

**PROJE YÖNETİMİNDE ETKİN İNSAN KAYNAĞI DAĞITIMI
İÇİN BİR VERİ ZARFLAMA ANALİZİ YAKLAŞIMI**

**A DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPROACH FOR
EFFICIENT HUMAN RESOURCE ALLOCATION IN
PROJECT MANAGEMENT**

SEMİH BERKAN BOZAT

DOÇ. DR. CEREN TUNCER ŞAKAR

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim- Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2022

ÖZET

PROJE YÖNETİMİNDE ETKİN İNSAN KAYNAĞI DAĞITIMI İÇİN BİR VERİ ZARFLAMA ANALİZİ YAKLAŞIMI

Semih Berkan BOZAT

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR

Mayıs 2022, 62 sayfa

Tüm organizasyonlar mevcut kaynaklarını en iyi şekilde kullanıp verimliliklerini yüksek tutmak isterler. Kurumlar ve şirketler fonksiyonlarını yerine getirebilmek için öncelikli olarak işgücü kaynağına ihtiyaç duyarlar. Organizasyon içerisindeki mevcut insan kaynağının birimlerin ihtiyaçlarına uygun dağıtılması oldukça önemlidir. Uygun dağıtım olmadığı durumlarda işlerin bir kısmının şirkete zarara uğratabilecek şekilde geciktiği, diğer bir kısmının ise gereksiz kaynak kullandığı gözlemlenmektedir.

Tez kapsamında araştırma ve geliştirme faaliyetleri icra eden bir teknoloji firmasında yürütülmekte olan bir projede etkin insan kaynağı dağıtım problemi ele alınmıştır. Projeyi yürüten iş gücünün çoğu şirketin kadrolu personelidir. Ayrıca dönemsel iş yükünün dengelenmesi amacıyla farklı firmalardan taşeron personel kiralama yoluna da gidilmektedir. Projedeki işler farklı ekipler tarafından icra edilmektedir. Bu problem için bir Veri Zarflama Analizi yaklaşımı geliştirilmiş, bu yaklaşımda ekiplerin her biri Veri Zarflama Analizi terminolojisi ile karar verme birimi olarak ele alınmıştır.

Merkezileştirilmiş Veri Zarflama Analizi ile kaynak dağıtımını yaklaşımı, toplam etkinliği en üst düzeye çıkaracak şekilde dağıtımdaki değişimin nasıl uygulanacağına karar vermeyi hedefler. Bu tez çalışmasında uygulanan Merkezileştirilmiş Veri Zarflama Analizi modelleriyle insan kaynaklarının yeniden dağıtımını üzerine alternatif bir yaklaşım sunulmuştur. İnsan kaynaklarının yeniden dağıtımındaki esnekliğe yönelik üç farklı senaryo (uzun, orta, kısa dönemli) ile toplam etkinlik seviyelerini en üst düzeye çıkarmak için personel sayılarını azaltma ve/veya transfer etme sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Merkezileştirilmiş Veri Zarflama Analizi, Proje Yönetimi, Etkinlik, İnsan Kaynağı Dağıtım

ABSTRACT

A DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPROACH FOR EFFICIENT HUMAN RESOURCE ALLOCATION IN PROJECT MANAGEMENT

Semih Berkan BOZAT

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR

May 2022, 62 pages

All organizations want to use their existing resources in the best way and keep their productivity high. Institutions and companies primarily need manpower resources in order to fulfill their functions. It is very important to allocate the existing human resources in the organization in accordance with the needs of the decision making units. In the absence of appropriate allocation, it is observed that some jobs might be delayed in harmful ways for the company, while some others may consume unnecessary resources.

In this thesis, a project carried out in a technology company that conducts research and development activities is studied. In this company, most of the manpower consists of permanent staff. In addition, in order to balance the periodic workload, subcontracted personnel are hired from different companies. The tasks in the project are carried out by different teams. A Data Envelopment Analysis approach is developed for this problem, and each of these teams is treated as a decision making unit.

Resource allocation with Centralized Data Envelopment Analysis aims to decide how to implement changes in a way that maximizes overall efficiency. An alternative approach to the reallocation of human resources is presented with the Centralized Data Envelopment Analysis models proposed in this thesis. With three different scenarios (long-term, medium-term, short-term) for the reallocation of human resources, the results of reducing and/or transferring personnel to maximize overall efficiency levels are obtained.

Keywords: Centralized Data Envelopment Analysis, Project Management, Efficiency, Human Resource Allocation

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sürecinde değerli bilgilerini, tecrübelerini ve desteğini her daim eksik etmeyen, tezin her aşamasında görüş ve önerilerini paylaşıp bana yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında güven ve destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Semih Berkan BOZAT
Mayıs 2022, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Finansal Kaynak Dağıtımı	6
2.2 Çevresel Faktörleri Gözetken Kaynak Dağıtımı	7
2.3 İnsan Kaynağı Dağıtımı.....	9
3. METODOLOJİ.....	12
3.1 Klasik Veri Zarflama Analizi Modelleri	12
3.1.1 Charnes Cooper Rhodes Modeli	14
3.1.2 Banker Charnes Cooper Modeli.....	15
3.2 Merkezileştirilmiş Kaynak Dağıtımı Modelleri	17
3.2.1 Radyal Merkezi Kaynak Dağıtımı.....	17
3.2.2 Radyal Olmayan Merkezi Kaynak Dağıtımı	20
3.3 Önerilen Kaynak Dağıtımı Yaklaşımı	21
3.3.1 İncelenen Proje Bilgileri.....	21
3.3.2 Önerilen Matematiksel Model.....	24
4. UYGULAMA	34
4.2. Çalışılacak Proje Verileri.....	34
4.2.1. Girdi Değerleri (Ekip ve Personel Bilgileri)	34
4.2.2. Çıktı Değerleri.....	35
4.3. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirme	41
4.3.1. Klasik VZA sonuçları.....	41
4.3.2. Merkezi VZA ile Kaynak Dağıtım modeli sonuçları	42
4.3.3. Kaynakların Tam Sayılı Varsayılması Durumundaki Sonuçlar	49

4.3.4. İş Skoru Çıktı Değeri için Ağırlıklarda Duyarlılık Analizi.....	50
4.3.5. Ekip Birleşim Senaryoları	52
5. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	62

ÇİZELGELER

Çizelge 4.1 Ekip ve Personel Bilgileri	34
Çizelge 4.2 SPI Verisi	36
Çizelge 4.3 İş Yüzdesi Verisi	37
Çizelge 4.4 Teknik Proje Yöneticisi Anketi.....	39
Çizelge 4.5 İş Skoru için ROC Ağırlıkları	40
Çizelge 4.6 İş Skoru Değerlendirme Sonuçları	41
Çizelge 4.7 Klasik VZA ile Etkinlik Skorları	42
Çizelge 4.8 Uzun Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{lo} Değerleri	43
Çizelge 4.9 Uzun Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı	43
Çizelge 4.10 Orta Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{mo} Değerleri	45
Çizelge 4.11 Orta Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı.....	45
Çizelge 4.12 Kısa Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{so} Değerleri.....	48
Çizelge 4.13 Kısa Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı.....	48
Çizelge 4.14 Kesirli - Tam Sayılı Girdi Kaynak Kazancı Kıyası	49
Çizelge 4.15 İş Skoru Çıktı Değeri İçin RS-RR-ROC Alt Kriter Ağırlıkları	51
Çizelge 4.16 RS-RR-ROC Alt Kriter Ağırlıkları ile Kaynak Kazanç Miktarı.....	51
Çizelge 4.17 İkili Ekip Birleşimi Durumunda Kaynak Kazanç Matrisi	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BCC Modeli	Banker, Charnes ve Cooper Modeli
CCR Modeli	Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli
KV	Karar Verici
KVB	Karar Verme Birimi
DMU	Decision Making Unit
VRS	Variable Return to Scale
VZA	Veri Zarflama Analizi
DEA	Data Envelopment Analysis
MVZA	Merkezleştirilmiş Veri Zarflama Analizi
ROC	Rank Order Centroid
RS	Rank Sum
RR	Rank Reciprocal
MCDM	Multiple Criteria Decision Making

1. GİRİŞ

Uzun zamandır kullanılan proje yönetimi yöntemleri günümüzde giderek daha fazla uygulama alanı bulmakta, ayrıca teorik gelişmelerle de desteklenmektedir. 20. yüzyıl ortalarına kadar çoğunlukla inşaat projelerinde kullanılan proje yönetimi kavramı, bugün gelişen ve büyüyen organizasyonların rutin olmayan işlerini daha planlı yönetmek için kullandığı bir teknik haline gelmiştir.

Proje, başlangıç ve bitiş zamanı belli, birtakım kaynaklar kullanarak bir ekibin daha önceden tanımlanmış hedeflere yönelik icra ettiği işler bütünüdür. Proje başlamadan önce yapılacak işler için bazı kaynakların ilgili projeye tahsis edilmesi gerekmektedir. Bu kaynaklar dört ana başlıkta toparlanabilir. Bunlar; insan (işgücü), ekipman (araç-gereç), malzeme ve paradır. Proje yönetiminin temel hedeflerinden biri de kısıtlı kaynakla en iyi çıktıyı elde edebilmektedir. Projede kaynak tahsisinde zaman zaman verimsizlikler olduğu görülmektedir. Organizasyonlarda kaynak israfı veya atıl kaynaklar sıkça tartışma konusu olmaktadır. Projelerin verimliliğini doğrudan etkileyen kaynak dağıtımının etkin bir biçimde yapılması önem arz etmektedir.

Küresel düzeyde bakıldığında sınırlı mevcut kaynaklar organizasyon içerisinde zaman zaman çatışmalara yol açmaktadır [1]. Çizelgeleme ve kaynak tahsisi modern proje yönetiminin her alanında mevcuttur. Üretim ve hizmet projelerinin %90'ından fazlası çok projeli ortamlarda yönetilmektedir. Yatırımın geri dönüş oranını iyileştiren projelerin verimli yönetilmesi, genellikle aynı anda yürütülen birden fazla projenin optimize edilmesini gerektirir.

Ürünlerin, hizmetlerin veya yapılan işlerin performanslarının ölçülmesi bir gerekliliktir. Performans ölçümü bu görevlerin bir program içerisindeki durumunu tarafsız olarak ölçmektedir. Mevcut rekabet şartları göz önünde bulundurulduğunda kurumlar hayatta kalabilmek ve rakipleriyle baş edebilmek için etkinliklerini ve verimliliklerini yüksek tutmak zorundadırlar. Gün geçtikçe gelişen bilimsel, teknolojik ve yönetsel koşullar altında kurumlar kendilerini değişimlere adapte etmek zorundadırlar. Bu gibi nedenlerle performans ölçümü ve yönetimi tüm kurumlar için en üst düzeyde takip edilen konular arasındadır [2].

Projeler için kaynak dağıtımını tek seferlik diye düşünülse de bu devam eden bir süreçtir. Bir proje uygulanırken ihtiyaç duyulan kaynak miktarı da yakından takip edilmelidir. Literatüre bakıldığında kaynak dağıtımını için çok farklı metotlara başvurulduğu görülmüştür. Bunlar sezgisel yaklaşımlar, stokastik süreçler, genetik algoritma, bulanık mantık, oyun teorisi, Veri Zarflama Analizi (VZA) ve probleme özgü geliştirilen özel yazılımlar/algoritmalar olarak sıralanabilir.

VZA literatürüne bakıldığında, aynı tür girdileri kullanarak aynı tür çıktıları üreten Karar Verme Birimlerinin (KVB) görelî etkinliklerinin ölçülmesi üzerine çok farklı çalışmaların olduğu görülmüştür. VZA'da KVB'lerin etkinliği çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı olarak tanımlanmaktadır. Amaç fonksiyonları girdilerin minimize edilmesi veya çıktıların maksimize edilmesi olacak şekilde VZA modelleri farklı kısıtlar altında çözülebilir.

Charnes, Cooper ve Rhodes [3] tarafından ilk defa ortaya atılan ve CCR modeli olarak anılmakta olan temel VZA yöntemi, parametrik olmayan bir şekilde etkinlik ölçen bir doğrusal programlama modelidir. CCR modelini, 1984 yılında Banker Charnes Cooper [4] tarafından önerilen BCC modeli takip etmektedir. BCC modeli ölçüğe göre değişen getiri varsayımı altında karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmektedir. Bu temel modeller, kolay uygulanabilir ve kısa sürede iyi sonuçlar bulabilir olmaları nedeniyle kamudan özel sektöre havayolu, eğitim, sağlık, tarım, bankacılık ve bilgi teknolojileri gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır.

Kurumlar ve şirketler fonksiyonlarını yerine getirebilmek için öncelikli olarak işgücü kaynağına ihtiyaç duyarlar. Organizasyon içerisindeki insan kaynağının birimlerin ihtiyaçlarına uygun dağıtılması oldukça önemlidir. Uygun insan kaynağı dağıtımını yapılmazsa işlerin bir kısmının şirketi zarara uğratacak şekilde geciktiği, diğer bir kısmının ise gereksiz kaynak kullandığı durumlar ortaya çıkabilmektedir. İnsan kaynağı dağıtımında çok farklı yöntemler kullanılmış olmakla beraber VZA ile etkin insan kaynağı dağıtımını yapılması oldukça yeni bir uygulama alanıdır. Bugüne kadar VZA ile kaynak atamaları uygulamalarında; çoğunlukla finansal kaynakların etkin dağıtılması üzerine çalışıldığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında proje yönetiminde KVB'lerin toplam insan kaynağı etkinlik skorlarının maksimize edilmesi amacıyla Merkezleştirilmiş VZA modelleri önerilmektedir. Bu modeller Karar Verici (KV) talebi üzerine üç farklı senaryoda ele alınmaktadır. Bu senaryolar zaman periyodu düşünülerek kısa, orta ve uzun dönemli senaryo olmak üzere üç ana başlığa altında toplanmıştır. Uzun dönemli senaryo yaklaşık bir yıllık bir süre zarfı için KV'nin KVB'ler üzerinde yapılacak aksiyonlarını tanımlar. Orta dönemli senaryo ise altı aylık süre zarfını ele alırken kısa dönemli senaryo üç aylık periyotta KVB'lerdeki personel sayılarında yapılacak düzenlemeleri içermektedir. Önerilen senaryo modelleri KV'nin KVB'lerdeki personel miktarları üzerine alınması gereken aksiyonları tespit etmektedir.

Tez çalışması şu şekilde ilerlemektedir. Bölüm 2'de VZA ve kaynak dağıtımı üzerine detaylı literatür taramasına yer verilmiştir. Bölüm 3'te Klasik VZA, Merkezleştirilmiş VZA ve önerilen Merkezleştirilmiş VZA modelleri yer almaktadır. Bölüm 4'te ise gerçekleştirilen uygulama ve sonuçlarına yer verilmiştir. Tez, Bölüm 5'te sonuçlar ve gelecek çalışmalar ile son bulmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Maritan ve ark. [5], kaynak dağıtımının stratejik yönetimin temellerinden birisi olduğunu belirtmiştir. Ancak şaşırtıcı bir şekilde firma stratejilerini belirleyecek finansal, fiziksel, teknolojik ve insan kaynaklarının dağıtımı üzerine geniş bir literatür bulunmamaktadır. Kaynak tahsisi üzerine araştırmalar, 1960'ların sonlarında, araştırmacılar daha doğru yatırım kararı verme çözümleri aradığında ortaya çıkmıştır. Finans modelleri, optimal seçimlerin yapılabilmesi için bir firmaya sunulan önceden tanımlanmış yatırım fırsatlarının nicel değerlendirmelerine odaklanmıştır. Ancak modellerde insan davranışı ve örgütsel değerlere önem verilmediği dikkat çekmektedir. Bu noksanlığı gidermek ve finansal değerlendirmeyi organizasyonel bir yaklaşıma oturtmak için yönetim araştırmacıları fiili yatırımların nasıl yapıldığını inceleyen saha çalışmaları yapmışlar ve bu gözlemlere dayalı olarak tanımlayıcı süreç modelleri geliştirmişlerdir.

Verimlilik odaklı bir yaklaşımda mevcut dağıtılmış kaynakların aktif ve düzenli olarak analiz edilmesi, organizasyonların daha fazla değer yaratmasını sağlar. Asıl amaç dinamik bir şekilde kaynağı, parayı, yeteneği ve yönetimin dikkatini organizasyona en çok katkıyı verecek yerde kullanmaktır. Kaynak dağıtımında çok farklı yöntemlere başvurulduğu görülmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

Zhao ve ark. [6], ilişkisiz bir paralel makine ortamında stokastik bir müşteri sipariş çizelgeleme için kaynak dağıtımını problemini ele almışlardır. Makinelerin hızları, fazla mesai veya özel insan gücü gibi sınırlı kaynakların tahsisi yoluyla kontrol edilebilir. Amaç, iş yükü çizelgesini ve kaynak tahsisini optimize ederek uzun vadeli beklenen sipariş döngüsü süresini en aza indirmektir. Geliştirilen teorik sonuçlara dayalı sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Önerilen algoritmaların etkinliği, kapsamlı sayısal deneylerle gösterilmiştir. Bu çalışma, stokastik ortamda kaynak dağıtımını sorunlarına yeni bakış açıları getirmiş ve kaynak dağıtım kararları ile genel üretim verimliliği arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

Deng ve ark. [7], rüzgâr çiftlikleri için çok amaçlı bir bakım planlaması ve kaynak dağıtım modeli oluşturmuşlardır. Bitişik alanlardaki farklı rüzgâr çiftlikleri için bakım planlamasının ve kaynak tahsisinin dinamik gereksinimleri periyodik olarak oluşturulmuş ve bir kombinatoriyal optimizasyon süreci için baskılanmamış sıralama genetik algoritması-II

(NSGA-II) ile inceleme gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin geçerliliğini görebilmek adına diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırmalı bir duyarlılık analizi ile bir vaka çalışması ile uygulama yapılmıştır.

Zhao ve ark. [8]'a göre, teknolojik yenilikle birlikte iş birliği ve sosyal sermaye birikiminin gelişimine önem verilmektedir. Kaynak dağıtım modelleri için çeşitli rollerin uygulanabilirliğini keşfetmek için evrimsel oyun teorisiyle simülasyon yardımıyla değişmeyen karar sonuçları yerine dinamik süreçler ele alınmıştır. Farklı senaryolar için ilgili kısıtlamalarla çözümler elde edilmiştir. Farklı kaynak tahsisleri ve bunların stratejik iş birliğinin gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Cook ve Seiford [9]'a göre, kaynak dağıtımında en çok kullanılan yöntemlerden biri de VZA'dır. VZA aynı tür girdileri kullanarak aynı tür çıktıları üreten KVB'lerin göreceli etkinliklerinin ölçülmesi üzerine çok farklı analizler gerçekleştirmektedir. VZA'da KVB'lerin etkinliği çıktıların ağırlıklı toplamının girdilerin ağırlıklı toplamına oranı olarak tanımlanmaktadır. Amaç fonksiyonları girdilerin minimize edilmesi veya çıktıların maksimize edilmesi olacak şekilde VZA modelleri farklı kısıtlar altında çözülebilir.

VZA girdiler ve çıktılar üzerinde öncelik ağırlıkları olmaksızın KVB'lerin göreceli etkinlikleri ölçer. Genel olarak VZA uygulamasının nasıl yapıldığı üç ana adımda toparlanabilir. Bu adımlar; analiz edilecek KVB'lerin belirlenmesi, seçilen KVB'lerin uygun girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi ve VZA sonucu KVB'lerin etkinlik skorlarının değerlendirilmesi olarak verilebilir [4].

VZA modellerinde incelenecek KVB sayılarının yeterli olması daha doğru etkinlik skoru hesaplanmasında kritiktir. Sadeghia ve Dehnokhalaji [10], etkinlik skorlarının anlamlı bir şekilde bulunabilmesi için girdi ve çıktı sayısı toplamının minimum iki katı olması gerektiğini ifade etmektedir. Diğer bir önemli husus ise problemlerin ele alınacağı zaman dilimleridir. Uzun dönemli zaman periyotları etkin olmayan KVB'leri tolere edebiliyorken kısa dönemli zaman periyotları KVB etkinlikleri hakkında doğru fikir veremeyebilir.

Literatüre bakıldığında Charnes, Cooper ve Rhodes-CCR [3] ve Banker, Charnes ve Cooper-BCC [4] tarafından geliştirilmiş iki klasik VZA modeli bulunmaktadır. CCR modeli ölçeğe göre sabit getiri varsayımına sahip iken, BCC ölçeğe göre değişen getiri varsayımına dayalıdır. Bu modeller KVB'lerin etkin olup olmadığını belirlemektedir. Etkin olmayan KVB'ler 1'den küçük skorlara sahip olanlardır. Etkin KVB'ler ise 1 skorunu alıp etkin sınırı oluşturmaktadırlar.

Tez kapsamında incelenen makalelerde dağıtım yapılacak kaynağın konusuna göre VZA ile kaynak dağıtım problemleri üç ana grupta ele alınmıştır. Bunlar finansal kaynak dağıtım, çevresel faktörler kaynak dağıtım ve insan kaynak dağıtım olarak sıralanmıştır.

2.1 Finansal Kaynak Dağıtım

VZA ile kaynak dağıtım üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle finansal (parasal) kaynağın KVB'lere tahsis edildiği görülmüştür. Organizasyonlar için birincil öneme sahip olan para kaynağının maliyet kalemleri arasında en doğru şekilde kullanılması organizasyonun verimliliği için önemlidir. Aşağıda finansal kaynakların VZA modelleri yardımıyla dağıtıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Dai ve ark. [11]'a göre teşvik kavramı, bir organizasyonun birimlerinin davranışlarını organizasyonun hedeflerini gerçekleştirebilmesi için kaynak dağıtım sürecinde yaygın olarak uygulanır. Bununla birlikte, bu kavram VZA'ya dayalı yerleştirme araştırmalarında nadiren dikkate alınır. Bu makale, ortak gelirlerin veya sabit maliyetlerin tahsisi için iki aşamalı bir teşvik yaklaşımı önermektedir. İlk adım performans değerlendirmesidir. Bu çalışmada KVB'lerin etkinlik puanlarını ölçmek için çapraz etkinlik yöntemi seçilmiştir. İkinci adım, teşvik tahsisidir. Performans değerlendirmesine dayanarak, gelirlerin veya sabit maliyetlerin dağıtılması üzerine yeni bir teşvik yöntemi önerilmektedir. VZA'nın bir organizasyondaki KVB'lerin ortalama verimliliğini maksimize etmek olarak görülebileceğini gösterilmektedir. Sabit maliyetlerin KVB'lere tahsis edilmesi ve KVB'lere girdi kaynaklarının tahsis edilmesi üzerine VZA tabanlı modeller sunmaktadır.

Beasley [12] ise bir kuruluşun toplam sabit bir maliyeti olduğunu ve bu sabit maliyetin bir dizi KVB'ye uygun bir şekilde dağıtılması gerektiğini belirtmiştir. Bu iş organizasyonel bütçeleme/maliyetlendirme çalışmalarında maliyeti farklı departmanlar arasında bölerken

karşılaşılmaktadır. KVB'ler arasında ortak bir sabit maliyetin nasıl tahsis edileceğine karar vermek için VZA tabanlı model sunulmaktadır. Girdi kaynaklarının tahsisi ile eş zamanlı olarak, her bir KVB için çıktı hedeflerine de karar verilir. Literatürden alınan birçok örnek problem için sayısal sonuçlar derlenmiştir.

Amirteimoori ve ark. [13], VZA'nın birçok uygulamasında, genellikle tüm karar verme birimlerine (KVB) uygulanan sabit bir maliyet olduğunu belirtmiştir. Sabit maliyetlerin bir dizi KVB'ye adil bir şekilde tahsis edilmesini üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. KVB'lere tahsis edilmiş bir toplam sabit maliyet olduğunu varsayıldığında, bu sabit maliyetin bir kısmının bir dizi KVB'nin her birine uygun bir şekilde tahsis edilmesi istenmektedir. Buna üniversite, banka şubeleri vb. herhangi bir organizasyon biriminde ihtiyaç duyulmaktadır. Önce Beasley [12] tarafından önerilen yöntemi çalışılıp ve ardından KVB'ler arasında ortak bir sabit maliyetin nasıl tahsis edileceğine karar vermek için VZA tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur.

An ve ark. [14]'nin çalışmalarına göre, varlık grupları arasında sabit maliyet tahsisi, çok sayıda kuruluştaki öne çıkan bir konudur. Bu konunun ele alınması, VZA metodolojisinin en önemli konularından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, verimlilik değişmezliği ilkesine dayalı temel iki aşamalı sistemler için sabit bir maliyet tahsisi yaklaşımı önerilmiş ve daha sonra bunu genel iki aşamalı sistemlere genişletmiştir. İki aşamalı sistemler için ilgili tahsis planlarını geliştirmek için işbirlikçi ve iş birliksiz senaryolarda sabit maliyet tahsisi araştırılır. Verimliliğin değişmezliğinin genel koşulu altında sabit maliyet tahsisi modeli, ilk olarak iki aşama iş birliği ilişkisine sahip olduğunda geliştirilir. Daha sonra, iki aşamanın işbirlikçi olmayan bir ilişkiye sahip olduğu bölümlü etkinlik değişmezliği koşulu altında sabit maliyet tahsisi modeli incelenmiştir. Son olarak, önerilen yaklaşımın geçerliliği, diğer tahsis yaklaşımlarıyla karşılaştırmalı bir analiz dahil edildiği 24 hayat sigortası şirketinin gerçek bir uygulamasıyla gösterilmiştir.

2.2 Çevresel Faktörleri Gözetken Kaynak Dağıtım

Gelişmekte olan üretim teknolojileri beraberinde çevre kirliliğini getirmektedir. Bu sebeple ülkeler çevre kirliliğini önlemek adına aksiyonlar almaktadırlar. Literatüre bakıldığında ise VZA ile kaynak dağıtım yapılan çalışmalarda çevre kirliliğinin istenmeyen çıktı değeri olarak

ele alınıp modellerin çözüldüğü görülmüştür. Yani çevresel faktörler artık akademik çalışmaların da odak noktası haline gelmiştir.

Wu ve ark. [15], Çin'in Anhui Eyaletindeki Huai Nehri boyunca uzanan 32 kağıt fabrikasını incelemişlerdir. Amaç fonksiyonlarından bir tanesi kağıt üretim çıktısının maksimize edilmesi iken diğer amaç fonksiyonu bir diğer çıktı olan biyokimyasal atık miktarının minimize edilmesidir. Fabrikaların girdileri ise işgücü ve sermaye olarak ele alınmıştır. Biyokimyasal atık, üretim sonucu kağıt ile birlikte oluşmakta ve çevreyi kirletebilmektedir. Çin'deki kirlilik sorunuyla mücadele etmek için kullanılan kaynak miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Bu makalede kaynak dağıtımının etkinliğini ölçmek ve geliştirmek için iki aşamalı bir VZA modelini önerilmiştir.

Zhang ve ark. [16], tüm girdileri isteğe bağlı ve isteğe bağlı olmayan girdiler olarak sınıflandırıp çevresel verimlilik puanlarına göre kaynak dağıtım modelleri önermiştir. 2011-2015 yılları arasında Çin'deki 30 eyaletin su, sermaye, işgücü ve enerji tüketimleri girdi olarak ele alınmıştır. Atık su ve egzoz gazı değerleri istenmeyen çıktı değerleri olarak raporlanmıştır. Gerçekleştirilen VZA modelinde her eyaletin çevresel verimlilik skorları incelenmiştir. İlgili karar vericileri aydınlatmak için bu makalede çeşitli varsayımlara dayalı çevresel verimlilik puanları ve kaynak dağıtım planları literatüre kazandırılmıştır.

Jianga ve ark. [17], kuruluşların çevresel verimliliklerinin hesabı için iki amaçlı bir VZA yöntemi önermiştir. Önerilen modelde ortak ağırlıklı bir değerlendirme mekanizması kullanarak kaynakların yeniden dağıtımıyla tüm KVB'lerin çevresel faktörler bakımından verimli olabileceğini öne sürmektedir. Çıktı hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için KVB'nin yeniden tahsis edilen yeni kaynağı ile KVB'nin ön performansı ve operasyon boyutu arasındaki eşleşmeyi dikkate alan iki amaçlı bir kaynak yeniden tahsis modeli önerilmiştir. Önerilen bu modellerin uygulaması için Çin'deki eyaletlerin kara taşımacılığındaki sistemi incelenmiştir. Yakıt tüketimleri, çalışan sayısı, sermaye ve alınan mesafe girdi değerleri olarak ele alınırken; istenmeyen çıktı olarak karbondioksit gazı, istenen çıktı olarak ise taşınan yolcu sayısı ve taşınan yük miktarı istenen çıktılar olarak incelenmiştir.

2.3 İnsan Kaynağı Dağıtımı

İşgücü maliyetleri geçmişte olduğu gibi bugün de organizasyonların en büyük maliyet kalemlerinden biridir. Verimlilik kavramının literatüre girmesiyle birlikte iş planlama ve iş etüdü gibi konularda çalışmalara sıkça yer verildiği görülmüştür. Artan rekabet ortamında kurumlar insan kaynağı etkinliklerinin yüksek olmasını istemektedir. Aksi halde rakiplerine maliyet avantajını kaptırabilmektedir. VZA ile insan kaynağının etkin dağıtımı son dönemlerin çalışma konularından biridir. Kurumların mevcut insan kaynağının kurum içerisinde nasıl dağıldığının incelenmesi, gerekiyorsa etkinliğin artırılması adına yeniden kaynak dağıtımı yapılması VZA ile insan kaynağı dağıtımının temelini oluşturmaktadır. VZA ile insan kaynağı dağıtımı görece yeni olmasıyla birlikte aşağıda bu alanda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Torres ve Prior [18], insan kaynağı dağıtımında alınacak aksiyonlarla organizasyonun toplam etkinliğinin, aynı zamanda karlılığının maksimize edilmesini hedeflemiştir. İspanya'nın Katalonya bölgesindeki devlet okullarındaki öğretmen ve öğrencilerin durumu detaylarıyla ele alınmıştır. Önerilen modellerde transfer edilemez girdi ve çevresel faktörlerin ele alınması bu makaleyi farklı kılan özelliklerdir. Toplam etkinliği azaltmadan eğitim kaynaklarının yeniden dağıtılması üzerine bir model önerilmiştir. Önerilen VZA modelleri farklı senaryolar için ilgili kısıtlar eklenerek çözülmüştür. Öğrencilerin ve ailelerin karakteristikleri, okul ile öğrencinin evi arası mesafe, öğretmenlerin veya öğrencilerin transfer edilebilir olup olmadıkları belirlenen senaryolar için ilgili kısıtlar altında modeller çözülmüştür.

Yu ve ark. [19] ise havacılıkta artan maliyetlerin havalimanı işletmelerini maliyetlerde kesinti yapmaya yönelttiğini belirtmiştir. Bu maliyetlerin başında personel maliyetleri gelmektedir. Havalimanlarının rekabetçi kalabilmesi için maliyet etkin bir sisteme sahip olması önemlidir. Bu makalede Tayvan'daki havalimanlarının çalışanların yeniden dağıtımı incelenmiştir. Yapılan uygulamada kadrolu ve sözleşmeli çalışanlar için farklı senaryolar ile önerilen VZA modelleri personellerin yeniden dağıtımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen VZA modelleri karar vericinin kararına bağlı olarak üç farklı politika; kısa, orta ve uzun dönemli olarak çözülmüştür. Modellerin amacı personel sayısında azaltıma gitme veya diğer KVB'lere transfer ederek toplam etkinliğin artırılmasıdır.

Caballero ve ark. [20], İspanya'daki üniversitelerin finansa ve işgücü kaynaklarının verimliliğini hedef alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kaynakların yeniden tahsis edilmesi için yol gösterici bir mekanizma olarak hizmet edecek bir metodoloji önerilmiştir. Karar vericiye yardımcı olması için üniversite içindeki personel politikasının planlanması, tüm öğretim ve araştırma birimlerine adil kaynak dağıtımı ve kaynak dağıtımında şeffaflığın ön planda olduğu rasyonel yaklaşımlar literatüre kazandırılmıştır. Kaynakların yeniden tahsisi üniversitelerin verimlilik düzeylerine direkt etki etmektedir. Önerilen modelde VZA ve Çok Kriterli Karar Verme (Multiple Criteria Decision Making-MCDM) yaklaşımlarının sentezlendiği ve her iki yaklaşımın birbirine bilgi transferini mümkün kılacak yaklaşım benimsenmiştir.

Fang [21], mevcut merkezileştirilmiş kaynak dağıtım modellerinin genellikle kaynak tahsisinden sonra tüm KVB'lerin verimli hale dönüşeceğini varsaydığını belirtmiştir. Ancak, etkinlik skoru çok düşük olan KVB'lerin kaynaklarında radikal azalışlarla toplam etkinlik skorunun artırılması mümkün olabilmektedir. Bu da gerçek hayatta organizasyonlar içerisinde ciddi direnişlere sebep olabilmektedir. Yapılan çalışma kapsamına Merkezileştirilmiş Veri Zarflama Analizi (MVZA) yaklaşımıyla insan kaynağının yeniden düzenlenmesinde basamaklı bir yöntem benimsenmiştir. Organizasyonun tepkisini minimize etmek adına kademeli düzenlemelerin daha sağlam temellere oturacağı değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşım sayesinde merkezi karar verici KVB'leri gerçekçi ve uygulanabilir şekilde nihai hedeflerine ulaşmaya yönlendirebilir.

Bu tez çalışmasında bir organizasyonda yürütülmekte olan bir proje için ekiplerin etkinlikleri incelenecektir. Proje kapsamında toplam insan kaynağı etkinliği merkezileştirilmiş VZA yaklaşımı ile ele alınacaktır. Çalışmanın literatürden farklılaştığı noktalar aşağıda sıralanmıştır:

- Proje yönetimi kapsamında VZA modelleriyle insan kaynağı dağıtım problemi ilk kez ele alınmıştır.
- Kurum çalışanları birbirine özdeş olarak, yani sadece adam sayısı olarak ele alınmak yerine; çalışanlar tecrübe düzeyine göre sınıflandırılıp birden fazla girdi olarak değerlendirilmiştir.

- Bir çalışanın birden fazla ekipte, yani farklı işlerde görev almasına olanak tanınmıştır. Diğer bir deyişle personelin çalışma saati kesirli olarak başka ekiplere dağıtılabilmektedir.
- Mevcuttaki ekiplerin (KVB) insan kaynağı etkinliğinin artırılması amacıyla ekiplerin birleştirilmesi alternatifini incelenmiştir.

3. METODOLOJİ

Tezin bu bölümünde öncelikle klasik VZA modellerine yer verilecektir. VZA aynı zamanda bir doğrusal programlama yöntemidir. Klasik VZA modelleri CCR ve BCC modelleri olarak bilinmektedir. Bu modeller kendi içerisinde de girdi ve çıktı yönlü olmak üzere iki farklı türden oluşmaktadır [22]. Yine bu bölümünün ikinci ana başlığı olarak MVZA modelleri incelenecektir. Bu yaklaşımın klasik VZA'dan temel farkı KVB'lerin etkinliklerini ayrı ayrı değerlendirmeyip bütünsel bir yaklaşımla toplam etkinlik skorunu maksimize etmeyi hedeflemesidir. Bu modellerde tek bir KV olduğu ve bu KV'nin tüm KVB'ler üzerinde söz sahibi olduğu varsayılmaktadır. Merkezi KV büyük resme odaklanıp mevcut kaynaklar ile toplam etkinliğin maksimize edilmesine odaklanmaktadır. Literatüre son zamanlarda kazandırılmış olan MVZA modelleri çok farklı disiplinler tarafından kullanılmaktadır [23].

Bu bölümün son kısmında ise bu tez kapsamında önerdiğimiz Merkezileştirilmiş VZA modellerine yer verilmiştir. Önerilen modellerde organizasyonlardaki insan kaynağı dağıtımının nasıl daha etkin yapılabileceği araştırılmış ve kurgulanmıştır. Bölüm 4'te ise bir şirket uygulamasıyla önerilen modeller kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Mevcut insan kaynağının KVB'lerin (ekiplerin) ihtiyaçlarına göre ve merkezi bakış açısı ile nasıl dağıtılması gerektiği raporlanmıştır. Önerilen modellerde incelenen şirketin dinamikleri ve ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuştur.

Şirket uygulamasının yapılacağı projede farklı sayı ve tecrübeden personellerin oluşturduğu ekipler KVB olarak ele alınmıştır. Ekiplerin mevcut durumdaki etkinlikleri ilk olarak klasik VZA ile hesaplanmıştır. Bu bize hangi ekiplerin etkin hangi ekiplerin etkin olmadığı bilgisini sağlamıştır. Etkin olmayan KVB kümesi yine Bölüm 4'te yapılacak ekip birleştirme senaryolarıyla toplam etkinliğin artırılması denemelerinde yol gösterici olmuştur. Klasik VZA yaklaşımıyla etkinlikleri hesapladıktan sonra önerilen MVZA modelleri ile çözümler elde edilmiştir. Önerilen MVZA modelleri kısa, orta ve uzun dönemli senaryolar için çözülmüş ve yorumlanmıştır.

3.1 Klasik Veri Zarflama Analizi Modelleri

VZA girdi ve çıktı yönlü olarak ele alınabilmektedir. Toplam girdi ve toplam çıktı hesaplanırken kullanılan ağırlıkları her KVB belirli kısıtlar doğrultusunda kendi yararına

olacak şekilde seçebilmektedir. Her KVB'nin etkinliğini bulmak için ayrı bir model çözülmektedir. Girdi yönlü VZA modelleri; hedeflenen bir çıktı bileşimini elde edebilmek için olması gereken girdi bileşiminin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Çıktı yönlü VZA modelleri ise mevcut girdi bileşimiyle elde edilebilecek maksimum çıktı bileşiminin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Çıktı yönlü klasik VZA modellerinde ağırlıklı girdi bire eşitlenerek ağırlıklı çıktı en fazla bir olacak şekilde maksimize edilir.

Lozano ve ark. [23], VZA'da tüm modellerin ortak özelliğinin KVB'lerin etkinlik sınırı oluşturmaları ve buna bağlı olarak etkin ve etkin olmayan KVB'lerin tespit edilmesi olduğunu belirtmiştir. Etkin sınırın altında kalan etkin olmayan KVB'lerdeki kaynak fazlalıklarının tespiti araştırılır.

Klasik VZA modelleri iki ana başlıkta toparlanabilir. Bunlar CCR ve BCC modelleridir. Tezin takip eden 3.1.1 ve 3.1.2 bölümlerinde girdi ve çıktı yönlü olmak üzere klasik VZA modellerine yer verilmiştir. Bu modellerde kullanılan parametreler ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Parametreler

- n : KVB sayısı
- m : Girdi sayısı
- s : Çıktı sayısı
- i : Girdi indeksi $i=1,2,\dots,m$
- r : Çıktı indeksi $r=1,2,\dots,s$
- j : KVB indeksi $j=1,2,\dots,n$
- x_{ij} : KVB j 'nin kullandığı girdi i miktarı
- y_{rj} : KVB j tarafından üretilen çıktı r miktarı

Karar Değişkenleri

- θ : Girdi yönlü modelin etkinlik skoru
- ϕ : Çıktı yönlü modelin etkinlik skoru
- x_{i0} : KVB 0'm kullandığı girdi i miktarı
- y_{r0} : KVB 0 tarafından üretilen çıktı r miktarı

λ_j : KVB j 'nin projeksiyonu için yoğunluk değişkenler

3.1.1 Charnes Cooper Rhodes Modeli

Önerilen ilk VZA modeli CCR modelidir. CCR, KVB'lerin etkinliğini ölçeğin sabit getirisi varsayımıyla ölçmektedir. Bu tip VZA modellerinde etkin sınır orijinden başlar ve etkin KVB noktalarının birleşimiyle oluşan bir doğru ile temsil edilmektedir. CCR modeli girdi yönlü ve çıktı yönlü olmak üzere iki tiptir.

3.1.1.1 Girdi Yönlü CCR Modeli

Girdi yönlü CCR modelinde çıktılar sabit kalırken girdi miktarlarında yapılabilecek azalışlar araştırılır. Etkin olmayan KVB'lerin girdilerinde hangi düzeyde azalış gerektiği belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu model M1 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M1

$$\text{Min} \quad \theta \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \leq 0 \quad (1.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{r0} \geq 0 \quad (1.3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (1.4)$$

θ etkinlik skoru olmak üzere;

$\theta = 1$ ise ve artıklar sıfırsa KVB 0 etkindir.

$\theta < 1$ ise KVB 0 etkin değildir. Aynı çıktı seviyeleri daha az girdiyle elde edilebilir.

3.1.1.2 Çıktı Yönlü CCR Modeli

Çıktı yönlü CCR modeli M2 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M2

Maks Φ
(2.1)

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - x_{i0} \leq 0 \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \Phi y_{r0} \geq 0 \quad (2.3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (2.4)$$

Φ etkinlik skoru olmak üzere;

$\Phi = 1$ ise ve artıklar sıfırsa KVB 0 etkindir.

$\Phi > 1$ ise KVB 0 etkin değildir. Aynı girdi seviyeleriyle daha fazla çıktı elde edilebilir.

3.1.2 Banker Charnes Cooper Modeli

Banker ve arkadaşları tarafından 1984 yılında ortaya atılan BCC modelidir. KVB'lerin etkinliğini ölçmeğe göre değişen getiri varsayımıyla ölçmektedir. BCC modelinin CCR modelinden temel farkı konvekslik kısıtına sahip olmasıdır.

3.1.2.1 Girdi Yönlü BCC Modeli

Girdi yönlü CCR modeline $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ konvekslik kısıtı eklenmesiyle girdi yönlü BCC modeli elde edilmektedir. Girdi Yönlü BCC modeli M3 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M3

Min θ
(3.1)

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - \theta x_{i0} \leq 0 \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{r0} \geq 0 \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (3.4)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (3.5)$$

θ etkinlik skoru olmak üzere;

$\theta = 1$ ise ve artıklar sıfırsa KVB 0 etkindir.

$\theta < 1$ ise KVB 0 etkin değildir.

3.1.2.2 Çıktı Yönlü BCC Modeli

Çıktı yönlü CCR modeline $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ konvekslik kısıtı eklenmesiyle çıktı yönlü BCC modeli elde edilmektedir. Çıktı Yönlü BCC modeli M4 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M4

$$\text{Maks } \Phi \quad (4.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - x_{i0} \leq 0 \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \Phi y_{r0} \geq 0 \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^s \lambda_j = 1 \quad (4.4)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (4.5)$$

Φ etkinlik skoru olmak üzere;

$\Phi = 1$ ise ve artıklar sıfırsa KVB 0 etkindir.

$\Phi > 1$ ise KVB 0 etkin değildir.

3.2 Merkezileştirilmiş Kaynak Dağıtım Modelleri

Geleneksel VZA modellerinde her bir KVB ayrı ayrı incelenip etkinlikler tespit edilmektedir. Lozano ve Villa'nın ortaya attığı merkezileştirilmiş VZA yaklaşımında ise tüm KVB'ler bir bütün olarak aynı anda ele alınmaktadır. VZA uygulanacak modelde tek bir KV olduğu kabul edilir ve bu KV tüm KVB'ler üzerinde söz sahibidir. Asıl amaç organizasyonun etkinliğinin maksimize edilmesidir. KVB'leri münferit olarak ele almak daha düşük etkinlik skoru sağlayabilmektedir [23].

Merkezileştirilmiş VZA ile kaynak dağıtım modelinde KV minimum toplam girdiyle maksimum toplam çıktı elde etmeyi hedefler. Bu tür bir kaynak tahsisi için iki yeni VZA modeli sunulmuştur. Birinci model, her girdinin toplam tüketiminde radyal azalmalar ararken, diğer model bir tercih yapısına göre her girdi için ayrı azalış miktarı üzerine çalışır. Her iki durumda da toplam çıktının azalmayacağı garanti edilir.

İki modelde de, toplam girdi tüketimini ve çıktı üretimini optimize etmek için, ortalama girdi ve çıktılarla sanal bir KVB'nin görel verimliliğini en üst düzeye çıkaran ağırlıklar tespit edilecektir.

3.2.1 Radyal Merkezi Kaynak Dağıtım

Model tüm radyal modellerde olduğu gibi iki fazdan oluşmaktadır. İlk fazda, tüm girdilerde eşit orantısal bir azalma aranırken, ikinci fazda girdilerde ek azalma veya çıktılarda artış olup olmayacağı analiz edilir.

Geleneksel VZA modellerinden iki temel farkı vardır. İlk olarak, sırayla her bir KVB için ayrı ayrı doğrusal programlama modelleri çözmek yerine, tüm KVB'leri aynı anda ele alan tek bir model çözülür. İkinci olarak ise herhangi bir KVB'nin girdilerini azaltmak yerine, KVB'lerin toplam girdi tüketiminin azaltılması amaçlanır.

3.2.1.1 Faz-1 Modeli

Aşağıda verilen Faz-1 modeli çözümlenip θ değeri bulunacaktır. Bulunan bu değer θ^* olarak sabitlenip Faz-2 modeline geçilecektir. Radyal MVZA Faz-1 modeli M5 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M5

$$\text{Min} \quad \theta \quad (5.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} x_{ij} \leq \theta \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i \quad (5.2)$$

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} y_{kj} \geq \sum_{r=1}^n y_{kr} \quad \forall k \quad (5.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jr} = 1 \quad \forall r \quad (5.4)$$

$$\lambda_{jr} \geq 0 \quad \forall j, r, \quad \theta \text{ serbest} \quad (5.5)$$

λ_{jr} Faz-1'de j . KVB'nin projeksiyonu için yoğunluk değişkenleridir.

3.2.1.2 Faz-2 Modeli

Faz-1 modelini aşağıdaki Faz-2 modeli takip etmektedir. Burada amaç KVB'lerdeki toplam girdi kazanç miktarını tespit etmektir. Radyal MVZA Faz-2 modeli M6 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

s_i : Faz-2'de girdi i 'deki bolluk miktarı

t_k : Faz-2'de çıktı k 'deki ilave artış miktarı

Model M6

$$\text{Maks} \sum_{i=1}^m s_i + \sum_{k=1}^p t_k \quad (6.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} x_{ij} = \theta^* \sum_{j=1}^n x_{ij} - s_i \quad \forall i \quad (6.2)$$

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} y_{kj} = \sum_{r=1}^n y_{kr} + t_k \quad \forall k \quad (6.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jr} = 1 \quad \forall r \quad (6.4)$$

$$\lambda_{jr}, s_i, t_k \geq 0 \quad \forall j, r, i, k \quad (6.5)$$

Faz-2 modeli çözüldükten sonra elde edilen $(\lambda_{1r}^*, \lambda_{2r}^*, \lambda_{3r}^*, \dots, \lambda_{nr}^*)$ vektörü her KVB için optimum değerlerin bulunmasını sağlar. Bunun için aşağıdaki formül ile yeni her KVB için x_{ir} ve y_{kj} değerleri bulunmaktadır.

$$\widehat{x}_{ij} = \sum_{j=1}^n \lambda_{jr}^* x_{ij} \quad \forall i \quad (6.6)$$

$$\widehat{y}_{kr} = \sum_{j=1}^n \lambda_{jr}^* y_{kj} \quad \forall k \quad (6.7)$$

Yukarıdaki hesaplama sonrası radyal merkezi VZA kaynak dağıtımı sonrası her KVB'nin yeni x_{ir} ve y_{kj} değerleri elde edilir. Elde edilen bu karar değişkenleri kullanılarak yeniden kaynak dağıtımı gerçekleştirilirse toplam etkinlik maksimize edilmiş olacaktır.

3.2.2 Radyal Olmayan Merkezi Kaynak Dağıtımı

Radyal olmayan merkezi kaynak dağıtımı modeli de iki fazdan oluşmaktadır. Birinci fazda, her girdi kullanıcı tercihlerine göre farklı azaltım faktörüne sahip olmaktadır. Girdilerin radyal olmayan azaltımı, mevcut girdi miktarlarının azaltılabileceği uygun sınırlar bulabilmektir.

3.2.2.1 Faz-1 Modeli

Radyal Olmayan MVZA Faz-1 modeli M7 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

w_i : Girdi i 'nin toplam tüketiminin azaltılması için tercih katsayısı

Model M7

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m w_i \theta_i \quad (7.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} x_{ij} \leq \theta_i \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i \quad (7.2)$$

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} y_{kj} \geq \sum_{r=1}^n y_{kr} \quad \forall k \quad (7.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jr} = 1 \quad \forall r \quad (7.4)$$

$$\lambda_{jr} \geq 0 \quad \forall j, r, \quad \theta_i \text{ serbest} \quad (7.5)$$

3.2.2.2 Faz-2 Modeli

Radyal MVZA Faz-2 modeli M8 olarak adlandırılmıştır ve aşağıda verilmektedir.

Model M8

$$\text{Max} \sum_{k=1}^p t_k \quad (8.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} x_{ij} = \theta_i^* \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i \quad (8.2)$$

$$\sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} y_{kj} = \sum_{r=1}^n y_{kr} + t_k \quad \forall k \quad (8.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{jr} = 1 \quad \forall r \quad (8.4)$$

$$\lambda_{jr}, t_k \geq 0 \quad \forall j, r, k \quad (8.5)$$

Faz-1 modeli çözüldükten sonra elde edilen $(\lambda_{1r}^*, \lambda_{2r}^*, \lambda_{3r}^*, \dots, \lambda_{nr}^*)$ vektörü her KVB için optimum değerlerin bulunmasını sağlar. Bunun için aşağıdaki formül ile yeni her KVB için x_{ir} ve y_{kj} değerleri bulunmaktadır.

$$\widehat{x}_{ij} = \sum_{j=1}^n \lambda_{jr}^* x_{ij} \quad \forall i \quad (8.6)$$

$$\widehat{y}_{kr} = \sum_{j=1}^n \lambda_{jr}^* y_{kj} \quad \forall k \quad (8.7)$$

3.3 Önerilen Kaynak Dağıtım Yaklaşımı

3.3.1 İncelenen Proje Bilgileri

Proje yönetiminde VZA ile etkin insan kaynağı dağıtımı için; araştırma ve geliştirme faaliyetleri icra eden bir teknoloji firmasında yürütülmekte olan bir proje ele alınacaktır. Proje kapsamında gerçekleştirilen geliştirme faaliyetleri birden çok ekip tarafından icra edilmektedir. Bu ekipler KVB olarak ele alınıp uygulama gerçekleştirilecektir. Ekiplerin

yaptıkları işlerin birbirine benzer olduğu varsayılmıştır. Tez kapsamında bu ekiplerin etkinlik skorları üzerine merkezileştirilmiş insan kaynağı dağıtım modelleri önerilmiştir. Bölüm 3.2’de verilen MVZA modelleri sonucu girdi ve çıktı değerleri yeniden hesaplanmaktadır. Tez kapsamında önerilen MVZA ile kaynak dağıtım modellerinde çıktılarda değişim olmadığı varsayımı altında toplam etkinliğin maksimize edilmesi için girdi değerleri için alınması KV’nin alması gereken aksiyonları raporlamaktadır.

Projeyi yürüten iş gücünün çoğu şirketin kadrolu personelidir. Ayrıca dönemsel iş yükünün dengelenmesi amacıyla farklı firmalardan personel kiralama yoluna da başvurulmaktadır. Kiralanan bu personeller taşeron olarak adlandırılmaktadır. Taşeron personel bir yıllık kontrat ile çalışan ve genellikle 0-3 yıl arası tecrübeye sahip olan kişilerdir. Kadrolu personel ise çeşitli tecrübe seviyelerine sahip olabilmektedir.

3.3.1.1 Girdiler

Modelin girdilerini projede kullanılan insan kaynağı oluşturacaktır. Kadrolu personel tecrübe seviyelerine sınıflandırılmış olup taşeron personel olduğu gibi ele alınacaktır.

Önerilen MVZA modeli için girdiler aşağıdaki gibidir.

- 1. Uzman Yardımcısı:** 0-3 yıl arası tecrübeli kadrolu personel
- 2. Uzman:** 4-10 yıl arası tecrübeli kadrolu personel
- 3. Şef:** 11 yıl ve üzeri tecrübeli kadrolu personel
- 4. Taşeron Personel:** Yıllık kontrata tabi kiralık firma personeli

3.3.1.2 Çıktılar

Modelin çıktıları yapılan işlerin sonuçlarından oluşmaktadır. Bölüm 3.3.1.1’de verilen girdi değerlerinde oluşan KVB’lerin ortaya koyduğu iş performansları araştırılmıştır.

- Yapılan işin planlanan takvime uygun ilerleyip ilerlemediğini görebilmek için incelenecek firmanın aktif olarak kullandığı proje yönetimi aracından SPI (Schedule Performance Index) değerleri alınmıştır.

- KVB'lerin yaptıkları işin tüm projenin içerisindeki payının belirlenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bunun için KVB'lerde çalışan personelin (adam)x(saat) miktarları kullanılarak İş Yüzdesi çıktı değeri elde edilmiştir.
- KVB'lerde yapılan işler birbirinden farklıdır. Her KVB'nin kendine has avantajları veya dezavantajları bulunabilmektedir. Bu nedenle her KVB'deki işin niteliğini doğru tanımlayan bir İş Skoru çıktı değeri olması gerektiği değerlendirilmiştir.

Yukarıda belirtilen hususlara istinaden önerilen MVZA modellerinde bu üç çıktı değeri kullanılacaktır. Çıktı değerlerinin kısa tanımları ise aşağıda belirtilmiştir. Bu çıktıların detaylı açıklamaları Bölüm 4.2.2'de verilecektir.

1. **Takvim performans göstergesi (SPI):** kazanılmış değerlerin planlanan maliyete oranıdır. Bu katsayı 1 ve üzeri ise iş paketinin iyi durumda olduğunu göstermektedir.
2. **İş yüzdesi:** KVB'lerdeki personelin çalışma saatleri toplamının tüm proje için gerçekleşen çalışma saatine oranıdır.
3. **İş skoru:** KVB'lerin yaptıkları işlerin niteliğinin tespiti için uzman (proje teknik yöneticisi) görüşüne başvurularak hesaplanan skordur.

Tez kapsamında önerilen modellerde aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmuştur.

- Model girdi yönlü çözülecektir. Firma insan kaynağı girdisinde aksiyonlar alıp toplam etkinliğin maksimize edilmesini amaçlamaktadır.
- Literatürde insan kaynağı dağıtımları tam sayılı olarak yapılmaktadır. Bu tezde önerilen modellerde insan kaynağının kesirli olarak dağıtılmasında olanak sağlanacaktır. Bu sayede toplam etkinliğin daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir. Bu hipotezi doğrulamak adına önerilen modeller hem kesirli hem de tam sayılı olarak çözülecektir. Modelin kesirli çözülmesi bir insan kaynağının birden fazla KVB'de görev almasına olanak sağlandığı anlamına gelmektedir.
- KVB'lerin ikili olarak birleştirilmesinin toplam etkinlik üzerine iyileşme sağlayıp sağlamadığı irdelenecektir.

- Önerilen modelde yeni bir çıktı değerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çıktı değeri KVB'lerin yaptıkları işlerin niteliğinin tespiti için uzman (proje teknik yöneticisi) görüşüyle elde edilecek ve "İş Skoru" olarak adlandırılacaktır.
- KVB'lerin İş Skor'larının hesaplanabilmesi için ilgili işi tanımlayan alt kriterler belirlenecektir. Bu alt kriterler için uzman görüşüne başvurulmuştur. Elde edilen anket verileriyle Sıralama Bazlı Metotlar ile hesaplanan ağırlıklar kullanılarak "İş Skoru" çıktı değeri elde edilecektir.
- Önerilen modeller uzun, orta ve kısa dönemli olmak üzere üç senaryo altında çözülecektir.

3.3.2 Önerilen Matematiksel Model

Organizasyonlar her KVB için ayrı ayrı hedefler belirlemek yerine tüm KVB'leri aynı anda projelendiren farklı bir yaklaşıma ihtiyaç duymuştur [25]. MVZA yöntemi çıktılarda azalma olmadığını garanti ederek mevcut kaynakların (girdilerin) daha etkili tahsis edilmesini araştırmaktadır. Bu da kaynak israfının önüne geçerek şirketin daha verimli bir şekilde işlerini yürütmesine olanak sağlayacaktır. [26].

Önerilen merkezi VZA yaklaşımıyla KVB'lerin ortalama toplam etinlik skorunun maksimize edilmesi araştırılmaktadır. Önerilen modeller her senaryo için iki fazlı olarak çözülmektedir. Birinci fazda model her çıktı için θ_i değerleri bulacak ve bu θ_i değerlerinin ortalaması maksimize edilecektir. İkinci fazda ise girdiler (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef, Taşeron) belirlenen senaryoya göre yeniden KVB'lere tahsis edilecektir.

Tezin bu kısımda kullanılacak parametreler ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

Parametreler

N : Ekip sayısı

O : Çıktı sayısı

G : Girdi sayısı

TÇ : Transfer edilebilen ve çıkarılabilen girdi kümesi

T : Sadece transfer edilebilen girdi kümesi

j, n : Ekip indeksleri, $j, n=1, \dots, 10$

o : Çıktı indeksi, $o=1$ (SPI), $o=2$ (İş skoru), $o=3$ (İş yüzdesi)

- g : Girdi endeksi, $g=1$ (Uzman Yardımcısı), $g=2$ (Uzman), $g=3$ (Şef), $g=4$ (Taşeron)
 p : Senaryo indeksi, $p=1$ (uzun dönem), $p=m$ (orta dönem), $p=s$ (kısa dönem)
 x_{gj} : Ekip j 'nin girdi g değeri
 y_{oj} : Ekip j 'nin çıktı o değeri

Karar Değişkenleri

- θ_{po} : Faz-1 sonrası senaryo p 'nin çıktı o etkinlik skoru
 θ_{po}^* : Faz-1 sonrası senaryo p 'nin çıktı o optimal etkinlik skoru
 λ_{jn} : Faz-1 ve Faz-2'de ekip n 'nin projeksiyonu için yoğunluk değişkenleri
 s_{gr+}^p : Faz-2'de senaryo p 'de ekip r 'nin girdi g 'deki pozitif bolluğu
 s_{gr-}^p : Faz-2'de senaryo p 'de ekip r 'nin girdi g 'deki negatif bolluğu

3.3.2.1 Uzun Dönemli Senaryo

İnsan kaynağının etkin dağıtımını perspektifinden bakıldığında uzun dönemli senaryo; KVB'lerin toplam etkinliğinin maksimize edilmesi amacıyla tüm kadrolu (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef) ve taşeron personelin diğer KVB'lere kaydırılmasına ve projeden çıkarılmasına izin vermektedir. Analiz iki fazdan oluşmaktadır.

3.3.2.1.1 Faz-1 Modeli

Faz-1'de incelenen projedeki ekipler merkezi bir yaklaşımla ele alınarak projenin ortalama etkinlik skorunun maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Girdi değerleri için KV'nin belirlediği politikalara göre ilgili kısıtlarda düzenlemeler yapılarak model elde edilmektedir. Bu modelde $TÇ=\{1,2,3,4\}$ alınmaktadır. Uzun Dönemli Senaryo Faz-1 Modeli (M9) modeli aşağıdaki gibidir.

Model M9

$$Max \frac{1}{O} \sum_{o=1}^O \theta_{lo} \quad (9.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} \leq \sum_{j=1}^N x_{gj} \quad g \in T\mathcal{C} \quad (9.2)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} \leq x_{gj} \quad r = 1, \dots, N, g = 1, \dots, G \quad (9.3)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} y_{oj} \geq \theta_{lo} \sum_{r=1}^N y_{or} \quad o = 1, \dots, O \quad (9.4)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} y_{oj} \geq y_{or} \quad r = 1, \dots, N, o = 1, \dots, O \quad (9.5)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} = 1 \quad r = 1, \dots, N \quad (9.6)$$

$$\lambda_{jr} \geq 0 \quad j, r = 1, \dots, N, \theta \text{ serbest} \quad (9.7)$$

Faz-1 modelinde her çıktı değeri için bulunacak θ_{lo} değerleri ortalamasının maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. M9 modeli (9.1) amaç fonksiyonundaki ana fikir çıktı değerinin azalmayacağını garanti ederek hangi girdilerde kaynak fazlalığı olduğunu, hangi girdilerde kaynak ihtiyacı olduğunu bir temele oturmasını sağlamaktır. Faz-1 modeli ile her çıktı için elde edilen θ_{lo} değerleri sabitlenip Faz-2 modelinde kullanılacaktır.

M9 modeli, (9.2) kısıtında her girdi değerini kendi içerisinde ele alıp bütünsel bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Ayrıca yeni elde edilecek toplam girdi değerleri mevcuttaki toplam girdi değerlerinden büyük olamayacak şekilde kısıtlanmıştır. Bir örnek vermek gerekirse, Çizelge 4.1'de yer alan tüm KVB'lerdeki Uzman Yardımcısı sayısı toplamı 26'dır. Bu kısıt yeniden yapılacak insan kaynağı dağıtımındaki Uzman Yardımcısı sayıları toplamının 26 veya 26'dan küçük olmasını garanti eder.

M9 modeli (9.3) kısıtında her KVB'deki girdi değerlerini tek tek ele almaktadır. Bu kısıt ise yeniden yapılacak insan kaynağı dağıtımında ilgili KVB'deki personel sayısında yapılabilecek azalış olup olmayacağını tespiti için modelde yer almaktadır.

M9 modeli (9.4) kısıtında çıktı değerleri toplamıyla ilgilenmektedir. M9 modeli (9.2) kısıtına benzer şekilde burada ise her çıktı değerini kendi içerisinde bütünsel olarak ele almaktadır. θ_{lo} katsayıları yine bu kısıtta yer almaktadır. Yani bu kısıt tüm KVB'lerdeki ilgili çıktı değeri toplamında ne kadarlık bir artış yapılabileceğini MVZA yaklaşımıyla araştırır.

M9 modeli (9.5) kısıtı ise her KVB'deki çıktı değerlerini tek tek ele almaktadır. Yeniden yapılacak insan kaynağı dağıtımını sonrası KVB'lerdeki mevcut çıktı değerlerinin üzerinde yeni çıktı değerlerinin elde edilmesinin teminatını oluşturur.

M9 modeli (9.6) kısıtı çözülen modelin Variable Return to Scale (VRS) olmasını sağlayan konvekslik kısıtıdır. M9 modelindeki λ_{jr} yoğunluk değişkenlerinin belirlenmesinde belirleyici rol oynar.

M9 modeli (9.7) kısıtı λ_{jr} yoğunluk değişkenlerinin sıfır veya sıfırdan büyük olabileceğini tarifler.

3.3.2.1.2 Faz-2 Modeli

Faz-2'de Faz-1'de her çıktı için elde edilen etkinlik skorları kullanılarak ekiplerdeki personel fazlalıkları tespit edilmektedir. Her personel için özel tanımlanmış politikalara göre personelin diğer ekiplere kaydırılması veya projeden çıkarılması merkezi bir yaklaşımla ele alınıp ekiplerde yapılacak aksiyonlar elde edilmektedir. Uzun Dönemli Senaryo Faz-2 Modeli (M10) modeli aşağıdaki gibidir.

Model M10

$$Max \sum_{r=1}^N (s_{gr-}^l - s_{gr+}^l) \quad (10.1)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = \sum_{j=1}^N (x_{gj} + s_{gr+}^l - s_{gr-}^l) \quad g = 1, \dots, G \quad (10.2)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = x_{gj} + s_{gr+}^l - s_{gr-}^l \quad r = 1, \dots, N, \quad g = 1, \dots, G \quad (10.3)$$

$$\sum_{r=1}^N s_{gr+}^l \leq \sum_{r=1}^N s_{gr-}^l \quad g = 1, \dots, G \quad (10.4)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} y_{oj} = \theta_{lo}^* \sum_{r=1}^N y_{or} \quad o = 1, \dots, O \quad (10.5)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} y_{oj} \geq y_{or} \quad r = 1, \dots, N, \quad o = 1, \dots, O \quad (10.6)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} = 1 \quad r = 1, \dots, N \quad (10.7)$$

$$\lambda_{jr} \geq 0 \quad j, r = 1, \dots, N, \quad \theta \text{ serbest} \quad (10.8)$$

Faz-1 modelinde elde edilen θ_{lo} değerleri sabitlenip θ_{lo}^* olarak M10 modeli (10.5) kısıtında yer almaktadır. Faz-2 modelinde belirlenen senaryoya uygun olarak oluşturulmuş kısıtlar ile yeniden insan kaynağı dağıtımı yapılmaktadır. Bu dağıtımda hangi ekibe ilave kaynak gönderileceği ve hangi ekipten kaynak azalımı yapılacağı belirlenmiş olur. M10 modeli (10.1) amaç fonksiyonundaki ana fikir toplam insan kaynağında yapılacak azalış miktarını yani tasarruf miktarını maksimize edilmesidir.

M10 modelinin (10.2) kısıtı M9 modelinin (9.2) eşitsizlik kısıtının eşitlik kısıtına dönüştürülmüş halidir. Bu kısıt yine girdi değerlerinin kendi içerisinde bütünsel olarak ele almayı sağlamaktadır. Kısıtların sol tarafındaki ifadeler birbirini aynısı iken M10 modelinin sağ tarafında ilgili ekiplerin pozitif bolluklarının (s_{gr+}^l) eklenip, negatif bolluklarının (s_{gr-}^l) çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Buradaki pozitif ve negatif bolluklar ilgili KVB'de yapılacak insan kaynağı düzenlemesindeki miktar anlamına gelmektedir.

Yine M9 modeli (9.3) kısıtının eşitlik kısıtına dönüştürülmüş hali olan M10 modeli (10.3) kısıtı, her KVB'deki girdi değerlerini tek tek ele almaktadır. Kısıtların sol tarafındaki ifadeler

birbirini aynısı iken M10 modelinin sağ tarafında ilgili ekibin pozitif bolluğun (s_{gr+}^l) eklenip, negatif bolluğunun (s_{gr-}^l) çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Buradaki pozitif ve negatif bolluklar ilgili KVB’de yapılacak insan kaynağı düzenlemesindeki miktar anlamına gelmektedir.

M10 modelinin (10.4) kısıtı ilgili girdi değerindeki azalış miktarı toplamı yine aynı ekip içerisindeki artış miktarında fazla olmamalı anlamına gelmektedir. Bir örnek vermek gerekirse; Çizelge 4.1’de ikinci kolonda yer alan Uzman girdisinde model çözümü sonrası ekiplerin toplam kaynak ihtiyacı (s_{gr+}^l) değerleri toplamı ekiplerdeki toplam fazlalık (s_{gr-}^l) değerleri toplamından küçük olmalıdır. Çünkü asıl amacımız toplam kaynak tasarruf miktarını maksimize etmektedir. Bu kısıt her girdi türü için ayrı ayrı modelde yer almaktadır.

M10 modeli (10.5) kısıtı M9 modeli (9.4) eşitsizlik kısıtının eşitlik kısıtına dönüştürülmüş halidir. Kısıtların sol tarafındaki ifadeler birbirini aynısı iken M10 modelinin sağ tarafındaki θ_{lo}^* değeri Faz-1 modelinden gelen sabit katsayıdır. Bu kısıt her çıktı değeri için elde edilebilecek toplam maksimum çıktı miktarını vermektedir.

M10 modeli (10.6) kısıtı M9 modeli (9.5) kısıtı ile birebir aynıdır. Yine bu kısıtın amacı; yeniden yapılacak insan kaynağı dağıtımını sonrası KVB’lerdeki mevcut çıktı değerlerinin üzerinde yeni çıktı değerlerinin elde edilmesinin teminatını oluşturmaktır.

M10 modeli (10.7) kısıtı çözülen modelin Variable Return to Scale (VRS) olmasını sağlayan konvekslik kısıtıdır.

M10 modeli (10.8) kısıtı λ_{jr} yoğunluk değişkenlerinin sıfır veya sıfırdan büyük olabileceğini tarifler.

3.3.2.2 Orta Dönemli Senaryo

Orta dönemli senaryo esas olarak Uzman Yardımcısı ve Taşeron personelin projeden çıkarılmasına izin verirken; tüm kadrolu (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef) ve taşeron personelin diğer KVB'lere kaydırılmasına olanak tanır. Orta dönemli senaryoda analiz yapılırken de iki faz söz konusudur.

3.3.2.2.1 Faz-1 Modeli

Faz-1'de incelenen projedeki ekipler merkezi bir yaklaşımla ele alınarak projenin ortalama etkinlik skorunun maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Girdi değerleri için KV'nin belirlediği politikalara göre ilgili kısıtlarda düzenlemeler yapılarak model elde edilmektedir. Bu modelde $TÇ=\{1,4\}$ ve $T=\{2,3\}$ alınmaktadır. Orta Dönemli Senaryo Faz-1 Modeli; Uzun Dönemli Senaryo Faz-1 Modeli (M9) modeliyle yapı olarak benzerdir. Farklılaşma noktaları aşağıda özetlenmiştir. Diğer tüm kısıtlar uzun dönemli senaryo ile birebir aynıdır.

- Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\text{Max} \frac{1}{0} \sum_{o=1}^{n_o} \theta_{mo} \quad (11.1)$$

- $TÇ=\{1,4\}$ ve $T=\{2,3\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (9.2) kısıtının ikiye bölünmesi gerekmektedir. Yeni kısıtlar şu şekilde olacaktır:

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} \leq \sum_{j=1}^N x_{gj} \quad g \in TÇ \quad (11.2)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = \sum_{j=1}^N x_{gj} \quad g \in T \quad (11.3)$$

3.3.2.2.2 Faz-2 Modeli

Faz-2'de Faz-1'de her çıktı için elde edilen etkinlik skorları kullanılarak ekiplerdeki personel fazlalıkları tespit edilmektedir. Her personel için özel tanımlanmış politikalara göre personelin diğer ekiplere kaydırılması veya projeden çıkarılması merkezi bir yaklaşımla ele alınıp ekiplerde yapılacak aksiyonlar elde edilmektedir. Bu modelde $TÇ=\{1,4\}$ ve $T=\{2,3\}$ alınmaktadır. Orta Dönemli Senaryo Faz-2 Modeli; Uzun Dönemli Senaryo Faz-2 Modeli (M10) modeliyle yapı olarak benzetilmektedir. Farklılaşma noktaları aşağıda özetlenmiştir. Diğer tüm kısıtlar uzun dönemli senaryo ile birebir aynıdır.

- Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\text{Max} \sum_{r=1}^N (s_{1r-}^m - s_{1r+}^m) + (s_{4r-}^m - s_{4r+}^m) \quad (12.1)$$

- $TÇ=\{1, 4\}$ ve $T=\{2,3\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (10.4) kısıtı $TÇ$ ve T kümeleri için ayrı ayrı yazılmıştır.

$$\sum_{r=1}^N s_{gr+}^m \leq \sum_{r=1}^N s_{gr-}^m \quad g \in TÇ \quad (12.2)$$

$$\sum_{r=1}^N s_{gr+}^m = \sum_{r=1}^N s_{gr-}^m \quad g \in T \quad (12.3)$$

3.3.2.3 Kısa Dönemli Senaryo

Kısa dönemli senaryo ile ekiplerdeki insan kaynağının yeniden dağıtımında şu hususlar yer almaktadır; Taşeron personelin diğer ekiplere (KVB) kaydırılmasına ve projeden çıkarılmasına izin verilirken, Uzman Yardımcısı personelin sadece diğer ekiplere (KVB) kaydırılmasına izin verilmektedir. Uzman ve şef personel kaynaklarında bir değişiklik yapılmayacaktır.

3.3.2.3.1 Faz-1 Modeli

Faz-1’de incelenen projedeki ekipler merkezi bir yaklaşımla ele alınarak projenin ortalama etkinlik skorunun maksimize edilmesini amaçlamaktadır. Girdi değerleri için KV’nin belirlediği politikalara göre ilgili kısıtlarda düzenlemeler yapılarak model elde edilmektedir. Bu modelde $TÇ=\{4\}$ ve $T=\{1\}$ alınmaktadır. Kısa Dönemli Senaryo Faz-1 Modeli; Uzun Dönemli Senaryo Faz-1 Modeli (M9) modeliyle yapı olarak benzetilmektedir. Farklılaşma noktaları aşağıda özetlenmiştir. Diğer tüm kısıtlar uzun dönemli senaryo ile birebir aynıdır.

- Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$Max \frac{1}{O} \sum_{o=1}^{n_o} \theta_{so} \quad (13.1)$$

- $T=\{1\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (9.2) kısıtı eşitlik kısıtına dönüştürülerek sadece T kümesi için yazılmıştır.

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = \sum_{j=1}^N x_{gj} \quad g \in T \quad (13.2)$$

- $TÇ=\{4\}$ ve $T=\{1\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (9.3) kısıtı $TÇ$ ve T kümeleri için ayrı ve geriye kalan diğer eleman kümesi için ayrı yazılmıştır.

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} \leq x_{gj} \quad g \in \{TÇ \cup T\} \quad (13.3)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = x_{gj} \quad g \in G \setminus \{TÇ \cup T\} \quad (13.4)$$

3.3.2.3.2 Faz-2 Modeli

Faz-2’de Faz-1’de her çıktı için elde edilen etkinlik skorları kullanılarak ekiplerdeki personel fazlalıkları tespit edilmektedir. Her personel için özel tanımlanmış politikalara göre personelin

diğer ekiplere kaydırılması veya projeden çıkarılması merkezi bir yaklaşımla ele alınıp ekiplerde yapılacak aksiyonlar elde edilmektedir. Bu modelde $TÇ=\{4\}$ ve $T=\{1\}$ alınmaktadır. Kısa Dönemli Senaryo Faz-2 Modeli; Uzun Dönemli Senaryo Faz-2 Modeli (M10) modeliyle yapı olarak benzemektedir. Farklılaşma noktaları aşağıda özetlenmiştir. Diğer tüm kısıtlar uzun dönemli senaryo ile birebir aynıdır.

- Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$Max \sum_{r=1}^N (s_{4r-}^s - s_{4r+}^s) \quad (14.1)$$

- $T=\{1\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (10.2) kısıtı sadece T kümesi için yazılmıştır.

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{jr} x_{gj} = \sum_{j=1}^N (x_{gj} + s_{gr+}^s - s_{gr-}^s) \quad g \in T \quad (14.2)$$

- $TÇ=\{4\}$ ve $T=\{1\}$ olduğu için uzun dönemli senaryodaki (10.4) kısıtı $TÇ$ ve T kümeleri için ayrı ayrı yazılmıştır.

$$\sum_{r=1}^N s_{gr+}^s \leq \sum_{r=1}^N s_{gr-}^s \quad g \in TÇ \quad (14.3)$$

$$\sum_{r=1}^N s_{gr+}^s = \sum_{r=1}^N s_{gr-}^s \quad g \in T \quad (14.4)$$

4. UYGULAMA

4.2.Çalışılacak Proje Verileri

Bu tez kapsamında bir teknoloji firmasında yürütülmekte olan araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerçekleştiren bir proje ele alınacaktır.

Sadeghia ve ark. [27], MVZA yaklaşımı ile kaynak dağıtımını yapılabilmesi için incelenecek KVB'lerin benzer girdiler ve çıktılardan oluşması gerektiğini belirtmiştir. Bu projedeki işler benzer işleri gerçekleştiren ekipler tarafından yapılmaktadır. Ekiplerin girdi değerleri işgücü olarak ele alınacak olup çıktı değerleri için ise ekiplerin performansları hakkında fikir verebilecek parametreler seçilmiştir. Yani KVB'ler MVZA için benzer girdi ve benzer çıktı şartını sağlamaktadır.

4.2.1. Girdi Değerleri (Ekip ve Personel Bilgileri)

Gerçekleştirilecek uygulamada projede çalışan personeller girdi değeri olarak ele alınacaktır. Toplamda 10 ekip bulunmaktadır. Ekiplerde çalışan personel projenin tasarım, entegrasyon, test ve doğrulama gibi faaliyetlerini yürütmektedir. Projede çalışan kadrolu personeller tecrübe seviyelerine göre üçe ayrılmıştır. Bunlar Uzman Yardımcısı, Uzman ve Şef'dir. Kadrolu personele ek olarak projenin gidişatına göre artan işgücü talebinin karşılanması amacıyla başvurulmuş taşeron personeldir. Ekiplerde yer alan personel tipi ve sayıları aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Ekip ve Personel Bilgileri

Ekip	Uzman Yardımcısı	Uzman	Şef	Taşeron
1	2	0	2	2
2	5	4	0	3
3	2	1	0	2
4	2	0	2	2
5	5	5	4	6
6	3	0	1	6

7	0	2	2	4
8	4	4	0	0
9	2	0	1	1
10	1	2	1	2
TOPLAM	26	18	13	28

4.2.2. Çıktı Değerleri

MVZA yaklaşımı ile etkinlik skoru incelemesi yapabilmenin şartlarından bir diğeri KVB'lerin benzer çıktı değerlerine sahip olmasıdır. İncelenecek projedeki ekiplerin performanslarını ifade edecek üç farklı çıktı değeri kullanılmasına karar verilmiştir. Bunlar;

- ✓ Takvime uyum performansını gösteren SPI (Schedule Performance Index),
- ✓ Ekiplerin yaptıkları işin tüm proje içerisindeki payını gösteren İş Yüzdesi,
- ✓ Ekiplerin yaptıkların işin niteliğini gösteren İş Skoru, çıktı değerleridir.

4.2.2.1.SPI (Schedule Performance Index)

Şirket bünyesinde yürütülen bu projenin; proje planlarının oluşturulması, kaynakların görevlere atanması, işlerin takibi, iş yükü analizleri ve bütçe takibi için bir proje yönetimi aracı (yazılımı) kullanılmaktadır. Bu araçta her KVB için gerçekleştirilen aktivitelerin yer aldığı iş paketleri mevcuttur. Proje yönetimi aracı gerçekleşen takvim verilerini sahip olduğu algoritma sayesinde analiz edip SPI skorunu elde edebilmektedir. İncelenen şirketteki KVB'lerin 2020 yılı gerçekleşen SPI skorları bu proje yönetim aracından alınıp önerilen MVZA'da kullanılacaktır.

Proje yönetim aracı tarafından algoritma ile hesaplanan SPI skor değerinin formülü (15.1) aşağıdaki gibidir.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (15.1)$$

Bu hesaplama için ihtiyaç duyulan veriler ve tanımlamaları ise aşağıdaki gibidir [26].

Planlanan Değer (PV): Proje takviminde herhangi bir tarihe kadar planlanmış tüm işlerin toplam bütçesidir. Planlanmış işin bütçelenmiş toplam maliyeti anlamına gelmektedir.

Kazanılmış Değer (EV): Herhangi bir anında gerçekleşen ilerleme karşısında olması beklenen değerdir. Yapılan işin gerçekleşen maliyeti anlamına gelmektedir.

Lipke ve ark. [29], SPI skoru 0 ile 1 arasında olabilmektedir. Bu aralıkta oluşan SPI skoru farklı anlamlara gelmektedir. SPI skoruna göre proje takviminin durumu aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- ✓ SPI >1: Proje planlanan programın ilerisindedir. Beklenenden daha fazla iş tamamlanmıştır.
- ✓ SPI <1: Proje planlanan programın gerisindedir. Planlanandan daha az iş yapılmıştır.
- ✓ SPI = 1: Proje planlanan programa uygun ilerlemiştir. Kazanılan değer ve planlanan değer birbirine eşittir.

Ekiplerin 2020 yılı gerçekleşen SPI skorları aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.2 SPI Verisi

Ekip	SPI
1	0,72
2	0,77
3	0,89
4	0,82
5	0,61
6	0,84
7	0,91

8	0,77
9	0,86
10	0,70

Yukarıda Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere MVZA ile incelenecek projedeki tüm ekiplerin SPI değeri 1’den küçüktür. Yani planlanan proje takviminin gerisinde kalınmıştır. Örnek vermek gerekirse; 7.ekibin SPI değeri 0,91 ile 1’e en yakın olanıdır. Planlanan takvime göre sapma değeri en düşük olan ekiptir. 5.ekip ise 0,61 SPI skoru ile planlanan takvime göre sapması en yüksek olan ekiptir.

4.2.2.2.İş Yüzdeleri

İş yüzdesi çıktı değeri ekiplerin sorumluluğundaki işleri yerine getirmek amacıyla sarf ettikleri çalışma saatinin proje için diğer tüm KVB’lerin sarf ettiği çalışma saati toplamına oranı olarak tanımlanmaktadır. İncelenen şirketteki KVB’lerin 2020 yılı gerçekleşen toplam çalışma saatleri kullanılmıştır.

İş Yüzdeleri çıktı değerinin hesabı için her KVB’deki tüm personelin çalışma saatleri toplamının 2020 yılı içerisinde projede çalışan tüm personelin çalışma saati toplamına bölünmesiyle elde edilir. Toplam 10 KVB için İş Yüzde’leri toplamı 100 olacaktır. Gerekli hesaplamalar (15.2) formülü kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{İş Yüzdeleri} = \frac{\text{KVB'deki Toplam Çalışma Saati}}{\text{Toplam Çalışma Saati}} \quad (15.2)$$

Ekiplerin 2020 yılı gerçekleşen çalışma saatlerine istinaden hesaplanan İş Yüzdeleri değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 4.3 İş Yüzdeleri Verisi

Ekip	İş Yüzdeleri
------	--------------

1	6,88
2	9,56
3	7,14
4	7,82
5	21,21
6	11,41
7	8,33
8	15,57
9	4,85
10	7,22

Yukarıda Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere ekiplerin proje içerisindeki iş yüzdeleri verilmiştir. Yürütülen projedeki en büyük iş payı %21,21 ile 5.ekibe aittir. Onu %15,5 ile 8.ekip takip etmektedir. Proje içerisindeki iş payı en düşük ekip ise %4,85 ile 9.ekiptir.

4.2.2.3.İş Skoru

Projede ekiplerin yaptıkları işler birbirinden farklıdır. İşlerin niteliğinin doğru bir şekilde ifade edilebilmesi için uzman görüşüne başvurulmasına karar verilmiştir. Bunun için tüm KVB'lerin yaptığı işler üzerine fikir sahibi olan Teknik Proje Yöneticisi'nden görüş alınmıştır.

Öncelikle ekiplerin yaptıkları işleri en doğru nitelendirebilecek alt kriterler belirlenmiştir. Bunlar “İş Karmaşıklığı”, “Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi” ve “Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi”dir. Bu üç kriter için tanımlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ İş Karmaşıklığı: Yapılan işin kaç alt iş paketinden oluştuğudur. Ayrıca alt iş paketlerinin birbirine bağımlılığı da iş karmaşıklığını etkilemektedir.
- ✓ Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi: İlgili ekipte yapılan işin nihai ürün üzerinde nasıl bir kritikliğe sahip olduğunu tanımlar. Örneğin bir ekibin yaptığı işin hatalı olması nihai ürünün emniyet seviyesini nasıl etkiler. Ya da hatalı iş maddi açıdan ne düzeyde zarara sebep olabilir.

- ✓ Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi: Ekiplerde yapılan işin ilgili alanda uzmanlaşmış spesifik personele ne düzeyde ihtiyaç duyulduğunu tanımlamaktadır.

Proje ekiplerinin yukarıda belirtilen alt kriterler bakımından değerlendirilmesi Teknik Proje Yöneticisi tarafından yapılmıştır. Bu değerlendirme 1 (en düşük) ve 10 (en yüksek) arasında puanlanarak yapılmıştır.

Belirlenen alt kriterler ve Teknik Proje Yöneticisi'nin bu kriterlere vermiş olduğu puanlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.4 Teknik Proje Yöneticisi Anketi

Ekip	İş Karmaşıklığı	Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi	Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi
1	6	3	3
2	5	7	8
3	1	6	2
4	2	5	5
5	10	9	10
6	10	10	5
7	10	6	8
8	2	3	5
9	4	6	8
10	6	8	10

Teknik Proje Yöneticisi anketi ile elde edilen verilerin tek potada eritilip her KVB için bir İş Skoru çıktı değeri elde edilmesi amacıyla yukarıda verilen alt kriterler için ağırlıkların belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Literatüre bakıldığında bu konuda çok farklı ağırlık belirleme metotları olduğu görülmüştür.

Sıralama bazlı ağırlık belirleme yöntemleri ağırlıkların belirlenmesinde en çok başvurulan metotlar arasındadır [30]. Kesin olmayan kriter ağırlıklarının belirlendiği durumda karar

vericiye yol gösterici olabilecek metotlar geliştirilmiştir. Sıralama bazlı ağırlık belirleme metotları arasında Rank Order Centroid (ROC) metodu ağırlıklarının en yüksek performansı sağladığı tartışılmıştır [31].

Bu tez kapsamında yukarıda Teknik Proje Yöneticisi anketi ile elde edilen puanların sentezlenmesi için ihtiyaç duyulan kriter ağırlıkları ROC yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntem ile ağırlık hesaplama formülü aşağıdaki (15.3)'de verilmiştir.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \quad (15.3)$$

i, j : Alt kriter indeksleri, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

n : Alt kriter sayısı, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

w_i : i . alt kriterin ağırlık değeri

Yukarıda belirtilen formül kullanılarak 3 alt kriter değeri için ağırlık değerleri hesaplanacaktır. Bu hesaplama için Teknik Proje Yöneticisi'nden alt kriterleri önem seviyesine göre sıralaması istenmiştir. Teknik Proje Yöneticisi kendisi için en önemli kriterin "Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi" olduğunu belirtmiştir. Bu kriteri "İşin Karmaşıklığı" ve "Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi" takip etmektedir. Teknik Proje Yöneticisi görüşüne başvurularak ROC metodu ile 3 alt kriter için hesaplanan ağırlıklar Çizelge 4.5'teki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.5 İş Skoru için ROC Ağırlıkları

	İş Karmaşıklığı	Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi	Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi	TOPLAM
ROC Ağırlıkları	0,278	0,611	0,111	1,000

ROC metodu ile elde edilen ağırlıklar Çizelge 4.4'te yer alan Teknik Proje Yönetici anket sonuçlarıyla ağırlıklı çarpım yapıp ekipler için nihai "İş Skoru" çıktı değerleri Çizelge 4.6'daki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.6 İş Skoru Değerlendirme Sonuçları

Ekip	İş Skoru
1	3,83
2	6,56
3	4,17
4	4,17
5	9,39
6	9,44
7	7,33
8	2,94
9	5,67
10	7,67

4.3.Uygulama Sonuçları ve Değerlendirme

Bu bölümde tez kapsamında incelenecek firmadaki ekiplerin çözülecek modeller için yapılan tüm uygulamalar ve sonuçlarına yer verilmiştir. VZA modelleri "IBM ILOG CPLEX Optimization Studio" programında kodlanarak çözülmüştür.

4.3.1. Klasik VZA sonuçları

İncelenecek projedeki KVB'lerin etkinlik skorları öncelikle klasik VZA ile çözülmüştür. Buradaki amaç mevcut durumda ekiplerin etkinlikleri hakkında bilgi sahibi olmak ve genel çerçeveyi görmektir. Ön analiz niteliğinde olacak olan bu model çözümleri için girdi yönlü CCR modeli yaklaşımına başvurulmuştur.

Mevcut durumda ekiplerin etkinlik skorları girdi yönlü CCR modeli ile çözülmüş ve elde edilen ekip etkinlik skorları Çizelge 4.7'de yer almaktadır.

Çizelge 4.7 Klasik VZA ile Etkinlik Skorları

Ekip	Etkinlik Skoru
1	0,896
2	0,849
3	1,000
4	1,000
5	0,762
6	1,000
7	1,000
8	1,000
9	1,000
10	1,000

Etkinlik skoru 1 ise o KVB etkindir. Eğer etkinlik skoru 1'den düşükse o KVB etkin değildir [3]. Yapılan CCR analizi sonrası ekiplerin çoğunun etkin olduğu görülmüştür. Ancak etkinlik skoru 1'den düşük olan 1., 2. ve 5. ekipler etkin değildir. Klasik VZA yaklaşımı bu ekiplerdeki mevcut girdilere rağmen istenen çıktının elde edilemediğini raporlamaktadır. Örneğin Çizelge 4.1'e göre 5.ekipte çalışan toplam 20 personel beklenenden daha düşük SPI, İş Yüzdesi ve İş Skoru çıktı değerleri üretmiştir. Bir başka örnek vermek gerekirse 1. ve 4. ekipler tamamen aynı sayıda ve uzmanlıkta personele sahip iken 4. ekip etkin, 1. ekip etkin değildir. Bunun sebebi 1. ekibin aynı girdileri kullanıp daha düşük SPI ve İş yüzdesi çıktı değerine sahip olmasıdır. İş skoru değerinde 1. ekip daha yüksek olmasına rağmen etkin olamamıştır.

4.3.2. Merkezi VZA ile Kaynak Dağıtım modeli sonuçları

Bölüm 3.3'te yer alan önerilen Merkezi VZA modelleri kısa, orta ve uzun dönemli senaryolar için çözülmüştür. Bu modeller KV'nin tercih edeceği senaryolara göre farklılık göstermektedir. Toplam etkinlik skorunun artırılması için incelenen şirketteki ekiplerin personelinin yeniden dağıtımı için alınacak aksiyonlar elde edilmiştir.

4.3.2.1.Uzun Dönemli Senaryo

Uzun dönemli senaryoda tüm kadrolu (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef) ve taşeron personelin diğer KVB'lere kaydırılmasına ve projeden çıkarılmasına izin verilmektedir. Uzun dönemli senaryo modeli iki fazdan oluşmaktadır. Faz-1 modelinde amaç her çıktı değeri için bulunacak uzun dönemli senaryo çıktı etkinlik skoru (θ_{lo}) değerleri ortalamasının maksimize edilmesidir.

Çözülen uzun dönemli senaryo Faz-1 modeli sonrası elde edilen θ_{lo} değerleri Çizelge 4.8'deki gibidir.

Çizelge 4.8 Uzun Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{lo} Değerleri

θ_{l1}	θ_{l2}	θ_{l3}	ORTALAMA
1,0127	1,0094	1,0054	1,0092

Faz-1'de elde edilen θ_{lo} değerleri sabitlenerek (θ_{lo}^*) Faz-2 modeline geçilmiştir. Faz-2 modelinde KVB'lerdeki mevcut personeller toplam etkinlik skorunun maksimize edilmesi amacıyla belirlenen senaryoya uygun olarak yeniden dağıtılmıştır.

Önerilen modeldeki uzun dönemli senaryoya göre kaynakların yeniden dağıtımı Çizelge 4.9'daki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.9 Uzun Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı

Ekip	Uzman Yardımcısı		Uzman		Şef		Taşeron	
	s_{1r+}^l	s_{1r-}^l	s_{2r+}^l	s_{2r-}^l	s_{3r+}^l	s_{3r-}^l	s_{4r+}^l	s_{4r-}^l
1	0	0	0,43	0	0	0,86	0	0
2	0	2,75	0	2,25	0,77	0	0	0,88
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,55	0	1,47	0	0	1,65	0	0,90
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	0,55	2,75	1,90	2,25	0,77	2,51	0	1,78

Önerilen Uzun Dönemli MVZA modeli sonrası KV'nin alması gereken aksiyonlar aşağıdaki maddeler ile raporlanmıştır.

- 4. ekibin 0,55 adamlık Uzman Yardımcısı personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 2. ekipte 2,75 adamlık Uzman Yardımcısı personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık öncelikli olarak 4. ekibe 0,55 adamlık işgücü transfer edilerek değerlendirilir. 2. ekipte geriye kalan 2,2 adamlık Uzman Yardımcısı personel işgücü projeden çıkarılmalıdır.
- 1. ekibin 0,43 adamlık Uzman personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 4. ekibin 1,47 adamlık Uzman personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 2. ekipte 2,25 adamlık Uzman personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık öncelikli olarak 1. ekibe 0,43 adamlık ve 4. ekibe 1,47 adamlık işgücü transfer edilerek değerlendirilir. 2. ekipte geriye kalan 0,35 adamlık Uzman personel işgücü projeden çıkarılmalıdır.
- 2. ekibin 0,77 adamlık Şef personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 1. ekipte 0,86 adamlık ve 4. ekipte 1,65 adamlık Şef personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık öncelikli olarak 2. ekibe 0,77 adamlık Şef personel transfer edilerek değerlendirilir. 1. ve 4. ekipten geriye kalan toplam 1,74 adamlık Şef personel işgücü projeden çıkarılmalıdır.
- Ekiplerin hiçbirinde Taşeron personel ihtiyacı bulunmamaktadır.
- 2. ekipte 0,88 adamlık ve 4. ekipte 0,90 adamlık Taşeron personel fazlalığı bulunmaktadır. Diğer ekiplerin Taşeron personel ihtiyacı bulunmadığı için fazlalık olan toplam 1,78 adamlık Taşeron personel işgücü projeden çıkarılmalıdır. Diğer bir deyişle yıllık olarak kontratları yapılan Taşeron personeller için bir sonraki yıl için fazlalık olan 1,78 adam miktarı düşülerek yeni kontrat yapılması değerlendirilebilir.

Çözölmüş uzun dönemli senaryo modeli sonrası insan kaynaklarının yeniden dağıtımı yapılarak, transfer edilebilecek personel ihtiyaçları sonrası, toplam “6,07” personellik kazanç sağlanabileceği raporlanmıştır.

4.3.2.2.Orta Dönemli Senaryo

Orta dönemli senaryoda Uzman Yardımcısı ve Taşeron personelin projeden çıkarılmasına izin verilirken kadrolu (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef) ve taşeron tüm personellerin diğer KVB'lere kaydırılmasına izin verilmektedir. Orta dönemli senaryo modeli iki fazdan oluşmaktadır. Faz-1 modelinde amaç her çıktı değeri için bulunacak orta dönemli senaryo çıktı etkinlik skoru (θ_{mo}) değerleri ortalamasının maksimize edilmesidir.

Çözölen orta dönemli senaryo Faz-1 modeli sonrası elde edilen θ_{mo} değerleri Çizelge 4.10'daki gibidir.

Çizelge 4.10 Orta Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{mo} Değerleri

θ_{m1}	θ_{m2}	θ_{m3}	ORTALAMA
1,0127	1,0094	1,0054	1,0092

Faz-1'de elde edilen θ_{mo} değerleri sabitlenerek (θ_{mo}^*) Faz-2 modeline geçilmiştir. Faz-2 modelinde KVB'lerdeki mevcut personeller toplam etkinlik skorunun maksimize edilmesi amacıyla belirlenen senaryoya uygun olarak yeniden dağıtılmıştır.

Önerilen modeldeki orta dönemli senaryoya göre kaynakların yeniden dağıtımı Çizelge 4.11'deki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.11 Orta Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı

Uzman Yardımcısı	Uzman	Şef	Taşeron
------------------	-------	-----	---------

Ekip	S_{1r+}^m	S_{1r-}^m	S_{2r+}^m	S_{2r-}^m	S_{3r+}^m	S_{3r-}^m	S_{4r+}^m	S_{4r-}^m
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	4,17	0	1,63	1,54	0	0,08	0
3	0	0,06	0,03	0	0,06	0	0,05	0
4	0,23	0	1,51	0	0	1,63	0	0,35
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,08	0,09	0	0,03	0	0,11	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	0,23	4,31	1,63	1,63	1,63	1,63	0,24	0,35

Önerilen Orta Dönemli MVZA modeli sonrası KV'nin alması gereken aksiyonlar aşağıdaki maddeler ile raporlanmıştır.

- 4. ekibin 0,23 adamlık Uzman Yardımcısı personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 2. ekipte 4,17 adamlık, 3. ekibin 0,06 ve 9. ekibin 0,08 adamlık Uzman Yardımcısı personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık öncelikli olarak 4. ekibe 0,23 adamlık işgücü transfer edilerek değerlendirilir. Geriye kalan toplam 4,08 adamlık Uzman Yardımcısı personel işgücü projeden çıkarılmalıdır.
- 3. ekibin 0,03 adamlık Uzman personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 4. ekibin 1,51 adamlık Uzman personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 9. ekibin 0,09 adamlık Uzman personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 2. ekipte 1,63 adamlık Uzman personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık 3. ekibe 0,03 adamlık, 4. ekibe 1,51 adamlık ve 9. ekibe 0,09 adamlık işgücü transfer edilerek tamamen kullanılır. Orta dönemli senaryoda Uzman personelin projeden çıkışına izin verilmediği için fazlalık olan Uzman işgücü diğer ekiplere transfer edilerek değerlendirilir.
- 2. ekibin 1,54 adamlık Şef personel ihtiyacı bulunmaktadır.

- 3. ekibin 0,06 adamlık Şef personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 9. ekibin 0,03 adamlık Şef personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 4. ekipte 1,63 adamlık Şef personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık 2. ekibe 1,54 adamlık, 3. ekibe 0,06 adamlık ve 9. ekibe 0,03 adamlık işgücü transfer edilerek tamamen kullanılır. Orta dönemli senaryoda Şef personelin projeden çıkışına izin verilmediği için fazlalık olan Şef işgücü diğer ekiplere transfer edilerek değerlendirilir.
- 2. ekibin 0,08 adamlık Taşeron personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 3. ekibin 0,05 adamlık Taşeron personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 9. ekibin 0,11 adamlık Taşeron personel ihtiyacı bulunmaktadır.
- 4. ekipte 0,35 adamlık Taşeron personel fazlalığı bulunmaktadır. Bu fazlalık öncelikli olarak 2. ekibe 0,08 adamlık, 3. ekibe 0,05 adamlık ve 9. ekibe 0,11 adamlık Taşeron personel transfer edilerek değerlendirilir. Geriye kalan 0,11 adamlık Taşeron personel işgücü projeden çıkarılmalıdır. Diğer bir deyişle yıllık olarak kontratları yapılan Taşeron personel için bir sonraki yıl için fazlalık olan 0,11 adam miktarı düşülerek yeni kontrat yapılması değerlendirilebilir.

Çözülmüş orta dönemli senaryo modeli sonrası insan kaynaklarının yeniden dağıtımı yapılarak, transfer edilebilecek personel ihtiyaçları sonrası, toplam “4,19” personellik kazanç sağlanabileceği raporlanmıştır.

Uzun dönemli senaryoda “6,07” personellik kazanç sağlanıyorken orta dönemli senaryoda “4,19” personellik kazanç sağlanabilmektedir. Bunun sebebi orta dönemli senaryoda Uzman ve Şef personelin projeden çıkışına izin verilmeyerek modele daha kısıtlı hareket imkanı verilmiş olmasıdır.

4.3.2.3.Kısa Dönemli Senaryo

Kısa dönemli senaryoda Taşeron personelin diğer ekiplere (KVB) kaydırılmasına ve projeden çıkarılmasına izin verilirken Uzman Yardımcısı personelin diğer KVB'lere kaydırılmasına izin verilmektedir. Kısa dönemli senaryo modeli iki fazdan oluşmaktadır. Faz-1 modelinde

amaç her çıktı değeri için bulunacak kısa dönemli senaryo çıktı etkinlik skoru (θ_{so}) değerleri ortalamasının maksimize edilmesidir.

Çözülen orta dönemli senaryo Faz-1 modeli sonrası elde edilen θ_{so} değerleri Çizelge 4.12'deki gibidir.

Çizelge 4.12 Kısa Dönemli Senaryo Faz-1 θ_{so} Değerleri

θ_{s1}	θ_{s2}	θ_{s3}	ORTALAMA
1,00	1,00	1,00	1,00

Faz-1'de elde edilen θ_{so} değerleri sabitlenerek (θ_{so}^*) Faz-2 modeline geçilmiştir. Faz-2 modelinde KVB'lerdeki mevcut personeller toplam etkinlik skorunun maksimize edilmesi amacıyla belirlenen senaryoya uygun olarak yeniden dağıtılmıştır.

Önerilen modeldeki kısa dönemli senaryoya göre kaynakların yeniden dağıtımı Çizelge 4.13'deki gibi olmaktadır.

Çizelge 4.13 Kısa Dönemli Senaryo Faz-2 Kaynakların Yeniden Dağıtımı

Ekip	Uzman Yardımcısı		Uzman		Şef		Taşeron	
	s_{1r+}^s	s_{1r-}^s	s_{2r+}^s	s_{2r-}^s	s_{3r+}^s	s_{3r-}^s	s_{4r+}^s	s_{4r-}^s
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0

10	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	0	0	0	0	0	0	0	0

Kısa dönemli senaryoda KV Taşeron personelin diğer ekiplere (KVB) kaydırılmasına ve projeden çıkarılmasına izin verip Uzman Yardımcısı personelin diğer KVB'lere kaydırılmasına izin verilmiştir. Ancak görüldüğü üzere kısa dönemli senaryoda çok kısıtlı hareket imkanı tanınmıştır. Bu kısıtlı senaryo için model daha iyi bir insan kaynağı dağıtımını çözümü bulamamıştır. Çözülen kısa dönemli senaryo modelinde herhangi bir personel kazancı olmadığı görülmüştür. Yani kısa dönemli senaryoda KV'nin ekiplerin personel sayılarında değişiklik yapmasına gerek olmadığı raporlanmaktadır.

Önerilen kısa dönemli senaryo modelinin yeniden insan kaynağı dağıtımını yapıp yapamadığını görebilmek adına girdi ve çıktı sayıları büyük ölçüde azaltılarak daha az sayıda KVB için model çözülmüştür. Çözülen bu küçük problem ile Taşeron ve Uzman Yardımcısı kaynaklarının transfer edildiği ve projeden çıkarıldığı aksiyonlar ile çözüm elde edilmiştir.

4.3.3. Kaynakların Tam Sayılı Varsayılması Durumundaki Sonuçlar

Önerilen MVZA modelleri literatürden farklılaşarak kesirli çözülmüştür. Yani bir personel çalışma saatinin bir kısmını bir ekipte kalan kısmını başka ekipte çalışarak geçirebilmektedir. Personelin yeniden dağıtımının tam sayılı olarak yapılması durumunda daha düşük personel kazancı sağlanabileceği öngörülmüştür. Bunu görebilmek adına önerilen kısa, orta ve uzun dönemli senaryolardaki kadrolu (Uzman Yardımcısı, Uzman, Şef) ve taşeron tüm personel girdi değerleri tam sayılı olacak şekilde kısıtlanıp modeller çözülmüştür.

Tez kapsamında önerilen modellerin (girdi değerleri kesirli olabilen) ve tam sayılı olarak çözülen kısa, orta ve uzun dönemli senaryolar sonrası elde edilen personel kazanç miktarları girdi değerleri Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Kesirli - Tam Sayılı Girdi Kaynak Kazancı Kıyası

	Uzun Dönemli Senaryo	Orta Dönemli Senaryo	Kısa Dönemli Senaryo
--	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Kesirli	6,07	4,19	0,00
Tam Sayılı	4	2	0

Yukarıdaki değerlerin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

- Girdi değerlerinin kesirli olabileceği Uzun dönemli senaryodaki kaynak kazanç miktarı 6,07 iken bu modeldeki girdi değerleri tam sayılı olarak kısıtlanırsa kaynak kazanç miktarı 4'e düşmüştür.
- Girdi değerlerinin kesirli olabileceği Orta dönemli senaryodaki kaynak kazanç miktarı 4,19 iken bu modeldeki girdi değerleri tam sayılı olarak kısıtlanırsa kaynak kazanç miktarı 2'ye düşmüştür.
- Girdi değerlerinin kesirli veya tam sayılı olduğu iki durum için de kaynak kazancı olmadığı görülmüştür.

4.3.4. İş Skoru Çıktı Değeri için Ağırlıklarda Duyarlılık Analizi

İş skoru çıktı değerinin bulunabilmesi için Teknik Proje Yöneticisi ile anket yapıp KVB'lerin yaptıkları işleri nitelendiren anket Bölüm 4.2.2.3'te anlatılmıştır. Elde edilen anket verilerinden "İş Skoru" çıktı değerine ulaşabilmek için literatürden sıralama bazlı ağırlık belirleme metotlarına başvurulmuştur.

Sıralama bazlı ağırlık belirleme metotlarından Rank Sum (RS), Rank Reciprocal (RR) ve ROC yöntemleriyle alt kriter ağırlıkları bulunmuştur. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için Teknik Proje Yöneticisi'nden alt kriterleri önem seviyesine göre sıralaması talep edilmiş ve alt kriterler önem seviyesine göre sırasıyla şu şekilde sıralanmıştır; Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi, İşin Karmaşıklığı, Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi.

ROC yöntemi ile ağırlık hesaplama formülü (15.3)'de verilmiştir. Diğer sıralama bazlı ağırlık belirleme metotları olan RS'nin formülü (16.1)'deki ve RR'nin formülü (16.2)'deki gibidir [30].

$$w_i = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)} \quad (16.1)$$

$$w_i = \frac{\frac{1}{i}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{j}} \quad (16.2)$$

i, j : Alt kriter indeksleri, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

n : Alt kriter sayısı, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

w_i : i . alt kriterin ağırlık değeri

Teknik Proje Yöneticisi'nin anketindeki 3 alt kriterin öncelik sıralaması bilgisi alındıktan sonra RS, RR ve ROC yöntemleriyle elde edilen alt kriterler için ağırlıklar Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15 İş Skoru Çıktı Değeri İçin RS-RR-ROC Alt Kriter Ağırlıkları

	İş Karmaşıklığı	Maliyet ve Güvenlik Açısından Önem Seviyesi	Kilit Personel İhtiyacı Seviyesi	TOPLAM
ROC	0,278	0,611	0,111	1,000
RS	0,167	0,500	0,333	1,000
RR	0,182	0,545	0,273	1,000

İncelenen projede ekiplerin yaptıkları işleri niteleyecek İş Skoru çıktı değerlerin hesaplanabilmesi için ağırlıklar asıl olarak ROC ile Bölüm 4.2.2.3'teki gibi belirlenmiştir. İhtiyaç duyulan bu ağırlıklar ROC değil de RS ve RR ile hesaplanıp model çözümlerinde kullanılsaydı nasıl sonuçlar elde edilirdi sorusunun cevabı için Çizelge 4.15'de hesaplanmış olan ağırlıklar İş Skoru çıktı değeri hesabında kullanılıp önerilen uzun, orta ve kısa dönemli senaryo modelleri ayrı ayrı çözüldüğünde Çizelge 4.16'daki kaynak kazanç miktarları elde edilmiştir.

Çizelge 4.16 RS-RR-ROC Alt Kriter Ağırlıkları ile Kaynak Kazanç Miktarı

	ROC	RS	RR
Uzun Dönemli Senaryo	6,07	6,58	6,60

Orta Dönemli Senaryo	4,19	4,64	4,64
Kısa Dönemli Senaryo	0	0	0

İş Skoru çıktı değeri duyarlılık analizi için Çizelge 4.16'daki sonuçlar elde edilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere;

- Uzun dönemli senaryoda en çok kaynak kazancı 6,60 ile RR ağırlıkları kullanılarak elde edilmiştir. Onu 6,58 adam ile RS ağırlıkları takip etmektedir. En düşük kaynak kazancı ROC ağırlıkları kullanılarak 6,07 adam olarak hesaplanmıştır.
- Orta dönemli senaryoda RS ve RR ağırlıkları kullanılarak çözülen modeller aynı miktarda 4,64 adamlık kaynak kazancı sağlayabilmektedir. Orta dönemli senaryoda da en düşük kaynak kazancını 4,19 ile ROC ağırlıkları sağlamıştır.
- Kısa dönemli senaryoda mevcut durumda bir kaynak kazancı görülmemişken RS ve RR ağırlıkları kullanılarak çözülen modellerde de herhangi bir kazanç sağlanmadığı görülmüştür.

4.3.5. Ekip Birleşim Senaryoları

Nieves ve ark., VZA'da ekipleri birleştirmenin toplam etkinlik skoru üzerine pozitif etki sağlayabileceğini savunmuştur [32]. İncelenen şirketteki 10 ekipten belirlenecek olan 2'sinin birleştirilmesinin toplam etkinlik üzerine etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Birleştirilen 2 ekip tek ekibe düştüğü için toplam 9 ekip için tez kapsamında önerilen uzun dönemli senaryo MVZA modeli çözümlenip Çizelge 4.16'da elde edilen kaynak kazanç miktarları raporlanmıştır. İki ekip birleştirildiğinde yeni elde edilen ekibin girdi değerleri personel sayısı olduğu için doğrudan toplanıp yeni oluşan ekibin girdi değerlerini oluşturabilmektedir.

Çıktı değerlerini olduğu gibi toplamının doğru olmadığı değerlendirilmiştir. Bunun için 3 çıktı değeri için 2 ekibinin birleşiminden elde edilecek yeni çıktı değerleri için aşağıdaki (17.1), (17.2) ve (17.3) formülleri üretilmiştir.

- SPI'ların sentezlendiği formül; iki ekibin SPI skorlarını sentezlerken ekiplerde çalışan toplam personel sayısının SPI hesabında bir ağırlığa sahip olması değerlendirilmiştir. İşini zamanında yapan çok sayıda personele sahip bir ekibin birleştirilen ekipte daha yüksek ağırlığa sahip olmasının doğru bir yaklaşım olacağı şirkette tartışılmıştır. Bu

sebeple eşitliğin pay kısmına; ilk ekipteki personel sayısı ile ilk ekibin SPI skoru çarpılıp ikinci ekibin personel sayısı ve SPI skoru çarpımının toplamı yazılacaktır. Payda kısmında ise birleşen bu iki ekipteki personel sayıları toplamı yazılacaktır.

Yeni SPI Skoru

$$= \frac{(\text{Ekip1 SPI} \times \text{Ekip1 Personel Sayısı} + \text{Ekip2 SPI} \times \text{Ekip2 Personel Sayısı})}{(\text{Ekip1 Personel Sayısı} + \text{Ekip2 Personel Sayısı})} \quad (17.1)$$

- İş Yüzdesi çıktılarının sentezlendiği formülde iki ekibin iş yüzdeleri doğrudan toplanacaktır. Zaten iş yüzdesi çıktıları tüm projede yapılan iş miktarının 100'lük dilimdeki karşılığı olarak her ekip için hesaplanmıştır.

$$\text{Yeni İş Yüzdesi Değeri} = \text{Ekip1 İş Yüzdesi} + \text{Ekip2 İş Yüzdesi} \quad (17.2)$$

- İş Skoru çıktıların sentezlendiği formülde iki ekibin iş skoru toplanıp ikiye bölünecektir; çünkü iş skoru o ekibin yaptığı işi niteleyen değerdir. İki ekip birleşirken yapılan iki farklı iş artık yeni ekip tarafından yapılıyor olacaktır. Bu sebeple yeni ekibin iş skoru çıktı değeri birleşen iki ekibin iş skoru değerleri arasında olmalıdır. İş skoru hesabı için iki ekibin önem seviyesi eşit kabul edilmiştir. Bu nedenle elde edilen pay ikiye bölünmüştür.

$$\text{Yeni İş Skoru Değeri} = \frac{(\text{Ekip1 İş Skoru} + \text{Ekip2 İş Skoru})}{2} \quad (17.3)$$

Birleştirme sonrası 9 ekip ile çözülen önerilen uzun dönemli senaryo MVZA modeli sonuçları Çizelge 4.17'de yer almaktadır. Matris yapısında verilen bu çizelgede ilgili satır ve sütundaki iki ekibin birleşimi sonucu elde edilecek kaynak kazancı miktarları yer almaktadır.

Çizelge 4.17 İkili Ekip Birleşimi Durumunda Kaynak Kazanç Matrisi

Ekip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0,00	7,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,64	0,00
2		-	0,63	0,00	0,63	0,00	0,63	0,63	0,00	0,63
3			-	0,00	5,74	4,91	5,74	4,03	0,00	5,73
4				-	0,00	0,00	0,00	4,10	0,00	5,08
5					-	6,24	6,56	5,34	5,81	5,98
6						-	6,07	5,73	5,47	5,10
7							-	5,69	5,81	5,98
8								-	5,39	5,30
9									-	0,00
10										-

Çizelge 4.17’de yer alan kaynak kazancı değerlerine istinaden aşağıdaki hususlar raporlanmıştır.

- Elde edilen bu çözümler incelendiğinde bazı ekip birleşim alternatiflerinde mevcut durumdaki uzun dönemli senaryo kaynak kazanç miktarı olan “6,07” adamlık kazancın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler Çizelge 4.17’de kalın olarak işaretlenmiştir.
- Bazı ekip birleşim alternatiflerinin mevcut durumdaki uzun dönemli senaryo kaynak kazanç miktarı olan “6,07” adamlık kazancın altında olabilmekte hatta mevcut kaynak kazancının da yitirilmesine yol açabilmektedir.
- Birleşim alternatiflerini birkaç örnek ile yorumlayacak olursak;
 - 1. ekip ile 3. ekibi birleştirmek en iyi sonucu vermiştir.
 - 5. ekibi; 6. ekip veya 7. ekip ile birleştirmek mevcut durumdan daha iyi sonuç vermiştir.
 - Çizelge 4.17’de yer alan 45 farklı birleşme alternatiflerinden 17 tanesi 0,00 kaynak kazancı sonucunu vermiştir. Alternatiflerden 24 tanesinde ise mevcut durumdan daha kötü düşük kazanç elde edilebilmiştir. Sadece 4 alternatif mevcut durumdan daha iyi sonuçlar elde edebilmeyi sağlamıştır. Bunlar; 1-3, 1-9, 5-6 ve 5-7 ekiplerinin birleşimidir.
- Yukarıdaki maddeden de görüleceği üzere ekipleri birleştirmenin toplam etkinliği artırdığı ve/veya azalttığı yönünde bir genelleme yapılamamıştır.

- İlerleyen çalışmalarda MVZA yaklaşımında toplam etkinliği artırmak için KVB'lerin 2'li, 3'lü, 4'lü vb. birleşimi göz önünde bulundurulabilir.

5. SONUÇLAR

Bu tezde proje yönetimi kapsamında bir MVZA yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşımın temel amacı proje yönetiminde mevcut insan kaynağının ekiplere en etkin şekilde nasıl dağıtılabileceğini belirlemektir. Kurum ve şirketlerin kısıtlı insan kaynaklarını en iyi şekilde kullanmak istemelerine rağmen pratikte bu kaynakları etkin yönetmek için sistematik yöntemlere pek başvurmadıkları gözlemlenmiştir; bu açıdan geliştirilen yöntemin pratik faydasının da olacağı düşünülmektedir. Tez, literatürden farklı olarak projede çalışan insanları tecrübe seviyelerine göre sınıflandırıp farklı girdi değerleri olarak ele almıştır. Ayrıca çalışanların tam sayılı düşünülmeyip bir personelin farklı projelerde çalışmasına izin verilmesi literatürden farklılaşan bir diğer noktadır. Proje ekiplerinin birleştirilmesinin kaynak tasarrufuna etkisi de araştırılmıştır. Bu çalışma, bilgimiz dahilinde proje yönetiminde insan kaynakları dağıtımı için MVZA kullanan ilk çalışmadır.

Yapılan uygulamadaki teknoloji firmasında tek bir KV olduğu ve KV'nin tüm KVB'ler üzerinde söz sahibi olduğu varsayılmıştır. KV incelenen şirkette farklı departmanlarda (üretim, kalite, tasarım, enterasyon, proje yönetimi) görev almış, 30 yılın üzerinde çalışma tecrübesi olan ve şu an şirkette program direktörü olarak görev alan şirketin üst düzey yöneticilerinden birisidir. Uygulama kapsamında ekiplerdeki personel sayıları tecrübe seviyelerine göre sınıflandırılıp değerleri girdi olarak alınmıştır. Uygulamadaki çıktı değerlerinin tespit edilmesi önemli bir aşamadır. Çıktılar şirkette kullanılmakta olan veri tabanlarından yararlanılarak ve uzman görüşüne başvurularak ham olarak elde edilmiştir. Bu verilerden bir kısmının tezde önerilen modellerde kullanılabilir hale getirilmesi için bazı formülasyonlar da önerilmiştir. İhtiyaç duyulan girdi ve çıktı değerleri elde edildikten sonra bu veriler önerilen MVZA modelleri ile kısa, orta ve uzun dönemli senaryolar altında çözülmüştür. Buradaki senaryolar KV'nin belirleyeceği stratejiye göre değişen zaman periyotları olarak düşünülmüştür. Örneğin; KV'nin yakın dönemde ekipler üzerinde alacağı aksiyonlar kısa dönemli senaryoda tanımlanmıştır.

Yapılan şirket uygulamasında hali hazırda devam eden bir geliştirme projesi incelenmiştir. Projede birbirlerinden farklı sayı ve tecrübede personelden oluşan 10 ekip bulunmaktadır. Bu ekiplerin insan kaynağı etkinliği öncelikle klasik VZA ile hesaplanmış, sonrasında tez kapsamında önerilen modeller ile çözümler elde edilmiştir. Önerilen modelde en iyi insan

kaynağı kazancı uzun dönemli senaryoda elde edilirken onu orta ve kısa dönemli senaryolar takip etmiştir. Buradaki asıl neden uzun dönemli senaryonun orta dönemliye göre; orta dönemli senaryonun ise kısa dönemli senaryoya göre insan kaynağı dağıtımında daha esnek olmasıdır. Personelin başka ekibe transfer edilmesi ve/veya projeden çıkarılması çözülen senaryolardaki kısıtlayıcı faktörlerdir. Uygulama sonrası uzun dönemli senaryoda 6,07 adam, orta dönemli senaryoda 4,19 adam ve kısa dönemli senaryoda 0 adam kaynak kazancı elde edilmiştir.

Önerilen MVZA modellerinin pratikte uygulanmaya geçilmesinden önce değerlendirilmesi gereken bazı konular vardır. Örneğin, proje yönetimi literatüründe başlamış olan projelere ilave kaynak eklenmesinin iş sonuçlarında kayda değer iyileşmeler sağlamadığı görülmüştür. Ancak tez kapsamında elde edilen sonuçlar şirket bünyesinde yeni başlayacak proje ekiplerinin kurulmasında KV'ye fikir verebilecek niteliktedir. Bir kurumda yürütülen projeler değişse de bazı ekiplerin, örneğin yazılım ekiplerinin, aynı kadroyla yeni projelere atanması sık gözlemlenen bir durumdur. Bunun yanısıra, projeye yeni personel alınması durumunda bu personelin hangi ekiplere atanması gerektiği problemi bu tez kapsamının dışındadır. Burada önerilen MVZA modelleri, şirket içerisindeki mevcut insan kaynağının etkinliği maksimize edecek şekilde ekiplere dağıtılması ve kullanılan toplam kaynak miktarının azaltılması üzerinedir. Dışarıdan yeni personel alınması durumu için literatürden farklı metotlara başvurulması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen uygulama daha büyük bir probleme uygulandığında, önerilen modeller daha esnek olacağından yeniden kaynak dağıtımı için daha yüksek hareket kabiliyetine sahip olacaktır. Yani daha yüksek kaynak kazancı sağlanabilecektir. Yapılan farklı denemelerle daha büyük problemlerin de makul sürelerde sonuç verdiği görülmüştür. Ek olarak, tez kapsamında önerilen modeller başka bir şirket veya organizasyonda uygulanabilecek niteliktedir; çünkü tüm kurumlar faaliyetlerini insan kaynağıyla yürütmektedir. Toplam etkinlik skorunun maksimize edilmesi amacıyla önerilen modeller ayrıca insan kaynağı dışında para gibi başka kaynakların dağıtımını da yapabilmektedir. Buradaki asıl kritik nokta KVB'lerdeki girdi ve çıktı değerlerinin doğru tanımlanmasıdır. Bu tanımlamalar kurum bazında değişecek olmakla birlikte bu tezdeki uygulama yol gösterici bir örnek olabilir.

Gelecek alışmalar olarak projelerde insan kaynağı dışındaki kaynakların dağıtımı için de merkezi modeller geliştirilebilir. Ayrıca nerilen modeller için bir paket yazılım geliştirilebilir. Paket yazılım MVZA ile kaynak dağıtımı yapacak algoritmaya sahip olabilir. Bu durumda öncelikle kaynak dağıtımı yapmak isteyen KV'den KVB'ler için girdi ve ıktıları değerlerini girmesi istenecektir. Sonrasında uygulanacak senaryo ve kaynak transferi ve/veya kaynak azaltımı opsiyonlarını seçilecektir. Bu paket yazılımın kullanıcı dostu sade bir arayüze sahip olması, kurumlar tarafından proje yönetiminde yardımcı bir araç kullanımasını sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] F. Li, Z. Xu, H. Li, A multi-agent based cooperative approach to decentralized multi-project scheduling and resource allocation, *Computers & Industrial Engineering* 151 (2021) 106961.
- [2] J. Du, W. D. Cook, L. Liang, J. Zhu, Fixed cost and resource allocation based on DEA cross-efficiency, *European Journal of Operational Research* 235 (2014) 206–214.
- [3] A. Charnes, W. Cooper and E. Rhodes, Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2 (1978) 429.
- [4] R. Banker, A. Charnes and W. Cooper, Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30 (1984) 1078.
- [5] C. A. Maritan, G. K. Lee, Resource Allocation and Strategy, *Journal of Management* Vol. 43 No. 8, November 2017 2411–2420.
- [6] Y. Zhao, X. Xu, E. Xu, B. Niu, Stochastic customer order scheduling on heterogeneous parallel machines with resource allocation consideration, *Computers & Industrial Engineering* 160 (2021) 107539.
- [7] W. Deng, X. Zhang, Y. Zhou, Y. Liu, X. Zhou, H. Chen, H. Zhao, An enhanced fast non-dominated solution sorting genetic algorithm for multi-objective problems, *Information Sciences* 585 (2022) 441–453.
- [8] J. Zhao, X. Xi, S. Wang, C. Gong, Dynamic analysis of different resource allocations: Implications for resource orchestration management of strategic alliances, *Computers & Industrial Engineering* 158 (2021) 107393.
- [9] W.D. Cook, L.M. Seiford, Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on, *European Journal of Operational Research* 192 (2009) 1–17.
- [10] J. Sadeghia, A. Dehnokhalaji, A comprehensive method for the centralized resource allocation in DEA, *Computers & Industrial Engineering* 127 (2019) 344–352.
- [11] Q. Dai, Y. Li, X. Lei, D. Wu, A DEA-based incentive approach for allocating common revenues or fixed costs, *European Journal of Operational Research* 292 (2021) 675–

686.

- [12] J.E. Beasley, Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research* 147 (2003) 198–216.
- [13] A. Amirteimoori, S. Kordrostami, Allocating fixed costs and target setting: A DEA-based approach, *Applied Mathematics and Computation* 171 (2005) 136–151.
- [14] Q. An, P. Wang, A. Emrouznejad, J. Hu, Fixed cost allocation based on the principle of efficiency invariance in two-stage systems, *European Journal of Operational Research* 283 (2020) 662–675.
- [15] J. Wu, Q. An, S. Ali, L. Liang, DEA based resource allocation considering environmental factors, *Mathematical and Computer Modelling* 58 (2013) 1128–1137.
- [16] J. Zhang, Q. Wu, Z. Zhou, A two-stage DEA model for resource allocation in industrial pollution treatment and its application in China, *Journal of Cleaner Production* 228 (2019) 29–39.
- [17] H. Jianga, J. Wua, J. Chub, H. Liuc, Better resource utilization: A new DEA bi-objective resource reallocation approach considering environmental efficiency improvement, *Computers & Industrial Engineering* 144 (2020) 106504.
- [18] L.L. Torres, D. Prior, Centralized allocation of human resources. An application to public schools, *Computers & Operations Research* 73 (2016) 104–114.
- [19] M.M. Yu, C.C. Chern, B. Hsiao, Human resource rightsizing using centralized data envelopment analysis: Evidence from Taiwan's Airports, *Omega* 41 (2013) 119–130.
- [20] R. Caballero, T. Galache, T. Gomez, J. Molina, A. Torrico, Budgetary allocations and efficiency in the human resources policy of a university following multiple criteria, *Economics of Education Review* 23 (2004) 67–74.
- [21] L. Fang, Centralized resource allocation based on efficiency analysis for step-by-step improvement paths, *Omega* 51(2015)24–28.
- [22] Charnes, A., Cooper W., Arie Y., Lewin ve Seifod L. M., *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.
- [23] S. Lozano, G. Villa, Centralized Resource Allocation Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, 22, 143–161, 2004
- [24] S. Lozano, G. Villa, B. Adenso-Dí'az, Centralized target setting for regional recycling

- operations using DEA, *Omega* 2004;32:101–10.
- [25] L. Fang, H. Li, Centralized resource allocation based on the cost–revenue analysis, *Computers & Industrial Engineering* 85 (2015) 395–401.
- [26] R. Lin, Allocating fixed costs or resources and setting targets via data envelopment analysis, *Applied Mathematics and Computation* 217 (2011) 6349–6358.
- [27] J. Sadeghia, A. Dehnokhalajib, A comprehensive method for the centralized resource allocation in DEA, *Computers & Industrial Engineering* 127 (2019) 344–352.
- [28] H. L. Chen, W. T. Chen, Y. L. Lin, Earned value Project management: Improving the predictive power of planned value, *International Journal of Project Management* 34 (2016) 22– 29.
- [29] W. Lipke, O. Zwikael, K. Henderson, F. Anbari, Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes, *International Journal of Project Management* 27 (2009) 400–407.
- [30] D. Liu, T. Lib, D. Liang, An integrated approach towards modeling ranked weights, *Computers & Industrial Engineering* 147 (2020) 106629.
- [31] P. L. Kunsch, A. Ishizaka, A note on using centroid weights in additive multi-criteria decision analysis, *European Journal of Operational Research* 277 (2019) 391–393.
- [32] A. S. Nieves, M.G.F. Janeiro, Analysis of the impact of DMUs on the overall efficiency in the event of a merger, *Expert Systems With Applications* 195 (2022) 116571