

ÇOK ÖLÇÜTLÜ VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELİ İÇİN AĞIRLIKLI HEDEF  
PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE BİLGİ SİSTEMİ ÖNERİSİ VE BİR UYGULAMA

Tuğba POLAT

Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Şafak KIRIŞ

Haziran – 2019

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Tuğba POLAT'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Çok Ölçütlü Veri Zarflama Analizi Modeli İçin Ağırlıklı Hedef Programlama Yaklaşımı İle Bilgi Sistemi Önerisi Ve Bir Uygulama” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

26/06/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL

**Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

**Bölüm Başkanı, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

Doç. Dr. Şafak KIRIŞ

**Danışman, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Sınav Komitesi Üyeleri**

Doç. Dr. Şafak KIRIŞ

**Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi**

Prof. Dr. Yaşar KASAP

**Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi**

Prof. Dr. Berna HAKTANIRLAR ULUTAŞ

**Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi**

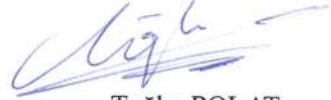


## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %18 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Doç. Dr. Şafak KIRIŞ



Tuğba POLAT

# **ÇOK ÖLÇÜTLÜ VERİ ZARFLAMA ANALİZİ MODELİ İÇİN AĞIRLIKLİ HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI İLE BİLGİ SİSTEMİ ÖNERİSİ VE BİR UYGULAMA**

Tuğba POLAT

Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şafak KIRIŞ

## **ÖZET**

Günümüzün rekabet ortamında işletmeler kaynaklarını doğru şekilde kullanmalı, sürekli kendilerini iyileştirmeli ve verimli çalışmalıdırlar. İşletmelerin ve işletmeler içerisinde aynı koşullar altındaki birimlerin birbirlerine göre performanslarının değerlendirilmesi, mevcut durumu görebilmek ve gerekli noktalarda uygun iyileştirmeleri yapabilmek adına önemlidir. Performans değerlendirmesinde sık kullanılan yaklaşımlardan birisi Veri Zarflama Analizidir. Veri Zarflama Analizi, aynı amaçlara sahip karar birimlerinin görelî etkinliğini hesaplayan doğrusal programlama tabanlı bir yaklaşımdır. Veri Zarflama Analizi modeli için birçok yaklaşım geliştirilmiş olup, çok amaçlı karar verme problemlerinin çözüm yaklaşımlarından Hedef Programlama da bunlardan biridir. Hedef Programlama, karar vericilere karar alma sürecinde birçok amacı bir arada değerlendirme olanağı tanımaktadır.

Bu çalışmada bir otomotiv yan sanayisinde ele alınan projelerin değerlendirme sürecinde öncelikle klasik Veri Zarflama Analizi, ardından çok ölçütlü veri zarflama analizi modeli için ağırlıklı hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Projelerin etkinliklerinin periyodik olarak değerlendirilebilmesi ve yeni projelerin ya da koşulların da değerlendirmeye katılabilmesi amacıyla da bir bilgi sistemi önerilmiştir. Proje değerlendirme sürecinde iki girdi ve üç çıktı belirlenerek, işletmede mevcut altı proje analiz edilmiştir. Etkin olan projeler belirlenmiş, etkin olmayan projeler için ise önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Hedef Programlama, Veri Zarflama Analizi, WGPMCDEA.

**A KNOWLEDGE SYSTEM PROPOSAL WITH WEIGHTED GOAL PROGRAMMING  
APPROACH FOR MULTI-CRITERIA DATA ENVELOPMENT ANALYSIS MODEL  
AND AN APPLICATION**

Tuğba POLAT

Industrial Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şafak KIRIŞ

**SUMMARY**

In today's competitive environment, enterprises should use their resources correctly, they should continuously improve themselves and work efficiently. It is important to evaluate the performances of the units under the same conditions in enterprises and enterprises according to each other, to see the current situation and to make appropriate improvements in necessary points. One of the commonly used approaches to performance evaluation is Data Envelopment Analysis. Data Envelopment Analysis is a linear programming-based approach that calculates the relative effectiveness of decision units with the same objectives. Many approaches have been developed for the Data Envelopment Analysis model, and Goal programming using in multi-objective decision making solutions approaches is one of them. Goal Programming gives decision-makers the opportunity to evaluate many objectives together in the decision-making process.

In this study, in the evaluation process of the projects worked in an automotive supplier industry, first of all, classical Data Envelopment Analysis followed by weighted goal programming approach for multi-criteria data envelopment analysis model is applied. An information system has also been proposed in order to evaluate the effectiveness of the projects periodically and to include new projects or conditions into the evaluation. In the project evaluation process, two inputs and three outputs were identified and six projects in the enterprise were analyzed. Effective projects were identified and recommendations were made for ineffective projects.

**Key words:** Goal Programming, Data Envelopment Analysis, WGPCDEA.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve özellikle zorlu geçen dönemimde bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve desteğini hiç esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Şafak KIRIŞ'a, desteğini hep yanımda hissettiğim eşim Nuh Mehmet POLAT'a, varlığıyla beni motive eden kızım Alya POLAT'a, bugünlere gelmemde emeği çok büyük olan başta annem Gülnihal SEZER olmak üzere tüm aileme, bu çalışmanın yapılabilmesi için bütün imkânları sağlayan Nursan Kablo Donanımları San. ve Tic. A.Ş. işletmesine ve emeği geçen herkese teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                              |       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                                   | v     |
| SUMMARY .....                                                                | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                         | x     |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                      | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                         | xii   |
| <br>1.GİRİŞ .....                                                            | <br>1 |
| 2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ.....                                                | 3     |
| 2.1. VZA'nın Geçmişi ve Uygulama Alanları.....                               | 5     |
| 2.2. VZA'nın Uygulama Aşamaları.....                                         | 6     |
| 2.2.1. Karar verme birimlerinin seçimi .....                                 | 7     |
| 2.2.2. Girdi ve çıktılarının belirlenmesi.....                               | 7     |
| 2.2.3. Modelin seçimi.....                                                   | 8     |
| 2.2.4. Sonuçların yorumlanması.....                                          | 8     |
| 2.3. Veri Zarflama Analizi Temel Modelleri .....                             | 9     |
| 2.3.1. Charnes Cooper Rhodes (CCR) modeli .....                              | 10    |
| 2.3.2. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modeli .....                          | 11    |
| 2.3.3. Toplamsal yöntem .....                                                | 13    |
| 2.3.4. Hedef programlama yaklaşımı .....                                     | 13    |
| 3. HEDEF PROGRAMLAMA .....                                                   | 15    |
| 3.1. Hedef Programlamanın Geçmişi ve Uygulama Alanları.....                  | 16    |
| 3.2. Hedef Programlama Modelinin Bileşenleri .....                           | 17    |
| 3.3. Hedef Programlama Çeşitleri.....                                        | 18    |
| 3.3.1. Ağırlıklı hedef programlama .....                                     | 19    |
| 3.3.2. Öncelikli hedef programlama.....                                      | 20    |
| 3.3.3. Minmax hedef programlama .....                                        | 21    |
| 4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ VZA MODELİ İÇİN AĞIRLIKLİ HEDEF PROGRAMLAMA<br>YAKLAŞIMI..... | 23    |
| 5. UYGULAMA ÇALIŞMASI .....                                                  | 31    |

**İÇİNDEKİLER (devam)**

|                                                                               | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 5.1. Çalışmanın Yapıldığı İşletme ve Genel Süreç Hakkında Bilgi .....         | 31                  |
| 5.2. Verilerin Toplanması .....                                               | 32                  |
| 5.3. Klasik VZA ile Etkinliklerin Ölçümü .....                                | 33                  |
| 5.4. VZA için Hedef Programlama Modelinin Kurulması .....                     | 36                  |
| 5.5. Bilgi Sistemi Önerisi .....                                              | 38                  |
| 5.5.1. Hedef değerlerin alternatif durumları ve sonuçların yorumlanması ..... | 45                  |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                 | 48                  |
| KAYNAKLAR DİZİNİ .....                                                        | 51                  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u>                                               | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.1. Veri Zarflama Analizi Uygulaması Akış Seması.....     | 6            |
| 5.1. Bilgi Sistemi Veri Girişi .....                       | 38           |
| 5.2. Bilgi Sistemi Genel Görünümü.....                     | 39           |
| 5.3. Çözücü Ekranı .....                                   | 40           |
| 5.4. Hesaplama Butonları.....                              | 41           |
| 5.5. C Projesinin Hesaplama Sonuçları.....                 | 41           |
| 5.6. Tüm Karar Birimleri İçin Etkinlik Hesabı Arayüzü..... | 42           |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u>                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.1. Amaç Fonksiyonlarının Kısıta Dönüştürülmesi .....                              | 28           |
| 5.1. Karar Birimleri Ve Girdi-Çıktı Verileri .....                                  | 32           |
| 5.2. CCR-I Modeli Etkinlik Oranları, Referans Kümeler ve Ağırlıkları .....          | 34           |
| 5.3. CCR-I Modeli Girdi/Çıktı Hedef Değerleri. ....                                 | 35           |
| 5.4. Klasik VZA ve WGPMCDEA-CCR Modeli Karşılaştırılma Sonuçları.....               | 43           |
| 5.5. Proje Bazlı Girdi ve Çıktı Değerlerinin Hedef Değerleri.....                   | 43           |
| 5.6. Hedef Değerlerin Karar Değişkeni Olarak Tanıtıldığı Durumdaki Sonuçlar .....   | 45           |
| 5.7. Farklı Hedef Değerleri Verildiği Durumlarda Projelerin Etkinlik Oranları ..... | 46           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|-----------------|-----------------|
| br              | Birim           |
| vb.             | Ve benzeri      |
| ad.             | Adet            |
| m <sup>2</sup>  | Metrekare       |

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u>                                                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| VZA                | Veri Zarflama Analizi                                                                         |
| DEA                | Data Envelopment Analysis                                                                     |
| CCR                | Charnes, Cooper, Rhodes                                                                       |
| BCC                | Banker, Charnes, Cooper                                                                       |
| EMS                | Efficiency Measurement System                                                                 |
| DEAP               | Data Envelopment Analysis Program                                                             |
| QS                 | Quantitative Systems                                                                          |
| QSB                | Quantitative Systems for Business                                                             |
| CRS                | Ölçeğe göre sabit getiri                                                                      |
| VRS                | Ölçeğe göre değişken getiri                                                                   |
| CCR-I              | Charnes, Cooper, Rhodes-Input                                                                 |
| CCR-O              | Charnes, Cooper, Rhodes-Output                                                                |
| BCC-I              | Banker, Charnes, Cooper-Input                                                                 |
| BCC-O              | Banker, Charnes, Cooper-Output                                                                |
| WGPDEA             | Weighted Goal Programming Data Envelopment Analysis                                           |
| HP                 | Hedef Programlama                                                                             |
| GP                 | Goal Programming                                                                              |
| GPDEA              | Goal Programming Data Envelopment Analysis                                                    |
| GPDEA-CCR          | Goal Programming Data Envelopment Analysis<br>Charnes, Cooper, Rhodes                         |
| AB                 | Avrupa Birliği                                                                                |
| MCDEA              | Multi-Criteria Data Envelopment Analysis                                                      |
| GPMCDEA            | Goal Programming Multi-Criteria Data Envelopment Analysis                                     |
| WGPMCDEA-CCR       | Weighted Goal Programming Multi-Criteria Data Envelopment Analysis<br>Charnes, Cooper, Rhodes |

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

| <b><u>Kısaltmalar</u></b> | <b><u>Açıklama</u></b>                         |
|---------------------------|------------------------------------------------|
| LHS                       | Left Hand Side                                 |
| RHS                       | Right Hand Side                                |
| ISO                       | International Organization for Standardization |
| OSB                       | Organize Sanayi Bölgesi                        |
| IATF                      | International Automotive Task Force            |
| KST                       | Kesme-Sıyırma-Terminalleme                     |

## 1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçları gün geçtikçe artmakta ve çeşitlenmektedir. İnsanlardaki tüm ihtiyaçları karşılama isteği ise zamanın ve emeğin planlı kullanılmasını, böylelikle verimliliğin artırılmasını gerektirmektedir. Bu durum işletmeler için de geçerlidir. Yaşanan rekabet koşulları nedeniyle işletmeler, tüm süreçlerinde verimli çalışmak ve kaynaklarının doğru kullanılıp kullanılmadığını takip etmek zorundadır. İşletmelerin mevcut durumlarını değerlendirmeleri için en etkili yol, benzer girdileri kullanarak benzer çıktıları üreten belirli birimlerinin ya da süreçlerinin karşılaştırılmasıdır. Benzer birimlerin ya da süreçlerin karşılaştırılması performans ölçümünde ve buna bağlı olarak iyileştirme sürecinde oldukça önemlidir.

İşletmeler kaynaklarını etkin şekilde kullanarak hizmet ve ürün üretmek istemektedirler. Bunu gerçekleştirirken, girdilerden elde edilen çıktıların ölçerek etkinlik oranını değerlendirmeleri işletmelerin mevcut durumunu görmesi ve verecekleri kararlara yardımcı olması açısından önemlidir. Bu aşamada kullanılan yaklaşımlardan birisi de Veri Zarflama Analizi (VZA)'dır. VZA, birden çok girdi ve birden çok çıktının olduğu durumlarda benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten üretim birimlerinin göreceli etkinliklerini incelemek amacıyla kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. VZA, en yüksek performansı gösteren birime göre değerlendirme yaparak, diğer etkin olmayan birimler için yapılması gereken iyileştirmeleri belirlemektedir. VZA ile bir durum tespiti yapıldığı için girdi ve çıktıların doğru tespiti, karar birimlerinin homojen olarak belirlenmesi ve modelin doğru seçilmesi sonuçların karar vericiyi yanıltmaması açısından son derece önemlidir.

Hayatın her alanında karar vermek durumunda kalınmaktadır. Tek ölçüt söz konusu olduğunda karar vermek kolay iken, birden çok ölçüt olduğu durumlarda karar vermek oldukça zordur. Günümüz koşullarının karmaşıklığı nedeniyle her karar sürecinde birçok ölçüt olduğu düşünülürse, karar vermenin de kolay olmadığı görülmektedir. İşletmelerde de benzer durum görülmekte olup, birçok ölçüt göze alınarak karar verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Çoğu durumda maliyet, alan, personel sayısı, müşteri şikayeti, ekipman durumu gibi bir çok ölçüt aynı anda göz önünde bulundurularak karar verilmesi gerekmektedir. Çok ölçütlü karar verme; eş zamanlı uygulanan birden çok ölçüt arasından, en iyi tercihin seçilmesini sağlayan karar verme yaklaşımıdır. Hedef Programlama(HP) ise doğrusal programlamanın bir uzantısı olmakla birlikte çelişen amaçlara sahip karar problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. HP yaklaşımı birden çok amacı eş zamanlı dikkate alarak amacın en iyilenmesi yerine, uygun çözümler arasından en uygun çözümün bulunmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada bir otomotiv yan sanayisinde ele alınan altı proje, öncelikle klasik VZA, ardından Çok Ölçütlü VZA modeli için Ağırlıklı HP yaklaşımı kullanılarak etkinlik değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı işletme, Kütahya ilinde bulunmakta olup elektriksel kablo donanım sistemlerini üretmektedir. Kablo donanım, araç içerisinde motor aksamından sonra gelen en önemli parçalardan biridir. Kablo donanımları, insandaki kanın dolaşımını sağlayan damarlar ve sinir ağlarının araçtaki görevini yapmaktadır. Bu nedenle elektrik sinyallerinin doğru iletilmesinde, araç fonksiyonlarının doğru çalışmasında ve araç emniyetinin sağlanmasında önemli rolü vardır. Ürünle ilgili şartlar ve özellikler ele alındığında kablo donanımı üreten işletmelerin üretim süreci zahmetlidir, dikkat ve yoğun işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle her türlü iyileştirme çalışmasının kalite ve maddi açıdan önemi ortaya çıkmaktadır. Projelerin etkinliklerinin periyodik olarak değerlendirilebilmesi ve yeni projelerin ya da koşulların da değerlendirmeye katılabilmesi amacıyla da bir bilgi sistemi tasarlanmıştır.

Çalışmanın amacı çok ölçütlü VZA modeline HP yaklaşımı ile bir çözüm geliştirmek ve bu yaklaşım ile işletme içerisinde interaktif bir şekilde değerlendirme yapılmasını sağlamaktır. Bu kapsamda, çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde sırasıyla VZA ve HP kavramları teorik olarak ele alınmış, tarihçeleri ve genel kullanılan modellerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, VZA modeli için HP yaklaşımı ele alınarak daha önce yapılmış araştırmalar incelenmiş ve bir literatür taramasına yer verilmiştir. Beşinci bölümünde ise, kablo donanımları üreten bir işletmede öncelikle girdi odaklı CCR modeli kullanılarak klasik VZA gerçekleştirilmiş, hem Lingo hem DEAP programı ile çözüm yapılmıştır. Çözüm sonrası etkin projeler belirlenmiş ve etkin olmayan projeler için önerilerde bulunulmuştur. Sonrasında VZA modeli için HP yaklaşımı ele alınarak işletmede anlık veya periyodik olarak kullanılabilmesi için projelerin etkinliğini değerlendiren bir bilgi sistemi önerilmiştir. Bilgi Sistemi tasarlanırken Rubem ve diğerleri (2017) tarafından önerilen Çok Ölçütlü Veri Zarflama Analizi Modeli için Ağırlıklı Hedef Programlama (Weighted Goal Programming Multi-Criteria Data Envelopment Analysis-WGPMCDEA) modeli kullanılmıştır. Çözüm sonrası elde edilen sonuçlar yorumlanarak etkin olmayan projeler için hedef değerler belirlenmiştir. Amaçlara verilen hedefler için farklı alternatif durumlar denenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

## 2. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

Ürün ya da hizmet üretimi süreçlerden oluşmaktadır. Süreç, girdileri olan, bu girdilere bir değer kazandırarak iç veya dış müşteriye çıktı olarak sunan faaliyetler grubudur. Bu faaliyetler birbiriyle ilişkili olup organizasyonun kaynaklarını kullanmada ve amaçlara ulaştırmada önemli rol oynarlar. Verimlilik; bir miktar girdi kullanılarak en çok miktarda çıktının üretilmesi veya bir miktar çıktının en az miktarda girdi kullanılarak üretilmesi demektir (Cingi ve Tarım, 2000). Verimlilik oranı çıktının girdiye bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Genel olarak her süreçte en yüksek verimlilikle çalışılması istenmektedir. Sürecin veriminin artması durumunda performansı da artıyor demektir. Performans, sürecin ya da kişinin amaçlanan hedefe ne kadar ulaşabildiği anlamına gelmektedir. Etkinlik; hedeflenen çıktının en az girdi ile veya belirli bir girdi kullanılarak hedeflenen en çok çıktıyı elde etme şeklinde tanımlanabilir (Eroğlu ve Atasoy, 2006). Eğer aynı miktarda çıktıyı üretmek için gerekli olan girdi miktarı azaltılırsa girdi odaklı, aynı miktardaki girdi ile daha fazla çıktı elde edebiliyorsa çıktı odaklı etkinlik olarak tanımlanmaktadır (Öncel ve Şimşek, 2011). Etkinlik ölçümlerinin temelleri, verimlilik tanımından gelmektedir. Etkinlik oranı standart performansın gerçekleşen performansa oranı olarak hesaplanmaktadır. Verimlilik göreceli bir kavram olmayıp her karar birimi için ayrı ayrı hesaplanabilirken, etkinlik her karar biriminin verimliliğini belli grup içerisinde ölçülmesini sağlar ve bu nedenle görecelidir.

İlk olarak 1957 yılında Farrell tarafından birden fazla girdi ve tek çıktı ile etkinlik analizi yapılarak temelleri atılan, İngilizce karşılığı 'Data Envelopment Analysis(DEA)' olan VZA Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilmiştir ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımıyla CCR modeli oluşturulmuştur. Sonrasında ise Banker, Charnes ve Cooper tarafından ölçeğe göre değişken getiri varsayımı ele alınarak BCC modeli ortaya çıkmıştır.

Amaçları aynı olan işletmelerin göreceli olarak etkinliğini ölçmede kullanılan VZA gözlemlenen girdi ve çıktıları kullanarak, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranını hesaplayarak karar birimlerinin etkinliğini belirlemektedir. Karar birimlerinin etkinlik oranlarının belirlenmesinde, etkin olmayan karar birimleri için referans kümesinin oluşturulup kaynakların ya da durumların referans kümesine göre iyileştirilmesinde ve yönetimin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

VZA'nın uygulanma amaçları aşağıda verilmiştir (Golany ve Roll, 1989):

- Her bir karşılaştırılacak birimdeki göreceli etkinlik miktarının ve kaynakların tanımlanması,
- Birimlerin etkinlik sonuçlarıyla sıralanması,

- Karşılaştırılan birimlerin yönetiminin değerlendirilmesi,
- Birimlerin kontrolü dışında olan programların veya politikaların değerlendirilmesi,
- Değerlendirmesi yapılan birimler arasındaki kaynak tahsisinin yeniden yapılması için nicel esaslı analiz yapılarak arzulanan çıktının daha etkin bir biçimde gerçekleştirilmesi için kaynakların dağıtımı yapılarak sınırların belirlenmesi,
- Birimler arası kıyaslama yapabilmek için direkt olarak amaçla ilişkili olmayan birimlerin etkinliğinin tanımlanması ve etkin girdi-çıktı ilişkisinin belirlenmesi,
- Sonuçların önceki çalışmalarla karşılaştırılması

VZA bir kıyaslama aracıdır. VZA, aynı sektörde faaliyet gösteren işletmeler arasından en etkin işletmenin seçiminin yapılmasını sağlayarak, kıyaslama ortaklarının belirlenmesini kolaylaştırmaktadır (Ross ve Droge, 2002). VZA etkin olmayan sonuçlarından olan atıl değerleri, karar biriminin performansını, referans olarak alınan etkin karar birimlerinin düzeyine çıkarabilmek için kaynak tahsisi ve kullanımında ne miktarda girdi - çıktı değişimine gereksinim olduğu hakkında yöneticiye bilgi sağlar (Üstündağ, 2009).

VZA'nın avantajları aşağıdaki sıralanmıştır:

1. VZA, üretim sürecinin, ilgili tüm girdi ve çıktıları tanımlanması suretiyle daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.
2. VZA çok sayıda girdi ile çok sayıda çıktıyı inceleyebilir ve her karar verme biriminin etkinliğini referans kümesine göre değerlendirmektedir. Etkin olmayan karar birimlerinin kaynaklarını tanımlayarak etkinliğin sağlanabilmesi için önerilerde bulunmaktadır.
3. VZA, etkin olmayan bir karar birimini, referans kümesindeki etkin olan karar birimlerinin seviyesine çıkarmak için karar vericinin şekillendireceği alternatif çözümler sunmaktadır.
4. Etkinlik analizi sonrası etkin olmayan karar birimleri için belirlenen hedefler, en etkin birimler göz önüne alınarak belirlenmektedir. Bu da aradaki yapılacak olan iyileştirmenin daha kayda değer olmasını sağlamaktadır.
5. VZA, girdi ve çıktı verilerinin deterministik olduğunu varsayarak daha avantajlı bir etkinlik analizi yöntemi olarak kullanılmaktadır.

VZA'nın dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır:

1. VZA, dinamik analize ve istatistiksel analiz araçlarının kullanımına uygun değildir.

2. Girdi ve çıktıların doğru belirlenmesi ve gerçeği temsil etmesi oldukça önemlidir. Yapılacak olan bir hatada ortaya çıkan sonuçlar yanıltıcı olabilir. Bunu engellemek için mümkünse çıktı ve girdilere göreli ya da öncelikli ağırlıklar belirlenebilir.
3. Büyük boyutlu problemlerin çözümü çok uzun zaman almaktadır.
4. Gruptaki karar verme birimlerinin etkinliğinin göreli değerlendirilmesi tek başlarına verimli olup olmadığı hakkında yorum yapılmasını zorlaştırmaktadır.

## 2.1. VZA'nın Geçmişi ve Uygulama Alanları

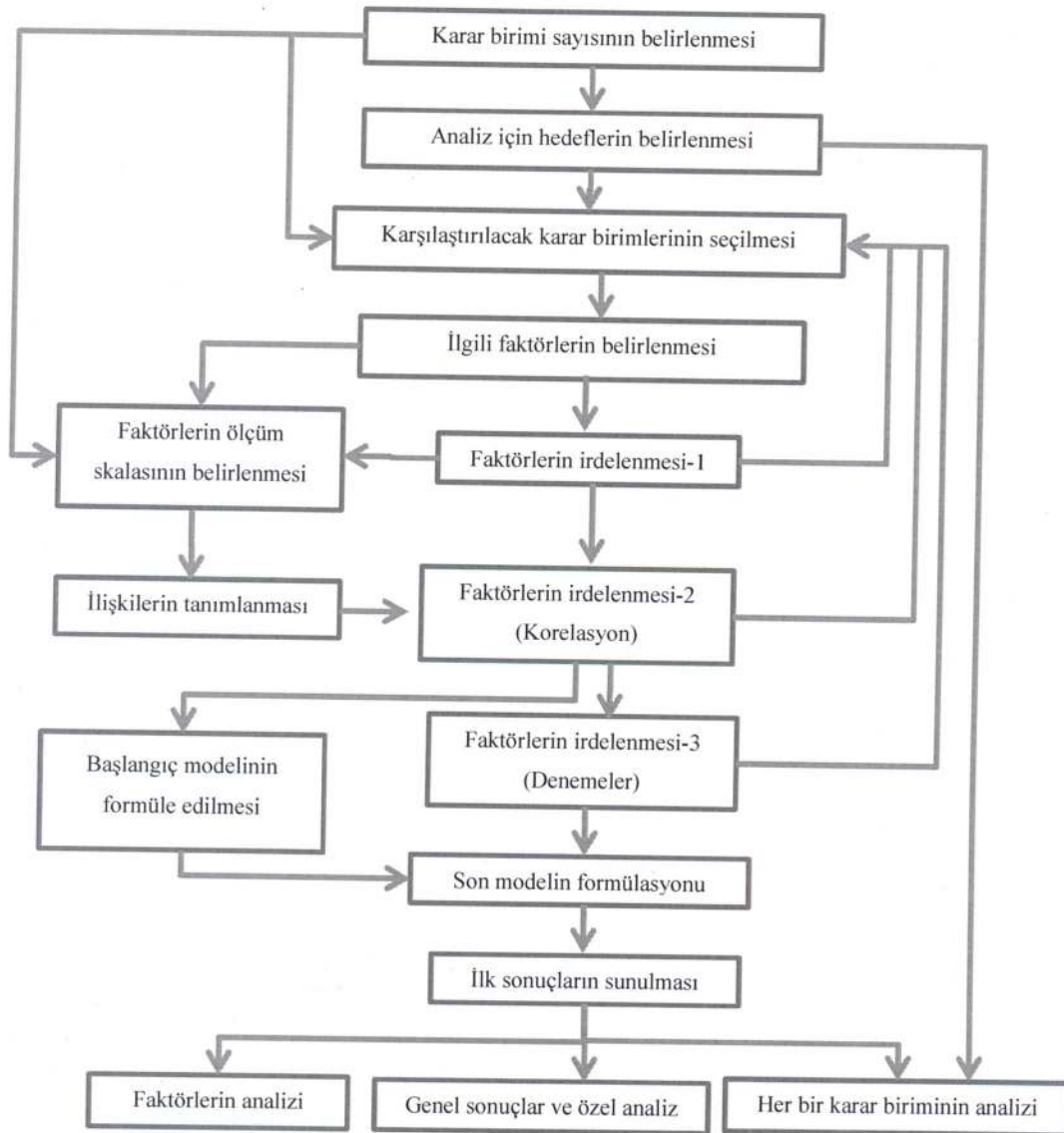
Doğrusal programlamanın özel bir uygulama biçimi olan VZA, ilk olarak 1957 yılında Farrell tarafından yapılan çalışmalarda birden fazla girdi ve tek çıktı ile verimliliğin karşılaştırılmasıyla ele alınmıştır. 1978 yılında Charnes Cooper-Rhodes Farrell'in ağırlıklı toplam girdilerinin, ağırlıklı toplam çıktıya oranıyla bulunan toplam faktör verimliliklerini incelemek amacıyla matematiksel bir programlama tekniği geliştirmişler ve CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) modelini kurmuşlardır (Charnes vd., 1978). Banker ve diğerleri (1984) CCR (Charnes, Cooper, Rhodes ) modeline ölçeğe göre değişken getiri varsayımı çerçevesinde BCC (Banker, Charnes ve Cooper) modelini kurmuşlardır. CCR modeli teknik ve ölçek etkinliğini kapsayan toplam etkinliği verirken BCC modeli ise ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında benzer ölçekteki birimleri birbiriyle kıyaslayarak sadece teknik etkinliği ölçmektedir. Banker ve Morey 1986 yılında karar birimlerinin sadece kendi grubunda değil, diğer gruplar içerisinde de incelenmesi için "Kategorik VZA"yı geliştirmişlerdir. Boussofiane ve diğerleri (1991), pratikte bazı anahtar konular üzerine odaklanarak VZA tekniğini anlatmışlardır (Boussofiane vd., 1991).

VZA kullanılarak etkinlik ölçümü yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ve uygulama alanları incelendiğinde, imalat (Özçelik ve Kandemir, 2017; Temur vd., 2007), hizmet (Ertemoğlu, 2019; Özdemir, 2009), otomotiv (Güral, 2018), eğitim (Atan vd., 2002; Özden, 2008), restoran ve oteller (Reynolds ve Thompson, 2005), sağlık (Batur ve Erol, 2018; Sezen ve Gök, 2009; Aytekin, 2011), bankacılık (Günay ve Günay, 2019; İşbilen, 2015; Özdemir ve Demirelli, 2013; Kurşun ve Kuşakçı, 2016), sigortacılık (Ova, 2018; Köse, 2010), çevre (Temiz, 2018; Özçomak vd., 2012) ve ulaşım (Sarıkaya vd., 2012) alanlarında çalışıldığı görülmüştür. Uygulama alanı Türkiye olan performans ölçüm çalışmaları da Atıcı vd., tarafından incelenmiştir (Atıcı vd., 2016).

## 2.2. VZA'nın Uygulama Aşamaları

Genel olarak VZA uygulanırken izlenmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Karar verme birimlerinin seçilmesi,
2. Girdi ve çıktıların belirlenmesi,
3. Modelin seçilmesi,
4. Sonuçların yorumlanması.



Şekil 2.1. Veri zarflama analizi uygulaması akış şeması (Golany ve Roll, 1989).

### 2.2.1. Karar verme birimlerinin seçimi

VZA'da ilk olarak birbiriyle karşılaştırılacak olan karar birimlerinin seçilmesi kavramı yer almaktadır. Sonuçların geçerli ve anlamlı olması için çok önemli sayılan bu aşamada karar verme birimleri aynı işi yapan homojen birimler olmalı, aynı süreçte yer almalı ve benzer çevre şartlarında çalışılıyor olmalıdır. Bu karar birimlerinin, üretim ve teknolojisi açısından birbirlerine benzer olmaları, diğer bir ifadeyle homojen olması elde edilecek sonuçların anlamlı olabilmesi açısından çok önemlidir (Yolalan, 1993; Bowlin, 1998). Karar verme birimlerinin süreçlerinde kullanılan girdiler ve oluşan çıktılar değerlendirmenin sağlıklı olması açısından benzer ve aynı oranda değerlendirilebilir olmalıdır.

Karar verme biriminin sayısı hakkında çeşitli görüşler bulunmaktadır. Seçilen karar verme birimlerinin etkinliklerinin doğru şekilde değerlendirilmesi için Vassiloglou ve Giokas (1990), gerekli birim sayısının girdi ve çıktı sayısının en az üç katı olması gerektiğini savunurken, Norman ve Stoker (1991) bu sayının en az 20 olduğunu savunmuştur. VZA uygulaması esnasında genel kanı; karar verme birimi sayısının toplam girdi ve çıktı sayısının en az iki katı olması gerektiğidir. Ancak yine de, daha sistematik bir yaklaşımla karar birimi şöyle belirlenmektedir; girdi sayısı  $m$ , çıktı sayısı da  $p$  ise, karar birimi sayısı en az  $m+p+1$  olmalıdır (Boussofiane vd., 1991). Bu çalışmada da  $m+p+1$  kısıtı kullanılmıştır.

### 2.2.2. Girdi ve çıktıların belirlenmesi

VZA'nın doğru bir şekilde uygulanabilmesi büyük oranda girdi ve çıktı seçimine bağlıdır. Girdi ve çıktılar tüm karar verme birimleri için ortak faktörlerden seçilmelidir. Karar verme birimlerinin tamamı için girdi ve çıktı sayıları pozitif olmalı ve göreceli etkinliği etkileyecek şekilde seçilmelidir. Girdi ve çıktı değişkenleri için toplanan veriler sonuçların sağlıklı çıkması için doğru bir şekilde elde edilmeli, güvenilir olmalı ve verilerde eksiklik olmamalıdır. Doğru olmayan verilerin ait oldukları birimin etkinlik oranını etkileyememelerinin yanında, göreceli etkinlikleri nedeniyle tüm birimlerin etkinlik oranını tartışmalı hale getirmektedir (Aydağün, 2003). Eğer önemli olabilecek bir değişken ihmal edilirse, bu girdi/çıktıyı kullanan karar verme biriminin etkinliği düşük çıkabilmektedir.

VZA'da girdi ve çıktı sayısının değiştirilmesi karar verme birimi sayısının da değiştirilmesini gerektirebilmektedir. Girdi ve çıktı sayısının çok fazla olması da VZA'nın hesaplama yeteneğini düşürebilmektedir. Girdi ve çıktılarda indeks sayılarının ve normal ölçümlerinin bir arada analiz edilmesi hataya yol açabilmektedir. Oranlar yerine oranlanmamış ham veriler kullanılırsa, hata yapma olasılığının azaldığı düşünülmektedir (Üstündağ, 2009).

### 2.2.3. Modelin Seçimi

Karşılaştırmalı analiz yapılacak olan karar birimleri ve ilgili girdi ve çıktı seçimi yapıldıktan sonra en uygun VZA modeli seçilmektedir. Kullanım alanları ve varsayımlar göz önüne alınarak çok sayıda VZA modeli kurulabilmektedir. Girdi ve çıktıların kontrol edilip edilemediğine bağlı olarak hangi modelin seçileceğine veya nasıl bir model kurulacağına karar verilmektedir. Çıktı odaklı bir model girdiler üzerinde kontrolün az olduğu durumda, girdi odaklı bir model ise çıktıların üzerinde kontrolün az olduğu durumda kurulabilmektedir. Eğer bir odak oluşturulamıyorsa toplamsal modelleri kullanılmalıdır.

Yapılan işlemler sonucunda VZA, verilerde ki hatalara karşı karar alıcıyı uyarmamaktadır. Bu yüzden karar alıcı girdi/çıktı faktörlerinin yanlış seçilip seçilmediğini, dolayısıyla da yanlış model kullanıp kullanılmadığı konusunda dikkatli olmak zorundadır (Dinçer, 2008).

### 2.2.4. Sonuçların yorumlanması

VZA modelinde, analiz yapıldıktan sonra her karar verme birimi için tüm girdi ve çıktıların ele alındığı genel bir değerlendirilmeye alınmaktadır. Uygun görülen model ile yapılan hesaplamalar neticesinde her bir karar birimi için 0 ile 1 arasında bir etkinlik oranı hesaplanmaktadır. Etkinlik oranı 1'e eşit olan birimler etkin olarak ifade edilmekte ve etkinlik sınırını belirlemektedirler. Etkinlik oranı 1'den küçük olan karar birimleri ise göreceli olarak etkin değildir ve etkinlik değerleri, etkinlik sınırına olan uzaklıklarını ifade etmektedir (Yavuz, 2001). Etkin olmayan karar birimlerinin etkinliğinin, göreceli olarak etkin sayılan birimlerin seviyesine çıkabileceği varsayımıyla oluşturulan modelde, etkin olmayan birimlerde kısıt olması veya kontrol edilemeyen girdi/çıktı olması durumunda bu varsayım gerçekleşmeyebilir, iyileştirme çabalarına sonuç alınamayabilir. Etkin olmayan bir karar biriminin referans kümesindeki birimlerle, sadece girdi-çıktı bileşimleri itibarıyla değil, yönetsel uygulamalar açısından da değerlendirilmesinde yarar vardır (Bakırcı, 2006).

VZA uygulamalarının en önemli özelliklerinden birisi, etkin olmayan karar birimlerini etkin hale getirebilecek ulaşılabilir hedefleri belirleyebilmesidir. Bu hedefler, genel olarak etkin olmayan karar biriminin referans kümesinde yer alan etkin birimlerin ağırlıklı ortalaması olarak ifade edilmektedir (Aktaş, 2014). Belirlenen hedeflere ulaşılamasa da elde edilen bilgiler daha sonra yapılacak iyileştirmeler için kullanılabilmektedir.

VZA modellerinin çözümü için DEA Solver (Excell eklentisi), EMS (Efficiency Measurement System), Warwick DEA-DEAP gibi özel olarak kullanılan programların yanında, DS for Windows, QS, QSB gibi doğrusal programlama modülü içeren çok amaçlı paket

programları da kullanılabilir. VZA modeli, amaç fonksiyonundaki ilgili parametreler değiştirilerek her bir karar verme birimi için yeniden kurulup çözülebilmektedir.

### 2.3. Veri Zarflama Analizi Temel Modelleri

VZA'da temel etkinlik oranı, çıktıların ağırlıklı toplamalarının girdilerin ağırlıklı toplamalarına bölümü ile hesaplanmaktadır. Kesirli formülasyonun amaç fonksiyonunda olması doğrusallığı bozacağından, paydanın 1'e eşit olacağı ana varsayımı ile doğrusal programlama setine dönüştürülerek çözülebilmektedir. Her bir karar verme birimi için etkinlik oranı Eşitlik (2.1)'deki gibi hesaplanabilmektedir:

$$\text{Etkinlik (her bir KVB için)} = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_n y_n}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_n x_n} \quad (2.1)$$

Burada j. karar noktası için n adet çıktı ve m adet girdi bulunmaktadır.

$u_n$ ; n. çıktının ağırlığını,

$y_n$ ; n. çıktının miktarını,

$v_m$ ; m. girdinin ağırlığını ve

$x_m$ ; m. girdinin miktarını göstermektedir.

VZA modellerinde de sınırlayıcı kısıtlar altında, amaç fonksiyonu en büyükleme ya da en küçükleme şeklindedir. Sınırlı kaynakların etkin kullanımı istendiğinden doğrusal programlama için; modelin tüm katsayılarının kesinlikle bilindiği, orantının hem amaç fonksiyonunda hem de kısıtlarda bir orantı olduğunu, toplanabilirliğin tüm ürünlerin birbirinden bağımsız olduğunu, bölünebilirliğin çözüm değerlerinin tam sayı olmasının gerekmediğini ve negatif olmamanın ise tüm değişkenlerin sıfır ya da pozitif olduğu varsayımlarını kullanmaktadır. Bu durum VZA modelleri için de geçerlidir (Ünsal, 2000).

VZA girdiye ve çıktıya yönelik olarak iki yönlü kullanılabilirlik özelliğine sahiptir. Girdiye yönelik VZA modelleri; belirli bir çıktı bileşimini en etkin bir şekilde üretebilmek amacıyla kullanılacak en uygun girdi bileşiminin nasıl olması gerektiğini araştırmaktadır. Çıktıya yönelik VZA modelleri ise belirli bir girdi bileşimi ile en fazla ne kadar çıktı bileşimi elde edilebileceğini araştırır (Aktaş, 2014).

Karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmede ölçeğe göre sabit getiri (CRS) ve ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı altında kurulmuş iki tip model bulunmaktadır. Charnes-Cooper-Rhodes tarafından geliştirilen ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımı altında kurulmuş model, CCR Modeli olarak da ifade edilmektedir. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımında girdi ya

da çıktı odaklı olması çıktı miktarının sabit olması nedeniyle aynı sonucu vermektedir. Daha sonralarında Banker, Charnes ve Cooper tarafından model geliştirilerek ölçeğe göre değişken getiri (VRS) varsayımı geliştirilmiş ve bu model BCC Modeli olarak literatürde tanımlanmıştır.

VZA'da,

- CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) yöntemi,
- BCC (Banker-Charnes-Cooper) yöntemi,
- Toplamsal yöntem,
- HP yaklaşımı kullanılmaktadır.

VZA'da tüm modellerin ortak yanı, hangi karar verme birimlerinin etkinlik sınırını oluşturduklarını, böylece etkinlik sınırının oluşturulmasıyla, etkin ve etkin olmayan karar verme birimlerinin tespit edilmesidir. Modeller arasındaki fark, kullanılan modele göre bu yüzeyin geometrisinde ortaya çıkmaktadır. Sınırın oluşturulmasıyla birlikte sınırın altında kalan etkin olmayan karar birimleri için kullanılmayan kaynaklar tanımlanabilmektedir (Örkücü, 2004).

### 2.3.1. Charnes Cooper Rhodes (CCR) modeli

Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında ortaya çıkan bu model, ölçeğe göre sabit getiri varsayımıyla, doğrusal programlama kullanılarak girdi/ çıktı oranının en büyük olacak şekilde belirlenmesi üzerine kuruludur. CCR modeli girdiye (CCR-I) ve çıktıya göre (CCR-O) olmak üzere iki modelde incelenmektedir. Girdiye yönelik CCR modelinde etkin olan bir karar birimi çıktıya yönelik karar biriminde de etkindir (Dinçer, 2008).

- CCR-I Modeli: Çıktı düzeyi değiştirilmeden girdi miktarının ne kadar azaltılması gerektiğini araştırmaktadır. Doğrusal programlama mantığı ile elde edilmiş girdiye göre CCR-I modeli genel olarak Eşitlik (2.2) ile (2.5) arasında verilmiştir:

Amaç fonksiyonu:

$$Enb h_j = \sum_{r=1}^n u_r y_r \quad (2.2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_i = 1 \quad (2.3)$$

$$\sum_{r=1}^n u_r y_r - \sum_{i=1}^m v_i x_i \leq 0 \quad (2.4)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (2.5)$$

Burada;

$h_j$  : j. karar biriminin etkinlik oranıdır.

Modelde amaç fonksiyonu çıktıların ağırlıklı ortalamasının en büyüklenmesidir. Eşitlik (2.3)'te ilgilenilen karar biriminin girdilerinin ağırlıklı ortalaması 1'e eşitlenmiştir, böylelikle girdilerin ağırlıklı ortalaması her bir karar birimi için 1 olmaktadır. Eşitlik (2.4)'teki kısıt çıktıların ağırlıklı ortalamasının girdilerin ağırlıklı ortalamasından küçük olmasını sağlamaktadır. Böylece Çıktı / Girdi oranı her bir karar birimi için en fazla 1 olabilir. Etkin olmayan, yani etkinlik sınırının altında kalan karar verme birimleri için çıktıların ağırlıklı ortalaması, yani etkinlik oranı 1'den küçük olacaktır (Örkü, 2004).

- CCR-O Modeli: Girdi düzeyini değiştirmeden çıktı miktarının ne kadar arttırılması gerektiğini araştırmaktadır. CCR-O modelin CCR-I modelinden farkı, ağırlıklandırılmış girdinin ağırlıklandırılmış çıktıya oranının en küçüklenmesidir. Eşitlik (2.6) ile (2.9) arasında verilmiştir:

Amaç fonksiyonu:

$$Enk g_j = \sum_{i=1}^m v_i x_i \quad (2.6)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^n u_r y_r = 1 \quad (2.7)$$

$$-\sum_{r=1}^n u_r y_r + \sum_{i=1}^m v_i x_i \geq 0 \quad (2.8)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (2.9)$$

Burada;

$g_j$  : j. karar biriminin etkinsizlik oranıdır.

### 2.3.2. Banker, Charnes ve Cooper (BCC) modeli

CCR modelinin varsayımlarında değişiklik yapılarak oluşturulan BCC modeli Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında kurulmuştur. BCC sınırı daima CCR sınırının altında yer almaktadır. Bu nedenle CCR etkinlik oranı, BCC etkinlik oranından küçük veya ona eşit olmaktadır (Dinçer, 2008). BCC modelinin CCR modelinden farkı, ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında her bir karar birimi için çözülecek doğrusal program sonucu elde edilecek  $\lambda$  (etkin olmayan bir karar noktası için etkin

olası girdi çıktı bileşimi oluşturmak için gereken bilgiyi sağlayan değer) değerlerinin toplamının 1'e eşit olmasıdır. BCC modeli verilen bir ölçekte teknik etkinliği vermektedir ve ölçeğe göre artan, azalan veya sabit getiri altında, teknik ve ölçek etkinliğinin ayrımını yapmaktadır (Aktaş, 2014). Toplam etkinlik oranı (CCR); teknik etkinlik oranı (BCC) ve ölçek etkinliği değerlerinin çarpımıyla elde edilmektedir.

- Girdiye yönelik BCC (BCC-I) modeli genel olarak Eşitlik (2.10) ile (2.14) arasında verilmiştir (Erpolat, 2011):

Amaç fonksiyonu:

$$Enk \theta_k \quad (2.10)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^t \lambda_{jk} = 1 \quad (2.11)$$

$$\theta_k x_{rk} - \sum_{j=1}^t \lambda_{jk} x_{rj} \geq 0 \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^t \lambda_{jk} y_{ij} \geq y_{ik} \quad (2.13)$$

$$\lambda_{jk} \geq 0 \quad (2.14)$$

- Çıktıya yönelik BCC (BCC-O) matematiksel modeli Eşitlik (2.15) ve (2.19) arasında verilmiştir (Erpolat, 2011):

Amaç fonksiyonu:

$$Enb \omega_k \quad (2.15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^t \gamma_{jk} = 1 \quad (2.16)$$

$$\omega_k y_{ik} - \sum_{j=1}^t \gamma_{jk} y_{ij} \leq 0 \quad (2.17)$$

$$\sum_{j=1}^t \gamma_{jk} x_{rj} \leq x_{rk} \quad (2.18)$$

$$\gamma_{jk} \geq 0 \quad (2.19)$$

### 2.3.3. Toplamsal yöntem

CCR ve BCC modelleri, girdi ve çıktı odaklı olarak çözümleme yapmaktadır. Bunun yanında, girdi ve çıktı odaklı olmak üzere bu iki çeşit odaklanma birlikte değerlendirilmek istenirse toplamsal model kurulmalıdır. Toplamsal modelde amaç, girdi fazlası ve çıktı eksikliğini birlikte ele alıp etkinlik sınırı üzerinde etkin olmayan karar birimine en uzaktaki noktaya ulaşmaya çalışmaktır. Bu modelde karar verme birimlerinin etkinliğine aylak değişken değerlerine bakılarak karar verilmekte, model direkt olarak etkinlik oranı vermemektedir. Eğer her iki aylak değişkenin değeri de sıfır ise, o karar birimi bu modele göre etkin kabul edilmektedir. Devamında her karar birimi için amaç fonksiyonu ilgili karar biriminin parametreleri kullanılarak yeniden çözümlenir.

### 2.3.4. Hedef programlama yaklaşımı

Klasik VZA'da karar birimlerinin girdi veya çıktıların bazılarının çok yüksek ya da düşük olmasına rağmen bir tanesinin düşük ya da yüksek olması bazı karar birimlerinin etkin olmaması gerekirken etkin veya sınıra çok yakın değerler almasına sebep olabilmektedir. Çok Ölçütlü VZA Modeli, Öncelikli HP Modeli ve Ağırlıklı HP Yaklaşımı gibi yaklaşımlarla bu durumun ortadan kaldırılması için çalışmalar yapılmıştır. VZA modeline HP Yaklaşımında (Goal Programming Data Envelopment Analysis-GPDEA); karar verici direkt olarak amaçların karşılaştırılması ile ilgileniyorsa, ağırlıklı ya da öncelik yapısının olmadığı türü kullanılabilir.

VZA modeline HP Yaklaşımı Eşitlik (2.20) ve (2.28) arasında verilmiştir (Bal ve Örkcü, 2007):

Amaç fonksiyonu:

$$Enk a = \{d_1^- + d_1^+ + d_2^+ + \sum_j d_{3j}^- + \sum_j d_j\} \quad (2.20)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; j \neq p \quad (2.21)$$

$$M - d_j + d_{3j}^- - d_{3j}^+ = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n; j \neq p \quad (2.22)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} + d_1^- - d_1^+ = 1 \quad (2.23)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + d_2^- - d_2^+ = 1 \quad (2.24)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (2.25)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (2.26)$$

$$d_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.27)$$

$$d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_{3j}^-, d_{3j}^+ \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.28)$$

Eşitlik (2.20) ve (2.28) arasındaki model bazı tutarsızlıklar nedeniyle eleştirilerek yeni matematiksel model önerileri yapılmıştır. 4. Bölümde bu tutarsızlıklar daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Ağırlıklı HP'de, hedefler ve başarı seviyeleri arasındaki sapmaların en küçüklendiği birleştirilmiş bir amaç fonksiyonunda tüm hedefler aynı anda göz önüne alınmaktadır (Romero ve Rehman, 1989). Ağırlıklı HP Yaklaşımında, tüm istenmeyen sapmalar, sapmaların göreceli önemini gösteren ağırlıklarla çarpılmakta ve başarı fonksiyonuna tek bir amaç fonksiyonu formunda eklenmektedirler (Aktaş, 2014).

### 3. HEDEF PROGRAMLAMA

Dinamik ve karmaşık yapılara sahip olan günümüz karar verme birimlerinde, olaylara tek açıdan bakmak ya da durumları tek ölçüt üzerinden değerlendirmek doğru değerlendirme yapmayı engellemektedir. Sistem içerisinde, tek amaçtan ziyade birden çok ve birbirleriyle çelişen amaçların ortaya çıktığı durumlarda tek bir seçim ölçütü yeterli olmadığı için zaman içerisinde bu alanda çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlara “çok amaçlı karar verme yaklaşımları” denilmektedir (Zeleny, 2011). Çok amaçlı karar verme yaklaşımlarından birisi de HP yaklaşımıdır.

Charnes ve Cooper tarafından 1961 yılında tanımlanmış olan HP yaklaşımı, doğrusal programlamanın bir uzantısı olarak düşünülebilmektedir. HP; hedeflerin bütün özelliklerinin belirli olduğu ve karar vericinin, hedeflerin ulaşılamayan kısmının en küçüklenmesi ile ilgilendiği karar verme problemlerini ele alan analitik bir yaklaşımdır (Türkoğlu, 2017). Deterministik ve çok değişkenli bir model olan HP, amacı optimize etmek yerine, alternatif bulunan çözümler arasından en iyisinin seçilmesine imkân sağlamaktadır. Doğrusal programlamada tek bir amaç fonksiyonu en büyüklenirken ya da en küçüklenirken, HP’de birçok amacın hedeflerden sapmalarının yani aylak değişkenlerinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. HP modelinde, hedef, istenilen bir seviye ile belirlenmiş bir amacı, amaç ise karar vericilerin arzu ettiği genel bir ifadenin yansıması şeklinde tanımlanabilir (Ignizio, 1985). Çözümün mantıklı olması için karar vericinin amaçları, hedefleri ve kısıtları iyi belirlemesi gerekmektedir. Her bir hedef için başarı fonksiyonu formüle edilir ve bu başarı fonksiyonlarından sapmaları en az yapacak bir çözüm aranmaktadır (Hillier ve Lierberman, 1995). İstenilen çözüm karar vericinin tercihlerine ve belirlediği hedeflerine bağlı olmaktadır. Bazı hedeflerin tam olarak sağlanması diğer hedefler üzerine ters etki yaratabilmektedir. Bu gibi durumlarda karar vericinin hedefleri önceliklendirmesi ya da ağırlıklandırması gerekmektedir.

HP yaklaşımının olumlu yönleri aşağıda sıralanmıştır:

- İki veya daha çok amaca sahip olan karar problemlerinin çözümü yapılabilmesi HP yaklaşımı ile mümkündür.
- Bu yaklaşımda amacın üstünlüğüne göre etkin bir çözüm sunulmakta ve birbirine zıt olan amaçlar da amaç fonksiyonunda bulunmaktadır, gevşek kısıtlara izin verilmektedir.
- Bu yaklaşımda, öncelik düzeyleri dışında, standart bir ölçü birimine gerek duyulmamaktadır (Atlas, 2008).
- Doğrusal programlama problemlerinin çözümünde kullanılan simpleks yöntemi HP problemlerinin çözümünde de kullanılmakta ve böylece hesaplamaların hızlı ve sonuçların etkin olması sağlanmaktadır (Alp, 2008).

- HP yaklaşımında analiz devam ederken karar vericinin problem hakkındaki bilgileri değiştiği takdirde, ağırlıkları, istek seviyeleri veya öncelik sıralamaları da değiştirilebilmektedir (Farooq, 2013).

HP yaklaşımının olumsuz yönleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- Bu yaklaşımda amaç fonksiyonu birçok başarı fonksiyonunun birleşmesi ile oluşturulduğu için karmaşık olarak nitelendirilebilmektedir.
- Elde edilen çözüm sonucunda karar vericilerin her zaman tatmin olması beklenemez.
- Hedef değerleri, hedeflerin ağırlıkları ve öncelikleri karar vericiler tarafından belirlenmektedir ve bu durum karar vericinin öznel kararına, tecrübesine bağlıdır.
- Karar vericiler yüksek öncelikli bir hedefte çok az sapmaya izin vererek, düşük öncelikli bir hedefe daha çok yaklaşmak isteyebilmektedirler. Ancak HP böyle bir duruma izin vermemektedir (Charnes ve Cooper, 1977).

### 3.1. Hedef Programlamanın Geçmişi ve Uygulama Alanları

HP ilk olarak 1955 yılında, yönetici maaşlarının analizi üzerine yapılan bir çalışmada Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından tanıtılmıştır (Charnes vd., 1955). Devamında ise 1961 yılında HP'yi açıkça tanımlayarak çözüm algoritması geliştirmişlerdir. Bulunan algoritma 1965'te Ijiri, sonrasında Lee ve Ignizio tarafından geliştirilmiştir (Ijiri, 1965; Lee, 1972; Ignizio, 1976). Gelişim esnasında sırayla problemin genel yapısı ortaya konulmuş, öncelik kavramı ele alınmış ve önceliklere ait ağırlıklar ile ilgili çalışmalar devam etmiştir. Ayrıca Ijiri, Romero, Jones, Tamiz vb. araştırmacılar tarafından, HP ile ilgili çalışmalar genişletilmiş ve ilerletilmiştir (Ignizio ve Romero, 2003). 1970'lerin ortalarına kadar kısıtlı olan HP çalışmaları, bu yıllardan günümüze kadar pek çok uygulama alanında kullanılarak geliştirilmiştir. Romeo, Schniederjans ve Tamiz'in yaptığı çalışmalarla HP'nin birçok etkili uygulama alanının olduğu ortaya konulmuştur (Steuer, 1986).

Gerçek hayata uygulanabilmesi yönünden etkin olduğu görülen HP yaklaşımının; tek başına ya da başka tekniklerin birleştirilmesi ile yapılan birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmüştür. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ve uygulama alanları incelendiğinde, ulaştırma ve lojistik (ElWahed ve Lee, 2006; Alp, 2008; Uludağ, 2010); planlama (Gülenç ve Karabulut, 2005; Bedir, 2018; Gür, 2018); kalite (Bertolini ve Bevilacqua, 2006; Arunraj ve Maiti, 2010), tedarikçi seçimi (Özder ve Eren, 2016; Demirtaş ve Üstün, 2004; Özder, 2015), tesis yeri seçimi (Jones ve Wall, 2016; Bravo vd., 2017), imalat (Keçek, 2005; Arkan vd., 2008; İç vd., 2019), çizelgeleme (Palacios vd., 2015), sağlık (Topaloğlu, 2009; Uslu vd., 2017) ve finans (Garcia vd., 2010; Memiş, 2015; Zeybek, 2019) alanlarında çalışıldığı görülmüştür.

### 3.2. Hedef Programlama Modelinin Bileşenleri

HP'nin temel amacı; çok amaçlı problemleri, her birinin tek bir amacı olan bir veya daha fazla probleme dönüştürmeyi sağlamaktır. Böylece HP, ele alınan problemin tüm hedeflerini gerçekleştirebilecek etkin bir çözümü bulmaya yardımcı olur (Türkoğlu, 2017). HP modelinin bileşenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

**Amaçlar:** Karar vericilerin isteklerini genel olarak belirten kavramdır (Schnierdejans, 1984). Karar vericinin tercihlerinin yönünü ifade eden ölçütlerdir. Tercih yönünden kasıt, amacın en büyüklenmesi veya en küçüklenmesidir. Örneğin; maliyetlerin en küçüklenmesi veya kârın en büyüklenmesidir. En büyüklenecek veya en küçüklenecek amaçlar kümesine sahip karar problemi, çok amaçlı optimizasyon problemi olarak adlandırılmaktadır (Jones ve Tamiz, 2010).

**Hedefler:** Karar verici tarafından amaçlar ile ilgili ulaşılmak istenilen düzeyin sayısal olarak ifade edilmiş şeklidir, karar vericinin ihtiyaçları olarak da tanımlanabilir. Hedef, amaçların tamamen gerçekleştiği durumda ya da amaçlara yaklaşıldığında oluşmaktadır (Zeleny, 1982).

**Karar değişkenleri:** HP modelinde, karar verici tarafından değeri belirlenmek istenen bilinmeyen değişkenlerdir (Ignizio, 1985). Karar vericinin kontrolündedir.

**Sapma değişkenleri:** Belirlenen hedef değeri ile sonuçta ulaşılan değer arasındaki farkı ölçer (Jones ve Tamiz, 2010). Her hedef değeri için; hedefi aşan bir başarı elde edilmişse pozitif sapma ( $d_i^+$ ), hedefe ulaşılamamış ise negatif sapma ( $d_i^-$ ), olmak üzere iki tip sapma değişkeni tanımlanmaktadır. Hedefe tam ulaşılmışsa her iki sapma değişkeni de sıfır olarak kabul edilmektedir.

**Sistem kısıtları:** Teknoloji kısıtları olarak da bilinen sistem kısıtları, tamamen sağlanması gereken, hiçbir sapmaya izin verilmeyen ve değiştirilmesi olanaksız olan kısıtlardır (Alp, 2008). Zorunlu işletme kısıtlamaları, makinelerin kapasitesi, işgücü miktarı gibi.

**Hedef Kısıtları:** Karar vericinin belirlediği hedeflerin oluşturduğu hedef kısıtlarıdır. Sistem kısıtları gibi katı olmamakla birlikte daha esnek bir yapıya sahiplerdir. Sistem kısıtları sağlandıktan sonra hedef kısıtlarının başarılması istenmektedir.

**Başarı Fonksiyonları:** HP modelinde her amaç için belirlenmiş hedeften olabilecek sapmaları en küçükleyen fonksiyonlardır. Amacı ise çok amaçlı bir modeli tek amaca indirgemektir.

**Amaç fonksiyonu:** Hedeften oluşan sapmaları en küçükleyen fonksiyon amaç fonksiyonudur. Modelde kullanılan tüm başarı fonksiyonlarının belirli bir öncelik seviyesi ve ağırlığa göre toplam şeklinde yazılmasıyla oluşturulmaktadır (Alp, 2008). HP modellerinden

elde edilen sonuçlar, seçilen amaç fonksiyonuna karşı çok duyarlıdır. Bu nedenle, karar vericinin gerçek tercihlerini yansıtmayan yanlış bir amaç fonksiyonu, kabul edilemez sonuçlar sağlayabilmektedir (Romero, 2004).

Model kurulduktan sonra çözüm farklı yazılımlar ile de sağlanabilir. Bu yazılımlardan bazıları; Lingo, Lindo, Cplex, Tora, Excel Çözücü vb.'dir.

### 3.3. Hedef Programlama Çeşitleri

HP'de asıl amaç; doğrusal programlamadaki gibi amaç fonksiyonunun en büyüklenmesi veya en küçüklenmesi değil, hedeflerden sapmaların en küçüklenmesidir. Genel HP modeli matematiksel olarak Eşitlik (3.1) ve (3.4) arasında verilmiştir:

Amaç fonksiyonu:

$$Enk \sum_{i=1}^k (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1, \dots, k, \quad (3.2)$$

$$d_i^- \cdot d_i^+ = 0, \quad i = 1, \dots, k, \quad (3.3)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1, \dots, k \quad (3.4)$$

Burada;

$f_i(x)$ :  $x$ 'in doğrusal bir fonksiyonu,  $x \in X$ ,

$b_i$ : Ulaşılmak istenen hedef değeri,

$x$ : Hedeflerdeki değişkenler,

$d_i^+$ : hedeflerden pozitif sapmalar,

$d_i^-$ : hedeflerden negatif sapmalar

Modelde Eşitlik (3.1)'de amaç fonksiyonu verilmiştir. Amaç fonksiyonu hedeflerden gerçekleşen pozitif ve negatif sapmaların toplamıdır ve en küçüklenmesi istenmektedir. Eşitlik (3.2)'de görüleceği üzere  $f_i(x)$ 'te hedeflere ulaşamadığı durumda sapmalar değer alacaktır ve Eşitlik (3.3)'te pozitif ve negatif sapmanın çarpımının 0 olacağı görülmektedir. Bunun nedeni iki sapmadan birinin değeri 0 olmak zorundadır, her ikisi de 0'dan büyük olacak ancak ikisi de aynı anda 0'dan farklı değer alamaz.

Literatürde en eski ve en yaygın kullanılan HP çeşitleri aşağıda verilmiştir (Romero, 2004):

- Archimedean HP olarak bilinen ağırlıklı HP
- Öncelikli HP olarak bilinen lexicographic HP
- Chebyshev HP olarak bilinen minmax HP.

### 3.3.1. Ağırlıklı hedef programlama

Ağırlıklandırılmış HP; diğer adıyla Archimedean HP çalışmaları 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından başlamış (Charnes ve Cooper, 1961), 1977 yılında ise ağırlıklandırılmış HP modeli önerilmiştir. Modelde, karar vericiler tarafından; hedeflerin sapma değişkenlerine önem seviyelerine göre ağırlıklar atanır. Modelde amaç fonksiyonu, problemin hedeflerini gösteren fonksiyonların ağırlıklandırılmış toplamıdır. Bu yaklaşımın amacı, modelde oluşan sapmaların ağırlıklandırılmış toplamının en küçüklenmesidir (Öztürk, 2011).

Ağırlıklı HP hedefler arasında öncelik tayin edilemediği, tüm hedeflerin önemli olduğu durumlarda hedeflere ağırlık verilmesiyle ölçülebilen problemler için kullanılmaktadır (Gür, 2018). Ağırlıklı HP'nin matematiksel gösterimi Eşitlik (3.5) ve (3.7) arasında verilmiştir (Romero, 2014):

Amaç fonksiyonu:

$$Enk Z = \sum_i^k (u_i d_i^- + v_i d_i^+) \quad (3.5)$$

Kısıtlar:

$$f_i(x) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1 \dots \theta, \quad x \in C_s \quad (3.6)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i = 1 \dots \theta \quad (3.7)$$

Burada;

$f_i(x)$ :  $x$ 'in doğrusal bir fonksiyonu,

$b_i$ : ulaşılması istenilen hedef değeri,

$d_i^-, d_i^+$ : hedef değerlerden negatif ve pozitif sapma değerleri,

$u_i, v_i$ : sapma değerlerindeki pozitif ağırlıkları;

$C_s$ : doğrusal programlamada bulunan kısıtların kümesidir.

Ağırlıklı HP yaklaşımında asıl amaç; istenmeyen sapma değişkenlerinin en küçüklenmesidir. Eğer ilgili sapma değişkeninin en küçüklenmesi önemli değil ise; bu sapmanın ağırlığı sıfır değerini alır.

### 3.3.2. Öncelikli hedef programlama

Bazı durumlarda karar vericiler amaçlarına ulaşabilmek için çözüm seçenekleri veya hedefler arasından birini seçmek ya da birine öncelik vermek zorunda kalabilmektedirler. Diğer adı “lexicographic HP” olan öncelikli HP karar vericilerin tercihiyle herhangi hedef değerinin diğerlerinden ya diğerlerinden daha önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Önem derecelerine göre hedeflerin önceliklendirilmesinden sonra; yüksek öncelikli hedefin optimum değerinin düşük öncelikli hedef tarafından kötüleştirilmesine izin verilmeyecek şekilde, her seferinde bir hedefi optimum kılar (Taha, 2000). 1972 yılında Lee tarafından önerilen ilk formülasyon daha sonraları Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir. Bu modelin matematiksel gösterimi Eşitlik (3.8) ile (3.11) arasında verilmiştir (Charnes ve Cooper, 1977):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Enk } Z = \sum_{i=1}^m P_i (d_i^- + d_i^+) \quad (3.8)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \quad (3.9)$$

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.10)$$

$$P_1 \gg \gg P_2 \gg \gg \dots \gg \gg P_k \quad (3.11)$$

Modelde;

$P_k$ : k. hedefin öncelik değeri

$b_i$ : ulaşılması istenilen hedef değeri,

$d_i^-, d_i^+$ : hedef değerlerden negatif ve pozitif sapma değerleri,

$a_{ij}$ : i.hedef için j. Karar verme biriminin değeri

Eşitlik (3.11)’de önceliklerin sıralanması kısıtı yer almaktadır. Birinci öncelikli hedef olan  $P_1$ ’den başlayarak daha düşük öncelikli hedefler olan  $P_2, P_3, \dots, P_k$ ’ya doğru gidilerek çözüm yapılmaktadır. Çözüm yapılırken daha düşük öncelikli hedefler, yüksek öncelikli hedeflerin en uygun değerini etkilememelidir (Zeybek, 2019). Karar vericiler ağırlıklandırma yaklaşımı ile hedeflerin göreceli önemlerini belirleyemediği durumlarda bu yaklaşımı kullanmaktadırlar.

### 3.3.3. Minmax hedef programlama

Chebyshev HP yaklaşımı olarak da bilinen Minmax HP literatürde ağırlıklı ve öncelikli HP'den daha az görülmektedir. Minmax HP karar vericinin tercihini gerektirmemektedir. Minmax HP yaklaşımında amaç; sapmaların ağırlıklı toplamalarının en küçüklenmesi veya öncelikli en küçüklenmesi değil, hedefler arasındaki en büyük sapmanın en küçüklenmesidir. Yaklaşımda, en büyük sapmanın en küçüklenmesi istenmektedir ve Minmax HP ismi de buradan gelmektedir. Minmax HP modeli genel olarak Eşitlik (3.12) ve (3.16) arasında verilmiştir (Verma vd., 2010):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Enk } \lambda_i \quad \lambda_i \geq 0 \quad \text{için,} \quad (3.12)$$

Kısıtlar:

$$Z_i(x) + d_i^- - d_i^+ = G_i \quad (3.13)$$

$$\lambda_i \geq d_i^- - d_i^+ \quad (3.14)$$

$$\lambda_i \geq d_i^+ - d_i^- \quad (3.15)$$

$$x, d_i^+, d_i^- \geq 0, \quad x \in X \quad (3.16)$$

Matematiksel modelde;

$Z_i(x)$  :  $x$ 'in doğrusal bir fonksiyonu,

$G_i$ : Ulaşılmayı istenilen hedef değeri,

$d_i^-, d_i^+$ : Hedef değerlerden negatif ve pozitif sapma değerleri,

$\lambda_i$  : En büyük sapmayı ifade etmektedir.

Eşitlik (3.14) ve (3.15)'te  $\lambda_i$ 'nin sapmalar arasındaki farktan büyük olacağı anlaşılmaktadır.

Diğer HP yaklaşımları ile arasındaki ilk ve önemli fark en büyük sapmanın cezalandırılması aşamasıdır. Bu cezalandırmanın genel etkisi, mümkün olduğunda toplamaların en aza indirilmesi yerine hedeflerin seviyeleri arasında bir dengenin sağlanmasıdır. Gerçek hayat problemleri açısından düşünüldüğünde birçok uygulamada karar vericiler ihtiyaçları dengelemek olarak tanımlayabilmektedirler (Gür, 2018).

En yaygın kullanılan HP modellerinde en çok kullanılan yaklaşımlar bu bölümde bahsedilmiş üç yaklaşım olsa da; literatürde başka HP çeşitleri de mevcuttur. Bunlardan bazıları;

genişletilmiş HP, kısıt programlama, tek hedefli programlama, eşit ağırlıklı çok hedefli programlama olarak belirtilebilir.

#### 4. ÇOK ÖLÇÜTLÜ VZA MODELİ İÇİN AĞIRLIKLİ HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

VZA, çok sayıda girdi ve çıktılara sahip homojen karar verme birimlerinin nispi etkinliğini ölçmek için kullanılan doğrusal bir programlama yaklaşımıdır. VZA, karar vericinin tercih yapıları dikkate alınmadan geliştirilmiştir. Diğer bir husus ise klasik VZA'da girdi ve çıktı değerlerinde bir veya birkaçının fazla olması durumunda etkinlik oranı sınıra yakın ya da sınırdaki çıkabilmektedir. Bu da yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ve karar vericinin tercihlerinin de dikkate alınması için etkinliğin ölçülmesi sürecine HP yaklaşımı ele alınarak çözüm önerileri sunulmuştur. Literatür taramasından elde edilen bulgulara göre HP ve VZA'nın birlikte ele alındığı çalışmalardan bu bölümde sırasıyla bahsedilmiştir:

2007 yılında Bal ve Örkü tarafından yayınlanan makalede; ağırlık dağılımının homojenliğini ölçmek için kullanılan çok ölçütlü bir VZA (Multiple Criteria Data Envelopment Analysis-MCDEA) modeli, öncelikli HP yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Önerilen yeni modelin girdi-çıktı ağırlıklarının homojenliğini artırırken, klasik DEA modeliyle aynı göreceli verimi sağladığı görülmüştür. Yirmi yedi adet Avrupa ülkesinin sosyo-ekonomik performanslarının dört girdi ve dört çıktı kullanılarak ölçülmesi ile ilgili yapılan uygulama çalışmasıyla da doğrulanmıştır. Çalışmada çok ölçütlü VZA modeli için HP (Goal Programming Multiple Criteria Data Envelopment Analysis-GPMCDEA) modeli önerilmiştir (Bal ve Örkü, 2007).

Örkü ve Bal tarafından 2011 yılında yapılmış çalışmada; çapraz verimlilik değerlendirmesi ele alınmış ve çapraz değerlendirmenin ikinci aşamasında kullanılabilecek HP modellerini önerilmiştir. Çalışmada; GPMCDEA ve GPDEA-CCR modelleri çapraz verimlilik değerlendirilmesinde kullanılmak üzere değiştirilerek önerilmiş ve üç adet sayısal örnekle önerilen model pekiştirilmeye çalışılmıştır (Örkü ve Bal, 2011).

Izadikhah ve diğerleri tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada ise; VZA problemlerinin çok amaçlı doğrusal programlama formülasyonuna dönüştürülerek nasıl çözülebileceğini göstermektedir. HP yaklaşımı kullanılarak veri zarflama odaklı verimlilik analizinin nasıl yapılabileceğini gösteren örnek olay incelemesi parakende banka sektörünün yedi şubesi için üç girdi, üç çıktı kullanılarak yapılmıştır (Izadikhah vd., 2014).

Zografidou ve diğerleri tarafından 2016 yılında yapılmış çalışmada sosyal, çevresel ve ekonomik ölçütler ve AB hedefleri göz önüne alınarak ve 0-1 Ağırlıklı HP modeli uygulayarak Yunanistan'ın yenilenebilir enerji üretim ağının en uygun tasarımı sunulmaktadır. Olası ağ yapılarından en uygununu bulmak için ise VZA tekniğinden yararlanılmıştır. Sonuçlara göre en

fazla verimliliği elde etmek için sosyal ve çevresel ölçütlerin ekonomik olanlardan daha fazla ağırlıklandırılması gerektiği görülmüştür (Zografidou vd., 2016).

Çok ölçütlü VZA modeli için ağırlıklı HP yaklaşımını öneren model ise 2017 yılında ise Rubem ve diğerleri tarafından tanıtılmıştır (Rubem vd.,2017). 1990'ların sonlarında önerilen, çok ölçütlü DEA (MCDEA-Multiple Criteria Data Envelopment Analysis) modelinde tüm amaçları aynı anda karşılayan çözüm mümkün olmadığı için sonraki yıllarda HP yaklaşımı kullanılarak GPDEA (GPDEA-Goal Programming Data Envelopment Analysis) modeller önerilmiştir. GPDEA modellerini eleştiren ve bazı kusurlarını tanımlayan ilk kişiler Ghasemi ve diğerleridir. Rubem ve diğerleri de çalışmalarında Bal ve Örkü tarafından önerilen modelde (Bal ve Örkü, 2010) eksiklikler tespit ederek Ghasemi ve diğerlerinin (Ghasemi vd.,2014) çalışmalarını genişletmeyi ve yeni bir WGPDEA modeli sunmayı amaçlamışlardır (Rubem vd., 2017). Bu bölümde Rubem vd. tarafından yapılan çalışmadan detaylı olarak bahsedilmiştir:

Li ve Reeves, sapma ( $d_o$ ) kavramının da etkinlik hesabında kullanılabileceğini  $d_o = 1 - h_o$  formülüyle belirterek ve klasik VZA modeline sapma değişkenini ilave ederek iki amaç fonksiyonunun da dahil edilmesini önermişlerdir. Doğrusallaştırılmış çok ölçütlü VZA (MCDEA) modeli Eşitlik (4.1) ile (4.7) arasında verilmiştir (Li ve Reeves, 1999):

Amaç fonksiyonları:

$$\text{Enk } d_o \text{ (ya da Enb } h_o) \quad (4.1)$$

$$\text{Enk } M \quad (4.2)$$

$$\text{Enk } \sum_{k=1}^n d_k \quad (4.3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + d_k = 0, \quad \forall k \quad (4.5)$$

$$M - d_k \geq 0, \quad \forall k \quad (4.6)$$

$$v_i, u_j, d_k \geq 0, \quad \forall j, i, k \quad (4.7)$$

Burada;

$h_o$ : değerlendirilmekte olan karar biriminin göreceli etkinliği,  $[0, 1]$

$d_o$ : değerlendirilmekte olan karar biriminin etkin olmama oranı,  $[0, 1]$

$d_k$ : k. Karar verme birimi için sapma değeri,

$y_{jk}$ : k. karar birimi için j. çıktının değeri,

$x_{ik}$ : k. karar birimi için i. girdinin değeri,

$u_j$ : j. çıktının ağırlığı,

$v_i$ : i. girdinin ağırlığı,

$M$ : En büyüğün en küçüklenmesi ile ilgili amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılmasına karşılık gelen değişkendir.

MCDEA modelinde üç amaç fonksiyonundan söz edilmektedir. Eşitlik (4.1)'deki amaç fonksiyonu etkinsizlik oranının veya sapmanın en küçüklenmesi ya da diğer bir deyişle etkinlik oranının en büyüklenmesidir. Eşitlik (4.2)'deki amaç fonksiyonu karar birimleri içindeki en büyük sapmanın ( $d_k$ ) en küçüklenmesidir. Eşitlik (4.3)'teki amaç ise karar verme birimleri sapmalarının toplamının en küçüklenmesidir.

HP ile VZA modeline yaklaşımda, her bir amaç için belirli bir sayısal hedef belirlenmekte ve bu amaçların hedeflerinden istenmeyen sapmaların ağırlıklı toplamlarını en aza indiren bir çözüm aranmaktadır. Rubem ve diğerleri çalışmasında (Rubem vd., 2017), Bal ve diğerlerinin (2010) önerdiği GPDEA-CCR modelini analiz etmişlerdir. Amaç fonksiyonunda tüm sapmaların eşit ağırlıkta olduğu kabul edilen model Eşitlik (4.8) ile (4.14) arasında verilmiştir (Bal vd., 2010):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Enk } a = \{d_1^- + d_1^+ + d_2^+ + \sum_{k=1}^n d_{3k}^- + \sum_{k=1}^n d_k\} \quad (4.8)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} + d_1^- - d_1^+ = 1 \quad (4.9)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + d_2^- - d_2^+ = 1 \quad (4.10)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + d_k = 0, \quad \forall k \quad (4.11)$$

$$M - d_k + d_{3k}^- - d_{3k}^+ = 0, \quad \forall k \quad (4.12)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \quad \forall j, i \quad (4.13)$$

$$d_k, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_{3k}^-, d_{3k}^+ \geq 0, \quad \forall k \quad (4.14)$$

Modelde;

- $d_1^-, d_1^+$ : Girdilerin ağırlıklı toplamını 1'e eşitleyen hedef için istenmeyen pozitif ve negatif sapmalar,
- $d_2^-, d_2^+$ : Çıktıların ağırlıklı toplamını 1'e eşit veya daha az yapan hedef için istenmeyen pozitif ve negatif sapmalar,
- $d_{3k}^-, d_{3k}^+$ : Tüm  $d_k$  sapma değişkenlerinin de istenmeyen olduğu, M'yi en büyük sapma yapan hedef için istenmeyen pozitif ve negatif sapmalardır.

Ghasemi ve diğerlerinin (2014) daha önce Eşitlik (4.8) ile (4.14) arasındaki modeli eleştirmiş ve birinci tutarsızlığı anlatmışlardır. Diğer dört tutarsızlık ilk olarak Rubem ve diğerleri (2017) tarafından ele alınmıştır. Modeldeki (GPDEA-CCR) beş tutarsızlık sırası ile verilmiştir (Rubem vd., 2017):

- Birinci tutarsızlık: MCDEA modelinin ilk kısıtlamasına ( $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$ ) istenmeyen sapmalarının ( $d_1^-, d_1^+$ ) atanması ile ilgilidir. Ghasemi ve diğerlerinin (2014) belirttiği gibi, böyle bir kısıtlamanın doğruluğu sağlaması için yerine getirilmesi gerekir. Aslında, HP terminolojisinde, zorunlu olarak yerine getirilmesi gereken bu tür bir zorluğa, sert veya teknik bir kısıtlama denir ve bu nedenle bir hedefe dönüştürülmemelidir (Caballero vd., 1997). Ghasemi ve diğerleri (2014) ayrıca, girdi odaklı bir modelde kısıtlamanın ( $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$ ) olarak ayarlanması ve ardından mümkün olduğu kadar yüksek çıktı seviyelerine ulaşılmasının kesinlikle gerekli olduğunu belirtmektedir. GPDEA-CCR modelinde, her karar birimi için girdilerin ağırlıklı toplamı  $d_1^- = 1$ ,  $d_1^+ = 0$  olduğunda sıfır olabilir.  $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} + d_1^- - d_1^+ = 1$  formülasyonunda sapma değerleri yerine konulduğunda girdilerin ağırlıklı toplamı 0 değerini alır ve bu problemli bir durumdur. Bu problem CCR modelinin temeline göre, göreceli etkinliğin ağırlıklı çıktı toplamının ağırlıklı girdi toplamına bölünmesiyle hesaplanan kesirli formundan kaynaklandığı için ortaya çıkmaktadır. Girdilerin ağırlıklı toplamı 0 ise, o zaman göreceli verim belirlenemez.  $d_1^- = 1$ ,  $d_1^+ = 0$  değerlerinin ötesinde  $d_2^- = 1$ ,  $d_2^+ = 0$  olduğu durumda ve  $\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + d_2^- - d_2^+ = 1$  formülasyonda yerlerine konulduğunda  $\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 0$  olur. Daha sonra hem çıktıların ağırlıklı toplamı hem de girdilerin ağırlıklı toplamı boş olacaktır. Üçüncü amaçta yerlerine konulduğunda ise  $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + d_k = 0$ , ( $k = 1, \dots, n$ ) karar birimi için, sapma ( $d_o$ ) boş olacak ve böylece verimlilik ( $h_o$ ) tutarsız olarak 1 değerini alacaktır. Bu tutarsızlığı örneklerle göstermek için 4 girdi ve 4 çıktı olmak üzere 10 karar birimi üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir.
- İkinci tutarsızlık: MCDEA modelinin ilk amaç fonksiyonunun bir hedefe dönüştürülmesiyle ilgilidir. Bu hedef göreceli verimin en üst düzeye çıkarılmasını veya alternatif olarak verimsizliğin en aza indirilmesini içermektedir. HP mantığında bir en büyükleme amacını hedefe dönüştürürken ‘amaç fonksiyonu değeri +  $d^- - d^+ = \text{hedef istenen değeri}$ ’ şeklinde olmalıdır. Bal ve diğerleri (2010) göreceli verimliliğin en büyükleme olarak gösterilen MCDEA’nın ilk amacının dönüştürülmesi ve ardından başarı fonksiyonunda istenmeyen sapma  $d_2^+$ ’nin en aza indirilmesiyle

$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + d_2^- - d_2^+ = 1$  formülü tarafından verilen hedefe ulaşılmıştır. Böylece yapılan aslında uygun olmamasına rağmen GPDEA-CCR modeli tarafından gerçekleştirilen, en büyüklemek yerine görel verimin en aza indirilmesidir. Başka bir deyişle, hedefte  $d_2^+$ 'nin en aza indirilmesi, ' $\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \leq 1, d_2^+ \rightarrow 0, d_2^- \geq 0$ ' kısıtının dayatılmasına eşdeğerdir.

- Üçüncü tutarsızlık: MCDEA'nın ikinci amacının dönüştürülmesini ifade eder. M değişkeni sadece en büyük sapmanın en küçüklenmesi hedefini doğrusallaştırmak için tanıtılmaktadır:

$$\text{MinMax } d_k: \text{Min } M \text{ ve } M - d_k \geq 0, \forall k.$$

Bu nedenle, GPDEA-CCR modelindeki üçüncü tutarsızlık, MCDEA modelinde en büyük sapmanın en küçüklenmesi hedefini doğrusal hale getiren  $M - d_k \geq 0$  gibi sert kısıtlamaları ayırmamaktan ve M değişkeni ile gösterilen en büyük sapmanın en küçüklenmesi amacını hedefe dönüştüren hedefin istenen değerinin yerine getirilmesinden oluşur. Çünkü Bal ve diğerleri (2010) GPDEA-CCR modelini formüle ederken uygun olmasa da ilgili sapma değişkenlerini ( $d_{3k}^-, d_{3k}^+$ ) ilave etmişlerdir.

- Dördüncü tutarsızlık: Üçüncü tutarsızlıktan türetilen bu maddede M'ye bir istenen değer sabitlerken,  $M - d_k \geq 0$  kısıtına hedefteki en büyük sapmanın en küçüklenmesi amacına dönüştürmek için k farklı sapma çiftleri atamanın gerekli olmadığını ifade eder. Bu nedenle iki sapma değişkeni ( $d_3^-, d_3^+$ ) yeterli olacaktır ve amaç fonksiyonundaki  $\sum_{k=1}^n d_{3k}^-$  değerinin  $d_3^-$  ile yer değiştirilmesi gerekmektedir.
- Beşinci tutarsızlık: MCDEA'nın üçüncü amacı ile yani sapmaların toplamının en küçüklenmesi ile ilgilidir. Her karar biriminin verimliliğinden ayrı ayrı sapmayı temsil eden ve toplamının en küçüklenmesi ile ilgili hedefi belirten sapma karar değişkenlerinin toplamı, GPDEA-CCR modelinin başarı fonksiyonuna doğrudan ve uygun olmayan şekilde yerleştirilmiştir. Bunda iki sorun olduğu belirtilmiştir; birincisi, iki sapma değişkeninin eklenmesiyle, sapmaların toplamının en küçüklenmesi amacı hedefe dönüştürülmüş olmalıdır. İkincisi ise MCDEA'nın karar değişkenlerinin kendileri yerine, bu sapma değişkenlerinin en az biri veya her ikisi de GPDEA-CCR modelinin başarı işlevine eklenmelidir. Bu tutarsızlık nedeniyle, GPDEA-CCR modelinden elde edilen görel verimlilik MCDEA modelinde sapmaların toplamının en küçüklenmesi hedefinin bireysel optimizasyonu ile elde edilenlere eşittir. Ghasemi ve diğerleri de bu eşitliği gözlemlemiş; fakat arkasındaki nedenleri tartışmamış veya açıklamamışlardır (Rubem vd., 2017).

Belirtilen tutarsızlıklar nedeniyle GPDEA-CCR'nin yerine Rubem ve diğerleri (2017) tarafından MCDEA modelinin üç amacını aynı anda optimize etmeyi amaçlayan uygun bir HP modeli ortaya konulmuştur. Modelde öncelikle MCDEA modelindeki üç amaç için hedefin olması istenen değeri belirlenmiştir. Hedeflerin olması istenen seviyeleri, asgari olarak elde edilmek istenen ya da aşılmaması gereken, hatta bazı durumlarda karşılık gelen amaç için tam olarak elde edilmek istenen değerlerdir (Caballero vd., 1997).

MCDEA modelinde etkinsizlik oranı ( $d_o$ ) kullanıldığı için 3 hedef ve amaç fonksiyonu en küçüklenmiştir. Hedefler ile hedeflerin olması istenen seviyesi arasındaki fark  $d^+, d^-$  ile ifade edilmiştir. 3 hedef için Çizelge 4.1. oluşturulmuş (Rubem vd., 2017);

**Çizelge 4.1.** Amaç Fonksiyonlarının Kısıta Dönüştürülmesi.

| MCDEA Amacı                          | Hedef Alternatifleri                                            | Hedefin Dönüşümü                         | İstenmeyen Sapmalar                |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| $f_1 = \text{Enk } d_o$              | $d_o = g_1$<br>veya<br>$d_o \leq g_1$                           | $d_o + d_1^- - d_1^+ = g_1$              | $d_1^- + d_1^+$<br>veya<br>$d_1^+$ |
| $f_2 = \text{Enk } M$                | $M = g_2$<br>veya<br>$M \leq g_2$                               | $M + d_2^- - d_2^+ = g_2$                | $d_2^- + d_2^+$<br>veya<br>$d_2^+$ |
| $f_3 = \text{Enk } \sum_{k=1}^n d_k$ | $\sum_{k=1}^n d_k = g_3$<br>veya<br>$\sum_{k=1}^n d_k \leq g_3$ | $\sum_{k=1}^n d_k + d_3^- - d_3^+ = g_3$ | $d_3^- + d_3^+$<br>veya<br>$d_3^+$ |

Önerilen modelde, amaç fonksiyonu, belirlenen ilk hedeflere bağlı olarak değişebilecek olan, tablodaki istenmeyen sapmaların ağırlıklı toplamının en küçüklenmesi olacaktır. MCDEA modeli için ağırlıklı HP modeli (WGPMDEA-CCR) Eşitlik (4.15) ile (4.23) arasında verilmiştir (Rubem vd., 2017):

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk a = \{\lambda_1 d_1^+ + \lambda_2 d_2^+ + \lambda_3 d_3^+\} \quad (4.15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (4.16)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + d_k = 0, \quad \forall k \quad (4.17)$$

$$M - d_k \geq 0, \quad \forall k, \quad (4.18)$$

$$d_o + d_1^- - d_1^+ \leq g_1 \quad (4.19)$$

$$M + d_2^- - d_2^+ \leq g_2, \quad \forall k, \quad (4.20)$$

$$\sum_{k=1}^n d_k + d_3^- - d_3^+ \leq g_3 \quad (4.21)$$

$$u_j, v_i \geq 0, \quad \forall j, i \quad (4.22)$$

$$d_k, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+ \geq 0 \quad \forall k \quad (4.23)$$

Çalışmada,  $d_o$ 'ın  $[0, 1]$  aralığında olduğu varsayımı ile dördüncü kısıtlamaya  $g_1 = 1$  değerinin atanabileceği,  $g_2$  ve  $g_3$ 'e ise karar birimlerinin sapmasının birden büyük olabileceği gerekçesiyle en büyük değerler atanamayacağı belirtilmiştir. Burada  $\lambda$  değerleri hedeflerin ağırlıklarıdır.

Rubem ve diğerleri (2017) tarafından tespit edilen uygunsuzluklar nedeniyle GPDEA-CCR modeli yerine WGPMCDEA-CCR modeli olarak adlandırılan ve ağırlıklı HP kullanarak çok ölçütlü VZA problemini çözebilen teorik olarak uygun yeni bir model elde edilmiştir. Model henüz sayısal örneklerle desteklenmemiştir. Bu çalışmada ise önerilen model bir otomotiv yan sanayisinden alınan gerçek verilerle sayısal olarak gerçekleştirilmiş, sonuçları yorumlanmıştır.

2019 yılında ise Gholam ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada HP ve ters VZA kullanılarak birleşmelerde hedef belirleme ile ilgili yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışma, karar vericilerin, belirli girdiyi ya da girdileri kaydetmek veya belirli bir çıktıyı ya da çıktıları gerektiği kadar üretmek için tercih ettikleri bir birleşmeyi hedef olarak belirlemelerini sağlayan etkili bir yöntem sunmaktadır. Önerilen model, bankacılık sektöründeki kırk iki banka ele alınarak yapılan bir uygulama ile daha detaylı anlatılmıştır (Gholam vd., 2019).

Torres-Ruiz ve Ravindran tarafından 2019 yılında HP ve VZA ile ilgili bir çalışma daha gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; çevresel ve ekonomik tedarikçi performans ölçütlerinin, aralık verileri için VZA kullanılarak tek bir (eko-verimlilik) endeksinde toplandığı gösterilmiştir. Birbiriyle çelişkili hedefler olarak alım fiyatı ve eko-verimlilikle çoklu kaynak kullanımı için öncelikli, öncelikli olmayan ve bulanık HP modelleri kullanılmış ve tedarikçiler Malmquist

verimlilik endeksi yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Otomotiv parçası üreten bir firma tarafından sağlanan verilerle uygulama çalışması yapılmış olup önerilen yöntemin tedarikçi değerlendirmesi, seçimi ve izlenmesi için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Torres ve Ravindran, 2019).

## 5. UYGULAMA ÇALIŞMASI

### 5.1. Çalışmanın Yapıldığı İşletme ve Genel Süreç Hakkında Bilgi

Bu çalışma otomotiv sanayinde üretilen binek, hafif ticari, ticari (kamyon, otobüs) gibi araçlar için kablo ve kablo donanımları üreten, ISO 500'de yer alan Nursan Kablo Donanım üretim tesislerinde gerçekleştirilmiştir. İşletme, otomotiv sektöründe olması sebebi ile IATF:2016 16949'un şartlarını yerine getirmekle yükümlüdür.

İşletmedeki üretim sürecinden kısaca bahsedilmiştir:

- Satın alınan bakır teller üzerine ekstrüder makinalarında kablo çekim işlemi yapılmaktadır.
- Rulolar halinde hazırlanan çeşitli renklerdeki kablolar KST(kesme-sıyırma-terminalleme) bölümüne gönderilmektedir.
- KST bölümünde ürün ağaçlarında belirtilen boylarda kablolar kesilip uçları ya terminallenmekte ya da duruma göre (ek işlemi varsa) sadece uç açma yapılmaktadır.
- Ek yapılması gerekiyorsa uç açma yapılmış setler ek bölümüne gönderilmektedir. Gelen setler ek konfigürasyonuna göre önce gruplandırılmaktadır. Ultrasonik ve mekanik olmak üzere iki tip ek işlemi mevcuttur. Uç açma yapılan kabloların bakır tel kısımları üst üste getirilerek makinada basılmakta, üzerinin kapatılması için de büzüşen makaron adı verilen koruyucu kılıf takılmaktadır. Isı yardımıyla büzüşen koruyucu kılıf o bölgeye sabitlenerek dışarıya akım engellenmiş olmaktadır. Ek alanında burğu, büzüştürme, bantlama işlemi de yapılmaktadır.
- KST ve Ek Bölümünde işlemleri tamamlanmış kablolar/setler montaj hattına gönderilmektedir.
- Öncelikli olarak modül şemalarına göre kabloların soket üzerinde nereye takılacağı bilgisi operatörlere verilerek, bu bilgilere göre modülleme işlemi yapılmaktadır.
- Modüllenen kablolar montaj hattına teslim edilmektedir. Montaj masası üzerinde hangi soketin nerede olacağı, kabloların renklerine ve numaralarına göre nereye gideceği istasyon şemaları ve masa gösterimlerinde tanımlıdır. Bu tanımlara göre kablolar masaya döşenerek, giydirme işlemleri (bantlama/klip/gaf/koruyucu kılıflar vb.) yapılmaktadır.
- Masadan çıkan donanımlar öncelikli olarak test işlemine girmektedirler. Test masalarında akım testi, klip varlık testi, renk sensörleri ve ilave kontrol edilmesi istenilen özellikler varsa kontrol edilmektedir. Testten geçen donanıma test etiketi yapıştırılmaktadır.

- Testten başarılı şekilde geçen donanımlar göz kontrol işlemine girmektedir. Şahit numune ile birebir karşılaştırma işlemi göz kontrol operatörü tarafından yapılmaktadır. Uygun olduğu durumda kaşe basılarak paketlenerek sevke hazır duruma getirilmektedir.

## 5.2.Verilerin Toplanması

İşletmede ana müşteri grupları proje olarak isimlendirilmekte olup, her proje için üretilen ürünler kablo donanımdır. Donanımların boyutları ve malzemeleri farklı olmakla birlikte, aynı üretim şekli ile üretildikleri için homojen kabul edilmiştir. İşletmede mevcut durumda aktif olarak bir tanesi ihracat projesi olmak üzere altı proje bulunmaktadır. Şirket gizliliği gereği proje isimleri verilmeyip harf ile tanımlanmıştır. Bazı dönemlerde proje sayısında değişiklikler gözlenebilmektedir. Bu değişiklik genelde artış olarak tanımlanmakla beraber altı proje sürekli çalışılan projelerdir. VZA kapsamında etkinlik değerlendirmesi için iki girdi ve üç çıktı belirlenmiştir. Göreli etkinlikleri değerlendirilecek karar birimi sayısı altıdır. Bu sayı Boussofiand vd. ( 1991)'e göre genel kabul görmüş (girdi sayısı + çıktı sayısı + 1) kuralına uymaktadır. Veriler Çizelge 5.1.'de verilmiştir:

**Çizelge 5.1.** Karar Birimleri ve Girdi-Çıktı Verileri.

| Projeler | Çıktılar                           |                                                |                                     | Girdiler                           |                                               |
|----------|------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
|          | Aylık Satış<br>Cirosu (%)<br>$y_1$ | Aylık Operatör<br>Çalışma Hızları (%)<br>$y_2$ | Müşteri<br>Memnuniyeti (%)<br>$y_3$ | Personel<br>Sayısı (adet)<br>$x_1$ | Kullanılan<br>Alan (m <sup>2</sup> )<br>$x_2$ |
| A        | 33                                 | 65                                             | 75                                  | 62                                 | 2310                                          |
| B        | 43                                 | 92                                             | 100                                 | 65                                 | 440                                           |
| C        | 7                                  | 43                                             | 77                                  | 17                                 | 255                                           |
| D        | 5                                  | 40                                             | 74                                  | 14                                 | 414                                           |
| E        | 7                                  | 50                                             | 87                                  | 18                                 | 286                                           |
| F        | 5                                  | 50                                             | 86                                  | 7                                  | 110                                           |

$y_1$ : Çıktı olarak tanımlanan bu değer aylık satış cirosunun yüzde (%) değeridir. Gizlilik gereği net rakamlar verilmemiş olup % değerler sunulmuştur. Örneğin; işletmenin aylık olarak toplam cirosunun %33'ü A projesi tarafından elde edilmektedir.

$y_2$ : Aylık olarak operatörlerin % oranında çalışma hızlarıdır. Bu hızı birçok neden etkileyebilmektedir. Bunlar, donanımın karmaşık olması, malzemelerin zamanında temin edilmemesi, araya giren acil siparişler, operatörlerin özel nedenleri olabilir. Çalışmada çalışma

hızını etkileyen bazı nedenler yok sayılmıştır. İşletme tarafından çalışma hızları belirli bir hedef değer konularak aylık olarak hesaplanmaktadır. Bu hedefin altında kalan projeler için önlem alınmasına özen gösterilmektedir. Çizelgedeki veriler altı aylık ortalama veriler alınarak hazırlanmıştır. Örneğin; B projesi aylık ortalama çalışma hızı en fazla (%92) olan projedir.

$y_3$ : Müşteri memnuniyeti olarak tanımlanan bu çıktı değer müşteri şikâyetleri ve sevkiyat performansı ele alınarak hesaplanmıştır. Müşteri şikâyeti yoksa ve sevkiyat performansı puanı yüksekse müşteri memnuniyeti oranı yüksektir. Altı aylık performanslar göz önüne alınarak aylık ortalama değerler Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Örnek verilecek olursa B projesinde son altı ay içerisinde hiç dış kalite hatası (müşteri ve müşteri temsilcisi tarafından bildirilen hatalar) ve müşteri şikâyeti yaşanmadığı ve sevkiyatların hiç aksamaması nedeniyle müşteri memnuniyeti %100 olarak hesaplanmıştır. Ancak bazı dış kalite hataları nedeniyle hata bildirimini açılan D projesinde %74 olarak hesaplanmıştır.

$x_1$ : Proje bazlı üretimdeki çalışan personel sayısı girdi değeri olarak belirlenmiştir. Örnek olarak; A projesinde altmış iki çalışan varken, F projesinde yedi kişi çalışmaktadır.

$x_2$ : İşletme belirli bir alan üzerine kurulmuştur. Her proje için belirli bir alan tahsis edilmiş olup harici bir durum olmadıkça bu alanlar değiştirilmemektedir. Yeni proje gelmesi, yeni ekipmanların gelmesi veya methodsal anlamda yapılacak değişiklikler harici alan güncellemesi yapılmamaktadır. Burada en fazla alan A projesine aittir. Bunun nedeni ise kablo donanımlarının büyük olması sonucu kullanılan ekipmanların da büyük olması ve dolayısıyla fazla alan kaplamasıdır.

### 5.3. Klasik VZA ile Etkinliklerin Ölçülmesi

VZA, benzer karar birimlerinin belirlenen girdiler ve çıktılar ele alınarak etkinliklerini ölçmektedir. Yönetime değerlendirme konusunda yardımcı olmak için VZA ile projelerin etkinliklerinin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında girdiye göre (CCR-I) matematiksel model kullanılmıştır. VZA'nın bu çalışmadaki amacı, ele alınan projelerin değerlendirilmesi, etkin olan ve olmayanları birbirinden ayırt edilmesi ve etkin olmayanları etkinleştirebilmek için öneriler sunmaktır. Bu bölümde ise klasik VZA yaklaşımı ile model çözülecek ve sonuçları yorumlanacaktır.

CCR-I Matematiksel model Eşitlik (5.1) ve (5.4) arasında verilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$Enb\ h_k = \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \quad (5.1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i=1}^r v_i x_i = 1 \quad (5.2)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \geq 0 \quad (5.3)$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad (5.4)$$

Karar değişkenleri;

$h_k$  = k. karar verme biriminin etkinlik oranı,  $k=1,2,\dots,n$

$u_j$  : j. çıktının ağırlığı,  $j=1,2,\dots,s$

$v_i$  : i. girdinin ağırlığı,  $i=1,2,\dots,r$

Parametreler;

$y_{jk}$  : k. karar birimi için j. çıktının değeri

$x_{ik}$  : k. karar birimi için i. girdinin değeri

Model Lingo programında her karar birimi için çözülmüştür. Örnek olarak; A projesi için Lingo'da yazılan matematiksel model ve çözüm raporu Ek 1'de verilmiştir. Sonuçlara göre A projesinin etkinliğinin 0,74 olduğu gözlenmiştir. Aynı işlemler diğer projeler için de yapılmıştır.

Aynı zamanda problem DEAP Version 2.1 programı ile de çözümlenerek sonuç raporu Ek.2'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** CCR-I Modeli Etkinlik Oranları, Referans Kümeler ve Ağırlıkları.

| No | Proje | Etkinlik | Referans Proje | Referans Kümesi Ağırlığı |
|----|-------|----------|----------------|--------------------------|
| 1  | A     | 0,745    | F              | 6,6                      |
| 2  | B     | 1,000*   | B              | 1                        |
| 3  | C     | 0,580    | B ve F         | 0,012 ve 1,296           |
| 4  | D     | 0,500    | F              | 1                        |
| 5  | E     | 0,544    | F              | 1,4                      |
| 6  | F     | 1,000*   | F              | 1                        |

DEAP sonuçlarına göre projelerin etkinlik oranları, referans kümeleri ve referans kümesi ağırlıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Sonuçlara göre B ve F projesinin etkin, A projesinin 0,745,

C projesinin 0,58, D projesinin 0,50, E projesinin ise 0,54 oranında etkin olduğu görülmektedir. Etkin olmayan projeler için ise nasıl etkin hale getirileceği ile ilgili hedefler belirlenmiştir.

**Çizelge 5.3.** CCR-I Modeli Girdi/Çıktı Hedef Değerleri.

| Proje | $y_1$ | Hedef $y_1$ | $y_2$ | Hedef $y_2$ | $y_3$ | Hedef $y_3$ | $x_1$ | Hedef $x_1$ | $x_2$ | Hedef $x_2$ |
|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| A     | 33    | 33          | 65    | 330         | 75    | 567         | 62    | 46,2        | 2310  | 726         |
| B     | 43    | 43          | 92    | 92          | 100   | 100         | 65    | 65          | 440   | 440         |
| C     | 7     | 7           | 43    | 65          | 77    | 112         | 17    | 9,86        | 255   | 148         |
| D     | 5     | 5           | 40    | 50          | 74    | 86          | 14    | 7           | 414   | 110         |
| E     | 7     | 7           | 50    | 70          | 87    | 120         | 18    | 9,8         | 286   | 154         |
| F     | 5     | 5           | 50    | 50          | 86    | 86          | 7     | 7           | 110   | 110         |

Projeler için girdi ve çıktıların, gerçekleşen ve hedef değerleri Çizelge 5.3.'te özetlenmiştir. Renkli dolgulu kısımlar etkin olmayan projeler için önerilen hedef değerlerdir. B ve F projesi hariç, diğer projeler için hedef girdi ve çıktı değerleri şu şekilde yorumlanabilir;

- A projesi için; operatörlerin çalışma hızları %65'ten %330'a, %75 olan müşteri memnuniyetinin %567'ye çıkmalıdır. Girdi değerlerinde ise personel sayısının 62 kişiden 46 kişiye, kullanılan alanın ise 2310 m<sup>2</sup>'den 726 m<sup>2</sup>'ye düşürülmesi gerekmektedir. Tüm bunlar gerçekleştiğinde A projesinin etkinlik oranı 1 olacaktır. Fakat işletme koşulları gereği A projesinin bu referans kümesi içerisinde %100 etkin olması beklenemez, sadece oran yükseltilebilir.
- C projesi için; operatörlerin çalışma hızları %43'ten %65'e, %77 olan müşteri memnuniyetinin %112' ye çıkması ve personel sayısının yaklaşık 10 kişiye, kullanılan alanın 148 m<sup>2</sup>'ye düşürülmesi gerekmektedir.
- D projesinde ise; operatörlerin çalışma hızları %40'tan %50'e, %74 olan müşteri memnuniyetinin %86'ya çıkması ve personel sayısının 14 kişiden 7 kişiye, kullanılan alanın 414 m<sup>2</sup>'den 110 m<sup>2</sup>'ye düşürülmesi gerekmektedir. Tüm bunlar yapıldığında D projesi de etkin projeler arasına girecektir.
- E projesi için de; operatörlerin çalışma hızları %50'den %70'e, %87 olan müşteri memnuniyetinin %120'ye çıkması ve personel sayısının 18 kişiden yaklaşık olarak 10

kişiyeye, kullanılan alanın 286 m<sup>2</sup>'den 154 m<sup>2</sup>'ye düşürülmesi gerektiği söylenebilmektedir.

#### 5.4. VZA için Hedef Programlama Modelinin Kurulması

Bu çalışmada Rubem ve diğerlerinin 2017 yılında önerdiği WGPMCDEA-CCR modeli (Bknz. 4. Bölüm) kullanılarak işletmedeki projelerin etkinlik oranlarının HP yaklaşımı kullanılarak hesaplaması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ile oluşturulan A projesi için açık matematiksel model Eşitlik(5.5) ile (5.23) arasında verilmiştir:

Amaç Fonksiyonu:

$$Enk a = \{\lambda_1 d_1^+ + \lambda_2 d_2^+ + \lambda_3 d_3^+\} \quad (5.5)$$

Kısıtlar:

$$62v_1 + 2310v_2 = 1 \quad (5.6)$$

$$33u_1 + 65u_2 + 75u_3 - 62v_1 - 2310v_2 + d_1 = 0 \quad (5.7)$$

$$43u_1 + 92u_2 + 100u_3 - 65v_1 - 440v_2 + d_2 = 0 \quad (5.8)$$

$$7u_1 + 43u_2 + 77u_3 - 17v_1 - 255v_2 + d_3 = 0 \quad (5.9)$$

$$5u_1 + 40u_2 + 74u_3 - 14v_1 - 414v_2 + d_4 = 0 \quad (5.10)$$

$$7u_1 + 50u_2 + 87u_3 - 18v_1 - 286v_2 + d_5 = 0 \quad (5.11)$$

$$5u_1 + 50u_2 + 86u_3 - 7v_1 - 110v_2 + d_6 = 0 \quad (5.12)$$

$$M - d_1 = 0 \quad (5.13)$$

$$M - d_2 = 0 \quad (5.14)$$

$$M - d_3 = 0 \quad (5.15)$$

$$M - d_4 = 0 \quad (5.16)$$

$$M - d_5 = 0 \quad (5.17)$$

$$M - d_6 = 0 \quad (5.18)$$

$$d_o + d_1^- - d_1^+ \leq g_1 \quad (5.19)$$

$$M + d_2^- - d_2^+ \leq g_2 \quad (5.20)$$

$$d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_3^- - d_3^+ \leq g_3 \quad (5.21)$$

$$u_1, u_2, u_3, v_1, v_2 \geq 0, \quad (5.22)$$

$$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+ \geq 0 \quad (5.23)$$

Burada;

$u_1, u_2, u_3$ : Çıktıların ağırlıkları  $j=1,2,3$   
 $v_1, v_2$ : Girdilerin ağırlıkları  $i=1,2$   
 $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ : k. Karar birimini sapması  $k=1,2,3,4,5,6$

$M$ : En büyük sapmanın en küçüklenmesi amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılmasına karşılık gelen değişken

$d_1^-$ : 1. hedefin negatif sapması

$d_1^+$ : 1. hedefin pozitif sapması

$d_2^-$ : 2. hedefin negatif sapması

$d_2^+$ : 2. hedefin pozitif sapması

$d_3^-$ : 3. hedefin negatif sapması

$d_3^+$ : 3. hedefin pozitif sapması

$g_1$ : 1. hedefin olması istenen değeri

$g_2$ : 2. hedefin olması istenen değeri

$g_3$ : 3. hedefin olması istenen değeri

$\lambda_1$ : 1. amacın amaç fonksiyonundaki ağırlığı

$\lambda_2$ : 2. amacın amaç fonksiyonundaki ağırlığı

$\lambda_3$ : 3. amacın amaç fonksiyonundaki ağırlığı

Modelde amaç fonksiyonu Eşitlik (5.5)'deki gibi hedeflerin pozitif sapmalarının ağırlıklı toplamının en küçüklenmesidir. Eşitlik (5.6)'da ağırlıklı girdileri toplamının 1'e eşit olduğunu göstermektedir. Eşitlik (5.7)'den (5.12)'ye kadar olan eşitlikler ise her karar biriminin sapması için oluşturulmuş kısıtlardır. Eşitlik (5.13)'ten (5.18)'e kadar olan eşitliklerde ise  $M$  değişkeninin en büyük sapmaya eşit olduğu ile ilgilidir. Eşitlik (5.19)-(5.21) aralığı ise modeldeki hedef kısıtlarıdır. Çok amaçlı VZA'da amaç fonksiyonu olarak bulunan bu eşitlikler modele kısıt olarak dahil edilmiştir. Modelde ağırlıkların ve sapmaların tümü 0'dan büyük olmalıdır.

Etkinsizlik oranı en fazla 1 olabileceği için  $g_1$  değeri en fazla 1 olabilecektir ve bu çalışmada da 1 olarak belirlenmiştir.  $g_2$  değeri en büyük sapmanın en küçüklenmesi amacına ait olup hedef değer olarak karar verici tarafından 0,2 olarak belirlenmiştir.  $g_3$  hedef değeri tüm sapmaların toplamının en büyük olması amacına aittir ve karar vericinin isteğine bağlı 0,6 olarak tanımlanmıştır.

Sapmaların ağırlıkları ( $\lambda$ ) karar verici tarafından belirlenmekte olup 'bir' kabul edilerek herhangi bir ağırlık belirlenmemiştir, ancak istenirse AHP veya başka bir yöntem kullanılarak

sapmalar için ağırlık belirlenerek çalışma genişletilebilir. Her proje için ayrı ayrı model kurulduktan sonra Lingo vb. programla çözüm yapılabilir. Bu çalışmada ise bunun yerine MS Excel'in Çözücü özelliği kullanılarak çözüm Excel üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 5.5. Bilgi Sistemi Önerisi

İşletmede çalışılan projeler zamanla değişiklik gösterebilmektedir. Bazı projeler sürekli çalışılsa bile alanları, çalışan sayıları, ciroları gibi birçok veri zaman içerisinde değişebilmektedir. Bazı projeler bir daha çalışılmayacak olup alanlar başka projelerde kullanılmakta, çalışanlar diğer projelere dağıtılabilir ya da yeni projeler geldiğinde işletme, alan ve çalışan tahsis etmek zorunda kalmaktadır. Sonuç olarak tüm bunları hesaplamak karmaşık ve karar verilmesi zor bir süreç olmakla birlikte etkin bir yönetim için dinamik yapıda bir sistem gerektirmektedir. İşletmenin periyodik olarak kullanabilmesi ve yönetim açısından faydalı olacağı için Excel üzerinde bir VZA ve HP yaklaşımı ile bilgi sistemi tasarlanmıştır. Rubem ve diğerlerinin önerdiği WGPCDEA-CCR modeli kullanılarak Excel üzerinde kısıtlar, karar değişkenleri, hedefler girilerek Çözücü üzerinden çözüm sağlanmıştır. Bilgi Sistemi Veri Girişi ekranı Şekil 5.1'de verilmiştir.

|            |          | Çıktılar                               |                                       |                                  | Girdiler                        |                            |    |
|------------|----------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----|
| Ağırlıklar |          | u1                                     | u2                                    | u3                               | v1                              | v2                         | v3 |
| Değerler   |          | 0                                      | 0                                     | 0                                | 0                               | 0                          | 0  |
| n          | Projeler | Toplam Aylık Satış<br>Cirosu (%)<br>y1 | Aylık Operatör<br>Verimleri (%)<br>y2 | Müşteri<br>Memnuniyeti (%)<br>y3 | Personel Sayısı<br>(adet)<br>x1 | Kullanılan Alan (m²)<br>x2 |    |
| 1          | A        | 33                                     | 65                                    | 75                               | 62                              | 2310                       |    |
| 2          | B        | 43                                     | 92                                    | 100                              | 65                              | 440                        |    |
| 3          | C        | 7                                      | 43                                    | 77                               | 17                              | 255                        |    |
| 4          | D        | 5                                      | 40                                    | 74                               | 14                              | 414                        |    |
| 5          | E        | 7                                      | 50                                    | 87                               | 18                              | 286                        |    |
| 6          | F        | 5                                      | 50                                    | 86                               | 7                               | 110                        |    |
| 7          |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |
| 8          |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |
| 9          |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |
| 10         |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |
| 11         |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |
| 12         |          |                                        |                                       |                                  |                                 |                            |    |

PROJE İSİMLERİNİ  
TANIMLAYINIZ!  
MAX 12 PROJE  
BELİRLENEBİLİR.

ÇIKTI VERİLERİNİ TANIMLAYINIZ  
VE GİRİNİZ!  
MAX 3 ÇIKTI BELİRLENEBİLİR.

GİRDİ VERİLERİNİ TANIMLAYINIZ  
VE GİRİNİZ!  
MAX 3 ÇIKTI BELİRLENEBİLİR.

Şekil 5.1. Bilgi Sistemi Veri Girişi.

Excel programında Çözücü özelliği kullanılarak tasarlanan sistemde girdi ve çıktı verileri, karar birimleri karar verici tarafından tanımlanarak veriler tanımlı alana girilmektedir. 12 karar birimine kadar hesaplama yapabilmesi öngörülen sistemde 3 girdi ve 3 çıktı alanı tanımlanmıştır. İstenildiği takdirde 12 adet proje yani karar birimi tanımlanarak en fazla 3 girdi ve 3 çıktı verisi girilerek hesaplama yapılabilmektedir. D6 hücresinden I17 hücresine kadar girdi ve çıktı veri girişi yapılabilmektedir. Yapılan bu çalışmada ise 2 girdi, 3 çıktı ve 6 karar verme birimi bulunmaktadır.

Şekil 5.2'de ise bilgi sisteminin genel görünümü verilmiştir. Yanında açıklama bulunan hücrelere elle veri girişi yapılabilmekte ve diğer alanlara müdahale yapılamamaktadır, hücreler formüllerin bozulmaması adına korumaya alınmıştır. Sarı dolgulu kısımlar ise karar değişkenleri yani çözüm sonrası modelin bulduğu sonuçlardır. Sağ taraf sabitleri kısmı hedef değerleri ( $g_1, g_2, g_3$ ) temsil eder. Bu hedef değerler karar verici tarafından belirlenmiştir. Burada amaç fonksiyonu hedeflerin pozitif sapmaları toplamının en küçüklenmesidir.

| BİLGİ SİSTEMİ GENEL GÖRÜNÜMÜ |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    |              |          |    |      |      |                 |   |  |  |  |
|------------------------------|-------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|----|--------------|----------|----|------|------|-----------------|---|--|--|--|
| Açıklama                     |       | Çıktılar                          |                                    |                               | Girdiler                     |                            |    | HESAPLAMALAR |          |    |      |      |                 |   |  |  |  |
| Değerler                     |       | v1                                | v2                                 | v3                            | v1                           | v2                         | v3 |              |          |    |      |      |                 |   |  |  |  |
| n                            | rojet | Toplam Aylık Setop Ciro (N)<br>y1 | Aylık Operatör Verimleri (%)<br>y2 | Müşteri Memnuniyeti (%)<br>y3 | Personel Sayısı (adet)<br>x1 | Kullanılan Alan (m²)<br>x2 |    | Toplam Y     | Toplam X | dv | fark | M-dv | Hedef Değerleri |   |  |  |  |
| 1                            | A     | 33                                | 69                                 | 75                            | 82                           | 2310                       |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    | Toplam Kıs      | 0 |  |  |  |
| 2                            | B     | 43                                | 92                                 | 100                           | 65                           | 440                        |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    | Etkinlik (1-0)  | 0 |  |  |  |
| 3                            | C     | 7                                 | 43                                 | 77                            | 17                           | 255                        |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    | Etkinlik (2)    | 0 |  |  |  |
| 4                            | D     | 5                                 | 40                                 | 74                            | 14                           | 414                        |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    | Amaç Fonksiyonu | 0 |  |  |  |
| 5                            | E     | 7                                 | 50                                 | 87                            | 18                           | 288                        |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    | M               | 0 |  |  |  |
| 6                            | F     | 5                                 | 50                                 | 86                            | 7                            | 110                        |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    | 0            | 0        |    | 0    | 0    |                 |   |  |  |  |
|                              |       |                                   |                                    |                               |                              |                            |    |              |          |    |      |      |                 |   |  |  |  |

Şekil 5.2. Bilgi Sistemi Genel Görünümü.

Modeldeki kısıtlar ve amaç fonksiyonları Çözücü ile tanıtılarak butonların içerisine kod tanıtılmıştır. Şekil 5.3.'te Çözücü içeriği verilmiştir.

Şekil 5.3. Çözücü Ekranı.

Amaç fonksiyonu kısmına S9 hücresi, değişken hücreler kısmına sarı dolgulu kısımlar girilmiştir. Modelde bulunan diğer tüm kısıtlar ise çözücüye tanıtılmıştır. Çözme yöntemi olarak ise basit doğrusal programlama yöntemi seçilmiştir.

Sistemde Şekil 5.4.'te verildiği gibi iki tip çözüm öngörülmüştür. Birincisi proje bazlı olarak etkinlik sonucu ve ağırlıkların detaylı çözümünü vermekte iken diğeri tüm karar

birimlerinin etkinliğini aynı anda hesaplayabilmektedir. Butonlar içerisine entegre edilen kodlar Visual Basic tabanlı olup Ek 3'te verilmiştir.

| ETKİNLİK ORANI BELİRLEME                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Hangi karar birimi için hesaplama yapılıns? Yazınız.</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;">n: 3</div> <div style="border: 2px solid blue; border-radius: 50%; padding: 10px; text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">             TEK KARAR BİRİMİ<br/>İÇİN VERİLERİ<br/>HESAPLA           </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">*Sonuçlara yukarıdaki tablolardan bakılmalıdır.</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; color: green; font-weight: bold; margin-top: 20px;">             TÜM KARAR BİRİMLERİNİN<br/>ETKİNLİĞİNİ HESAPLA           </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">*Sonuç tablosundan her projenin etkinlik oranı takip edilebilir.</p> |
| Not: Sarı dolgulu kısımlar çözüm sonrası bulunan değerlerdir.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Şekil 5.4. Hesaplama Butonları.

Tek karar birimi için detaylı çözüme ulaşılmak istendiğinde karar biriminin yani projenin numarası 'n' yazan bölüme girilerek proje bazlı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Örneğin; 3 numaralı C projesi için detaylı sonuçlar Şekil 5.5.'te verilmiştir.

|            |       | Çıktılar                         |                                 |                            | Girdiler                  |                         | HESAPLAMALAR |          |          |          |          |          |                  |   |           |
|------------|-------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|---|-----------|
| Ağırlıklar |       | u1                               | u2                              | u3                         | v1                        | v2                      | v3           |          |          |          |          |          |                  |   |           |
| Değerler   |       | 0,082352941                      | 0                               | 0,00E+00                   | 0,038823529               | 0                       | 0            |          |          |          |          |          |                  |   |           |
| n          | proje | Toplam Aylık Satış Cirosu (%) y1 | Aylık Operatör Verimleri (%) y2 | Müşteri Memnuniyeti (%) y3 | Personel Sayısı (adet) x1 | Kullandırı Alan (m²) x2 |              | Toplam y | Toplam x | dk       | fark     | M-dk     |                  |   |           |
| 1          | A     | 33                               | 65                              | 75                         | 62                        | 2310                    |              | 2,717647 | 3,647059 | 0,929412 | -6,7E-14 | 0        | Toplam Xio       | 1 |           |
| 2          | B     | 43                               | 92                              | 100                        | 65                        | 440                     |              | 3,541176 | 3,823529 | 0,282353 | 4,94E-14 | 0,647059 | Etkinlik (1-do)  |   | 0,4225294 |
| 3          | C     | 7                                | 43                              | 77                         | 17                        | 255                     |              | 0,576471 | 1        | 0,423529 | 9,99E-15 | 0,505882 | Etkinsizlik (do) |   | 0,4235294 |
| 4          | D     | 5                                | 40                              | 74                         | 14                        | 414                     |              | 0,411765 | 0,823529 | 0,411765 | -8,3E-16 | 0,517647 | Amaç Fonksiyonu  |   | 2,6588235 |
| 5          | E     | 7                                | 50                              | 87                         | 18                        | 286                     |              | 0,576471 | 1,058824 | 0,482353 | 1,04E-14 | 0,447059 | M                |   | 0,9294118 |
| 6          | F     | 5                                | 50                              | 86                         | 7                         | 110                     |              | 0,411765 | 0,411765 | 0        | 1,71E-14 | 0,929412 |                  |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |
|            |       |                                  |                                 |                            |                           |                         |              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,929412         |   |           |

PROJE İSİMLERİNİ TANIMLAYINIZ!  
MAX 12 PROJE BELİRLENEBİLİR.

ÇIKTI VERİLERİNİ TANIMLAYINIZ VE GİRİNİZ!  
MAX 3 ÇIKTI BELİRLENEBİLİR.

GİRDİ VERİLERİNİ TANIMLAYINIZ VE GİRİNİZ!  
MAX 3 ÇIKTI BELİRLENEBİLİR.

|        | d-       | d+ | LHS      | RHS      |
|--------|----------|----|----------|----------|
| AMAÇ 1 | 0,423529 | 0  | 0        | 0,423529 |
| AMAÇ 2 | 0,929412 | 0  | 0,729412 | 0,2      |
| AMAÇ 3 | 2,529412 | 0  | 1,929412 | 0,6      |

HEDEF DEĞERLERİ GİRİNİZ!  
RHS=HEDEFDEĞERLER (sırasıyla g1, g2 ve g3)

Şekil 5.5. C Projesinin Hesaplama Sonuçları.

C projesi için çözüm yapıldığında etkinliğin yaklaşık 0,58 oranında olduğu gözlenmiştir. Amaç fonksiyonu değeri ise 2,66'dır. Aylık satış cirosu ağırlığı ( $u_1$ ) 0,082, personel sayısı ağırlığı ( $v_1$ ) 0,059'dur. Bulunan çözümde tüm kısıtlar sağlanmıştır.

Tüm projelerin sadece etkinlik oranını hesaplamak ikinci buton yani 'Tüm Karar Birimlerinin Etkinliğini Hesapla' butonuna tıklanmaktadır. Şekil 5.6.'da tüm karar birimleri için etkinlik hesabı arayüzü ve sonuçlar görülmektedir.

| ETKİNLİK ORANI BELİRLEME                                                                                                                                                                                                                                                                              |  | SONUÇ TABLOSU                                                                                  |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Hangi karar birimi için hesaplama yapılınsın? Yazınız.<br><div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">n: 12</div> <div style="text-align: center;"> <b>TEK KARAR BİRİMİ<br/>İÇİN VERİLERİ<br/>HESAPLA</b> </div> </div> |  | <div style="text-align: center;"> <b>TÜM KARAR BİRİMLERİNİN<br/>ETKİNLİĞİNİ HESAPLA</b> </div> |                |
| *Sonuçlara yukarıdaki tablolardan bakılmalıdır.                                                                                                                                                                                                                                                       |  | *Sonuç tablosundan her projenin etkinlik oranı takip edilebilir.                               |                |
| Not: Sarı dolgulu kısımlar çözüm sonrası bulunan değerlerdir.                                                                                                                                                                                                                                         |  |                                                                                                |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | n                                                                                              | Etkinlik Oranı |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 1                                                                                              | 0,75           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 2                                                                                              | 0,93           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 3                                                                                              | 0,58           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 4                                                                                              | 0,50           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 5                                                                                              | 0,54           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 6                                                                                              | 1,00           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 7                                                                                              |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 8                                                                                              |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 9                                                                                              |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 10                                                                                             |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 11                                                                                             |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 12                                                                                             |                |

Şekil 5.6. Tüm Karar Birimleri İçin Etkinlik Hesabı Arayüzü.

Şekil 5.6.'da da görüldüğü gibi önerilen sistemde tüm projelerin etkinliği aynı anda algoritma ile hesaplanmaktadır. Hızlı çözüm arandığında ve anlık durum gözlenmek istendiğinde ise tüm karar birimlerinin etkinliğini hesapla butonu yeterli olacaktır. Karar değişkenleri ve diğer detaylı sonuçlar görülmek istendiğinde tek tek çözüm yapılması gerekmektedir. Önerilen bilgi sisteminde 12 projeye kadar etkinlik hesabı yapılabilmektedir.

Klasik VZA (CCR-I) modeli kullanılarak elde edilen sonuç ile WGPMCDEA-CCR modeli kullanılarak elde edilen sonuç arasında bazı farklılıklar gözlenmiştir. İki çözüm Çizelge 5.4.'te karşılaştırılmıştır. Klasik VZA'da B projesi etkin iken, WGPMCDEA-CCR modelinde 0,93 oranında etkin olduğu görülmüştür. Bilgi sistemindeki sonuçlara göre sadece F projesi etkindir. A projesi 0,75, B projesi 0,93, C projesi 0,58, D projesi 0,5 ve E projesi 0,54 oranında etkindir. Her iki sonucun bu kadar benzemesinin nedeni karar verici tarafından belirlenen hedef değerlerin klasik VZA sonuçlarından yararlanılarak belirlenmesidir.

**Çizelge 5.4.** Klasik VZA ve WGPMCDEA-CCR Modeli Karşılaştırılma Sonuçları.

| Projeler | CCR-I Modeli Sonucu |                |                          | WGPMCDEA-CCR Modeli Sonucu |                |                          |
|----------|---------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
|          | Etkinlik Oranı      | Referans Proje | Referans Kümesi Ağırlığı | Etkinlik Oranı             | Referans Proje | Referans Kümesi Ağırlığı |
| A        | 0,75                | F              | 6,6                      | 0,63                       | F              | 6,64                     |
| B        | 1*                  | B              | 1                        | 0,93                       | B ve F         | 0,87 ve 0,24             |
| C        | 0,58                | B ve F         | 0,012 ve 1,296           | 0,58                       | B ve F         | 0,01 ve 1,3              |
| D        | 0,5                 | F              | 1                        | 0,5                        | F              | 1                        |
| E        | 0,54                | F              | 1,4                      | 0,54                       | F              | 1,4                      |
| F        | 1*                  | F              | 1                        | 1*                         | F              | 1                        |

Her proje için olması gereken hedef değerler, iyileşme yüzdeleri Excel Çözücü aracılığı ile tek tek hesaplanarak Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelgede tüm projelerin girdi ve çıktı değerlerinin gerçekleşen ve olması gereken değerleri, % olarak iyileşme oranları (farklar) proje bazlı olarak sunulmuştur. Renkli dolgulu kısımlar arasında fark olan ve iyileştirilmesi gereken kısımlar olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 5.5.** Proje Bazlı Girdi ve Çıktı Değerlerinin Hedef Değerleri.

| Projeler |             | A    | % Fark | B   | % Fark | C   | % Fark | D   | % Fark | E   | % Fark | F   | % Fark |
|----------|-------------|------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
| Girdi 1  | Gerçekleşen | 62   | -      | 65  | -9%    | 17  | -47%   | 14  | -      | 18  | -      | 7   | -      |
|          | Hedef       | 62   |        | 59  |        | 9   |        | 14  |        | 18  |        | 7   |        |
| Girdi 2  | Gerçekleşen | 2310 | -69%   | 440 | -      | 255 | -      | 414 | -73%   | 286 | -46%   | 110 | -      |
|          | Hedef       | 726  |        | 440 |        | 255 |        | 110 |        | 154 |        | 110 |        |
| Çıktı 1  | Gerçekleşen | 33   |        | 43  | -      | 7   | -      | 5   | -      | 7   | -      | 5   | -      |
|          | Hedef       | 33   |        | 43  |        | 7   |        | 5   |        | 7   |        | 5   |        |
| Çıktı 2  | Gerçekleşen | 65   | 408%   | 92  | -      | 43  | 51%    | 40  | 25%    | 50  | 40%    | 50  | -      |
|          | Hedef       | 330  |        | 92  |        | 65  |        | 50  |        | 70  |        | 50  |        |
| Çıktı 3  | Gerçekleşen | 75   | 657%   | 100 | 6%     | 77  | 45%    | 74  | 16%    | 87  | 38%    | 86  | -      |
|          | Hedef       | 568  |        | 106 |        | 112 |        | 86  |        | 120 |        | 86  |        |

Çizelge 5.5.'e göre yapılan yorumlar aşağıda açıklanmıştır:

- A projesinin etkinlik oranı 0,745 olup referansı '6' yani F projesi, referans ağırlığı ise 6,6'dır. A projesinin belirlenen referans kümesi içerisinde etkin olabilmesi için kullanılan alanın %69 oranında azaltılması gerekmektedir ve alan konusu işletme için düşünülebilir. Operatör çalışma hızının %408 ve müşteri memnuniyetinin %657 oranında arttırılması gerekmektedir. Ford projesinin bu referans kümesi içerisinde işletme koşulları nedeniyle tam etkin olması beklenemez. Sadece alanın hedef değere indirilmesi ve operatör çalışma hızı ve müşteri memnuniyetinin %100 olması ile etkinlik oranı 0,77 olacaktır.
- B projesinin etkinlik oranı 0,93 olup referans kümesi 2 ve 6'dır. Referans ağırlıkları ise sırasıyla 0,87 ve 0,23'tür. Projenin etkin olması için operatör sayısının 65'ten 59'a düşmesi ve müşteri memnuniyetini 100'den 106'ya çıkması gerekmektedir. Deneme sonucu müşteri memnuniyeti 100 olsa da etkinliğin 1 olduğu, yani sadece operatör sayısının %9 oranında azaltılmasının yeterli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.
- C projesinin etkinlik oranı 0,58 olup referansı 2 ve 6 numaralı projeler (B ve F), referans ağırlıkları ise sırasıyla 0,0121 ve 1,296'dır. C projesinin etkin olabilmesi için çalışan sayısını %47 oranında azaltmalı, operatör çalışma hızının %51 ve müşteri memnuniyetinin %45 oranında arttırılması gerekmektedir.
- D projesinin hesaplanan etkinlik oranı ise 0,5'tir. Referansı 6 numaralı proje olup, referans ağırlığı 1'dir. D projesi için kullanılan alan %73 oranında azaltılmalı, operatör çalışma hızının %25 ve müşteri memnuniyetinin %16 oranında arttırılmalıdır. Bu durumda etkinlik oranının 1 olduğu gözlenmiştir.
- E projesi etkinlik oranı 0,54, referansı 6 numaralı proje ve ağırlığı 1,4'tür. Kullanılan alanın %46 oranında azaltılması, operatör çalışma hızının %40 ve müşteri memnuniyetinin %38 oranında arttırılması gerekmektedir. Yani alanın 154 m<sup>2</sup>, operatör çalışma hızının %70 ve müşteri memnuniyetinin %120 olmalıdır. Diğer değişiklikleri uygulayıp müşteri memnuniyetinin %100 olduğunu varsayarsak da bilgi sistemindeki  $u_3$  ağırlığının çok çok küçük ( $2,44E-16$ ) bir rakam olması dolayısıyla etkinlik oranının 1 olduğu görülmüştür.
- F projesi de etkin bir proje olup etkinlik oranı 1'dir. Herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur.

İşletme için WGPMCDEA-CCR modeli ele alınarak önerilen bilgi sistemi dinamik yapıda olup değişime oldukça açıktır. Biten projeler için açıkta kalan kaynakların başka projelere dağıtılmasında, yeni gelen projeler için ihtiyaç olan girdilerin tahsis edilmesinde, anlık veya periyodik etkinlik gözlenmek istendiğinde sistem oldukça yardımcı olacaktır. lar bu çalışmada eşit kabul edilmiştir ancak ayrı ayrı hesaplanarak da sistem geliştirilebilir.

### 5.5.1. Hedef değerlerin alternatif durumları ve sonuçların yorumlanması

WGPMCDEA-CCR modelinde bulunan  $g_1$ ,  $g_2$  ve  $g_3$  hedef değerlerine karar verici değer atayabildiği gibi, karar değişkeni olarak da modele tanıtabilir. Burada iki durumdan da sırasıyla bahsedilmiştir:

Birinci Durum: Karar değişkeni olarak tanıtıldığı durumda Çözücü hedef değerlere kendisi değer tanımlamaktadır. Her bir proje için ayrı ayrı değerler alan bu hedef değerler Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Hedef Değerlerin Karar Değişkeni Olarak Tanıtıldığı Durumdaki Sonuçlar.

| Projeler | Etkinlik Oranı | Olmaması Gereken Hedef Değerler |        |        |
|----------|----------------|---------------------------------|--------|--------|
|          |                | $g_1$                           | $g_2$  | $g_3$  |
| A        | 0,63           | 0,3674                          | 0,3674 | 0,6950 |
| B        | 0,93           | 0,0738                          | 0,2431 | 0,6615 |
| C        | 0,58           | 0,4201                          | 1,5874 | 3,0033 |
| D        | 0,24           | 0,7576                          | 4,7674 | 6,2352 |
| E        | 0,54           | 0,4563                          | 1,4882 | 2,8156 |
| F        | 1*             | 0,0000                          | 3,8324 | 7,2506 |

Hedef değerler karar değişkeni olarak tanıtılırsa; projelerin etkinlik oranları ve her proje için bulunan hedef değerler Çizelge 5.6.'da verildiği gibi olacaktır. Buradan da anlaşılabileceği üzere F projesi etkin olup diğer projeler tam etkin değildir.  $g_1$  hedef değeri teorik olarak etkinlik oranının en büyüklenmesi amacına ait olduğu için en az 0 en fazla 1 değerini alırken,  $g_2$  ve  $g_3$  değeri en az 0 değerini alırken bu hedef değerlere herhangi bir üst sınır verilememektedir. Burada  $g_1$  hedef değeri 1 değerini hiç almamıştır ve 0 değerini aldığı durumlarda etkinsizlik oranı 0 olacağı için karar birimini zaten etkin olduğu görülmektedir.  $g_1$  ve etkinlik oranının 1 olduğu da Çizelge 5.6.'dan görülebilmektedir.  $g_2$  değeri tüm karar birimlerinin sapmaları

arasındaki en büyük değerin en küçüklenmesi ve  $g_3$  hedef değeri de tüm karar birimleri sapmalarının toplamının en küçüklenmesi amacına hizmet etmektedir.  $g_2$  en fazla 3,83 değerini alırken,  $g_3$  değeri ise en fazla 7,25 değerini almaktadır.  $g_1$ 'in sabit kaldığı durumlarda  $g_2$  ve  $g_3$  çizelgede aldıkları en büyük değerden büyük hangi değeri alırlarsa alsınlar projelerin etkinlik oranlarının değişmediği görülmüştür. Ayrıca  $g_3$  hedef değeri sapmaların toplamı amacına ait olduğu için daima  $g_2$ 'den büyük değer almaktadır ve karar verici hedefleri belirleyecekse buna dikkat ederek hedef değerleri belirlemelidir. Her proje için belirlenen hedef değerler minimum değerlerdir, bu değerlerden daha büyük değer almaları durumunda etkinlik oranları değişmeyecektir. Modelin verdiği sayısal değerlerden daha küçük değerler aldığında ise etkinlik oranları değişecektir.

İkinci Durum: Hedef değerlere karar verici tarafından değerler verildiği durumda farklı alternatifler oluşturulabilmektedir. Bunlardan bazıları Çizelge 5.7.'deki oluşturulmuştur.

**Çizelge 5.7.** Farklı Hedef Değerleri Verildiği Durumlarda Projelerin Etkinlik Oranları.

| Alternatif | Ölçütlerin İstenen Hedef Değerleri |       |       | Projelerin Etkinlik Oranları |      |      |      |      |      |
|------------|------------------------------------|-------|-------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| No         | $g_1$                              | $g_2$ | $g_3$ | A                            | B    | C    | D    | E    | F    |
| 1          | 1                                  | 0,2   | 0,6   | 0,75                         | 0,93 | 0,58 | 0,50 | 0,54 | 1,00 |
| 2          | 0,0001                             | 0,2   | 0,6   | 0,75                         | 0,93 | 0,58 | 0,50 | 0,54 | 1,00 |
| 3          | 1                                  | 0,5   | 0,6   | 0,75                         | 0,93 | 0,58 | 0,50 | 0,54 | 1,00 |
| 4          | 1                                  | 0,2   | 10    | 0,75                         | 0,93 | 0,58 | 0,50 | 0,54 | 1,00 |
| 5          | 1                                  | 1     | 2     | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,50 | 0,54 | 1,00 |
| 6          | 1                                  | 5     | 10    | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,24 | 0,54 | 1,00 |
| 7          | 1                                  | 30    | 50    | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,24 | 0,54 | 1,00 |
| 8          | 0                                  | 30    | 50    | 0,75                         | 1    | 0,58 | 0,5  | 0,54 | 1,00 |
| 9          | 1                                  | 5     | 5     | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,33 | 0,54 | 1,00 |
| 10         | 1                                  | 5     | 6     | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,26 | 0,54 | 1,00 |
| 11         | 1                                  | 2     | 7     | 0,63                         | 0,93 | 0,58 | 0,43 | 0,54 | 1,00 |
| 12         | 0                                  | 1     | 2     | 0,75                         | 1    | 0,58 | 0,5  | 0,54 | 1,00 |
| 13         | 0,05                               | 1     | 2     | 0,75                         | 0,95 | 0,58 | 0,5  | 0,54 | 1,00 |
| 14         | 0                                  | 0,4   | 0,8   | 0,75                         | 0,98 | 0,58 | 0,5  | 0,54 | 1,00 |

Çizelge 5.7.'deki renkli dolgulu kısımlar mevcut çözümde farklı olan etkinlik oranlarıdır. Çizelgedeki alternatifler için yapılan yorumlar şu şekildedir:

İlk alternatif karar verici tarafından bu çalışma için karar değişkeni olarak belirlenen hedef değerler ve çözüm sonrası elde edilen sonuçlardır, mevcut durumdur. 2., 3. ve 4. alternatifte ise sırasıyla  $g_1$ ,  $g_2$  ve  $g_3$ 'ün sırasıyla sabit kalıp diğer ikisinin değiştiği durumlardır. Bu 3 durumda da sonuçların mevcut durumla aynı kaldığı gözlenmiştir.

5., 6. ve 7. alternatiflerde ise etkinlik oranlarının biraz değiştiği görülmektedir. Burada,  $g_1$  sabitken,  $g_2$  ve  $g_3$  hedef değerleri arttırıldığında sonuçların aynı olduğunu görülmektedir. Sadece 5. alternatifte D projesi için  $g_2$  ve  $g_3$  değeri minimum olması gereken değerden küçük olduğu için etkinlik oranı birinci durumdaki orandan daha yüksek çıkmıştır. 3 alternatif durumda da A projesi etkinliği karar vericinin belirlediği durumdan düşük çıkmıştır.

8 ve 12 numaralı alternatiflerde ise  $g_1 = 0$  iken yani etkinsizlik oranı 0 iken,  $g_2$  ve  $g_3$ 'e olması gereken minimum değerlerden yüksek değer verildiğinde B projesinin etkin olduğu gözlenmektedir. Diğer sonuçlar ise klasik VZA ile aynıdır. 14 numaralı durumda  $g_1 = 0$  olsa da  $g_2$  ve  $g_3$ 'e daha düşük değerler verilmesinden dolayı B projesinin etkinlik oranının 0,98 olduğu görülmüştür.

Diğer durumlarda da genellikle D projesinin farklı etkinlik oranları aldığı görülmektedir. Sonuç olarak hedef değerler karar değişkeni olarak tanımlanabildiği gibi, karar verici tarafından da belirlenebilir. Bu durum karar vericinin yönlendirmesine bağlıdır ve etkinlik oranları hedef değerlere göre değişecektir.

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Değişen ve gelişen dünyada ayakta kalabilmek için rekabet etmek çok önemlidir. Rekabet edebilmek için işletmelerin kaynaklarını etkin şekilde kullanması ve sektördeki diğer rakiplerine göre önde olması gerekmektedir. Bu aşamada, işletmelerin performanslarının doğru bir şekilde ölçülüp değerlendirilmesi de diğer önemli bir konudur. Bir işletme ya da proje başarılı ise ondan iyi bir performans sergilemesi beklenmektedir. İyi performans göstermek sektörün en iyisini örnek alarak ya da en iyisi olarak sağlanabilir. VZA yaklaşımı, en iyi performansı gösteren karar birimlerini baz alarak göreceli etkinlik analizi gerçekleştirdiği için iyi bir çözüm yolu ve en iyiye ulaşmanın yollarını sunmaktadır.

VZA, pek çok girdi ve çıktıyı kullanarak aynı amaç ve hedeflere sahip karar birimlerinin (işletmeler, bölümler, projeler vb.) göreceli etkinlik oranlarını ölçen doğrusal programlama tabanlı bir yaklaşımdır. İşletmelerin performansı özellikle işletmelerin kendi iç faktörlerinin denetimi daha kolay olduğundan girdi ve çıktıları yönetebilmesi ile artar ve bu durum işletmelerin devamlılığını sürdürebilmesi için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle işletmeler, mevcut kaynakları etkin bir şekilde kullanmalı, maliyetleri düşürüp kaliteyi yükselterek rekabet ortamında örnek gösterilecek birimler arasında olmayı amaçlamalıdır.

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan HP birçok amacın olduğu durumlarda karar vermeye yardımcı olmakla birlikte kullanım açısından oldukça kolaydır. Aynı anda birden çok amaca yönelik çözümler bulunmasında etkilidir ve kullanımı yaygındır. Çözüm sonrasında karar verici alternatifler arasından kişisel deneyim ve tecrübelerini dikkate alarak en uygun olan çözümü uygulayabilmektedirler. Kullanılan hedef kısıtları, öncelik veya ağırlık değerleri değiştirilerek farklı modeller kurulup farklı çözümler geliştirilebilmektedir.

Bu çalışmada çok ölçütlü VZA modeli için HP yaklaşımı ve bir uygulama çalışması ele alınmıştır. İlk olarak VZA ve HP ayrı ayrı teorik olarak ele alınmış, sonrasında VZA modeli HP yaklaşımı ile bütünleştirilmiştir. Uygulama aşamasında iki girdi ve üç çıktı ile bir otomotiv yan sanayisinde çalışılan altı projenin etkinliği öncelikle girdi odaklı CCR-I yöntemi ile değerlendirilmiş olup sonuçlar yorumlanmıştır. Bunun yanında problem, çok ölçütlü VZA modeli için ağırlıklı HP yaklaşımı ile de çözülmüş ve genel bir problem yapısı için bir bilgi sistemi önerilmiştir.

Çözüm sonrası etkin olan projeler belirlenmiş ve etkin olmayan projelerin etkin olmaları için girdilerin ne kadar azalması, çıktıların ne kadar artırması gerektiği belirlenmiştir. Önerilen sistemin sunduğu sonuçlar ile klasik VZA sonuçlarının karşılaştırılarak farklar belirlenmiştir. Hedef değerlerin karar verici tarafından belirlenmesi veya karar değişkeni olarak

tanımlanmasında ne gibi sonuçlar elde edildiği ve farklı alternatif durumlarında etkinlik oranlarının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Uygulamanın yapıldığı işletme, çok geniş ve değişken ürün hacmine sahip olup, siparişe göre değişen parti büyüklerinde üretim yapmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan sayısal verilerin elde edilmesinin zor olmasının yanında alınan veriler bir döneme ait ortalama değerlerdir ve müşteri talebine bağlı olarak adetsel değerler değişkenlik gösterebilmektedir. Bazı projeler iptal olurken, yeni işler ya da projeler devreye alınabilmektedir. Tüm bunlar göz önüne alınarak dinamik yapıda bir bilgi sistemi tasarlanmıştır. Periyodik olarak ya da gerektiğinde anlık takip edilmesi için üç girdi ve üç çıktı ile toplamda on iki projeye kadar etkinlik değerlendirmesi yapabilen bilgi sistemi yönetime ya da karar vericilere oldukça yardımcı olacaktır. Hangi projeler etkin, hangi projeler etkin değil ve etkin olmayan projeler için neler yapılabilir sorularına cevap veren bu sistemde kıt kaynaklar daha doğru şekilde kullanılarak etkinlik oranının artması hedeflenmektedir.

WGPMCDEA-CCR modeli kullanılarak tasarlanan bilgi sisteminde etkinlik hesabında kullanılan girdi ve çıktı ağırlıklarının  $(u_i, v_j)$  çok küçük rakamlar olarak hesaplandığı durumlarda o ağırlığa karşılık gelen girdi ya da çıktı değerinin değişmesi etkinlik oranını fazla etkilememektedir. Bu tip durumlarda; önerilen bilgi sisteminin hızlı ve kullanışlı olmasından dolayı karar verici ulaşamayan hedef değerler yerine yakın değerleri yazarak da hızlı sonuç alıp değerlendirme yapabilir, her seferinde matematiksel model yazılmasına gerek yoktur. Tam etkinlik sağlanmasa bile denemeler yapılarak etkinlik oranı artırılabilir. Amaçlar için belirlenmiş hedef değerler değiştirilerek farklı çözüm alternatifleri elde edilebilmektedir. Çalışmada amaçlara farklı ağırlık tahsis edilmemiş, hepsinin ağırlığının eşit ( $\lambda=1$ ) olduğu varsayılmıştır. Ancak sonrasında yapılacak çalışmalarda farklı ağırlıklar verilerek deneme yapılabilir. İşletmeye olası bir ilave proje gelmesi veya mevcut projelerin değişmesi durumunda on iki projeye kadar etkinlik değerlendirilmesi yapılarak projeler arası kıyaslama yapılabilir. İşletme için bu sistem yönetimin karar vermesi için yol gösterici olmakla birlikte, hedeflerin ulaşılabilir olması için çalışma yapıp yapılamayacağı kararını vermeyi kolaylaştıracak ve iptal olan projelerin kaynaklarını diğer projelere mantıklı şekilde dağıtılmasını sağlayacaktır.

VZA ile göreceli etkinlik değerlendirmesi literatürde birçok alanda ve birçok teknikte bütünleşik düşünülerek uygulama alanı bulmuştur. HP da VZA ile birleştirilen yaklaşımlardan biridir. VZA ve HP yaklaşımının birlikte ele alınması ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmış olup bunlarla ilgili farklı matematiksel modeller önerilmiştir. WGPMCDEA-CCR modeli de

bunlardan biri olup teorik olarak anlatılmış sayısal örnekle desteklenmediği görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile WGPMCDEA-CCR modeli sayısal olarak desteklenmiş olup, interaktif olarak kullanılması amacıyla bir bilgi sistemi önerilmiştir. Bu çalışmada amaçların ağırlıkları eşit kabul edilmiştir ancak sonrasında ağırlıklara bir yöntem kullanarak değer verilmesi sonucu, başka çalışmaların da yapılabileceği düşünülmektedir. İlave olarak izleyen çalışmalarda istenmeyen çıktı kavramının (kalite hataları, ıskarta oranları gibi) da ele alınması ile çalışma genişletilebilir. Belirtilen nedenlerle çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı ve sonrasında yapılacak olan çalışmalar için faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Önerilen bilgi sistemi ile kullanıcı hızlı bir şekilde değişiklikleri tekrar bilgi sistemine tanımlayarak belirli dönemlerde mevcut durumları tekrar değerlendirebilecektir. Bununla birlikte çalışmanın yapıldığı işletme için de karar vermeye rol oynayacak olan bu bilgi sisteminin, gelecek dönemlerdeki kaynak tahsisi ve çıktıların planlanmasında yönetime oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abd El-Wahed, W. F. ve Lee, S.M., (2006), "Interactive Fuzzy Goal Programming for Multi-Objective Transportation Problems", *The International Journal of Management Science* (Omega), 34, 2, 158-166.
- Aktaş, E., (2014), Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Hizmet, İnşaat Ve İmalat Sektörlerinin Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Ankara.
- Alp, S., (2008), Doğrusal Hedef Programlama Yönteminin Otobüsle Kent İçi Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı:13, Sayfa: 73-91.
- Arıkan, S., Öztürk, U., Öztürk, A. ve Kasap, G., (2008), Öncelikli Hedef Programlamanın Bir Tekstil İşletmesine Uygulanması, *Eastern Mediterranean University Faculty of Business and Economics Journal*, Cilt 10/11.
- Arunraj, N. S. ve Maiti, J., (2010), Risk Based Maintenance Policy Selection Using AHP and Goal Programming, *Safety Science*, 48 (2), 238-247.
- Atan, M., Göksel, A. ve Karpat, G., (2002), Ankara'daki Anadolu Liselerin Toplam Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Saptanması, XI. Eğitim Bilimleri Kongresi, KKTC Yakın Doğu Üniversitesi, Kıbrıs, 23 - 26 Ekim.
- Atıcı, K. B., Şimsek, A. B., Ulucan, A. ve Tosun, M. U., (2016), Veri Zarflama Analizi İle Uygulama Alanı Türkiye Olan Performans Ölçümü Çalışmaları: Literatür Araştırması ve Değerlendirmeler, *Verimlilik Dergisi*, Cilt: 0, Sayı: 1, Sayfa: 7-47.
- Atlas, M. (2008), Çok Amaçlı Programlama Çözüm Tekniklerinin Sınıflandırılması, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1): 47-68.
- Aydağın, A., (2003), Veri Zarflama Analizi, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Yılsonu Semineri, İstanbul.
- Aytekin S., (2011), Yatak İşgal Oranı Düşük Olan Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin Performans Ölçümü: Bir Veri Zarflama Analizi Uygulaması, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(30), 113-138.
- Bal, H., Örkü, H. H., (2007), A Goal Programming Approach to Weight Dispersion in Data Envelopment Analysis, *G.U. Journal of Science* 20(4): 117-125.
- Bal, H., Örkü, H. H. ve Çelebioğlu S., (2010), Improving The Discrimination Power And Weights Dispersion In The Data Envelopment Analysis, *Computers & Operations Research* 37.1:99-107.
- Bakırcı, F., (2006), Üretimde Etkinlik ve Verimlilik Ölçümü Veri Zarflama Analizi Teori ve Uygulama, Atlas Yayınları, İstanbul, 250.
- 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, 1078-1092.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Banker, R. D. ve Morey, R. C., (1986), The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, Cilt 32, Issue 12, Pages 1521 - 1655.
- Barnett, D., Blake, B. ve McCarl, B. A., (1982), Goal programming via multidimensional scaling applied to senegalese subsistence farms, *American Journal of Agricultural Economics*, 64(4), 720-727.
- Batur, G. D. ve Erol, S., (2018), Sağlık Sistemlerinde Yöneylem Araştırması Teknikleri: 2007-2017 Yılları Arası Literatür Taraması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 153-166.
- Bedir, N., (2018), Vardiya Çizelgeleme Probleminin Kombine Ahs-Promethee ve Hedef Programlama Yöntemleri ile Çözümü: Bir Hidroelektrik Santral Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, FBE, Kırıkkale
- Bertolini, M. ve Bevilacqua, M., (2006), A Combined Goal Programming AHP Approach to Maintenance Selection Problem, *Reliability Engineering & Systems Safety*, 91, 839-848.
- Boussofiane, A., Dyson, R., Rhodes, E., (1991). Applied Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 2(6): 1-15.
- Bowlin, W. F., (1998), Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA), *The Journal of Cost Analysis*, 3-27.
- Bravo, M., Jones, D., Pla-Santamaria, D. ve Wall, G., (2017), Robustness of Weighted Goal Programming Models: An Analytical Measure and Its Application to Offshore Wind-Farm Site Selection in UK., *Annals of Operations Research*, 1-15.
- Caballero, R., Gómez, T., González, M., Muñoz, M. M., Rey, L., ve Ruiz, F., (1997), Programación Matemática Para Economistas (Mathematical Programming For Economists) (1st Ed.), Málaga: Servicio de Publicaciones Divulgación Científica de la Universidad de Málaga (Bölüm 4).
- Charnes, A. ve Cooper, W., (1961), *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, John Wiley and Sons, New York.
- Charnes, A., ve Cooper, W. W., (1977), Goal Programming and Multiple Objective Optimizations: Part 1, *European Journal of Operational Research*, Cilt 1, Issue 1, Pages 39-54.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Cingi, S. ve Tarım A., (2000), Türk Bankacılık Sisteminde Performans Ölçümü DEA-Malquist TFP Endeksi Uygulaması, *Türk Bankalar Birliği Araştırma Tebliğleri Serisi*, Sayı:2000-01.
- Demirtaş, A. E. ve Üstün Ö., (2004), Tedarikçi Seçimi ve Sipariş Tahsisinde Analitik Serim Süreçleri ve Hedef Programlama Yaklaşımı, Yöneylem Araştırması, Endüstri Mühendisliği – XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana, 15-18 Haziran, 21-26.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dinçer, E., (2008), Veri Zarflama Analizi'nde Malmquist Endeksiyle Toplam Faktör Verimliliği Değişiminin İncelenmesi ve İMKB Üzerine Bir Uygulama, *Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi*, 15(2): 825-846.
- Eroğlu E, Atasoy C. M., (2006), Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Ölçümü Ve Etkin Karar Birimlerinin Duyarlılık Analizi, *İÜİF Dergisi*, 2, 73-89.
- Erpolat, S., (2011), *Veri Zarflama Analizi Ağırlık Kısıtlamasız Ağırlık Kısıtlamalı Sanş Kısıtlı Bulanık Türkiye'deki Özel Bütçeli Diğer İdarelerin Etkinlik Analizi*, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Ertemoğlu, H. G., (2019), Veri Zarflama Analizi İle Hizmet Sektöründe Performans Değerlendirme: Ticaret İl Müdürlükleri Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane.
- Farooq, M. U. (2013), A Case Study on Reverse Supply Chain by Using Goal Programming by, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- García, F., Guijarro, F. ve Moya, I., (2010), Ranking Spanish Savings Banks: A Multi-Criteria Approach. *Mathematical And Computer Modelling*, 52(7), 1058-1065.
- Ghasemi, M. R., Ignatius, J., ve Emrouznejad, A., (2014), A Bi-Objective Weighted Model For Improving The Discrimination Power In MCDEA, *European Journal of Operational Research*, 233, 640-650.
- Gholam, R. A., Saeed Al-Muharrami, M. T., (2019), A Combined Goal Programming And Inverse DEA Method For Target Setting In Mergers, *Expert Systems With Applications*, 115, 412-417.
- Golany, B., ve Roll, Y., (1989), An Application Procedure For DEA, *Omega* 17(3), 237-250.
- Gülenç, İ. F. ve Karabulut, B., (2005), Doğrusal Hedef Programlama ile Bir Üretim Planlama Probleminin Çözümü, Kocaeli Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9, 1, 55-68.
- Günay, A. ve Günay, B., (2019), Türkiye'deki Mevduat Bankalarının Etkinlik Ölçümü Ve Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirmesi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt 12, Sayı 62, 1316-1325.
- Gür, Ş., (2018), Hedef Programlama Ve Kısıt Programlama İle Ameliyathane Çizelgeleme Problemlerinin Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, FBE, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 119 Sayfa, Kırıkkale.
- Güral, Y., (2018), Binek Otomobil Performanslarının Veri Zarflama Analizi İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hillier, F. S., ve Lieberman, G. J., (1995), Introduction to Mathematical Programming, Singapore, McGraw-Hill, International Editions.
- Ignizio, J. P., (1976), Goal Programming and Extensions, Lexington Books, Lexington, MA.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ignizio, J. P., (1985), *Introduction to Linear Goal Programming*, Second Edition, Duxbury Press.
- Ignizio, J. ve Romero, C., (2003), Goal Programming, *Encyclopedia of Information Systems*, Cilt 2, s., 489-500.
- Ijiri, Y. (1965), *Management Goals And Accounting For Control*, Chicago: Rand MC Nally.
- Izadikhah, M., Roostaei, R. ve Hosseinzadeh L. F., (2014), Using Goal Programming Method To Solve Dea Problems With Value Judgments, *Yugoslav Journal Of Operations Research*, 24 Number 2, 267 – 282.
- İç, Y. T., Elaldı, F., Keçeci, B., Uzun, G. Ö., Limoncuoğlu, N. ve Aksoy, İ., (2019), Kevlar Fiber-Epoksi Kompozit Malzemesinin Frezeleme İşleminin Faktöriyel Tasarım Ve Hedef Programlama Yöntemleriyle Eniyilemesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34:3, 1549-1560.
- İleri, İ., (1997), *Veri Zarflama Analizi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. FBE, İstanbul.
- İşbilen Yücel, L., (2015), Excel-Solver Eklentisiyle Oluşturulan Portföylerin CCR Model ile Etkinlik Ölçümüne Yönelik Bir Uygulama, *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, Sayı 23, 112-146.
- Johns, N., Howcroft, B. ve Drake, L., (1997), The Use of Data Envelopment Analysis to Monitor Hotel Productivity, *Progress in Tourism and Hospitality Research*, 3-2, 119-128.
- Jones, D. ve Tamiz, M., (2010), *Practical Goal Programming*, New York, Springer.
- Jones, D. F. ve Wall, G. (2016), An Extended Goal Programming Model for Site Selection in The Offshore Wind Farm Sector, *Annals of Operations Research*, 245(1-2), 121-135.
- Keçek, G., (2005) Bir Dişli Fabrikasında Tamsayılı Hedef Programlama Uygulama Denemesi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı:13, s. 111-129.
- Köse, A., (2010), Türk Sigorta Sektörü Hayat ve Emeklilik Şirketlerinin Etkinlik Analizi, *Akademik Araştırmalar Dergisi*, Sayı 44, ss.85-100.
- Kurşun, S. ve Kuşakçı, A. O., (2016), Bankacılık Sektöründe Veri Zarflama Analizi İle Etkinlik Değerlendirmesi Literatür Taraması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(30), 133-151.
- Lee, S. M., (1972), *Goal Programming for Decision Analysis*, Auerback, Philadelphia.
- Levin, A. Y., Morey, R. C. ve Cook, T. J., (1982), Evaluating The Administrative Efficiency of Courts, *Omega*, 10, 401-411.
- Li, X. B. ve Reeves, G. R., (1999), A Multiple Criteria Approach To Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 115, 507–517.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Memiş, N., (2015), Hedef Programlama İle Portföy Seçimi: Borsa İstanbul'da Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Bursa.
- Mendoza, G. A. ve Prabhu, R., (2000), Multiple Criteria Decision Making Approaches To Assessing Forest Sustainability Using Criteria And Indicators: A Case Study, *Forest Ecology and Management*, 131, 107-126.
- Norman, M. ve Stoker, B., (1991), *Data Envelopment Analysis The Assessment Of Performance*, John Wiley & Sons, West Sussex, England, 1-10.
- Norman, M. ve Stoker, B., (1991), *Data Envelopment Analysis*, John Wiley&Sons, 262.
- Ova, A., (2018), Türkiye'deki Emeklilik Şirketlerinin Etkinlik Analizi, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Issn: 2146-3042.
- Öncel, A. ve Şimşek, S., (2011), Türkiye'de Bölgelerarası Kaynak Kullanım Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Ölçülmesi, *Erciyes Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 37, 87-110.
- Örkçü, H. H., (2004), Etkinlik Analizinde Ağırlık Dağılımı Probleminde Çok Kriterli Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FBE, Ankara.
- Örkçü, H. H. ve Bal, H., (2011), Comparing Performances Of Backpropagation And Genetic Algorithms In The Data Classification, *Expert Systems With Applications*, 38, 4, 3703-3709.
- Özçelik, H., Kandemir, H., (2017), Veri Zarflama Analizi ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 22(1): 43-53.
- Özçomak, S. M., Gündüz, M., Demirci, A. ve Yakut, E., (2012), Çeşitli İklim Ve Ürün Verileri Arasındaki İlişkinin Kanonik Korelasyon Analizi Ve Veri Zarflama Analizi Yöntemleri İle İncelenmesi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26-1, 111-131.
- Özdemir, A. İ., (2009), Hizmet Sektörü Etkinliğinin Makro Düzeyde İncelenmesi: Karadeniz Ekonomik İşbirliği Teşkilatı Üyesi Ülkelerin Sağlık Sektörü Üzerine Bir Analiz, *Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 33, Ss. 189-205.
- Özdemir, A. ve Demirelli, E., (2013), Ağırlıklı Kısıtlı Veri Zarflama Analizi İle Mevduat Bankalarının Etkinlik Ölçümüne Yönelik Bir Uygulama, *Uluslararası Yönetim İktisat Ve İşletme Dergisi*, 9, 19.
- Özden, H. Ü., (2008), Veri Zarflama Analizi (Vza) İle Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37-2, 167-185.
- Özder, E. H., (2015), Tedarikçi Seçiminde Analitik Ağ Süreci ve Hedef Programlama Tekniklerinin Entegrasyonu: Örnek Olay Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özder E., H. ve Eren, T., (2016), Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ve Hedef Programlama Teknikleri ile Tedarikçi Seçimi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 4, s.3. ISSN: 2147-9364.
- Öztürk, N., (2011), Faiz Oranlarının Belirleyicileri: Türkiye İçin Ampirik Bir Analiz, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 3/1: 117-144.
- Palacios, J. J., González-Rodríguez, I., Vela, C. R. Ve Puente, J. (2015), Swarm Lexicographic Goal Programming For Fuzzy Open Shop Scheduling, *Journal Of Intelligent Manufacturing*, 26(6), 1201-1215.
- Reynolds D., Thompson, G. M., (2005), Multiunit Restaurant Productivity Assessment Using Three-phase Data Envelopment Analysis, *International Journal of Hospitality Management*.
- Romero, C. ve Rehman, T., (1989), *Multiple Criteria Analysis For Agricultural Decisions: Developments In Agricultural Economics*, 5. Elsevier, Amsterdam,. Hardcover, 257.
- Romero, C., (2004), A General Structure Of Achievement Function For A Goal Programming Model, *European Journal of Operational Research*, 153(3), 675-686.
- Romero, C., (2014), *Handbook Of Critical Issues In Goal Programming*, Elsevier, New York.
- Ross, A. ve Droge, C., (2002), An Integrated Benchmarking Approach To Distribution Center Performance Using DEA Modeling, *Journal of Operations Management*, 20: 19-32.
- Rubem, A. P. S., Carlos, C. B. J., Mello, S.ve Meza, L. A., (2017), A Goal Programming Approach To Solve The Multiple Criteria DEA Model, *European Journal of Operational Research*, 260, 134-139.
- Sarıkaya, M., Kabasakal, A. ve Kutlar, A., (2012), Türkiye’de Bölgesel Olarak Devlet Demiryollarının 2000-2010 Döneminde Vza İle Etkinliğinin Ve Malmquist Endeks İle Toplam Faktör Verimliliğinin Belirlenmesi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8-1, 133-155.
- Schniederjans, M. J., (1984), *Linear Goal Programming*, Petrocelli Books, New Jersey.
- Sezen, B. ve Gök, Ş. M., (2009), Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Hastane Verimliliklerinin İncelenmesi, *ODTÜ Geliştirme Dergisi*, 36, 383-403.
- Steuer, R. E., (1986), *Multiple Criteria Optimization : Theory, Computation and Application*, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Taha, H. A., (2000), *Yöneylem Araştırması*, İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Tarım, A., (2001), Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, *Sayıştay Yayınları*, No:15.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Temiz, I., (2018), Veri Zarflama Analizi İle 28 OECD Ülkesinin Çevre Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Temur, T. G., Emeksizoglu, B., Korkmaz, S. ve Bayraktar, Ç., (2007), Türk Şeker Fabrikalarının İmalat Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi İle Değerlendirilmesi, 4. Kobiler Ve Verimlilik Kongresi, 509-516.
- Topaloğlu, S., (2009), A Shift Scheduling Model For Employees With Different Seniority Levels and An Application in Healthcare, *European Journal of Operational Research*, 198 (3): 943-957.
- Torres R. A. ve Ravindran, R., (2019), Use Of Interval Data Envelopment Analysis, Goal Programming And Dynamic Eco-Efficiency Assessment For Sustainable Supplier Management, *Computers & Industrial Engineering*, Cilt 131, Pages 211-226.
- Türkoğlu, S. P., (2017), Karar Vermede Hedef Programlama Yöntemi Ve Uygulamaları, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:1, Sayı:2, ss. 29-46.
- Uludağ, N., (2010), Bulanık Optimizasyon ve Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımları ile Otobüs Hatlarının Modellenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Uslu, B., Bedir, N., Gür, Ş. ve Eren, T., (2017), 0-1 Hedef Programlama Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Probleminin Çözümü, I. Ulusal Sağlık Yöneticileri Kongresi, 14-15 Aralık, İstanbul.
- Ünsal, M. F., Rüzgar, B. ve Rüzgar, N., (2000), *İşletme ve Ekonomi İçin Bilgisayar Uygulamalı Sayısal Yöntemler*, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 114.
- Üstündağ, E., (2009), Veri Zarflama Analizi İle Verimliliğin Değerlendirilmesi: Çimento Sektörü Üzerine Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, FBE, Konya.
- Vassiloglou, M. ve Giokas, D., (1990), A Study Of The Relative Efficiency Of Bank Branches: An Application Of Dea, *Journal Of Operational Research Society*, 41, 591-597.
- Verma, M. K., Shrivastava, R. K. ve Tripathi, R. K., (2010), Evaluation Of Min–Max, Weighted And Preemptive Goal Programming Techniques With Reference To Mahanadi Reservoir Project Complex, *Water Resources Management*, 24(2), 299-319.
- Yavuz, İ., (2001), *Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama*, MPM Yayınları (654), Ankara.
- Yolalan, R., (1993), *İşletmelerde Göreli Etkinlik Ölçümü*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 483: 96.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Zeleny, M., (1982), *Multiple Criteria Decision Making*, McGraw-Hill, New York, USA, 215-280.

Zeleny, M. (2011), Multiple Criteria Decision Making (MCDM): From Paradigm Lost to Paradigm Regained, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 18: 77-89.

Zeybek, F., (2019), Bist'de İşlem Gören Bankaların Hisse Senedi Performanslarının Bulanık Hedef Programlama Ve Markowitz Yöntemleri İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, SBE, İşletme Anabilim Dalı, Yönetim Bilimi Programı, İzmir.

Zografidou, E., Petridis K., Arabatzis, G. ve Dey, P. K., (2016), Optimal Design Of The Renewable Energy Map Of Greece Using Weighted Goal-Programming And Data Envelopment Analysis, *Computers & Operations Research*, Cilt 66, Pages 313-326.

## EKLER

### EK-1 A Projesi için Oluşturulmuş Lingo Modeli ve Çözümü

#### Model:

MODEL:

TITLE MCDEA A COZUM;

$33*U1+65*U2+75*U3-62*V1-2310*V2 \leq 0;$   
 $43*U1+92*U2+100*U3-65*V1-440*V2 \leq 0;$   
 $7*U1+43*U2+77*U3-17*V1-255*V2 \leq 0;$   
 $5*U1+40*U2+74*U3-14*V1-414*V2 \leq 0;$   
 $7*U1+50*U2+87*U3-18*V1-286*V2 \leq 0;$   
 $5*U1+50*U2+86*U3-7*V1-110*V2 \leq 0;$   
 $62*V1+2310*V2=1;$

$0 \leq V1;$

$0 \leq V2;$

$0 \leq U1;$

$0 \leq U2;$

$0 \leq U3;$

$MAX=33*U1+65*U2+75*U3;$

End

#### Çözüm:

Global optimal solution found.

Objective value: 0.7451613

Infeasibilities: 0.000000

Total solver iterations: 2

Model Title: MCDEA A COZUM

| Variable | Value         | Reduced Cost |
|----------|---------------|--------------|
| U1       | 0.2258065E-01 | 0.000000     |
| U2       | 0.000000      | 265.0000     |
| U3       | 0.000000      | 492.6000     |
| V1       | 0.1612903E-01 | 0.000000     |
| V2       | 0.000000      | 995.3226     |

| Row | Slack or Surplus | Dual Price |
|-----|------------------|------------|
| 1   | 0.2548387        | 0.000000   |
| 2   | 0.7741935E-01    | 0.000000   |

|    |               |           |
|----|---------------|-----------|
| 3  | 0.1161290     | 0.000000  |
| 4  | 0.1129032     | 0.000000  |
| 5  | 0.1322581     | 0.000000  |
| 6  | 0.000000      | 6.600000  |
| 7  | 0.000000      | 0.7451613 |
| 8  | 0.1612903E-01 | 0.000000  |
| 9  | 0.000000      | 0.000000  |
| 10 | 0.2258065E-01 | 0.000000  |
| 11 | 0.000000      | 0.000000  |
| 12 | 0.000000      | 0.000000  |
| 13 | 0.7451613     | 1.000000  |

## EK-2 DEAP Çözüm Raporu

Results from DEAP Version 2.1

Instruction file = vza.ins

Data file = vza.dta

Input orientated DEA

Scale assumption: CRS

Slacks calculated using multi-stage method

### EFFICIENCY SUMMARY:

| firm | te    |
|------|-------|
| 1    | 0.745 |
| 2    | 1.000 |
| 3    | 0.580 |
| 4    | 0.500 |
| 5    | 0.544 |
| 6    | 1.000 |

mean 0.728

### SUMMARY OF OUTPUT SLACKS:

| firm | output: | 1     | 2       | 3       |
|------|---------|-------|---------|---------|
| 1    |         | 0.000 | 265.000 | 492.600 |
| 2    |         | 0.000 | 0.000   | 0.000   |
| 3    |         | 0.000 | 22.907  | 35.654  |
| 4    |         | 0.000 | 10.000  | 12.000  |
| 5    |         | 0.000 | 20.000  | 33.400  |
| 6    |         | 0.000 | 0.000   | 0.000   |

|      |  |       |        |        |
|------|--|-------|--------|--------|
| mean |  | 0.000 | 52.984 | 95.609 |
|------|--|-------|--------|--------|

### SUMMARY OF INPUT SLACKS:

| firm | input: | 1     | 2       |
|------|--------|-------|---------|
| 1    |        | 0.000 | 995.323 |
| 2    |        | 0.000 | 0.000   |
| 3    |        | 0.000 | 0.000   |
| 4    |        | 0.000 | 97.000  |
| 5    |        | 0.000 | 1.711   |
| 6    |        | 0.000 | 0.000   |

|      |  |       |         |
|------|--|-------|---------|
| mean |  | 0.000 | 182.339 |
|------|--|-------|---------|

### SUMMARY OF PEERS:

## EK-2 DEAP Çözüm Raporu (devam)

firm peers:

|   |     |
|---|-----|
| 1 | 6   |
| 2 | 2   |
| 3 | 2 6 |
| 4 | 6   |
| 5 | 6   |
| 6 | 6   |

SUMMARY OF PEER WEIGHTS:  
(in same order as above)

firm peer weights:

|   |             |
|---|-------------|
| 1 | 6.600       |
| 2 | 1.000       |
| 3 | 0.012 1.296 |
| 4 | 1.000       |
| 5 | 1.400       |
| 6 | 1.000       |

PEER COUNT SUMMARY:  
(i.e., no. times each firm is a peer for another)

firm peer count:

|   |   |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 |
| 3 | 0 |
| 4 | 0 |
| 5 | 0 |
| 6 | 4 |

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS:

|              |        |         |         |
|--------------|--------|---------|---------|
| firm output: | 1      | 2       | 3       |
| 1            | 33.000 | 330.000 | 567.600 |
| 2            | 43.000 | 92.000  | 100.000 |
| 3            | 7.000  | 65.907  | 112.654 |
| 4            | 5.000  | 50.000  | 86.000  |
| 5            | 7.000  | 70.000  | 120.400 |
| 6            | 5.000  | 50.000  | 86.000  |

SUMMARY OF INPUT TARGETS:

|             |        |         |
|-------------|--------|---------|
| firm input: | 1      | 2       |
| 1           | 46.200 | 726.000 |
| 2           | 65.000 | 440.000 |
| 3           | 9.858  | 147.872 |
| 4           | 7.000  | 110.000 |
| 5           | 9.800  | 154.000 |
| 6           | 7.000  | 110.000 |

### **EK-3 Butonların İçeriğine Yazılan Makro Kodları**

Tek Karar Birimi için Etkinlik Hesabı Butonuna Yazılan Makro Kodu:

```
Sub Düğme11_Tıklat()  
    solversolve userfinish:=True  
End Sub
```

Tüm Karar Birimleri için Etkinlik Hesabı Butonuna Yazılan Makro Kodu:

```
Sub Düğme4_Tıklat()  
    For n = 1 To 12  
        Range("D31") = n  
        solversolve userfinish:=True  
        Range("L" & n + 27) = Range("S7")  
    Next n  
End Sub
```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : POLAT Tuğba  
Doğum tarihi ve yeri : 10.09.1990 / KÜTAHYA  
e-mail : tugbasezer1009@gmail.com

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                    | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|----------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Dumlupınar Üniversitesi          | -                |
| Lisans        | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi | 2013             |
| Lise          | İzmir Atatürk Lisesi             | 2009             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                      | Görev            |
|-----------|--------------------------|------------------|
| 2014-...  | Nursan Kablo Donanımları | Uzman Mühendis   |
| 2013-2014 | Kros Otomotiv            | Kalite Mühendisi |
| 2013-2013 | Lande Endüstriyel        | Metod Mühendisi  |

### Yabancı Dil

İngilizce İyi