktılarında azalma sağlayarak etkin hale gelebilirler. Genel etkinlik değerlerinin incelenmesinde etkin çıkan Boğaziçi EDAŞ'ın değerlerine bakıldığında üretim sürecinde düşük etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. Network veri zarflama analizinde herhangi bir bölgenin etkin kabul edilebilmesi için tüm süreçlerde etkin olması gerekmektedir.



Şekil 4.2. Dağıtım şirketlerinin network veri zarflama analizi ile elde edilen etkinlik değerleri

Şehirlere ait genel etkinlik değerleri ise Çizelge 4.3'te gösterilmektedir. Şehirlerin genel etkinlik değerleri incelendiğinde, Ağrı, Artvin, Bartın, Bitlis, Çankırı, İstanbul, Kastamonu, Kayseri, Kilis, Kırıkkale, Kütahya, Malatya, Niğde, Ordu, Osmaniye, Rize, Sakarya, Trabzon, Uşak, Yalova, Yozgat ve Zonguldak etkin olarak elektrik üretimi sağlayan şehirler olarak belirlenmiştir. Çalışmamızın kapsamını oluşturan 2010 – 2015 yılları, verilere ulaşılabilirlik sayesinde 2006 – 2015 yılları olarak genişletilmiştir ve bu yıllara ait yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrik üretimine ait etkinlik değerlendirmeleri ise Çizelge 4.4'de gösterilmektedir.

Çizelge4.3. Şehirlerin genel etkinlik değerleri

Şehirler	Etkinlik	Şehirler	Etkinlik	Şehirler	Etkinlik
Adana	0,7632	Elazığ	0,9614	Mardin	0,5226
Adıyaman	0,4980	Erzincan	0,4267	Mersin	0,8822
Afyon	0,7191	Erzurum	0,4622	Muğla	0,6886
Ağrı	1,0000	Eskişehir	0,8913	Muş	0,4371
Aksaray	0,8895	Gaziantep	0,8466	Nevşehir	0,6170
Amasya	0,8332	Giresun	0,9659	Niğde	1,0000
Ankara	0,9695	Gümüşhane	0,7395	Ordu	1,0000
Antalya	0,7225	Hakkari	0,5054	Osmaniye	1,0000
Ardahan	0,5556	Hatay	0,7585	Rize	1,0000
Artvin	1,0000	Iğdır	0,8225	Sakarya	1,0000
Aydın	0,7348	Isparta	0,6253	Samsun	0,9558
Balıkesir	0,8903	İstanbul	1,0000	Şanlıurfa	0,5450
Bartın	1,0000	İzmir	0,8652	Siirt	0,4564
Batman	0,5827	Kahramanmaraş	0,4383	Sinop	0,8845
Bayburt	0,5130	Karabük	0,7596	Şırnak	0,4501
Bilecik	0,7100	Karaman	0,8464	Sivas	0,8205
Bingöl	0,7654	Kars	0,3950	Tekirdağ	0,9921
Bitlis	1,0000	Kastamonu	1,0000	Tokat	0,9335
Bolu	0,6202	Kayseri	1,0000	Trabzon	1,0000
Burdur	0,7918	Kilis	1,0000	Tunceli	0,6850
Bursa	0,8836	Kırıkkale	1,0000	Uşak	1,0000
Çanakkale	0,9488	Kırklareli	0,8710	Van	0,4631
Çankırı	1,0000	Kırşehir	0,8911	Yalova	1,0000
Çorum	0,7917	Kocaeli	0,8505	Yozgat	1,0000
Denizli	0,8429	Konya	0,7644	Zonguldak	1,0000
Diyarbakır	0,5947	Kütahya	1,0000		
Düzce	0,8790	Malatya	1,0000		

Çizelge4.4. Yıllara göre yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin etkinlik değerleri

Yıllar	Etkinlik	Referans Yıl
2006	1	Etkin
2007	1	Etkin
2008	1	Etkin
2009	0.9329	2008 (1,052398)
2010	0.9298	2008 (1,144808)
2011	0.9329	2008 (1,239242)
2012	0.8512	2008 (1,418022)
2013	0.7509	2008 (1,611793)
2014	0.7427	2008 (1,709720)
2015	0.7053	2008 (1,870591)

2006, 2007 ve 2008 yıllarında yenilenebilir enerji kaynaklarından etkin bir şekilde elektrik üretimi gerçekleştirilirken yıllar arttıkça etkinlik değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Bunun çeşitli sebepleri olabilir ancak yıllar etkinliklerini arttırabilmek ve etkin konuma gelebilmek için kendilerine etkin yıllar içinden referans yıl seçebilirler. Bu kapsamda hedef girdi ve hedef çıktı değerleri ışığında etkin konuma gelebilirler. Yıllara ait mevcut ve hedef girdi çıktı değişkenlerine ait değerler Çizelge 4.5’de gösterilmektedir.

Çizelge4.5. Yıllara ait mevcut ve hedef girdi çıktı değerleri

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Mevcut Hidrolik Enerji Kurulu Güç	14553,3	15831,2	17137,1	19609,4	22289	23643,2	25867,8
Hedef Hidrolik Enerji Kurulu Güç	28130,7	30551,2	33124,7	36301	39026,4	41203,6	44112,72
Mevcut Jeotermal Enerji Kurulu Güç	77,2	94,2	114,2	162,2	310,8	404,9	623,9
Hedef Jeotermal Enerji Kurulu Güç	106,45	125,92	148,65	198,17	346,86	442,74	663,21
Mevcut Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç	791,6	1320,2	1728,7	2260,6	2759,7	3629,7	4503,2
Hedef Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç	1148,64	1707,29	2149,12	2699,53	3199,84	4091,48	4982,98
Mevcut Güneş Enerjisi Kurulu Güç	0	0	0	0	0	40,2	248,8
Hedef Güneş Enerjisi Kurulu Güç	0	0	0	0	0	70,05	424,3
Mevcut Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç	86,5	107,2	125,7	168,8	235	299,1	370,1
Hedef Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç	145,11	170,74	194,71	240,85	307,25	374,9	448,85
Mevcut Elektrik Enerjisi Üretimi	194.812,90	211.207,70	229.395,10	239.496,80	240.154,00	251.962,80	261.783,30
Hedef Elektrik Enerjisi Üretimi	289625,80	422415,40	458790,20	478993,60	480307,95	503925,59	523566,60

Yılların etkinliklerinin genetik algoritmalar yardımıyla hesaplanmış değerleri çizelge 4.6’da yer almaktadır.

Çizelge4.6. Genetik algoritma ile hesaplanmış etkinlik değerleri

Yıllar	Etkinlik
2006	1,0000
2007	1,0000
2008	0,9982
2009	1,0000
2010	0,9999
2011	0,9999
2012	0,9999
2013	0,9999
2014	1,0000
2015	0,9980

Genetik algoritmalar kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmede yerel minimum ve yerel maksimumlara takılmadıklarından dolayı başarılıdırlar ancak etkinlik analizlerinde birimlerin etkin olup olmamalarına karar verirken hedeflenen girdi çıktı değerleri veya referans kümesi seçimi konularında yardımcı olamamaktadırlar. Etkinlik değerlerini incelediğimizde 2006, 2007, 2009 ve 2014 yıllarının etkin çıktığını söyleyebiliriz.

5. SONUÇ

Enerji kavramı ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten bugüne dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. Aynı şekilde ülkemizde de kalkınmanın ve gelişmişliğin bir göstergesi durumundadır. Ancak son dönemde enerji üretim ve tüketim yöntemleri ile yerine yenisi konulamayacak enerji kaynaklarımız tüketilmekte ve bunun sonucunda da çevre kirliliği meydana gelmektedir. Dolayısıyla enerji üretiminde yenilenebilir ve sınırsız, çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmeyi bekleyen yegâne enerji kaynaklarıdır. Türkiye ise hâlihazırda sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini yeterli derecede etkin ve yaygın bir şekilde kullanamamaktadır. Bu çalışmada, genel olarak ülkemizde üretilen elektrik, tüketilen elektrik, kurulu gücümüz ve elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinin oluşturduğu genel bir sistem dağıtım bölgeleri baz alınarak incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçleri ve bu kaynaklar kullanılarak elde edilen elektrik enerjisi miktarları 2006 – 2015 yılları arası dönemi kapsayacak şekilde incelenmiştir. Halihazırda ülkemizde tez konusu kapsamında network veri zarflama analizi ile ilgili elektrik enerjisi alanında herhangi bir çalışmanın olmaması da bu tez ile birlikte çalışmak isteyenlere fikir oluşturmaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre elektrik dağıtım bölgelerinin ve şehirlerin elektrik enerji etkinlikleri belirlenmiştir. Bu yönüyle yazılan bu tez, ülkemizdeki karar vericilere yatırımların dağıtılması noktasında bir rapor olarak sunulabilir. Dağıtım bölgelerinin network veri zarflama ile incelenmesinin ardından özellikle elektrik üretiminde etkin rol oynayan şehirler için sistemsel süreçleri kapsayan analizler yapılabilir.

Yapılan analizler sonucunda, Network Veri Zarflama Analizi'nin genel bir sistemi alt süreçlere ayırarak incelemesinden dolayı klasik Veri Zarflama Analizi ve Genetik Algoritmalarla göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve ileriye dönük planların yapılmasında Network Veri Zarflama Analizi'nin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Adler N, Friedman L. ve Sinuany-Stern Z. 2002. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research* 140:249–265.
- Adler, N., Liebert, V. ve Yazhemsky, E. 2013. Benchmarking airports from a managerial perspective. *Omega*, 41(2), 442-458.
- Aigner DJ. ve Chu SF. 1968. On estimating the industry production function. *American Economic Review*, 58:826–839.
- Allen R, Athanassopoulos A, Dyson RG. ve Thanassoulis E. 1997. Weights restrictions ve value judgments in data envelopment analysis: evolution development and future directions. *Annual Operational Research* 73:13–34.
- Amirteimoori, A. ve Nashtaei, R. A. 2006. The role of time in multi-component efficiency analysis: An application. *Applied mathematics and computation*, 177(1), 11-17.
- Andersen P. ve Petersen NC. 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science* 39:1261–1264.
- Angulo-Meza L. ve Estellita Lins MP. 2002. Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. *Annual Operational Research* 116:225–242.
- Anonymous. 2011. *The 2006–2010 American community survey data file*. Version 2. December 2011.
- Avkiran NK. ve McCrystal A. 2012. Sensitivity analysis of network DEA: NSBM versus NRAM. *Applied Mathematical Computation*. 218:11226–11239.
- Azadeh A, Amalnick M, Ghaderi S. ve Asadzadeh S. 2007. An integrated VZA PCA numerical taxonomy approach for energy efficiency assessment and consumption optimization in energy intensive manufacturing sectors. *Energy Policy*;35:3792–806.
- Azadi M, Jafarian M, Farzipoor Saen R. ve Mirhedayatian SM. 2015. A new fuzzy VZA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computational Operational Research*;54:274–85.
- Bai-Chen X, Ying F. ve Qian-Qian Q. 2012. Does generation form influence environmental efficiency performance? An analysis of China's power system. *Applied Energy*;96:261–71.
- Banker, R.D., Charnes, A. ve Cooper, W.W. 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30 (19): 1078-1092.

- Banker RD, Cooper WW, Seiford LM, Thrall RM.ve Zhu J. 2004. Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research* 154:345–362.
- Başkaya Z. ve Avcı B. (2011), *Veri Zarflama Analizi*, Dora Yayıncılık.
- Beasley J. 1995. Determining teaching and research efficiencies. *Journal Operational Research Society* 46:441–452.
- Bi GB, Ding JJ, ve Luo Y. 2011. Resource allocation and target setting for parallel production system based on DEA. *Applied Mathematical Modelling* 35:4270–4280.
- Bi GB, Feng CP, Ding JJ, ve Khan MR. 2012. Estimating relative efficiency of DMU: Pareto principle and Monte Carlo oriented DEA approach. *INFOR* 50:44–57.
- Bian Y, Hu M, ve Xu H. 2015. Measuring efficiencies of parallel systems with shared inputs/outputs using data envelopment analysis. *Kybernetes* 44:336–352.
- Bitran GR, ve Chang L. 1984. Productivity measurement at the firm level. *Interfaces* 14(3):29–40.
- Bolat, B., Erol, K. O., ve İmrak, C. E. 2004. *Genetic algorithms in engineering applications and the Function of operators*. Sigma, 4.
- Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., ve Pesch, E. 1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European journal of operational research*, 112(1), 3-41.
- Byrnes P, Fare R, ve Grosskopf S.1984. Measuring productive efficiency: an application to Illinois strip mines. *Management Science* 30:671–681.
- Cao X, ve Yang F. 2011. Measuring the performance of Internet companies using a two-stage data envelopment analysis model. *Enterprise Inform Syst* 5:207–217.
- Castelli, L., Pesenti, R., ve Ukovich, W. 2004. DEA-like models for the efficiency evaluation of hierarchically structured units. *European Journal of Operational Research*, 154, 465–476.
- Castelli, L., Pesenti, R., ve Ukovich, W. 2010. A classification of DEA models when the internal structure of the decision making units is considered. *Annals of Operations Research*, 173(1), 207-235.
- Chao CM, Yu MM, ve Chen MC. 2010. Measuring the performance of financial holding companies. *Service Industry Journal* 30:811–829.
- Charnes A, ve Cooper WW.1961.*Management models and industrial applications of linear programming*. Wiley, New York, NY.
- Charnes A, ve Cooper WW.1962. Programming with linear fractionals. *Nav Res Logist Q* 9:181 – 186.
- Charnes A., Cooper, W. W., ve Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

- Charnes A, ve Cooper WW. 1984. The non-Archimedean CCR ratio for efficiency analysis: a rejoinder to Boyd and Fare. *European Journal of Operational Research* 15:333–334.
- Charnes A, Cooper WW, ve Thrall RM. 1986. Classifying ve characterizing efficiencies and inefficiencies in data envelopment analysis. *Operational Research Letters* 5:105–110.
- Charnes A, Cooper WW, ve Thrall RM. 1991. A structure for classifying and characterizing efficiencies and inefficiencies in data envelopment analysis. *J Prod Anal* 2:197–237.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Halek, R., Klopp, G., Schmitz, E., ve Thomas, D. 1986. *Two phase data envelopment analysis approaches to policy evaluation and management of army recruiting activities: Tradeoffs between joint services and army advertising* (Vol. 532). Research report CCS.
- Chen, Y., Cook, W. D., ve Zhu, J. 2010. Deriving the VZA frontier for two-stage processes. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 138-142.
- Chien T, ve Hu J-L. 2007. Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy*;35:3606–15.
- Chiou YC, Lan LW, ve Yen BTH. 2010. A joint measurement of efficiency and effectiveness for non-storable commodities: integrated data envelopment analysis approaches. *European Journal of Operational Research* 201:477–489.
- Cook WD, ve Green RH. 2004. Multicomponent efficiency measurement and core business identification in multiplant firms: a DEA model. *European Journal of Operational Research* 157:540–551.
- Cook, WD., ve Green, R. H. 2005. Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. *Computers & Operations Research*, 32(4), 813-823.
- Cook, WD., Chai, D., Doyle, J., ve Green, R. 1998. Hierarchies and groups in DEA. *Journal of productivity analysis*, 10(2), 177-198.
- Cook WD, ve Hababou M. 2001. Sales performance measurement in bank branches. *Omega* 29:299–307.
- Cook WD, Liang L, ve Zhu J. 2010. Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective. *Omega* 38:423–430.
- Cook WD, ve Seiford LM. 2009. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research* 192:1–17.
- Cook WD, Zhu J, Bi GB, ve Yang F. 2010a. Network DEA: additive efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research* 207:1122–1129.
- Cook WD, Liang L, ve Zhu J. 2010b. Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective. *Omega* 38:423–430.
- Cook WD, Hababou M, ve Tuenter HJH. 2000. Multicomponent efficiency measurement and shared inputs in data envelopment analysis: an application to sales and service performance in bank branches. *J Prod Anal* 14:209–224.

- Cron, W. L., ve Sobol, M. G. 1983. The relationship between computerization and performance: a strategy for maximizing the economic benefits of computerization. *Information & Management*, 6(3), 171-181.
- Çelen, A. 2013. Efficiency ve productivity (TFP) of the Turkish electricity distribution companies: An application of two-stage (VZA&Tobit) analysis. *Energy Policy*, 63, 300-310.
- De la Cruz, N., Esquius, L., Grandjean, D., Magnet, A., Tungler, A., De Alencastro, L. F., ve Pulgarín, C. 2013. Degradation of emergent contaminants by UV, UV/H₂O₂ and neutral photo-Fenton at pilot scale in a domestic wastewater treatment plant. *Water research*, 47(15), 5836-5845.
- Diez-Ticio A, ve Mancebon MJ. 2002. The efficiency of the Spanish police service: an application of the multiactivity DEA model. *Appl Econ* 34:351–362.
- Doyle J, ve Green R. 1994. Efficiency and cross-efficiency in DEA: derivations, meanings, and uses. *J Oper Res Soc* 45:567–578.
- Dyckhoff H, ve Allen K. 2001. Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (VZA). *European Journal of Operational Research*;132:312–25.
- Dyson RG, ve Thanassoulis E. 1988. Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. *J Oper Res Soc* 39:563–576.
- El-Mashaleh MS, Edward Minchin R, ve Jr, O'Brien WJ. 2007. Management of construction firm performance using benchmarking. *J Manag Eng*;23:10–7.
- Emrouznejad, A., Parker, B. R., ve Tavares, G. 2008. Evaluation of research in efficiency ve productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in VZA. *Socio-economic planning sciences*, 42(3), 151-157.
- ETKB (2015), <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Faaliyet-Raporlari/Faaliyet-Raporlari> (Erişim tarihi: 02.10.2017).
- Fare R, ve Grosskopf S. 1996a. *Intertemporal production frontiers: with dynamic DEA*. Kluwer, Boston.
- Fare R, ve Grosskopf S. 1996b. Productivity and intermediate products: a frontier approach. *Econ Lett* 50:65–70.
- Fare R, Grosskopf S, ve Logan J. 1983. The relative efficiency of Illinois electric utilities. *Resour Energy*;5:349–67.
- Fare, R., Grabowski, R., Grosskopf, S., ve Kraft, S. 1997. Efficiency of a fixed but allocatable input: A non-parametric approach. *Economics Letters*, 56(2), 187-193.
- Fare, R., ve Grosskopf, S. 2000. Network VZA. *Socio – Economic Sciences*. 34. 35 – 49.
- Fare, R, ve Hunsaker W. 1986. Notions of efficiency and their reference sets. *Management Science* 32:237–243.
- Fare, R., ve Primont, D. 1984. Efficiency measures for multiplant firms. *Operations Research Letters*, 3(5), 257-260.

- Fare, R, ve Whittaker G. 1995. An intermediate input model of dairy production using complex survey data. *J Agric Econ* 46:201–213.
- Fare, R, Grosskopf S, ve Whittaker G. 2007. Network DEA. In: Zhu J, Cook WD (eds) Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis. *Springer*, New York, pp 209–240.
- Fare, R, Grosskopf S, ve Whittaker G. 2014. Network DEA II. In: Cook WD, Zhu J (eds) Data envelopment analysis: a handbook on the modeling of internal structures and networks. *Springer*, New York, pp 307–327.
- Farrell MJ. 1957. The measurement of productive efficiency. *J Roy Stat Soc Series A* 120(Part 3):253–281.
- Farrell MJ, ve Fieldhouse M. 1962. Estimating efficient production under increasing returns to scale. *J Roy Stat Soc Series A* 125(2):252–267.
- Ferguson CE, ve Gould JP. 1986. *Microeconomic theory*, 6th edn. Irwin, Homewood, IL.
- Førsund FR, Lovell CAK, ve Schmidt P. 1980. A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement. *J Econometrics* 13:5–25.
- Førsund FR. 2013. Weight restrictions in DEA: misplaced emphasis? *J Prod Anal* 40:271–283.
- Fukuyama H. 2000. Returns to scale and scale elasticity in data envelopment analysis. *Eur J Oper Res* 125:93–112.
- Fukuyama H, ve Mirdehghan SM. 2012. Identifying the efficiency status in network DEA. *Eur J Oper Res* 220:85–92.
- Gattoufi S, Oral M, ve Reisman R. 2004. A data envelopment analysis literature: a bibliography updates (1996-2001). *Socio Econ Plan Sci* 38(2):159–229.
- General Energy, (2015). <http://www.genelenergy.com/media/1929/genel-energy-2015-annual-report-final.pdf> , (Erişim Tarihi : 30.11.2016).
- Golany, B., Hackman, S. T., ve Passy, U. 2006. An efficiency measurement framework for multi-stage production systems. *Annals of Operations Research*, 145(1), 51-68.
- Goldberg, D. E. 1989a. Genetic algorithms and Walsh functions: Part I, a gentle introduction. *Complex systems*, 3(2), 129-152.
- Haupt, R. L., ve Haupt, S. E. 2004. *Practical genetic algorithms*. John Wiley & Sons.
- Holland, J. H. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press.
- Horta IM, Camanho AS, ve Da Costa JM. 2009. Performance assessment of construction companies integrating key performance indicators and data envelopment analysis. *J Constr Eng Manag*;136:581–94.
- Hosseinzadeh LF, Jahanshahloo GR, Khodabakhshi M, Rostamy-Malkhlifeh M, Moghaddas Z, ve Vaez-Ghasemi M. 2013. A review of ranking models in data envelopment analysis. *J Appl Math* 2013:1–20.

- Hsieh, L. F., ve Lin, L. H. 2010. A performance evaluation model for international tourist hotels in Taiwan—An application of the relational network DEA. *International Journal of Hospitality Management*, 29(1), 14-24.
- Huang Y, Chen L, Fu B, Huang Z, ve Gong J. 2005. The wheat yields and water-use efficiency in the loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. *Agric Water Manag*;72:209–22.
- Hu J-L, ve Wang S-C. 2006. Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*;34:3206–17.
- Hu J-L, ve Kao C-H. 2007. Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy*;35:373–82.
- IEA. (2016). Key World Energy Statistics, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>, (Erişim tarihi: 30.11.2016).
- Jablonsky J. 2012. Multicriteria approaches for ranking of efficient units in DEA models. *CEJOR* 20:435–449.
- Jahanshahloo GR, Amirteimoori AR, ve Kordrostami S. 2004a. Multi-component performance, progress ve regress measurement and shared inputs and outputs in DEA for panel data: an application in commercial bank branches. *Appl Math Comput* 151:1–16.
- Jahanshahloo GR, Amirteimoori AR, ve Kordrostami S. 2004b. Measuring the multi-component efficiency with shared inputs and outputs in data envelopment analysis. *Appl Math Comput* 155:283–293.
- Jahanshahloo GR, ve Soleimani-Damaneh M. 2004. Estimating returns to scale in data envelopment analysis: a new procedure. *Appl Math Comput* 150:89–98.
- Joro T, ve Viitala EJ. 2004. Weight-restricted DEA in action: from expert opinions to mathematical models. *J Oper Res Soc* 55:814–821.
- Kao, J., Narendra, S., ve Chandrakasan, A. 1998. MTCMOS hierarchical sizing based on mutual exclusive discharge patterns. *In Design Automation Conference. Proceedings (pp. 495-500). IEEE.*
- Kao, C. 1998. Measuring the efficiency of forest districts with multiple working circles. *Journal of the Operational Research Society*, 49, 583–590.
- Kao, C. 2009. The authorship and internationality of industrial engineering journals. *Scientometrics*, 81(1), 123-136.
- Kao, C. 2009a. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. *European Journal of Operational Research*, 192, 949–962.
- Kao, C. 2009b. Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 196, 1107–1112.
- Kao, C. 2012. Efficiency decomposition for parallel production systems. *J Oper Res Soc* 63:64–71.
- Kao, C. 2014. Network data envelopment analysis: a review. *European Journal of Operational Research* 239:1–16.
- Kao, C. 2013. Dynamic data envelopment analysis: a relational analysis. *European Journal of Operational Research* 227:325–330.

- Kao, C. 2014a. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis. In: Cook WD, Zhu J (eds) Data envelopment analysis: a handbook on the modeling of internal structures and networks. *Springer*, New York, pp 55–77.
- Kao, C. 2014b. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis with slacks based measure. *Omega* 45:1–6.
- Kao, C. 2014c. Network data envelopment analysis: a review. *European Journal of Operational Research* 239:1–16.
- Kao, C, ve Hwang SN. 2008. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: an application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research* 185:418–429.
- Kao, C., ve Hwang, S. N. 2010. Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance. *Decision Support Systems*, 48(3), 437–446.
- Kao, C, ve Hwang SN. 2011. Decomposition of technical and scale efficiencies in two-stage production systems. *European Journal of Operational Research* 211:515–519.
- Kao, C, ve Hwang SN. 2014. Multi-period efficiency and Malmquist productivity index in two-stage production systems. *European Journal of Operational Research* 232:512–521.
- Kao, C, ve Hung HT. 2005. Data envelopment analysis with common weights: the compromise solution approach. *J Oper Res Soc* 56:1196–1203.
- Kao, C., ve Hung, H. T. 2008. Efficiency analysis of university departments: An empirical study. *Omega*, 36(4), 653–664.
- Kao, C, ve Liu ST. 2011. Efficiencies of two-stage systems with fuzzy data. *Fuzzy Sets Syst* 176:20–35.
- Kao, C, ve Liu ST. 2014. Multi-period efficiency measurement in data envelopment analysis: the case of Taiwanese commercial banks. *Omega* 47:90–98.
- Kawaguchi H, Tone K, ve Tsutsui M. 2014. Estimation of the efficiency of Japanese hospitals using a dynamic and network data envelopment analysis model. *Health Care Management Science* 17:101–112.
- Khalili, M., Camanho, A. S., Portela, M. C. A. S., & Alirezaee, ve M. R. 2010. The measurement of relative efficiency using data envelopment analysis with assurance regions that link inputs and outputs. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 761–770.
- Koopmans TC. 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities. In: Koopmans TC (ed) Activity analysis of production and allocation, Cowles Commission for Research in Economics monograph No. 13. *John Wiley*, New York, pp 33–97.
- Koza, J. R. 1995. Survey of genetic algorithms and genetic programming. In Wescon Conference Record (pp. 589–594). *Western Periodicals Company*.
- Lampe HW, ve Hilgers D. 2015. Trajectories of efficiency measurement: a bibliometric analysis of DEA and SFA. *European Journal of Operational Research* 240:1–21.

- Lansink AO, ve Silva E. 2003. CO₂ ve energy efficiency of different heating technologies in the Dutch glasshouse industry. *Environ Resour Econ*;24:395–407.
- Lansink AO, ve Reinhard S. 2004. Investigating technical efficiency and potential technological change in Dutch pig farming. *Agric Syst*;79:353–67.
- Lee CY, ve Johnson AL. 2012. Two-dimensional efficiency decomposition to measure the demand effect in productivity analysis. *European Journal of Operational Research* 216:584–593.
- Lee SK, Mogi G, Li Z, Hui KS, Lee SK, ve Hui KN. 2011. Measuring the relative efficiency of hydrogen energy technologies for implementing the hydrogen economy: an integrated fuzzy AHP/VZA approach. *Int J Hydrog Energy*;36:12655–63.
- Lei X, Li Y, ve Xie Q. 2015. Measuring Olympic achievements based on a parallel DEA approach. *Annual Operational Research* 226:379–396.
- Lewin A, ve Morey R. 1981. Measuring the relative efficiency and output potential of public sector organizations: an application of data envelopment analysis. *Int J Pol Anal Inform Syst* 5:267–285.
- Lewis HF, ve Sexton TR. 2004. Network DEA: efficiency analysis of organizations with complex internal structure. *Comput Oper Res* 31:1365–1410.
- Lewis, H. F., Mallikarjun, S., ve Sexton, T. R. 2013. Unoriented two-stage VZA: The case of the oscillating intermediate products. *European journal of operational research*, 229(2), 529-539.
- Liang, L., Li, Z. Q., Cook, W. D., ve Zhu, J. 2011. Data envelopment analysis efficiency in two-stage networks with feedback. *IIE Transactions*, 43(5), 309-322.
- Lilienfeld A, ve Asmild M. 2007. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: a Data Envelopment Analysis approach. *Agric Water Manag*;94:73–82.
- Lim S, ve Zhu J. 2013. Integrated data envelopment analysis: global vs. local optimum. *Eur J Oper Res* 229:276–278.
- Liu JS, Lu LYY, Lu WM, ve Lin BJY. 2013a. A survey of DEA applications. *Omega* 41:893–902.
- Liu, Y., ve Wang, K. 2015. Energy efficiency of China's industry sector: An adjusted network VZA (Data Envelopment Analysis)-based decomposition analysis. *Energy*, 93, 1328-1337.
- Liu WB, Zhou ZB, Ma CQ, Liu DB, ve Shen WF. 2015. Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. *Omega* 56:74–87.
- Lo, S. F. 2010. Performance evaluation for sustainable business: a profitability ve marketability framework. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 17(6), 311-319.
- Lo, S. F., ve Lu, W. M. 2006. Does size matter? Finding the profitability and marketability benchmark of financial holding companies. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 23(02), 229-246.

- Lo, S. F., ve Lu, W. M. 2009. An integrated performance evaluation of financial holding companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 198(1), 341-350.
- Lovell, C. K., Walters, L. C., ve Wood, L. L. 1994. Stratified models of education production using modified VZAve regression analysis. In *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications* (pp. 329-351). Springer Netherlands.
- Lozano, S., Gutiérrez, E., ve Moreno, P. 2013. Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. *Applied Mathematical Modelling*, 37(4), 1665-1676.
- Lozano S. 2015. Alternative SBM model for network DEA. *Comput Ind Eng* 82:33–40.
- Lu, W. M., ve Hung, S. W. 2009. Evaluating profitability and marketability of Taiwan's IC fabless firms: An DEA approach.
- Lu WM, Wang WK, Hung SW, ve Lu ET. 2012. The effects of corporate governance on airline performance: production and marketing efficiency perspectives. *Transport Res E Logist Transport Rev* 48:529–544.
- Lu WM, Kweh QL, ve Huang CL. 2014. Intellectual capital and national innovation systems performance. *Knowl-Based Syst* 71:201–210.
- Luo, X. 2003. Evaluating the profitability and marketability efficiency of large banks: An application of data envelopment analysis. *Journal of Business research*, 56(8), 627-635.
- Mallikarjun S. 2015. Efficiency of US airlines: a strategic operating model. *J Air Trans Manag* 43:46–56.
- Mar Molinero C. 1996. On the joint determination of efficiencies in a data envelopment analysis context. *J Oper Res Soc* 47:1273–1279.
- Mar Molinero C, Tsai P. 1997. Some mathematical properties of a DEA model for the joint determination of efficiencies. *J Oper Res Soc* 48:51–56.
- Matthews K. 2013. Risk management and managerial efficiency in Chinese banks: a network DEA framework. *Omega* 41:207–215.
- Matthews, K. 2013. Risk management and managerial efficiency in Chinese banks: a network DEA framework. *Omega*, 41(2), 207-215.
- Medina-Borja A, ve Triantis K. 2014. Modeling social services performances: a four-stage DEA approach to evaluate fundraising efficiency, capacity building, service quality, and effectiveness in the nonprofit sector. *Annual Operational Research* 221:285–307.
- Mirhedayatian SM, Azadi M, ve Saen RF. 2014. A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply chain management. *Int J Prod Econ* 147:544–554.
- Mohammadi A, Rafiee S, Mohtasebi SS, Mousavi Avval SH, ve Rafiee H. 2011. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data Envelopment Analysis approach. *Renew Energy*;36:2573–9.

- Momeni E, Tavana M, Mirzagoltabar H, ve Mirhedayatian SM (2014) A new fuzzy network slacks- based DEA model for evaluating performance of supply chains with reverse logistics. *J Intell Fuzzy Syst* 27:793–804.
- Mousavi-Avval SH, Rafiee S, ve Mohammadi A. 2011. Optimization of energy consumption and input costs for apple production in Iran using data envelopment analysis. *Energy*;36:909–16.
- Naphade, K. S., Wu, S. D., ve Storer, R. H. 1997. Problem space search algorithms for resource-constrained project scheduling. *Annals of operations research*, 70, 307-326.
- Narin, M. 2008. Türkiye'nin Enerji Yapısı ve İzleyeceği Öncelikli Politikalar. *Ankara Sanayi Odası Dergisi*, Ağustos/Eylül, 50-68.
- Nouri, J., Lotfi, F. H., Borgheipour, H., Atabi, F., Sadeghzadeh, S. M., ve Moghaddas, Z. 2013. An analysis of the implementation of energy efficiency measures in the vegetable oil industry of Iran: a data envelopment analysis approach. *Journal of cleaner production*, 52, 84-93.
- Oggioni G, Riccardi R, ve Toninelli R. 2011. Eco-efficiency of the world cement industry: a data envelopment analysis. *Energy Policy*;39:2842–54.
- Önal, E., ve Yarbay, R. Z. 2010. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği, *Açık erişim*.
- Park, K. S., ve Park, K. 2009. Measurement of multiperiod aggregative efficiency. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 567-580.
- Podinovski VV, ve Thanassoulis E. 2007. Improving discrimination in data envelopment analysis: some practical suggestions. *J Prod Anal* 28:117–126.
- Podinovski VV, ve Bouzdine-Chameeva T. 2013. Weight restrictions and free production in data envelopment analysis. *Oper Res* 61:426–437.
- Ramanathan, R. (Ed.). 2003. An introduction to data envelopment analysis: a tool for performance measurement. *Sage*.
- Reinhard S, Lovell CK, ve Thijssen GJ. 2000. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and VZA. *European Journal of Operational Research*;121:287–303.
- Rhodes E. (1978). Data envelopment analysis and related approaches for measuring the efficiency of decision making units with an application to program follow through in U.S. Education. PhD. Thesis, Carnegie-Mellon University, School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, PA
- Rogge, N., ve De Jaeger, S. 2012. Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. *Waste management*, 32(10), 1968-1978.
- Roll Y, Cook WD, ve Golany B. 1991. Controlling factor weights in data envelopment analysis. *IIE Trans* 23:2–9.
- Roll Y, ve Golany B. 1993. Alternate methods of treating factor weights in DEA. *Omega* 21:99–109.

- Sahoo BK, Mehdiloozad M, ve Tone K. 2014. Cost, revenue and profit efficiency measurement in DEA: a directional distance function approach. *European Journal of Operational Research* 237:921–931.
- Sarkis J, ve Talluri S. Ecoefficiency measurement using data envelopment analysis: research and practitioner issues. *Journal Environment Assess Policy Management* 2004;6:91–123.
- Sarrico CS, ve Dyson RG. 2004. Restricting virtual weights in data envelopment analysis. *Eur J Oper Res* 159:17–34.
- Seiford LM. 1996. Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978-1995). *J Prod Anal* 7:99–138.
- Seiford, L. M., ve Zhu, J. 1999. Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management science*, 45(9), 1270-1288.
- Sexton TR, ve Lewis HF. 2003. Two-stage DEA: an application to Major League Baseball. *J Prod Anal* 19:227–249.
- Shafiee M, Lotfi FH, ve Saleh H. 2014. Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. *Appl Math Model* 38:5092–5112.
- Shephard RW. 1970. *Theory of cost and production functions*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Shi G-M, Bi J, ve Wang J-N. 2010. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a VZA model of fixing non-energy inputs. *Energy Policy*;38:6172–9.
- Singh O, ve Chand S. 2007. Ranking of decision making units: a review and development of new model using data envelopment analysis approach. *Opsearch* 44:185–201.
- Soltanifar M, ve Lotfi FH. 2011. The voting analytic hierarchy process method for discriminating among efficient decision making units in data envelopment analysis. *Comput Ind Eng* 60:585–592.
- Soteriou, A., ve Zenios, S. A. 1999. Operations, quality and profitability in the provision of banking services. *Management science*, 45(9), 1221-1238.
- Sözen A, ve Alp İ. 2009. Comparison of Turkey's performance of greenhouse gas emissions and local/regional pollutants with EU countries. *Energy Policy*;37:5007–18.
- Tao Y, ve Zhang S. 2013. Environmental efficiency of electric power industry in the Yangtze River Delta. *Math Comput Model*;58:927–35.
- Tatari O, ve Kucukvar M. 2012. Sustainability assessment of US construction sectors: ecosystems perspective. *J Constr Eng Manag*;138:918–22.
- Tone, K., ve Tsutsui, M. 2009. Network VZA: a slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243-252.
- Tone K, ve Sahoo BK. 2004. Degree of scale economies and congestion: a unified VZA approach. *European Journal of Operational Research*;158:755–72.
- Tone K, ve Sahoo BK. 2003. Scale indivisibilities and production function in data envelopment analysis. *Int J Prod Econ* 84:165–192.

- Tone K, ve Tsutsui M. 2014a. Dynamic DEA with network structure: a slacks-based measure approach. *Omega* 42:124–131.
- Tone K, ve Tsutsui M. 2014b. Slacks-based network DEA. In: Cook WD, Zhu J (eds) *Data envelopment analysis: a handbook on the modeling of internal structures and networks*. Springer, New York, pp 231–259.
- Tsai, P. F., ve Molinero, C. M. 2002. A variable returns to scale data envelopment analysis model for the joint determination of efficiencies with an example of the UK health service. *European Journal of Operational Research*, 141(1), 21–38.
- Tsolas, I. E. 2010. Relative profitability and stock market performance of listed commercial banks on the Athens Exchange: a non-parametric approach. *IMA Journal of Management Mathematics*, 22(4), 323–342.
- Tsolas, I. E. 2013. Modeling profitability ve stock market performance of listed construction firms on the Athens Exchange: Two-stage VZA approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 111–119.
- Tsutsui, M., ve Goto, M. 2009. A multi-division efficiency evaluation of US electric power companies using a weighted slacks-based measure. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(3), 201–208.
- Vaz, C. A., Hoffman, J., Ahn, C. H., ve Ramesh, R. 2010. Magnetoelectric coupling effects in multiferroic complex oxide composite structures. *Advanced Materials*, 22(26–27), 2900–2918.
- Wang, X. P., ve Cao, L. M. 2002. *Genetic algorithm—theory, application and software implementation*. Xi'an Jiaotong University Press, Xi'an.
- Wang, C. H., Gopal, R. D., ve Zionts, S. 1997. Use of data envelopment analysis in assessing information technology impact on firm performance. *Annals of Operations Research*, 73, 191–213.
- Wang K, Huang W, ve Wu J. 2014. Efficiency measures of the Chinese commercial banking system using an additive two-stage DEA. *Omega* 44:5–20.
- Wang K, Wei Y-M, ve Zhang X. 2012. A comparative analysis of China's regional energy ve emission performance: which is the better way to deal with undesirable outputs?. *Energy Policy*;46:574–84.
- Wei, Q., Yan, H., ve Pang, L. 2011. Composite network data envelopment analysis model. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10(04), 613–633.
- Wei Y-M, Liao H, ve Fan Y. 2007. An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector. *Energy*;32:2262–70.
- Welch E, Barnum D. 2009. Joint environmental and cost efficiency analysis of electricity generation. *Ecol Econ*;68:2336–43.
- Wu J, Sun J, ve Liang L. 2012. Cross efficiency evaluation method based on weight-balanced data envelopment analysis. *Comput Ind Eng* 63:513–519.
- Yang, Z. 2006. A two-stage VZA model to evaluate the overall performance of Canadian life and health insurance companies. *Mathematical and computer modelling*, 43(7), 910–919.

- Yang, C. C., Hsiao, C. K., ve Yu, M. M. 2008. Technical efficiency and impact of environmental regulations in farrow to finish swine production in taiwan. *Agricultural Economics*, 39(1), 51-61.
- Yang F, Du F, Liang L, ve Yang Z. 2014. Forecasting the production abilities of recycling systems: a DEA based approach. *J Appl Math*. doi:10.1155/2014/961468.
- Yang H, Pollitt M. 2009. Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into VZA: the performance of Chinese coal-fired power plants. *European Journal of Operational Research*;197:1095–105.
- Yang L, Ouyang H, Fang K, Ye L, ve Zhang J. 2015. Evaluation of regional environmental efficiencies in China based on super-efficiency-VZA. *Ecol Indic*;51:13–19.
- Yang Y, Ma B, ve Koike M. 2000. Efficiency-measuring DEA model for production system with k independent subsystems. *J Oper Res Soc Jpn* 43:343–354.
- Yang F, Wu D, Liang L, Bi G, ve Wu DD. 2011. Supply chain DEA: production possibility set and performance evaluation model. *Annual Operational Research* 185:195–211.
- YEGM, (2015). Faaliyet Raporu, http://www.eie.gov.tr/document/2015_f_r.pdf, (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM, (2016). Faaliyet Raporu, http://www.eie.gov.tr/document/2016_f_r.pdf, (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM, (2015). Rüzgar Enerjisi, http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html, (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM, (2015). Güneş Enerjisi, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM, (2015). Biyokütle Enerjisi, <http://bepa.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM,(2015),JeotermalEnerji,http://www.tepav.org.tr/upload/files/haber/1427476175-0.Ramazan_Ustanin_Sunumu.pdf (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- YEGM,(2015),HidrolikEnerji,http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx (Erişim Tarihi: 02.10.2017).
- Yolalan, R. 1993. *İşletmelerarası Görelî Etkinlik Ölçümü*. Millî Prodüktivite Merkezi.
- Yu MM. 2008. Assessing the technical efficiency, service effectiveness, ve technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis. *Transport Res Pol Pract* 42:1283–1294.
- Yu MM, ve Fan CK. 2006. Measuring the cost effectiveness of multimode bus transit in the presence of accident risks. *Transp Plan Technol* 129:383–407.
- Zarepisheh M, ve Soleimani-Damaneh M. 2009. A dual simplex-based method for determination of the right and left returns to scale in DEA. *European Journal of Operational Research* 194:585–591.

- Zhang B, Bi J, Fan Z, Yuan Z, ve Ge J. 2008. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecol Econ*;68:306–16.
- Zhou P, Ang B, Poh K. 2008. Measuring environmental performance under different environmental VZA technologies. *Energy Econ*;30:1–14.
- Zhou Z, Sun L, ve Yang W. 2013. A bargaining game model for efficiency decomposition in the centralized model of two-stage systems. *Comput Ind Eng* 64:103–108.
- Zhou P, Ang BW, ve Poh K-L. A. 2008. survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*;189:1–18.
- Zhou P, Ang BW. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy* 2008;36:2911–6.
- Zhu, J. 2000. Multi-factor performance measure model with an application to Fortune 500 companies. *European journal of operational research*, 123(1), 105-124.
- Zhu Z, Wang K, ve Zhang B. 2014. Applying a network data envelopment analysis model to quantify the eco-efficiency of products: a case study of pesticides. *J Clean Prod* 69:67–73.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Serpil AYDIN
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 09.06.1988
Yabancı Dil : 75.00 (ÜDS)

Eğitim Durumu

Lise : Erzurum Anadolu Lisesi (2006)
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri (2010)
Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı (2013)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Bölümü, Araştırma görevlisi (2011- ...)