



**BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE AR-GE PROJE PORTFÖY
SEÇİMİ**

Umutcan BÖLÜK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Umutcan BÖLÜK

23/01/2023

BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE AR-GE PROJE PORTFÖY SEÇİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Umutcan BÖLÜK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Gelişen dünyada Ar-Ge yatırımları giderek önem kazanmaktadır. Kısıtlı kaynaklara sahip firmalar ise kendi stratejilerine en uygun yatırımları yapmalıdır. Bu yatırımların doğru projelere aktarılması büyük önem arz etmektedir. Teknik zorlukların yanı sıra değerlerin belirsizliğinin olduğu bu ortamda karar vermek güçtür. Bu noktada öncelikli olarak hangi projelerin yapılıp hangi projelerin yapılmaması sorusuna cevap verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bu soruya sistematik bir şekilde yanıt arayan proje portföy seçimi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde, projeleri nitelendiren parametreler arasında öncüllük ve ardıllık ilişkisi kurmadan değerlendirilebileceği veri zarflama analizi kullanılmıştır. Kullanılan veri zarflama analizi modeli Tavana ve diğerleri (2013) tarafından geliştirilmiştir. Parametreler detaylı bir araştırmanın sonucunda belirlenmiştir. Kesin yargıya varma gücünü ifade eden belirsizlik, dilsel ifadeler kullanarak modele dahil edilmiştir. İki veya daha fazla alternatifin olduğu durumları niteleyen muğlaklık ise üçgensel bulanık kümeler ve α kesme yöntemiyle tanımlanmıştır. Muğlaklığın çözümlenmesinde farklı ekstrem durumlar için farklı modeller kurulmuştur. Kurulan modeller üzerindeki parametreler aracılığıyla, geliştirilen özgün bir yaklaşım ile karşılıklı bağımlılıklar dahil edilmiştir. Karşılıklı bağımlılıklar incelenirken bütün ilişkiler göz önüne alınabilecek şekilde değerlendirilmiştir. 30 projeden oluşan örnek bir veri seti oluşturulup modeller çözülmüştür. Elde edilen optimal kriter ağırlıklarıyla etkinlik skorları hesaplanmıştır. Etkinlik skorları hesaplanırken bütün yönlü karşılıklı bağımlılıkların değerlendirilmesine imkan verecek özgün bir yaklaşım geliştirilmiştir. Belirsizlik altında karar verme yöntemleri kullanılarak farklı stratejiler için projelerin öncelik sıralaması yapılmıştır.

Bilim Kodu : 90601

Anahtar Kelimeler : Proje portföy seçimi, veri zarflama analizi, bulanık mantık

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Murat ARIKAN

R&D PROJECT PORTFOLIO SELECTION WITH FUZZY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

Umutcan BÖLÜK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

R&D investments are becoming increasingly important in the developing world. Companies with limited resources should make the most favorable investments for their own strategies. It is crucial that these investments are transferred to the right projects. It is difficult to make decisions in an environment where there are technical difficulties as well as uncertainties. At this point, it is necessary to decide which projects should be done and which projects should not be done. In this study, project portfolio selection that seeks a systematic solution to this decision, is covered. To solve this problem, data envelopment analysis that can evaluate the parameters without the need to build precedence relationship, is used. The data envelopment model that was used, was developed by Tavana et al. (2013). Parameters were set after a detailed research. Vagueness that is associated with difficulty of making precise judgment, was included in the model by introducing linguistic variables. Ambiguity that characterizes the situation where there are two or more alternatives, is defined with triangular fuzzy sets and α cut method. Different models are constructed for different extreme cases to solve the ambiguity. Interdependencies are included with a unique approach developed through the parameters on the established models. Multi-sided comparisons are considered while examining the interdependencies. A sample dataset of 30 projects is generated and models are solved according to generated data. Efficiency scores are calculated with the optimal criteria weights that are obtained from models. While calculating efficiency scores, a unique approach has been developed that will allow multi-sided interdependencies to be modelled. Projects are prioritized for different strategies by using decision making under uncertainty.

Science Code : 90601

Key Words : Project portfolio selection, data envelopment analysis, fuzzy logic

Page Number : 68

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Murat ARIKAN

TEŞEKKÜR

Yoğun emek ve özeriyle hazırladığım yüksek lisans tezım boyunca yardımları için danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Murat ARIKAN’a teşekkür ediyorum. Ayrıca bu süreçte benden desteklerini esirgemeyen aileme de teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. AR-GE PROJE PORTFÖY SEÇİMİ.....	3
2.1. Ar-Ge Proje Portföy Seçimi Yaklaşımları	4
2.1.1. Belirsizlik	4
2.1.2. Karşılıklı bağımlılık	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3.1. Optimizasyon Yöntemleri	15
3.2. Fayda Ölçüm Yöntemleri.....	17
4. ÇALIŞMA KAPSAMI	19
5. TEORİK ZEMİN	21
5.1. Veri Zarflama Analizi	21
5.2. Bulanık Veri Zarflama Analizi	24
5.2.1. Tolerans yaklaşımı	24
5.2.2. α seviyelerine dayalı yaklaşım	24
5.2.3. Bulanık sıra yaklaşımı.....	25
5.2.4. Olasılık yaklaşımı.....	25

Sayfa

6. METODOLOJİ.....	27
6.1. Bulanık Mantık.....	27
6.2. Belirsizliğin Çözümlemesi.....	28
6.3. Muğlaklığın Çözümlemesi.....	30
6.4. Bulanık Mantığın Çözümlemesi.....	33
6.5. Modelin Doğrusallaştırılması	35
6.6. Parametrelerin Belirlenmesi	38
6.7. Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	40
6.8. Karşılıklı Bağımlılıkların Çözümlemesi	41
7. UYGULAMA	47
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	55
EKLER.....	61
EK-1. Maliyet karşılıklı bağımlılık değerleri.....	62
EK-2. Teknik görevler karşılıklı bağımlılık değerleri	63
EK-3. Girdi ve çıktı parametre değerleri	64
EK-4. Etkinlik skorları.....	67
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Parametreler	39
Çizelge 6.2. Değerlendirme skalası.....	40
Çizelge 6.3. Sinerji değerlendirme skalası.....	42
Çizelge 7.1. Optimal katsayı değerleri	47
Çizelge 7.2. Optimal α değerleri.....	48
Çizelge 7.3. Öncelik sıralamaları	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Amaç fonksiyonunun doğrusal üyelik fonksiyonu	29
Şekil 6.2. Girdi ve çıktı parametreleri.....	40
Şekil 6.3. Bulanık küme üyelik fonksiyonları	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
BCC	Banker, Charnes ve Cooper
CCR	Charnes, Cooper ve Rhodes
ÇD	Çok Düşük
ÇY	Çok Yüksek
D	Düşük
GAMS	General Algebraic Modeling System
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
ITA	Iterative Trichotomic Approach
KV	Karar Verici
KVB	Karar Verme Birimi
MILP	Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama
NASA	National Aeronautics and Space Administration
O	Orta
PPS	Proje Portföy Seçimi
R&D	Research and Development
SPEA	Strength Pareto Evolutionary Approach
VZA	Veri Zarflama Analizi
Y	Yüksek

1. GİRİŞ

Teknolojilerin karmaşıklığının artması ve hızlı gelişimi, firmaları gelecekte güçlü ve rekabetçi bir konum elde etmek için bir hayatta kalma aracı olarak araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) önem vermeye zorlamaktadır. Yüksek sanayileşmiş ekonomilerde, sürdürülebilir büyümeye katkıda bulunan ana unsurlardan biri olan Ar-Ge'nin önemi, özellikle modern bilgiye dayalı ekonomiler bağlamında ekonomistler arasında tartışılmazdır (Abbassi, Ashrafi ve Tashniz, 2014).

Ar-Ge tüm dünyada yoğun ilgi görmektedir. Yalnızca 2019 yılında, dünya çapında GSYİH'nın yaklaşık %2'sine karşılık gelen, 2,3 trilyon doları Ar-Ge'ye harcanmıştır. Bunların yarısı endüstriden, geri kalan kısmı ise hükümetlerden ve bilimsel kuruluşlardan gelmektedir. Ayrıca, bu yatırım her yıl yaklaşık %4 oranında artmaktadır (Brennan, Ernst, Katz ve Roth, 2020).

İlaç sektörü, gelir yüzdesi olarak yüksek Ar-Ge harcamaları nedeniyle çok dikkat çekerken, sektör karlarına dayalı bir karşılaştırma yapılırsa, yüksek teknolojiden otomotive ve tüketiciye kadar birçok sektörün faiz, amortisman ve vergi öncesi karlarının yüzde 20'sinden fazlasını inovasyon araştırmasına geri yatırdığı görülmektedir (Brennan ve diğerleri, 2020).

Ar-Ge yatırımları, esas olarak organizasyonun hedeflerine uygunluğuna göre seçimi yapılan projelerin uygulanmasıyla konsolide edilmektedir. Uygun olmayan projelerin seçilmesi sonucunda mali ve insan kaynağı kayıplarına yol açabileceğinden, Ar-Ge projelerinin yürütülmesine ilişkin risklerin önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bu durumda, Ar-Ge projelerinin seçiminde kurumsal stratejinin etkisi genellikle doğru algılanır. Bu nedenle, tüm projeleri organizasyonun stratejik yönü ile birleştirmek, kaynakları daha iyi kullanmak için çok önemlidir.

Son 50 yılda birçok araştırmacı sağlık, inşaat ve kamu sektörü gibi farklı konularda proje seçim yaklaşımları önermiştir. En çok çalışılan konulardan biri, bilimsel veri tabanlarında indekslenen birçok ilgili makale ile Ar-Ge'dir. Thore (2002:5), 20. yüzyılın sonunda, iletişim ve bilgi teknolojisinin meydana gelen gelişmelerin bir sonucu olarak, yeni bir ekonominin oluştuğunu ve bu ekonomiyi bilgi ekonomisi olarak kabul edildiğini öne sürmüştür. Bu

ekonominin itici gücü Ar-Ge projeleridir. Bu nedenle Ar-Ge yöneticilerinin sürekli olarak işlerinin başarı olasılığını artıracak sistem ve prosedürler geliştirmeleri gerekmektedir (de Souza, dos Santos, Soma ve da Silva, 2021).

Her organizasyonda, gerçek bir yaşam projesi olmak için organizasyon yöneticilerinin ilgisini bekleyen birçok iyi proje fikri vardır. Bununla birlikte, sınırlı kaynakların olduğu bir dünyada, her proje, organizasyonun öncelik listesinin en üst bölümünde yer almak için başka projelerle şiddetli bir rekabet içindedir. Her proje uygulanabilir değildir ve olanlar arasında, üst düzey yöneticiler veya karar vericiler, kuruluşun kısıtlı kaynaklarını (personel, zaman, bütçe, ekipman vb.) hangi projeye ilk olarak ayrılması gerektiğine karar vermekte zorlanmaktadır (Jafarzadeh, Akbari ve Abedin, 2018).

Herhangi bir firmanın sağlıklı ve karlı büyümeyi garanti etmek için hem ardışık hem de eşzamanlı projelere sürekli yatırım yapması gerekir. Ancak firmalar genellikle kaynaklarıyla yapabilecekleri projelerden daha fazlasına sahip olmakla karşı karşıya kalırlar ve bu nedenle yönetim görevlerinden biri, kuruluşun hedeflerine uygun olan bir dizi proje arasından seçim yapmaktır. Proje seçiminde yanlış kararların iki olumsuz sonucu vardır. Bir yandan kaynakların uygun olmayan projelere harcanması, diğer yandan bu kaynaklar daha uygun projelere harcanmış olsaydı kuruluş elde edebileceği faydaları kaybetmesidir (Carazo ve diğerleri, 2010).

Ar-Ge proje seçimi çok önemli bir görevdir. Çoklu aşama özellikleri, çoklu karar verici grupları, çoklu ve sıklıkla çatışan hedefleri olan ve gelecekteki başarı ve etkileri tahmin etmede yüksek risk ve belirsizlik içeren karmaşık bir karar verme sürecidir (Mohanty, Agarwal, Choudhury ve Tiwari, 2005).

Çalışmanın ikinci bölümünde Ar-Ge proje portföy seçimi probleminin kapsamından ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, bu konu üzerinde yapılan güncel literatür araştırılmasından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın kapsamı belirtilmiştir. Beşinci bölümde çalışma kapsamında belirtilen yöntemin teorik bilgisi paylaşılmıştır. Altıncı bölümde geliştirilen yöntem açıklanmıştır. Yedinci bölümde geliştirilen yöntemin hipotetik bir problem üzerinde uygulaması yapılmıştır. Sekizinci bölümde, önerilen modelin sonuçlarından ve gelecek araştırma konularından bahsedilmiştir.

2. AR-GE PROJE PORTFÖY SEÇİMİ

Proje seçimini büyük önem taşıyan bir konu haline getiren önemli bir faktör, firmalar ve organizasyonlar bir takım projelerle karşı karşıya kalırken, kaynakların, işgücünün, zamanın ve diğer birkaç faktörün sınırlamaları nedeniyle tüm projelerin seçilmesinin mümkün olmamasıdır. Sonuç olarak, önerilen projeler arasından sadece sınırlamayı ele almakla kalmayıp, aynı zamanda şirketlere en iyi faydayı sağlayacak bir dizi proje seçilmelidir (RezaHoseini, Ghannadpour ve Hemmati, 2020).

Proje portföy seçimi, kullanılabilir kaynakları aşmadan veya farklı gereksinimleri göz ardı etmeden bir organizasyonun ifade edilen hedeflerini karşılayan bir faaliyet planı seçmeyle ilgili ara sıra yapılan bir harekettir. Bu süreçte ele alınması gereken konulardan bazıları organizasyonun hedefleri ve öncelikleri, finansal faydaları, maddi olmayan faydaları, kaynakların kullanılabilirliği ve proje portföyünün risk düzeyidir (Ghasemzadeh ve Archer, 2000).

Proje portföy seçim çalışmalarının ve araştırmalarının amacı "projeler nasıl yapılır?" konularının ötesine geçer, başka bir deyişle "doğru projeler nasıl yapılır?" konusuna odaklanır, seçim bu nedenle projelerin önceden değerlendirilmesidir. Doğru araştırma geliştirme projelerinin seçimi ile kuruluşun gelecekteki hareket seyri doğru bir şekilde belirlenir (Ashrafi, Davoudpour ve Abbassi, 2012).

Problem, firmanın bütçe, mevcut kaynaklar gibi iç kısıtlarına ve gerçek dünyanın diğer dış ve teknik kısıtlamalarına tabi olan mevcut birkaç proje arasından optimum proje portföyünü seçmektir. Proje Portföy Seçimi (PPS) problemi farklı hedefleri göz önünde bulundurabilir ama parasal konularda en uç avantajı elde etmek sürekli olarak önemli bir hedef olarak kabul edilir (Tofighian ve Naderi, 2015).

Ar-Ge PPS'deki karar verme süreci, diğer alanlardaki karar verme sürecine benzerlik gösterir. Ancak kullanılan seçim yöntemleri değişmiştir ve birçok bilimsel makale, Ar-Ge PPS için çeşitli metodolojileri ele almaktadır. Ar-Ge PPS'deki temel farklılıklar ve zorluklar şunlardır: projelerdeki harcamalar büyük yatırımları ifade eder. İşletmelerin bu yatırımları geleceklerine yapmaları ve bu nedenle projelerin kurumsal stratejiye uygun olması gerekir.

Ar-Ge projelerinin getirileri uzatılmış teslim sürelerine sahiptir ve aynı zamanda riskli ve çok boyutludur. Bu benzersiz özellikler, optimal kararlar almayı zorlaştırır. Öte yandan PPS'deki karar verme sürecindeki bazı zorluklar Ar-Ge PPS için de geçerlidir (de Souza ve diğerleri, 2021):

1. Çok sayıda projenin olduğu büyük bir portföy
2. Nitel ve nicel tanımlamalar
3. Kesin olmayan bilgilerden kaynaklı belirsizlik
4. Birbirine bağımlı projeler
5. Kaynak kısıtları
6. İnsan kaynağı paylaşırma

2.1. Ar-Ge Proje Portföy Seçimi Yaklaşımları

Ar-Ge proje seçimi çok önemli bir görevdir. Çoklu aşama, birden fazla karar verici grubu, birden fazla ve sık sık çelişen hedefler ve gelecekteki başarı ve etkileri tahmin etmede yüksek risk ve belirsizlik özelliklerine sahip karmaşık bir karar verme sürecidir (Mohanty ve diğerleri, 2005).

Proje portföyünün belirlenmesiyle ilgili önemli zorluklar şunlardır: çeşitli ve genellikle birbiriyle çelişen hedefler olabilir; hedeflerin bir kısmı kantitatif değil kalitatifdir; risk ve maliyet gibi proje parametreleriyle ilişkili belirsizlik vardır; bazı projeler büyük ölçüde birbirine bağımlıdır; finans, iş gücü ve ekipman gibi kısıtlamalar, karar verme sürecinde dikkate alınmalıdır; bir portföy, karar vericiler için önemli olan risk ve tamamlanma süresi gibi belirli faktörler açısından dengelenmelidir; ve uygulanabilir portföylerin miktarı genellikle çok fazladır (Ghasemzadeh, Archer ve Iyogun, 1999).

2.1.1. Belirsizlik

Kuruluşlar genellikle mevcut kaynakları kullanarak yatırım yapmayı seçebilecekleri farklı performans özelliklerine sahip potansiyel Ar-Ge projelerine sahiptir. Gerekli kaynak düzeyleri, yani getiri oluşturmak için gerekli toplam harcama ve öngörülen getirilerin kendileri gibi parametreleri içeren teknoloji projelerinin birincil özellikleri genellikle yatırım sırasında bilinmemektedir. Bir planlama döneminde yer alan bu belirsizlikler ve kaynak sınırlamaları göz önüne alındığında, Ar-Ge proje portföyünün belirlenmesi ve mevcut

planlama dönemi için beklenen toplam getiriye en üst düzeye çıkarılacak şekilde optimum kaynak tahsislerinin belirlenmesinden biri haline gelir (Solak, Clarke, Johnson ve Barnes, 2010).

Ar-Ge projelerinde, portföy seçim problemini daha zorlu hale getiren ve karar verme sürecinde dikkate alınması gereken belirli özelliklerin olduğu fark edilmiştir. Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan kriterler önceden kesin olarak belirlenemez. Araştırma ekibinin yeterliliği, araştırma fikrinin ve etkisinin anlaşılması, uygunluk ve beklentiler vb. gibi ilgili projelerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerde doğal belirsizlik mevcuttur (Mavrotas ve Makryvelios, 2021).

Bulanık küme

İnsan düşüncesinde temel unsurlar sayılar değil, bulanık kümelerin etiketleri, yani üyelikten üyelik dışına geçişin ani değil kademeli olduğu nesne sınıflarıdır. Nitekim, insan düşünce süreçlerinde bulanıklığın yaygınlığı, insan muhakemesinin arkasındaki mantığın çoğunun geleneksel iki değerli hatta çok değerli mantık değil, bulanık gerçekler, bulanık bağlar ve bulanık çıkarım kuralları olan bir mantık olduğunu göstermektedir. Bulanık mantık, insan düşüncesinin belki de en önemli yönlerinden biri olan bilgiyi özetleme yeteneğinde temel bir rol oynar (Zadeh, 1973).

Belirsizliğin iki ana kategorisi, belirsizlik ve muğlaklık terimleriyle bağlantılıdır. Genel olarak, belirsizlik dünyada keskin veya kesin ayrımlar yapma zorluğu ile ilişkilidir. Öte yandan muğlaklık ise bire çok ilişkilerle, yani iki veya daha fazla alternatifi açıkça belirtilmeden bırakılan durumlarla ilişkilidir. Bulanık küme kavramı, belirsizlik ile başa çıkmak için temel bir matematiksel çerçeveyi temsil ederken, bulanık ölçü kavramı, muğlaklık ile başa çıkmak için genel bir çerçevedir (Klir, 1987).

Belirsizliğe göre değerlendirilmesi istenilen bir durumda mevcut bilginin türünün daha ayrıntılı olarak ele alınması gerekir: incelenen bir sistem için mevcut olan bilgi sayısal, dilsel, aralık değerli veya sembolik olabilir.

- Sistemle ilgili bilgiler sayısal olarak da mevcuttur. Bu sayısal bilgi çok çeşitli kaynaklardan gelebileceğinden, bilgilerin sadece rakamlarla verilmesini istemek yeterli olmayıp, bu bilgilerin hangi ölçek üzerinden verildiğini de belirlememiz gerekmektedir.

Bu, mevcut olmayan bilgileri taklit etmeden bu bilgilere mantıklı bir şekilde uygulayabileceğimiz bilgi işleme türünü belirler.

- Aralık değerli bilginin düzgün bir şekilde işlenilmesi isteniyorsa, aralık aritmetiğinin kullanılması gerekecek ve sonuç yine aralık değerli bilgi olacaktır. Ancak bu bilginin nasıl belirlenirse belirlensin, aralıkların sınırları anlamında "kesin" veya "ikiye bölünmüş" olduğu açık olmalıdır.
- Semboller şeklinde bilgi çoğu zaman sağlanır. Sayılar, harfler veya resimler sembol olarak kullanıldığında bu açıktır. Kelimeler sembol olarak kullanılıyorsa, bu genellikle o kadar açık değildir, çünkü bazen kelimelerin doğal anlamları olduğu varsayılırken sembollerin olmadığı varsayılır. Bu nedenle sembolik bilgi sağlanırsa, bilgi sembollerin tanımları kadar değerlidir ve bilgi işleme türü de ne sayısal ne de dilsel sadece sembolik olmalıdır.
- Dilsel bilgilerle, sağlanan bilgilerin resmi bir dilde değil, doğal bir dilde verildiği kastedilmektedir. Bu bilgi türünün özellikleri, sayısal veya resmi bir dildeki bilgininkilerden farklıdır. Doğal diller zamanla gelişir, kültürel geçmişe bağlıdır, dili kullanan kişilerin eğitim geçmişlerine ve daha birçok şeye bağlıdır. Ayrıca bir kelimeyi etiket ve anlam olarak ayırmak gerekir. Çoğu zaman bu ikisi arasında bire bir ilişki yoktur ve kelimelerin anlamları net ve bağlam açısından bağımsız değildir. Sayısal bilgilerin aksine, doğal diller için bilgi kalitesine ilişkin neredeyse hiçbir ölçü yoktur.

Karmaşıklık karşısında kesin değerler yerine, dilsel değişkenler olarak adlandırılabilir kelime veya cümlelerin dilde karşılıklarını araştırmak doğaldır. Kelimelerin veya cümlelerin sayıların yerine kullanılmasının sebebi, dilsel nitelermelerin sayısal olanlardan genellikle daha az spesifik olmasıdır (Zimmermann, 2001:117-118,141).

İnsan bakış açısı her zaman belirli bir belirsizlik ve muğlaklığa sahip olduğundan, insan yargısı kişiden kişiye değişir. Ayrıca, parasal yönleri göz önünde bulundurmak için yıllık nakit akışı değerlerinin tahmin edilmesi gerekir. Nakit akışı değerlerini hesaplamak için gereken parametrelerin her biriyle önemli miktarda risk ve belirsizlik ilişkilidir. Nakit akış değerlerinin tahmin edilmesiyle pek çok belirsizlik ilişkilendirildiğinden, geleneksel deterministik nakit akışı modelleri parasal faktörlerin üstesinden gelmede etkili değildir. Bu nedenle, matematiksel programlama modelleri, ekonomik modeller, etkileşimli modeller ve analitik modeller gibi önceki yöntemler daha az etkili olma eğilimindedir. Bulanık küme teorisi, çeşitli parametrelerle ilgili bilgilerle ilişkili belirsizlik ve kesinlik ile başa çıkmak için uygundur. İnsan yargısı genellikle "eşit", "orta derecede", "kuvvetli", "çok güçlü",

"aşırı" ve "önemli derecede" yatırım gibi belirsiz bir dille karakterize edilir. Bu tür bir dili kullanarak, karar vericiler belirsiz olayların ve nesnelerin miktarını belirler. Bulanık teori, karar vericilerin verilerin sözel değerlendirmesi sürecinde yer alan belirsizliklerin üstesinden gelmelerini sağlar (Mohanty ve diğerleri, 2005).

Çeşitli çalışmalar PPS için belirsizlik kaynaklarını araştırır ve kategorilere ayırır. Teknik, pazar ve organizasyonel olmak üzere üç tür belirsizlik tanımlamaktadır.

- Teknik belirsizlikler, soruna ilişkin bilimsel bilginin eksiksizliği, üretim sürecinin güvenilirliği, teknik şartnamelerin uygulanıp uygulanamayacağı ve diğer faktörlerle ilgili belirsizlikleri kapsamaktadır. Projeler, katı bir şekilde planlanmış teknik şartnamelerde bile öngörülemez belirsizliklere maruz kalır.
- Pazar belirsizlikleri, müşterilerin ihtiyaçları, satış/dağıtım türleri ve proje ekibinin kendi ürünleri ile rakiplerinin ürünleri arasındaki ilişkiyi anlaması ile ilgilidir. Müşterilerin ihtiyaçlarını anlamamanın ve bunları ürünün işlevsel ve sembolik özelliklerine çevirmenin zorluğu, pazar belirsizliği yaratır.
- Organizasyonel belirsizlikler organizasyonun dinamikleri ile ilişkilidir. Bu tür belirsizlikler, organizasyonel direnç, süreklilik veya kalıcılık eksikliği, beklentiler ve ölçülerdeki tutarsızlıklar, stratejilerdeki değişiklikler veya iç ya da dış ortaklardaki değişiklikler olarak kendini gösterebilir (Zheng ve Carvalho, 2016).

Bir bilgi teknolojisi projesinde, projeye ayrılan kaynaklar her zaman sınırlıdır ve bu durum bir belirsizlik değil, bir risk oluşturmaktadır (Lechler, Edington ve Gao, 2012).

Risk ve belirsizlik, olumsuz sonuçları olan olayları ifade etmek için kullanılan birbiriyle ilişkili kavramlardır. Bu terimler, olayın doğası, meydana gelme olasılığı ve sonuçları hakkındaki bilginin kapsamına dayalı olarak kavramsal olarak farklılaştırılabilir. Risk, bir olayın olasılığı, dağılımı ve etkilerinin farkında olarak karakterize edilirken, belirsizlik ise özellikleri hakkında bilgi eksikliğini içerir (Suyo, Le Masson, Shaxson, Luhan, ve Hurtado, 2021).

Projelerin yönetimi hem risklerden hem de belirsizliklerden kaynaklanan zorluklarla karşı karşıyadır. Genel olarak tanımlamak gerekirse bilinmeyen bilinmeyenler belirsizliklerdir, ancak bilinen bilinmeyenler risklerdir. Proje yönetimi literatürü, bilinen-bilinmeyenler olarak da adlandırılan proje risklerini analiz etme ve tartışma konusunda önemli bir geleneğe sahiptir. Risk yönetiminin, proje yönetimi pratiği ve teorisinin bir bileşeni olduğu

söylenebilir. Ancak klasik proje yönetimi, bilinmeyen bilinmeyenler olarak da adlandırılan belirsizlikler ve riskler arasında net bir ayrım yapmaz (Lechler ve diğerleri, 2012).

2.1.2. Karşılıklı bağımlılık

Proje portföy seçimi problemi, ikili veya daha yüksek dereceli proje kombinasyonu arasındaki sinerjiden etkilenir. Bilgi sistemlerini ve teknoloji yönetimini örnek olarak ele alalım. Kaynak bağımlılığı genellikle çeşitli projeler arasındaki donanım ve yazılım kaynaklarının olası paylaşımı nedeniyle oluşur. Kaynak bağımlılığı, karar vericilerin kaynakları daha etkili bir şekilde paylaşmasını gerektirir. Sistematik bir proje portföyü uygulandığında daha az kaynak gerekebilir (Li, Huang, Fang, ve Zhang, 2020).

En iyi portföyü seçmek için, bireysel proje analizinin projeler arasındaki karşılıklı bağımlılıkların veya etkileşimlerin, yani bir projenin veya projelerin bir alt kümesinin diğer projeler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ile tamamlanmalıdır. Projeler genellikle finansal ve finansal olmayan kaynaklar için rekabet eder, ancak ölçek ekonomileri ve/veya kapsam ekonomileri ortak bir uygulama yoluyla tasarruf sağlayabilir. Belirli ürünlerin satışı diğer ürünler için ek bir talebi teşvik ettiğinde projeler arasında pozitif sinerjiler veya tamamlayıcılıklar da ortaya çıkabilir, ancak projeler arasında bir dereceye kadar rekabet olduğunda negatif sinerjiler söz konusu olur (Alvarez-García ve Fernández-Castro, 2018). Araştırma fonu tahsis ederken iş birliklerini tanımak önemlidir; eğer bir proje özel bir ekipmanın satın alınmasını içeriyorsa ve başka bir proje bu ekipmanın mevcut olduğu varsayımına dayanıyorsa, ilkinin göz ardı ederek ikincisini finanse etmek uygun değildir. Olumlu bir bağımlılık, "toplam miktarın parçalarının toplamını aştığı" bir durumu yansıtır: aynı anda yürütülen birden fazla proje, bunların en azından bir kısmı tek başına finanse edilirse ulaşacağından daha yüksek bir etki yaratmasına neden olur (Arratia, López, Schaeffer ve Cruz-Reyes, 2016).

Karşılıklı bağımlılıklar meydana geldiğinde, belirli bir projeyle ilişkili parametreler, seçilen diğer projelere bağlıdır, böylece bir proje portföyünden elde edilen toplam maliyet ve fayda, bireysel proje maliyetlerinin ve faydalarının toplamına eşit olmaz (Bhattacharyya, Kumar ve Kar, 2011).

Literatürde proje bağımlılıklarının çeşitli tanımları verilmiştir ve proje bağımlılıkları kaynak, teknik ve çıktı olarak sınıflandırılabilir:

- Kaynak bağımlılıklar, farklı projeler arasında teknoloji de dahil olmak üzere kaynakların paylaşımı ve paylaşım talepleri nedeniyle oluşur. Kaynak bağımlılığı, proje portföy yönetimindeki en kritik bağımlılık türüdür ve diğer proje bağımlılık türlerine kıyasla portföy yöneticileri tarafından genel olarak en çok göz önünde bulundurulandır.
- Teknik bağımlılıklar, bir proje bilgi ve uzmanlık ürettiğinde ve sonuç olarak bir portföy içindeki diğer projelerden fayda elde ettiğinde ortaya çıkar.
- Çıktı bağımlılıkları, birbirine bağımlı projelerin yürütülmesinden oluşan sinerji neticesinde, bir kuruluşun karında önemli ölçüde artış gerçekleştiğinde ortaya çıkar (Al Zaabi ve Bashir, 2020).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Proje portföy seçimi ve özellikle Ar-Ge proje portföy seçimi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Literatür taramasında, daha genel proje portföyü seçim problemi ile beraber bazı spesifik özelliklere sahip olan Ar-Ge proje portföyü seçimine de odaklanılmıştır. İlgili literatürde, birçok araştırmacı dengeli ve verimli değerlendirme ve dolayısıyla finanse edilecek Ar-Ge projelerinin seçimi için çeşitli nicel ve nitel yöntemler önermektedir.

Portföy kararları genellikle çeşitli faktörler nedeniyle karmaşıktır. İlk olarak, bu kararların çoklu karar hedeflerine ulaşılmasına katkıda bulunması beklenmektedir. Örneğin firmalar, projelerin paydaşları üzerinde nasıl değer oluşturduğunu ölçmekte zorlanmaktadır. Bunun için, birden fazla daha kolay ölçülebilir dolaylı nitelikler (kar, pazar payı vb.) kullanılabilir. İkincisi, bir projenin değeri, başlatıldığında nadiren bilindiğinden, proje seçim kararının proje değerlerinin belirsiz tahminlerine dayandırılması gerekir. Örneğin, araştırma hibeleri sağlayan bir finansman kuruluşu, bu projelerin nihai sonuçlarının ne olacağını bilmeden proje teklifleri üzerinden seçim yapmak zorundadır. Ayrıca, bir portföy tarafından üretilen değer, ürün geliştirme kararları alınırken gerçekleşme ihtimali bilinmeyen dışsal belirsizliklerden (rekabetin yoğunluğu, düzenleyici ortamdaki değişiklikler vb.) büyük ölçüde etkilenebilir. Üçüncüsü, projeler arasında etkileşimler olabilir (Liesiö, Salo, Keisler ve Morton, 2021).

Portföy seçimi, sürekli araştırılan temel bir karar problemidir ve birçok araştırmacı proje portföy seçimine uygulamalar ile çeşitli yaklaşımlar sunmuştur. Portföy seçiminde genel olarak portföyü oluşturan projelerden maksimum kazanç hedeflenmeye çalışılsa da gerçek hayatta amaç sadece bundan ibaret değildir. Uzmanlık sahibi olmak, stratejik önem vb. hedefler de gerçekleştirilmek isteniyor olabilir. Çeşitli hedeflere sahip bu ortamda, belirsizlik altında proje seçimi ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Herhangi bir gerçek hayat PPS sürecinin karmaşıklığını artıran faktörlerden biri de sürecin ayrılmaz bir parçası olan belirsizliktir. Uzmanlık eksikliği ve yetersiz bilgi, yatırımın karar verme süreçlerinde neredeyse her zaman yaygındır. Proje yönetiminde belirsizliği doğru bir şekilde ele almak gerekir.

Diğer birçok karar gibi, portföy kararları da çoğu zaman sonuçları kesin olarak bilinmeden verilmektedir. Modelleme ve karar destek perspektifinden, bu belirsizliklerin açıkça modellenmesinin gerekli olup olmadığı veya deterministik parametre değerlerine sahip bir model oluşturmanın uygun olup olmadığı kontrol edilir. Sonucunda birden fazla bakış açısı ortaya çıkar. İlk olarak, model girdisi ve çıktısı arasındaki ilişki doğrusal olmayan özelliklere sahipse, veri kullanımında bilgi kaybı yaşamamak için belirsizlikleri modellemek daha önemlidir. Belirsizlikleri modellemenin getirisi, mevcut verilere ve/veya uzman görüşüne erişime bağlıdır. Bir olasılık dağılımını, bulanık bir sayıyı veya bir dizi senaryoyu değerlendirmek, tek bir kesin sayıdan daha fazla çaba gerektirir.

Belirsizliği gidermek için stokastik yöntemleri kullanmak, birçok karar verme ortamında yaygın ve popüler bir yaklaşımdır. Stokastik teori, belirsizliği ele almak için geçmiş verileri uygular. Ancak, projeler özgün olduğundan ve yeterli geçmiş veriye sahip olmadığından, bir proje ortamında stokastik teori kullanmak çok yaygın değildir. Mavrotas ve Pechak (2013), PPS'deki Monte Carlo simülasyonunda stokastik parametreleri kullanmıştır. Tofighian, Moezzi, Khakzar Barfuei ve Shafiee (2018), PPS'deki geliri stokastik olarak ele almıştır. Panadero, Doering, Kizys, Juan ve Fito (2018), net bugünkü değer yöntemini kullanarak para akışlarını stokastik olarak tanımlamıştır.

Pek çok makalede, gerçek hayat uygulamalarında ortaya çıkan belirsizlikle başa çıkmak için diğer tekniklerle birlikte Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Bu, özellikle geçmiş verilerin mevcut olduğu durumlarda, bulanık modelleme kullanımına etkili bir alternatif olarak görülebilir ve olasılık dağılımları aracılığıyla modellenenebilir (Saiz, Lostumbo, Juan, ve Lopez-Lopez, 2021).

Zadeh (1965), belirsizliği gidermek için bulanık kümeleri tanıtmıştır. Projelerde bilgilerin kesin olmaması ve yeterli verinin olmaması, uzman yargılarının uygulanmasını gerekli kılan faktörlerden bazılarıdır. Bu, bulanık kümeler kullanılarak yapılır. Bulanık PPS birçok çalışmaya konu olmuştur. Carlsson, Fullér, Heikkilä ve Majlender (2007), trapezoidal bulanık sayılar kullanarak bulanık karışık tam sayılı programlama modelini geliştirmiştir. Bas (2012), bulanık çok boyutlu 0-1 sırt çantası modeli geliştirmiştir. Riddell ve Wallace (2007), bulanık tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Perez ve Gomez (2016), yapmış olduğu çalışmada matematiksel modellemede bulanık kısıtlara yer vermiştir. Yıllar geçtikçe, gerçek

hayat problemlerine daha fazla uygulandığı için bulanık kümeler teorisinin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Geçmiş verilerin eksikliğinden dolayı, kendi deneyimlerine dayanarak, gelecek değerler ve bilinmeyen parametrelerle ilgili beklenen bir değişim aralığı öneren uzmanlara başvurmak olağan hale gelmiştir. Böylece, üyelik fonksiyonu parametrenin doğruluk derecesi hakkında bilgi içerir ve bu değerlerin her biri bulanık bir sayı olarak tanımlanabilir (Perez ve Gomez, 2016).

Bhattacharyya ve diğerleri (2011), sonucu en düşük maliyet ve riskle en üst düzeye çıkarmak için bulanık bir üç amaçlı optimizasyon modeli önermiştir. Hassanzadeh, Collan ve Modarres (2011), Ar-Ge portföy değerlemesi için yeni bir model önermiş ve belirsizlikleri gidermek için bulanık küme teorisi uygulamıştır. Damghani, Sadi-Nezhad, ve Aryanezhad (2011) mevcut projeler ve kaynaklarla ilişkili değerlerin bulanık sayılar olarak ifade edildiği iki aşamalı bir karar verme modeli önermiştir.

Proje bağımlılıkları, bir projenin gelişimi için diğer proje veya projelerden kısmen veya tamamen etkilenmesi durumunda ortaya çıkar. Farklı projeleri birbirine bağlayan bu tür karşılıklı ilişkilerin varlığı, genellikle bu projeler arasındaki etkileşimler yoluyla ulaşılabilen ortak bir portföy hedefi veya faydaları ile ilişkilendirilir. Örneğin, kıt kaynakların birden fazla proje arasında paylaşılması, muhtemelen genel bir maliyet tasarrufu ile sonuçlanacak, bu arada yeni bilginin üretilmesine yönelik fırsatlar da artacaktır. Bununla birlikte, projeler arasındaki bağlantının arttırılması, daha fazla fayda sağlayabilir, ancak bu arada bir yönetim zorluğuna da yol açabilir (Bathallath, Smedberg, ve Kjellin, 2016). İki Ar-Ge projesi ortak bir araştırma altyapısından yararlanıyorsa, ikisinin birlikte uygulanma maliyeti, ayrı ayrı uygulandıklarında katlanılacak maliyetten düşük olabilir. Son olarak, alternatif portföylerin sayısı genellikle fazladır. Örneğin 30 projenin uygun veya uygun değil şeklinde değerlendirildiği durumda, yaklaşık 1 milyar adet farklı portföy oluşturulabilirken, 300 tane projede bu sayı 2^{300} 'dür (Liesiö ve diğerleri, 2021).

Aslında karşılıklı bağımlılık proje portföy seçiminde yaygın olarak karşılaşılan bir kavramdır (Bhattacharyya ve diğerleri, 2011; Ghasemzadeh ve diğerleri, 1999). Karşılıklı bağımlılıkların göz ardı edilmesi, verimsiz çözümler ve kaynakların uygunsuz bir şekilde kullanılmasına neden olur. Carazo vd. (2010), çıktı, kaynak ve teknik etkileşimler ekleyerek

karşılıklı bağımlılık türlerini genişletmiştir. Arratia vd. (2016), kamu kuruluşlarının proje teklifleri arasındaki karşılıklı ve iç bağımlılıklar dikkate alınarak Ar-Ge proje portföylerinin seçilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Buna rağmen, çok az model projeler arasındaki karşılıklı bağımlılığı dikkate almıştır ve bu tür ilişkilerle ilgilenenler genellikle proje çiftleri arasındaki belirli karşılıklı bağımlılık türleri ile sınırlıdır (Ghapanchi, Tavana, Khakbaz ve Low, 2012).

Proje portföy seçimi probleminde kullanılan en yaygın proje bağımlılıkları şu şekildedir: kaynak bağımlılıkları, teknik bağımlılıklar ve pazar bağımlılıkları.

Kaynak bağımlılıkları, bir portföyün toplam maliyeti, bireysel maliyetlerin toplamından farklı olduğunda meydana gelir. Örneğin, kaynak bağımlılıkları, ekipman veya diğer kaynaklar iki proje arasında paylaşıldığında ortaya çıkar, böylece her iki projeyi seçmenin maliyeti, bireysel maliyetlerin toplamından daha az olur (Schmidt, 1993).

Teknik bağımlılıklar, belirli bir projenin başarı olasılığı başka benzer projeler yapılarak artıyorsa ortaya çıkar. Bu tür bir teknik bağımlılık yalnızca benzer başka bir proje yapıldığında ortaya çıkar ve projenin başarısına bağlı değildir (Schmidt, 1993). Örneğin, bir projenin, portföyde yer alan başka bir proje ile aynı teknolojik altyapıya sahip olduğunu varsayalım. Bu noktada geliştirilecek teknoloji iki projede de kullanılacağı için teknik bağımlılık ortaya çıkacaktır.

Pazar bağımlılıkları, bir projenin sonuçlarını proje portföyündeki başka bir projenin sonucuna bağlı olarak değişiklik gösterdiğinde ortaya çıkar. Bu durumdaki projelerin ya “tamamlayıcı” ya da “rekabetçi” olduğu söylenir. Tamamlayıcı durumuna örnek olarak, bilgisayar endüstrisinde, yeni yazılımlar bilgisayar talebini canlandırabilir ve böylece donanım geliştirme ile ilgili projelerin değerini artırabilir. Diğer bir örnek, yeni bir ürün kısmen mevcut bir ürünün yerini aldığı anda ortaya çıkan ve böylece her iki projenin toplam faydasının, bireysel projelerin fayda toplamından daha az olduğunda ortaya çıkan rekabetçi durumdur (Schmidt, 1993).

Proje değerlendirme ve PPS çalışmalarında çok çeşitli yaklaşımlar uygulamıştır. Proje değerlendirme yöntemleri için farklı sınıflandırmalar yapılmıştır.

Zanakis, Mandakovic, Gupta, Sahay ve Hong (1995) proje değerlendirme ve seçim yöntemlerini betimsel yöntemler, puanlama modelleri, Delphi yöntemi, ikili karşılaştırma, fayda teorisi, bulanık küme teorisi, karar analizi, risk analizi, doğrusal regresyon, korelasyon analizi ve veri zarflama analizi olmak üzere gruplara ayırmıştır. Chu, Hsu ve Fehling (1996), proje seçim yöntemlerini telafi edici ve telafi edici olmayan yöntemler olmak üzere iki ana kategoriye ayırmıştır. Telafi edici yöntemler, maliyet-fayda analizi ve analitik hiyerarşi süreci gibi modelleri kapsar, telafi edici olmayan yöntemler ise, çok kriterli karar verme yöntemleri ve sıralama modelleri olarak ikiye ayrılır. Archer ve Ghasemzadeh (1999) yaklaşımları, amaca öze yöntemler, karşılaştırmalı yöntemler, puanlama yöntemleri, portföy matrisleri ve optimizasyon yaklaşımlarından oluşan beş ana grupta sınıflandırmıştır. Cooper, Edgett ve Kleinschmidt (2001), proje seçim yöntemlerini finansal yöntemler (örneğin, net bugünkü değer ve yatırım getirisi), iş stratejilerine dayalı yöntemler, kabarcık diyagramları veya portföy haritaları, puanlama modelleri ve çok kriterli karar verme modellerini içeren diğer modeller olarak sınıflandırmıştır. Iamratanakul, Patanakul ve Milosevic (2008) portföy seçim problemlerini fayda ölçüm yöntemleri, matematiksel programlama yaklaşımları, kavramsal benzeme yaklaşımları, simülasyon modelleme ile sezgisel yöntemler, gerçek seçenekler ve amaca özel yöntemler olarak gruplandırmıştır.

Araştırmacılar tarafından kullanılan yöntemler farklı başlıklar altında toplansa da kullanılan yöntemler içerik olarak aynıdır. Yapılan çalışmalarda birden fazla yöntemin bir arada kullanıldığı melez modellere de rastlanmaktadır. Bu çalışmada, Ar-Ge PPS probleminde ele alınan yöntemlerden 2 ana başlık altında bahsedilecektir. Bunlar sırası ile optimizasyon yöntemleri ve fayda ölçüm yöntemleri olacaktır.

Gerçek hayatta proje portföy problemi çözülmesi gerektiğinde, birden çok yöntem kullanılması gerekli gibi görünmektedir, bu da bu alanda çok sayıda ve metodolojik olarak çeşitli makaleler olmasının bir nedenidir (Saiz ve diğerleri, 2021).

3.1. Optimizasyon Yöntemleri

PPS'nin özellikleri ve problemi çözme ihtiyacı duyan firmaların gereksinimleri nedeniyle farklı matematiksel modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Modeller amaçlarına göre tek, çift ve çok amaçlı olarak sınıflandırılabilir. Belirsizlik durumunda, stokastik, bulanık ve gürbüz tekniklere dayalı optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Tam sayılı programlama

(IP), karışık tam sayılı programlama (MIP), doğrusal programlama (LP) ve doğrusal olmayan programlama (NLP) gibi farklı matematiksel programlama yöntemleri önerilmiştir.

Mavrotas, Diakoulaki ve Capros (2003) iki aşamalı bir prosedür uygulamıştır. İlk adım, projeleri çeşitli kriterlere göre sıralayan çok kriterli karar yardımından oluşur. Bu adımın sonunda, her alternatif, en düşük performanslı alternatifleri elemek için kullanılan bir puan alır. İkinci adımda ise bu puanlar, karışık tam sayılı bir doğrusal programlama modelinin maksimize edilecek amaç fonksiyonunun katsayıları olarak kullanılmıştır.

Greiner, Fowler, Shunk, Carlyle ve McNutt (2003) silah sistemleri geliştirme projelerinin seçiminde kullanılmak üzere melez bir karar destek metodolojisi sunmuştur. Melez metodoloji, analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve 0-1 tamsayı programlama modelinden oluşmaktadır. AHP ile karar vericinin niteliksel ve soyut kriterleri karar verme sürecine dahil edilir ve 0-1 tam sayılı modelinin amaç fonksiyonu ile AHP ile bulunan öncelik değerleri bir değer ölçüsüne dönüştürülür.

Carazo ve diğerleri (2010), hem organizasyonun izlediği hedefler doğrultusunda verimli portföyler elde etmeyi hem de portföy içindeki her bir projeyi ön bilgiye ihtiyaç duymadan başlatmak için en uygun zamana ilişkin çizelgelemeyi kolaylaştıran çok amaçlı bir 0-1 tam sayılı programlama modeli önermiştir. Modeli çözmek için dağınık arama meta sezgisel yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemin etkinliği rastgele oluşturulmuş örneklem üzerinde Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA) ve naif (naive) yöntem yaklaşımları ile karşılaştırılmıştır.

Bhattacharyya ve diğerleri (2011), kaynaklar, bütçe, karşılıklı bağımlılıklar, çıktı ve sadece bir kez gerçekleşen projeler üzerindeki kısıtlamalar altında, sonucu maksimize eden ve problemin içerdiği maliyet ve riski minimuma indiren bulanık, üç amaçlı bir Ar-Ge proje portföy seçim problemi sunmuştur. Modelin çözümü için genetik algoritmalar kullanılmıştır.

Abbassi ve diğerleri (2014), dengeli bir Ar-Ge projesi değerlendirme kriter seti önermiştir. Projelerin karşılıklı bağımlılıklarının, türlerinin ve diğer kısıtlamaların tümünün dikkate alındığı 0-1 doğrusal olmayan bir matematiksel programlama yöntemi sunmuştur. Önerilen model çözmek için bir çapraz entropi algoritması geliştirilmiştir.

Arratia ve diğerleri (2016), projelerin görevlere bölünmesine izin veren ve projeler arasındaki bağımlılıkların yanı sıra görevler arasındaki bağımlılıkları ve bu tür bağımlılıkların hem olumlu hem olumsuz etkilerini ele alan proje portföy optimizasyonu için bir karışık tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli kurmuştur.

Tavana, Khosrojerdi, Mina ve Rahman (2019) bulanık analitik hiyerarşi süreci ve 0-1 tam sayılı programlama modeli yöntemlerini birleştiren iki aşamalı bir yaklaşım sunmuştur. İlk aşamada, bulanık analitik hiyerarşi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve her bir projenin değerlendirme puanı belirlenmiştir. İkinci aşamada, eş zamanlı olarak karı maksimize etmek, proje portföyünün toplam değerini maksimize etmek ve riski minimize etmek olmak üzere üç amaçlı bir matematiksel model sunulmuştur. Bu melez yaklaşım, bütçe kısıtlamaları ve proje risklerini göz önünde bulundurarak hem nicel hem de nitel kriterleri dikkate alma yeteneği sağlamıştır.

Mavrotas ve Makryvelios (2021), ITA (Iterative Trichotomic Approach) çerçevesinde çok kriterli analiz, matematiksel programlama ve monte carlo simülasyonu ile karar turları kullanarak büyük problemleri çözmeyi hedeflemiştir.

3.2. Fayda Ölçüm Yöntemleri

Proje seçimi ve PPS'de çok çeşitli puanlama ve sıralama yöntemleri uygulanmıştır. Bu süreçte kullanılan bir diğer yaklaşım ise melez yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, en iyi proje portföyünü bulmak için sıralama yöntemleri ve optimizasyon yaklaşımlarının bir kombinasyonu kullanılır.

Genel olarak, bir karar vericinin projeleri belirli kriterlere göre ve özel kısıtlamaları dikkate alarak değerlendirmesi gerekir. Bu hedefe ulaşmak için olan yaklaşımlardan biri çok kriterli karar verme ile ilişkilidir. Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki yöntem, kararlarını alternatiflerin ve kriterlerin ikili karşılaştırmalarına dayandırır.

Eilat, Golany ve Shtub (2006), Veri Zarflama Analizi (VZA) modelindeki ağırlıkların uygulanabilir değerlerini sınırlayan ek kısıtlar tanımlayan kurumsal karne (balanced scorecard) yöntemini dahil eden bir model geliştirmişlerdir.

Jerry Ho, Tsai, Tzeng ve Fang (2011), Analitik Ağ Süreci (ANP) ve VIKOR ile birleştirilmiş Dematel'den oluşan bir melez çok kriterli karar verme modeli kurmuştur. Dematel yöntemi ile kriterler arasındaki nedensellik ilişkileri analiz edilmiştir. Kriter ağırlıkları ANP ile belirlenmiş olup VIKOR yöntemi ile en uygun projeler belirlenmiştir.

Ghapanchi ve diğerleri (2012), hem proje belirsizliklerini hem de proje etkileşimlerini aynı anda dikkate alırken en iyi bilgi teknolojisi projeleri portföyünü seçmek için bulanık veri zarflama analizi kullanmıştır. Bulanık veri zarflama analizi, proje ve portföy düzeyinde olmak üzere iki kere uygulanmıştır. Bu çalışma ile belirsizlik koşullarına yanıt veren ve kaynak, sonuç ve başarı olasılığı açısından proje karşılıklı bağımlılıklarıyla ilgilenen proje portföylerini seçmek için nicel bir metodoloji oluşturulmuştur.

Tavana, Khalili-Damghani ve Sadi-Nezhad (2013) çok kriterli proje portföy seçim modellerinde kesin olmayan bilgiye yer vermiştir. Belirsizlik ve muğlaklık içeren bir veri zarflama analizi modeli önermiştir. Amaç fonksiyonlarının belirsizliği, çok amaçlı bulanık doğrusal programlama yoluyla modellenmiştir. Girdi ve çıktı verilerinin muğlaklığı, bulanık kümeler ve bir α -kesme tabanlı yöntemle modellenmiştir.

Tavana, Keramatpour, Santos-Arteaga, ve Ghorbaniane (2015) optimal bir proje kombinasyonunu seçmek için üç aşamalı bir melez yöntem önermiştir. İlk tarama için veri zarflama analizi, projeleri sıralamak için TOPSIS ve organizasyonel hedeflere göre bulanık bir ortamda en uygun proje portföyünü seçmek için doğrusal tam sayılı programlama kullanılmıştır.

Jeng ve Huang (2015), kriterler ve alternatifler arasındaki karşılıklı bağımlılığı ve geri bildirimi araştırmalarında dikkate almıştır. Portföy seçimi için Delphi, Dematel ve ANP'yi içeren bir melez çok kriterli karar verme yöntemi kullanmıştır. Delphi ile kriterler belirlendikten sonra, Dematel ile kriterler arasındaki nedensellik ilişkileri analiz edilmiştir. Kriter ağırlıkları da ANP ile belirlenmiş olup, böylece optimal portföy seçilmiştir.

Jafarzadeh ve diğerleri (2018), proje seçiminde kullanılacak kriterlerin sistematik bir şekilde tanımlanmasını ve hem proje karşılıklı bağımlılıklarını hem de belirsizliği dikkate alınmasını amaçlamıştır. Bunu gerçekleştirmek için bulanık kalite işlev yayılımı ve veri zarflama analizi yöntemlerini kullanmıştır.

4. ÇALIŞMA KAPSAMI

Yapılan araştırmalar sonucunda proje portföy seçimi probleminde proje değerlendirme kriter ağırlıklarının önceden belirlenmesine gerek kalmadan, projelerin karşılaştırılmalarının yapılabileceği VZA yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

VZA, performans değerlendirmesinde parametrik olmayan bir yaklaşımdır. VZA, projelerin göreceli performansına karşı etkin sınırın ölçüldüğü karşılaştırmadır. Bir grup yüksek teknoloji projesi göz önüne alındığında, tüm projeler gruptaki etkin projeler tarafından belirlenen optimum etkinlik düzeyinde çalışabilmelidir. Bu etkin projeler genellikle "emsal projeler" olarak kabul edilir ve etkin sınırı belirler. Etkin sınırı oluşturan projeler, aynı miktarda çıktı üretmek için minimum miktarda girdi kullanır. Etkin sınıra olan uzaklık, etkinlik ya da etkinliğin eksikliği için bir ölçü sağlar. VZA çok sayıda girdi ve çıktıyı, öncül ağırlıklar ile girdi ve çıktılar arasında açıkça ilişki tanımlamadan işleyebildiği için proje portföy seçiminde kullanılmıştır (Tavana ve diğerleri, 2013).

VZA modelinde amaç fonksiyonlarının başarı düzeyinin önemli miktarda belirsizliğe sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu belirsizlik, VZA problemindeki çoklu ve çelişkili hedeflere atfedilir. Bu durumda, karar vericiler, optimum bir çözüm yerine tatmin edici veya uzlaşmacı bir çözüme (niteliklerinin tümü belirli minimum istenen seviyelerini aşan) razı olmak zorunda kalabilirler. Ayrıca, net girdi ve çıktı verileri, geleneksel VZA değerlendirme sürecinde temel olarak vazgeçilmezdir. Ancak, gerçek dünya problemlerinde girdi ve çıktı verileri genellikle belirsizdir. Modeldeki girdi ve çıktı verilerinin belirsizliği bulanık kümelerle temsil edilmektedir (Tavana ve diğerleri, 2013).

Bulanık değişken, kesin (net) değeri olan bir değişkenin aksine, kesin olmayan bir değere sahip bir değişkendir. Her bulanık değişken, etki alanı belirli bir küme olan bir fonksiyon olarak düşünülebilir. Etki alanındaki her sayısal değer, minimum ve maksimum uygulanabilir derecelerin sırasıyla 0 ve 1 olduğu belirli bir "üyelik fonksiyonuna" sahiptir. Bulanık değişkenlerin fiziksel dünyayı net (tek değerli) sayılardan daha gerçekçi temsil ettiğini söylenir (Ghapanchi ve diğerleri, 2012).

VZA, kesin girdi ve çıktılarına sahip bir dizi varlığın görece etkinliklerini ölçmek ve değerlendirmek için parametrik olmayan bir tekniktir. Aslında, gerçek bir değerlendirme probleminde, değerlendirilen varlıkların girdi ve çıktı verileri sıklıkla bir değer etrafında değişkenlik gösterir. Bu değişken veriler, uzmanların bir tür genel hissini veya deneyimini yansıtmak için bulanık sayılarla karakterize edilen dilsel değişkenler olarak temsil edilebilir (Guo ve Tanaka, 2008).

Genel olarak, uzmanların değerlendirmelerini ifade etmek için “çok önemli” veya “çok önemsiz” gibi dilsel değişkenler kullanılır. Bulanık küme teorisi, kesin olmayan bilgi kullanımındaki insan muhakemesine ve karar üretme kesinliğine benzeyen, belirsiz değerlendirmeler altında dilsel değişkenleri bulanık sayılara dönüştürmek daha iyi bir yaklaşımdır (Huang ve diğerleri, 2008).

Ghapanchi ve diğerleri (2012) projeleri, portföylerin karar verme birimleri olarak kabul etmektedir. Daha sonra, her proje için girdi, çıktı ölçütleri tahmin edilir. Kalitatif kriterlerin tanımlanmasında dilsel değerler kullanılır. Çalışmalarında projelerin başarılı olma şansına ilişkin karar vericilerin belirsiz dilsel değerlendirmelerine karşılık gelen üçgensel bulanık değişkenler kullanılmıştır. Bu ölçekteki her dilsel ifade, üçgensel bulanık değişkenler kullanılarak matematiksel olarak tanımlanmıştır.

Yapılan detaylı literatür araştırması sonucunda proje portföy seçimi probleminde belirsizlik mevcut olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu belirsizliği tanımlayabilmek için VZA modelinde kullanılacak olan parametrelerin kesin değerler ile ifade edilemeyeceğinden dolayı öncelikle dilsel ifadelerle değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu dilsel ifadelerin, matematiksel karşılıkları için üçgensel bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan parametrelerin belirlenmesi ve değerlendirme yöntemi sonraki bölümlerde detaylandırılmıştır.

Literatürde henüz tamamıyla çözümlenememiş karşılıklı bağımlılık konusu da çalışma kapsamında ele alınmıştır. Karşılıklı bağımlılıkların göz ardı edilmesi ya da tamamının çözümlenememesi etkin olmayan sonuçlara yol açacaktır. Dolayısıyla bütün yönlü karşılıklı bağımlılıkları modelleyen bir özgün yaklaşım geliştirilmiştir. Bu sayede portföy seçimi probleminin ana karakteristiği olan belirsizlik ve karşılıklı bağımlılığı aynı anda çözümleyen bir modelleme yapılmıştır.

5. TEORİK ZEMİN

5.1. Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından geliştirilmiştir. VZA, çoklu ve ortak girdiler ve çıktılar tarafından değerlendirilen karar verme birimlerinin (KVB) performanslarını ölçmek için kullanılan bir matematiksel modeldir. Model, karar verme birimlerini performanslarına göre etkin ve etkin olmayan olarak ayırmaktadır. Bu performanslar çıktıların ağırlıklı toplamının ağırlıklı girdi toplamına oranından elde edilmektedir. Girdi ve çıktıların ağırlıkları değişkenlerdir ve her bir karar verme biriminin ayrı ayrı en iyi göreliliğini bulmak için model çözülerek elde edilirler. Bu nedenle karar verme biriminin daha başarılı olduğu girdi ve çıktılar diğerlerine göre daha yüksek ağırlıktadır.

VZA'da girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi açık bir şekilde tanımlamaya gerek yoktur. Ayrıca, değerlendirilen her karar verme birimi için aynı olmak kaydıyla, herhangi bir birimde birden fazla girdi ve çıktı ile ilgilenebilir. Bu nedenle; VZA'nın başlıca avantajları, karar vericiden minimum miktarda bilgi talep etmesi ve birim değişmezlik özelliğidir (Aker, 2010).

Temel VZA modeli, CCR modeli olarak kısaltılan Charnes ve diğerleri (1978) tarafından tanıtılmıştır. Bir karar verme biriminin göreliliğini, her bir karar verme biriminin çıktı/girdi oranının birden az veya ona eşit olması koşuluna bağlı olarak, toplam ağırlıklı çıktıların toplam ağırlıklı girdilerine oranını maksimize ederek hesaplar. Geleneksel VZA formülasyonu:

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (5.1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad \forall j \quad (5.2)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.3)$$

Modelin notasyonları aşağıda verilmiştir:

h_0 : değerlendirilen karar verme biriminin verimlilik skoru,

u_r : r çıktısına atanmış ağırlığa,

v_i : i girdisine atanmış ağırlığa,

y_{rj} : j . karar verme birimi tarafından üretilen r . çıktı miktarı,

x_{ij} : j . karar verme birimi tarafından tüketilen i . girdi miktarına karşılık gelmektedir.

Yukarıda belirtilen formülasyon doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu yapı, Charnes ve Cooper (1962) tarafından yapılan çalışmadaki dönüşüm aracılığıyla doğrusal bir programlama modeline çevrilebilir. Bir karar verme biriminin göreceli etkinliğini hesaplamak için doğrusal programlama modeli:

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (5.5)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \forall j \quad (5.6)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.7)$$

Doğrusal hale getirilen model n kere çözülerek karar verme birimlerinin etkinlik skorları hesaplanır. Buradaki n karar verme birimlerinin sayısıdır. Etkinlik skoru 1 olan karar verme birimleri etkin, 1'den daha az olanlar ise etkin olmayan olarak sınıflandırılır. Yukarıda bahsedilen CCR modelinin çıktı odaklı halidir.

Girdi odaklı CCR modeli:

$$\min h_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (5.8)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1, \quad \forall j \quad (5.9)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.10)$$

Eşitlik (5.8)-(5.10)'da yer alan girdi odaklı CCR modelinin doğrusal hali:

$$\min h_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \quad (5.11)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1 \quad (5.12)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0, \quad \forall j \quad (5.13)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.14)$$

CCR modeli ölçeğe göre sabit getiriye göre hesaplama yapmaktadır. Ölçeğe göre değişken getiriye sahipse elde edilen sonuçlarda, etkin olan karar verme birimleri etkinsiz olarak çıkabilir. Bu soruna karşı koymak için başka bir VZA modeli, BCC modeli olarak kısaltılan Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından önerilmiştir. BCC modeli, etkin sınırlar kümesinin tüm etkin karar verme birimlerinden geçen bir konveks eğri ile temsil edildiği CCR modelinin uzantılarından biridir.

BCC modelinin 0. karar verme biriminin etkinliğini hesaplayan çıktı odaklı hali Eşitlik (5.15)-(5.18)'te verilmiştir.

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0 \quad (5.15)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0, \quad \forall j \quad (5.16)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1, \quad (5.17)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.18)$$

BCC modelinin 0. karar verme biriminin etkinliğini hesaplayan girdi odaklı hali Eşitlik (5.19)-(5.22)'de verilmiştir (Cooper, Seiford ve Tone, 2006: 89).

$$\min \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} - v_0 \quad (5.19)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v_0 \leq 0, \quad \forall j \quad (5.20)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1, \quad (5.21)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall r, i \quad (5.22)$$

CCR ve BCC modellerinin iki yönü vardır; birincisi, en azından verilen çıktı düzeyini karşılarken girdileri en aza indirmeyi amaçlayan girdi odaklı model, ikincisi ise ilave girdi gerektirmeden çıktıları en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan çıktı odaklı modeldir.

Yukarıda açıklanan teorik gelişmelerin yanı sıra VZA, bankacılık, eğitim, sağlık, üretim ve yönetim durumları gibi farklı alanlarda birçok gerçek yaşam problemine de uygulanmıştır.

VZA'nın teorik yaklaşımları ve pratik uygulamaları hakkında literatür taraması Cook ve Seiford (2009) tarafından hazırlanmıştır.

5.2. Bulanık Veri Zarflama Analizi

VZA modelimizde amaç fonksiyonlarının başarı düzeyinin önemli miktarda belirsizliğe sahip olduğu varsayılmaktadır. Net girdi ve çıktı verileri, geleneksel VZA değerlendirme sürecinde temel olarak vazgeçilmezdir. Ancak, gerçek dünya problemlerinde girdi ve çıktı verileri genellikle belirsizdir. Modelde girdi ve çıktı verilerinin belirsizliği bulanık kümelerle temsil edilmektedir (Tavana ve diğerleri, 2013).

Bulanık VZA modelleri, tolerans yaklaşımı, α seviyelerine dayalı yaklaşım, bulanık sıralama yaklaşımı ve olasılık yaklaşımı olmak üzere dörde ayrılabilir.

5.2.1. Tolerans yaklaşımı

Bulanık VZA'yı çözmek için ilk yaklaşımı Sengupta (1992) önermiştir. Daha sonra bu çalışması Kahraman ve Tolga (1998) tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda ana fikir, kısıtlama ihlallerinde tolerans düzeylerini tanımlayarak belirsizliği VZA modellerine dahil etmektir. Bu yaklaşım, eşitsizlik işaretlerini bulanıklaştırır, ancak bulanık katsayıları doğrudan ele almaz.

5.2.2. α seviyelerine dayalı yaklaşım

Bulanık VZA modelleri arasında sıkça kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, etkinlik puanını elde etmek için üyelik fonksiyonlarının α seviyesinin alt ve üst sınırlarını belirleyen bulanık VZA modelleri bir çift parametrik programlama modeline dönüştürülür.

Kao ve Liu (2000) bulanık gözlemlerle karar verme birimleri için bulanık etkinlik ölçüleri sağlayabilen bir yöntem geliştirmiştir. Temel fikir, bulanık VZA modelini bir dizi geleneksel net VZA modeline dönüştürmek için α -kesme ve Zadeh'in genişleme ilkesini (Zadeh, 1978; Zimmerman, 2001) uygulamaktır.

5.2.3. Bulanık sıra yaklaşımı

Bu yaklaşım ilk olarak Guo ve Tanaka (2001) tarafından etkinlik ölçümü için geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda ana fikir, bulanık kümelerin sıralanmasını gerektiren bulanık doğrusal programları kullanarak karar verme birimlerinin bulanık etkinlik puanlarını bulmaktır. Bulanık kısıtlamaların önceden bir olasılık düzeyi tanımlanarak ve bulanık sayılar için karşılaştırma kuralı kullanılarak kesin kısıtlamalara dönüştürüldüğü bir bulanık CCR modeli önermişlerdir.

5.2.4. Olasılık yaklaşımı

Olasılık teorisi, Zadeh (1978) tarafından bulanık küme teorisi açısından tanıtılmıştır. Zadeh (1978), bir rastgele değişkenin bir olasılık dağılımı ile ilişkilendirilmesi gibi, bir bulanık değişkenin de bir olasılık dağılımı ile ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Bulanık doğrusal programlama modellerinde, bulanık katsayılar, bulanık değişkenler olarak görülebilir ve kısıt, bulanık olaylar olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, bulanık olayların olasılıkları (bulanık kısıtlamalar) olasılık teorisi kullanılarak belirlenebilir.

Lertworasirikul ve diğerleri (2003a,b) “olasılık” ve “güvenilirlik” yaklaşımını önermiştir. Bulanık amaç fonksiyonundaki belirsizliği ve olasılık ölçüleriyle bulanık kısıtlamaları birleştirerek hem iyimser hem de kötümser bakış açılarından olasılık yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Güvenilirlik yaklaşımında bulanık VZA, bir kredibilite programlama modeline dönüştürülmüş ve bulanık hedefler ve bulanık kısıtlar, beklenen kredileri ile değiştirilmiştir. Beklenen krediler, kredibilite ölçütleri kullanılarak hesaplanmıştır.

6. METODOLOJİ

Literatürdeki geleneksel veri zarflama analizi gösterimini göz önünde bulundurarak, her bir KVB_j 'nin ($j=1, 2, \dots, n$) s adet çıktısı y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$)'yi üretmek için m adet girdi x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$) tükettiğini varsayalım. Belirli bir KVB_0 için E_0 , verimlilik puanı olarak tanımlanır. Charnes ve diğerleri (1978) VZA modelini önermiştir. Eşitlik (5.1)-(5.3) modelinde gösterilmiştir.

KVB'lerin girdi ve çıktıların değerlerinin, d adet karar vericinin (KV) ($k=1, 2, \dots, d$) öznel görüşüne dayandığını varsayalım. Sonuç olarak KV_k , her bir KVB'nin s çıktılarını y_{rjk} ($r = 1, 2, \dots, s; k = 1, 2, \dots, d$) üretmek için m girdi x_{ijk} ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, d$) tükettiğini tahmin eder. Her bir kriter için oluşturulmuş d farklı öznel görüşü birleştirmek için geometrik ortalama kullanılacaktır. Sonuç olarak, CCR modeli aşağıdaki modele dönüşür (Tavana ve diğerleri, 2013).

$$\max E_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\prod_{k=1}^d y_{r0k})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\prod_{k=1}^d x_{i0k})^{1/d}} \quad (6.1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\prod_{k=1}^d y_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\prod_{k=1}^d x_{ijk})^{1/d}} \leq 1, \quad \forall j \quad (6.2)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.3)$$

Yukarıdaki modelde tanımlanmış $(\prod_{k=1}^d x_{ijk})^{1/d}$ değeri, KVB_j için i. girdinin, d karar verici görüşlerinin geometrik ortalamasıdır. $(\prod_{k=1}^d y_{rjk})^{1/d}$ değeri ise, KVB_j için r. çıktının, d karar verici görüşlerinin geometrik ortalamasıdır.

6.1. Bulanık Mantık

Varsayalım ki $k=1, 2, \dots, d$ olmak üzere d adet karar verici, bulanık sayılarla ilişkili dilsel terimleri kullanarak bazı girdiler ve çıktılar hakkındaki bilgileri sağladılar. KV_k her bir KVB_j 'nin ($j=1, 2, \dots, n$) s bulanık çıktı $\tilde{y}_{rjk}$ ($r = 1, 2, \dots, s; k = 1, 2, \dots, d$) üretmek için m bulanık girdi $\tilde{x}_{ijk}$ ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, d$) tükettiğini tahmin etmiştir. Bu varsayım

iki veya daha fazla alternatif arasında belirsiz bir seçime atıfta bulunduğu için belirsizliği yansıtır.

Buckley (1985), geometrik ortalama tekniğini bulanık sayılara uygulamıştır. Bulanık girdilerin ve bulanık çıktıların geometrik ortalamalarını belirlemek için Buckley (1985) tarafından belirlenen aşağıdaki yaklaşımı kullanılmıştır:

$$(\tilde{x}_{ij1} \otimes \tilde{x}_{ij2} \otimes \dots \otimes \tilde{x}_{ijd})^{1/d} = (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (6.4)$$

$$(\tilde{y}_{rj1} \otimes \tilde{y}_{rj2} \otimes \dots \otimes \tilde{y}_{rjd})^{1/d} = (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d} r = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n \quad (6.5)$$

Burada $(\otimes \prod_{k=1}^d x_{ijk})^{1/d}$, d adet karar vericinin KVB_j için i. girdi hakkındaki görüşlerinin bulanık geometrik ortalamasıdır ve $(\otimes \prod_{k=1}^d y_{rjk})^{1/d}$, d adet karar vericinin KVB_j için r. çıktı hakkındaki görüşlerinin bulanık geometrik ortalamasıdır.

Eşitlik (6.1)-(6.3)'teki muğlaklık ve belirsizliği gideren amaç bulanık amaç fonksiyonlarına ve bulanık katsayılarla sahip VZA modelinin gürbüz versiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir (Tavana ve diğerleri, 2013):

$$\max \tilde{E}_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}} \quad (6.6)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}} \leq 1, \quad \forall j \quad (6.7)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.8)$$

6.2. Belirsizliğin Çözümlemesi

Belirsizliğin çözümlemesi aşamasında Tavana ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır.

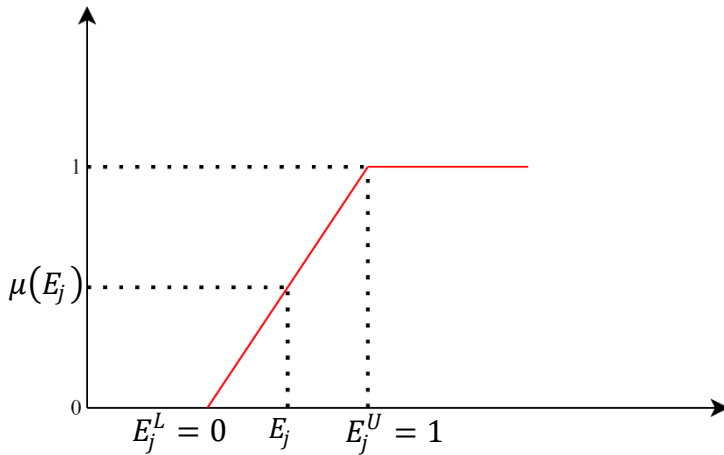
Eşitlik (6.6)-(6.8), aşağıdaki bulanık çok amaçlı programlama problemi olarak yeniden yazılabilir:

$$\max \tilde{E}_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.9)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}} \leq 1, \quad \forall j \quad (6.10)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.11)$$

Eşitlik (6.9)-(6.11), bulanık hedefler ve bulanık katsayılar ile çok amaçlı doğrusal programlama problemine dönüştürülebilir. Şekil 6.1, amaç fonksiyonlarının doğrusal üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 6.1. Amaç fonksiyonunun doğrusal üyelik fonksiyonu

VZA'da amaç fonksiyonlarının alt sınırı ve üst sınırı sırasıyla sıfır ve bir olarak ayarlanır. Eşitlik (6.9)-(6.11)'deki belirsizliği gidermek için bulanık matematiksel programlama yaklaşımı kullanılmıştır:

$$\max \lambda \quad (6.12)$$

$$\mu(E_j) \geq \lambda, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.13)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk})^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i (\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk})^{1/d}} \leq 1, \quad \forall j \quad (6.14)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.15)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.16)$$

Eşitlik (6.12)-(6.16)'daki hedeflerin üyelik fonksiyonunun değiştirilmesi aşağıdaki modelle sonuçlanacaktır:

$$\max \lambda \quad (6.17)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk} \right)^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk} \right)^{1/d}} \geq \lambda, \quad \forall j \quad (6.18)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk} \right)^{1/d}}{\sum_{i=1}^m v_i \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk} \right)^{1/d}} \leq 1, \quad \forall j \quad (6.19)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.20)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.21)$$

Eşitlik (6.17)-(6.21) aşağıdaki gibi doğrusal bir forma dönüştürülebilir:

$$\max \lambda \quad (6.22)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk} \right)^{1/d} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk} \right)^{1/d} \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.23)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk} \right)^{1/d} - \sum_{i=1}^m v_i \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk} \right)^{1/d} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.24)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.25)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.26)$$

6.3. Muğlaklığın Çözümlemesi

Eşitlik (6.22)-(6.26)'da yer alan belirsizlik Tavana ve diğerleri (2013) tarafından önerilen model ile daha önceden çözümlenmişti. Tanımlanan bu model muğlaklık içeren bulanık katsayılar içermektedir. Basitleştirmek adına $\tilde{x}_{ij} = \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{x}_{ijk} \right)^{1/d}$ ve $\tilde{y}_{rj} = \left(\otimes \prod_{k=1}^d \tilde{y}_{rjk} \right)^{1/d}$ için sırasıyla bulanık girdilerin ve çıktıların bulanık geometrik ortalamaları olduğunu varsayalım. Ayrıca $(x_{ij}^L)_{\alpha_i}, (y_{rj}^L)_{\alpha_r}$ ve $(x_{ij}^U)_{\alpha_i}, (y_{rj}^U)_{\alpha_r}$ sırasıyla girdi ve çıktıların

alt ve üst sınırları olduğunu varsayalım. Memnuniyet seviyesinin alt sınırı, aşağıdaki iki seviyeli optimizasyon modeli kullanılarak elde edilebilir:

$$\min w = \left\{ \max \lambda \left\{ \begin{array}{l} \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rj} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \right) \geq 0, \quad \forall j \\ \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \leq 0, \quad \forall j \\ u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{array} \right\} \right\} \quad (6.27)$$

$$(x_{ij}^L)_{\alpha_i} \leq \tilde{x}_{ij} \leq (x_{ij}^U)_{\alpha_i}, \quad \forall i \quad (6.28)$$

$$(y_{rj}^L)_{\alpha_r} \leq \tilde{y}_{rj} \leq (y_{rj}^U)_{\alpha_r}, \quad \forall r \quad (6.29)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.30)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.31)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.32)$$

Memnuniyet seviyesinin üst sınırı, aşağıdaki iki seviyeli optimizasyon modeli kullanılarak elde edilebilir:

$$\max w = \left\{ \max \lambda \left\{ \begin{array}{l} \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rj} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \right) \geq 0, \quad \forall j \\ \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \leq 0, \quad \forall j \\ u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{array} \right\} \right\} \quad (6.33)$$

$$(x_{ij}^L)_{\alpha_i} \leq \tilde{x}_{ij} \leq (x_{ij}^U)_{\alpha_i}, \quad \forall i \quad (6.34)$$

$$(y_{rj}^L)_{\alpha_r} \leq \tilde{y}_{rj} \leq (y_{rj}^U)_{\alpha_r}, \quad \forall r \quad (6.35)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.36)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.37)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.38)$$

Eşitlik (6.27)-(6.32) ve (6.33)-(6.38) için tanımlanmış iki aşamalı optimizasyon modelleri dört adet ekstrem durum içerir:

Tüm girdi ve çıktıların üst sınır değerlerini aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.39)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^U)_{\alpha_r} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^U)_{\alpha_i} \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.40)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^U)_{\alpha_r} - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^U)_{\alpha_i} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.41)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.42)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.43)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.44)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.45)$$

Girdi değerlerinin alt sınır, çıktı değerlerinin ise üst sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.46)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^U)_{\alpha_r} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^L)_{\alpha_i} \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.47)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^U)_{\alpha_r} - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^L)_{\alpha_i} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.48)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.49)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.50)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.51)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.52)$$

Girdi değerlerinin üst sınır, çıktı değerlerinin ise alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.53)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^L)_{\alpha_r} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^U)_{\alpha_i} \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.54)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^L)_{\alpha_r} - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^U)_{\alpha_i} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.55)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.56)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.57)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.58)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.59)$$

Tüm girdi ve çıktı değerlerinin alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.60)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^L)_{\alpha_r} - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^L)_{\alpha_i} \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.61)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^L)_{\alpha_r} - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^L)_{\alpha_i} \leq 0, \quad \forall j \quad (6.62)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.63)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.64)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.65)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.66)$$

6.4. Bulanık Mantığın Çözümlemesi

Tüm bulanık parametrelerin üçgensel bulanık sayılar olarak kabul edildiği, n karar verme birimine sahip pratik bir model aşağıda verilmiştir. Her bir KVB_j ($j = 1, 2, \dots, n$) s adet bulanık çıktı $\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}^1, y_{rj}^2, y_{rj}^3)$ üretmek için, m adet bulanık girdi $\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}^1, x_{ij}^2, x_{ij}^3)$ tüketir. Her bir üçgensel bulanık sayı için rastgele bir α -kesme kullanarak, girdi ve çıktılar için üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınırları aşağıdaki gibi hesaplanır (Ali, Sultan ve Khan, 2016):

$$(x_{ij}^L)_{\alpha_i} = x_{ij}^1 + \alpha_i(x_{ij}^2 - x_{ij}^1), \quad \alpha_i \in [0,1]; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.67)$$

$$(x_{ij}^U)_{\alpha_i} = x_{ij}^3 - \alpha_i(x_{ij}^3 - x_{ij}^2), \quad \alpha_i \in [0,1]; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.68)$$

$$(y_{rj}^L)_{\alpha_r} = y_{rj}^1 + \alpha_r(y_{rj}^2 - y_{rj}^1), \quad \alpha_r \in [0,1]; \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.69)$$

$$(y_{rj}^U)_{\alpha_r} = y_{rj}^3 - \alpha_r(y_{rj}^3 - y_{rj}^2), \quad \alpha_r \in [0,1]; \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6.70)$$

Hesaplanmış alt ve üst sınır değerleri, belirtilen dört ekstrem durumdaki yerlerine yerleştirilirse:

Tüm girdi ve çıktıların üst sınır değerlerini aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.71)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^3 - \alpha_r(y_{rj}^3 - y_{rj}^2)) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^3 - \alpha_i(x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.72)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^3 - \alpha_r(y_{rj}^3 - y_{rj}^2)) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^3 - \alpha_i(x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.73)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.74)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.75)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.76)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.77)$$

Girdi değerlerinin alt sınır, çıktı değerlerinin ise üst sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.78)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^3 - \alpha_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2)) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^1 + \alpha_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.79)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^3 - \alpha_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2)) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^1 + \alpha_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.80)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.81)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.82)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.83)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.84)$$

Girdi değerlerinin üst sınır, çıktı değerlerinin ise alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.85)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^1 + \alpha_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1)) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^3 - \alpha_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.86)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^1 + \alpha_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1)) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^3 - \alpha_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.87)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.88)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.89)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.90)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.91)$$

Tüm girdi ve çıktı değerlerinin alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.92)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^1 + \alpha_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1)) - \lambda \left(\sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^1 + \alpha_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \right) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.93)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj}^1 + \alpha_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1)) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^1 + \alpha_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.94)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.95)$$

$$\alpha_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (6.96)$$

$$\alpha_r \in [0,1], \quad \forall r \quad (6.97)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.98)$$

Eşitlik (6.71)-(6.77), (6.78)-(6.84), (6.85)-(6.91) ve (6.92)-(6.98)'de bulunan α -kesme seviyeleri önceden tanımlanmamıştır ve farklı α -kesme seviyeleri nedeniyle belirli bir karar verme birimi için çelişkili sıralamalar ortaya çıkabilir. Son olarak modeller doğrusal değildir ve global optimal değeri bulmak zor olacaktır. Bahsedilen bu sorunlardan dolayı Tavana ve diğerleri (2013) tarafından önerilen model kullanılacaktır.

6.5. Modelin Doğrusallaştırılması

$\beta_r = \alpha_r u_r$ ve $\gamma_i = \alpha_i v_i$ eşitlikleri kullanılarak modeller güncellenir.

Tüm girdi ve çıktıların üst sınır değerlerini aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.99)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \lambda (\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.100)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.101)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.102)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.103)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.104)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.105)$$

Girdi değerlerinin alt sınır, çıktı değerlerinin ise üst sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.106)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \lambda (\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.107)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.108)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.109)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.110)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.111)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.112)$$

Girdi değerlerinin üst sınır, çıktı değerlerinin ise alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.113)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \lambda (\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2)) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.114)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.115)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.116)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.117)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.118)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.119)$$

Tüm girdi ve çıktı değerlerinin alt sınır aldığı durum:

$$\max \lambda \quad (6.120)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \lambda (\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.121)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.122)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.123)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.124)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.125)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.126)$$

Yukarıda tanımlanan modellerde $\lambda, u_r, v_i, \beta_r$ ve γ_i karar değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla tanımlanan modeller halen doğrusal değildir. $\delta_i = \gamma_i \lambda$ ve $\zeta_i = v_i \lambda$ eşitlikleri kullanılarak modeller tekrar güncellenir.

Tüm girdi ve çıktıların üst sınır değerlerini aldığı durum Model 1 olarak adlandırılacaktır:

$$\max \lambda \quad (6.127)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m \zeta_i x_{ij}^3 - \delta_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.128)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.129)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.130)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.131)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.132)$$

$$0 \leq \zeta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.133)$$

$$0 \leq \delta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.134)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.135)$$

Girdi değerlerinin alt sınır, çıktı değerlerinin ise üst sınır aldığı durum Model 2 olarak adlandırılacaktır:

$$\max \lambda \quad (6.136)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m \zeta_i x_{ij}^1 + \delta_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.137)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^3 - \beta_r (y_{rj}^3 - y_{rj}^2) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.138)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.139)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.140)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.141)$$

$$0 \leq \zeta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.142)$$

$$0 \leq \delta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.143)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.144)$$

Girdi değerlerinin üst sınır, çıktı değerlerinin ise alt sınır aldığı durum Model 3 olarak adlandırılacaktır:

$$\max \lambda \quad (6.145)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m \zeta_i x_{ij}^3 - \delta_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.146)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^3 - \gamma_i (x_{ij}^3 - x_{ij}^2) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.147)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.148)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.149)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.150)$$

$$0 \leq \zeta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.151)$$

$$0 \leq \delta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.152)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.153)$$

Tüm girdi ve çıktı değerlerinin alt sınır aldığı durum Model 4 olarak adlandırılacaktır:

$$\max \lambda \quad (6.154)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m \zeta_i x_{ij}^1 + \delta_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \geq 0, \quad \forall j \quad (6.155)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^1 + \beta_r (y_{rj}^2 - y_{rj}^1) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^1 + \gamma_i (x_{ij}^2 - x_{ij}^1) \leq 0, \quad \forall j \quad (6.156)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \quad (6.157)$$

$$0 \leq \beta_r \leq u_r, \quad \forall r \quad (6.158)$$

$$0 \leq \gamma_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.159)$$

$$0 \leq \zeta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.160)$$

$$0 \leq \delta_i \leq v_i, \quad \forall i \quad (6.161)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6.162)$$

6.6. Parametrelerin Belirlenmesi

Yapılan detaylı literatür araştırmasıyla Ar-Ge proje portföy seçimi probleminin çözümünde kullanılan kriterler incelenmiştir. Literatür araştırması sonucu modelde kullanılacak parametreler, sektörde çalışan uzmanlar yardımıyla belirlenmiştir. Ar-Ge projelerini tümüyle nitelendirebilecek kriterler değerlendirilmeye alınmıştır. Bu parametreler 4 ana grupta toplamda 9 tane kriter üzerinden değerlendirilmesine karar verilmiştir.

İlk grup olan finansta, maliyet ve yatırım getirisi olmak üzere iki parametre seçilmiştir. Maliyet parametresini, yüksek teknoloji bir ekipman veya konsepti tasarlayanın, prototiplemenin, üretmenin ve test etmenin toplam maliyeti şeklinde tanımlayabiliriz. Yatırım getirisi parametresini bir yatırımın ne kadar sürede kendisini amorti edeceğini gösteren bir ifade olarak tanımlayabiliriz. Diğer bir deyişle başabaş noktasına ulaşması için geçen süreyi niteleyen veya bir yatırımın verimliliğini değerlendirmek için kullanılan bir performans ölçüsüdür.

İkinci grup teknik olarak belirlenmiştir. Bu grupta, proje gereksinimleri, araştırma grubu ve teknik görevler olmak üzere üç parametre seçilmiştir. Proje gereksinimleri parametresi, projenin gereksinimlerinin şeffaflığı ve sınırlarının ne kadar iyi tanımlanmış olduğunu göstermektedir. Araştırma grubu parametresi, proje personelinin uygun düzeyde deneyim ve uzmanlığa sahip olup olmadığını göstermektedir. Teknik görevler parametresi, projedeki teknik görevleri yerine getirmek için gerekli teknolojinin ve özel uzmanlığın varlığını ölçmektedir.

Üçüncü grup strateji olarak belirlenmiştir. Bu grupta, stratejik hedefler ve uygulanabilirlik olarak iki parametre seçilmiştir. Stratejik hedefler parametresi, projenin stratejik hedefler ile uyumunu ölçmektedir. Uygulanabilirlik parametresi, projenin genel tasarım standartlarına ulaşma olasılığını ölçmektedir.

Dördüncü grup çıktı olarak belirlenmiştir. Bu grupta, potansiyel müteakip projeler ve çevre parametresi seçilmiştir. Potansiyel müteakip projeler parametresi, projenin uygulanmasına bağlı olan projeleri ölçmektedir. Çevre parametresi, çevre dostu ve güvenliğini ölçmektedir.

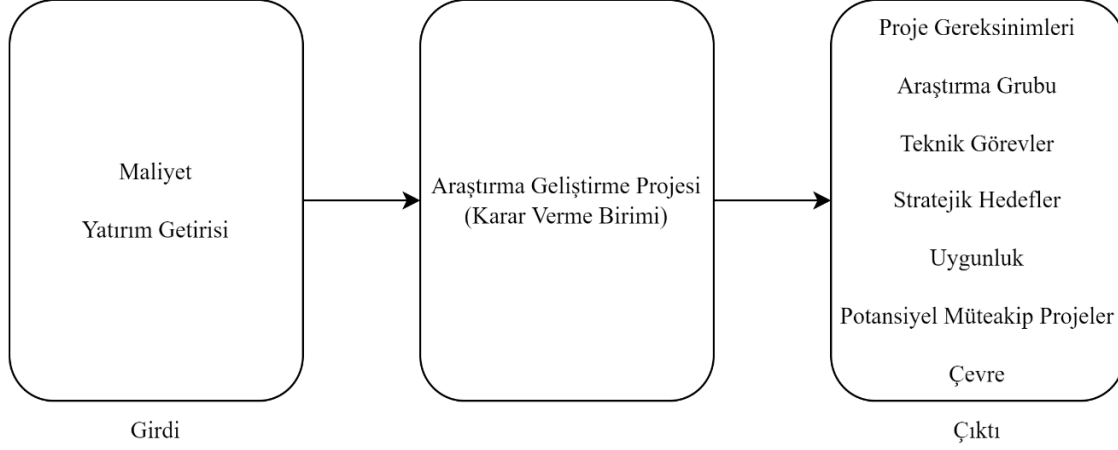
Bu parametrelerin hangi araştırmacılar tarafından kullanıldığı Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Parametreler

Grup	Parametre	Araştırmacı
Finans	Maliyet	Tavana ve diğerleri (2013)
	Yatırım Getirisi	Jafarzadeh ve diğerleri (2018)
Teknik	Proje Gereksinimleri	Costantino ve diğerleri (2015)
	Araştırma Grubu	Jafarzadeh ve diğerleri (2018)
	Teknik Görevler	Costantino ve diğerleri (2015)
Strateji	Stratejik Hedefler	Jafarzadeh ve diğerleri (2018)
	Uygunluk	Tavana ve diğerleri (2013)
Çıktı	Potansiyel Müteakip Projeler	Ghapanchi ve diğerleri (2012)
	Çevre	Abbassi ve diğerleri (2014)

Değerlendirilmek üzere seçilen bu parametrelerden maliyet ve yatırım getirisi, araştırma geliştirme projelerinde düşük tutulması tercih edilir. Dolayısıyla bu parametreler girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Geri kalan proje gereksinimleri, araştırma grubu, teknik görevler, stratejik hedefler, uygunluk, potansiyel müteakip projeler ve çevre

parametrelerinin ise yüksek tutulması tercih edilir. Dolayısıyla bu parametreler ise çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir. Girdi ve çıktı parametreleri Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Girdi ve çıktı parametreleri

6.7. Parametrelerin Değerlendirilmesi

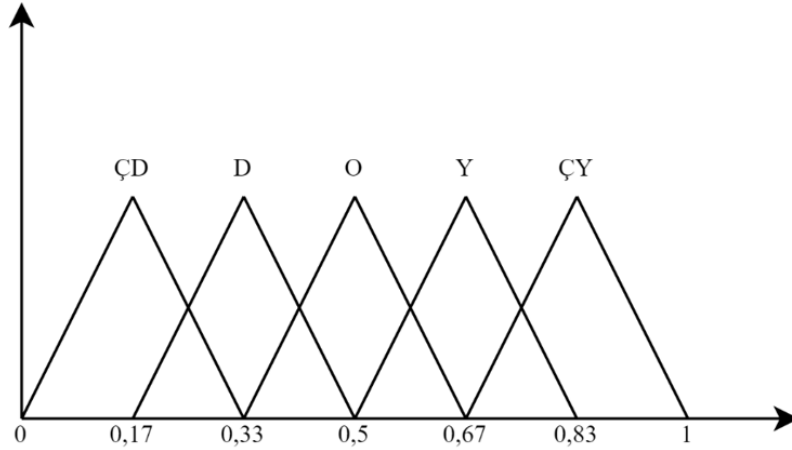
Belirlenen parametrelerin değerlendirilmesi için Jafarzadeh ve diğerleri (2018) tarafından kullanılmış 5 dereceli değerlendirme skalası kullanılacaktır. Bu skala çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksekte oluşmaktadır. Bu dilsel ifadeler kullanılarak parametrelerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

Dilsel ifadeleri tanımlayacak bulanık sayıların üçgensel olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Dilsel ifadeler karşılık kullanılacak bulanık sayılar Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Değerlendirme skalası

Dilsel Değişken	Üçgensel Bulanık Sayı		
Çok Düşük (ÇD)	0	0,17	0,33
Düşük (D)	0,17	0,33	0,50
Orta (O)	0,33	0,50	0,67
Yüksek (Y)	0,50	0,67	0,83
Çok Yüksek (ÇY)	0,67	0,83	1

Üçgensel bulanık sayılar simetri oluşturacak şekilde seçilmiştir. Örneğin düşük olarak nitelendirilen bir parametrenin gerçekleşme olasılığı 0,33 iken 0,17 ve 0,50 ihtimalleri arasında da gerçekleşebileceğini belirtmektedir. Bu sayede, gerçek hayat durumlarındaki kesin olmayan durumların tanımlanması ve modele dahil edilmesi sağlanmıştır. Bu sayıların üyelik fonksiyonlarına ilişkin grafiği Şekil 6.3'te paylaşılmıştır.



Şekil 6.3. Bulanık küme üyelik fonksiyonları

6.8. Karşılıklı Bağımlılıkların Çözümlemesi

Kullanılan VZA modelleri ile optimal kriter ağırlıkları ve optimal α kesme seviyelerin elde edilmesi planlanmaktadır. Modeller geliştirilirken portföy seçimi probleminin doğasında belirsizlik dahil edilmiştir. Ancak karşılıklı bağımlılıklar henüz çözümlenmemiştir.

Çalışmada kullanılacak olan 9 adet parametre daha önceden belirlenmişti. Bu parametrelerden maliyet parametresi kaynak bağımlılıklarını nitelemek için, teknik görevler parametresi ise teknik bağımlılıkları nitelemekte kullanılmıştır. Ancak pazar bağımlılıklarını niteleyecek bir parametre belirlenmediği için kapsam dışı tutulmuştur.

Değerlendirilecek iki veya daha fazla projenin aynı kaynağı kullanması durumunda; bu projeleri beraber seçmenin, ayrı ayrı seçmeye göre kaynak kullanımı daha düşük olacaktır. Kaynak bağımlılıklarını çözümlemede maliyet parametresinden yararlanılmıştır.

Değerlendirilecek iki veya daha fazla projenin aynı teknik altyapıyı kullanması durumunda; bu projeleri beraber seçmenin, ayrı ayrı seçmeye göre teknik altyapı kullanımı daha düşük

olacaktır. Teknik bağımlılıklarını çözümlemede teknik görevler parametresinden yararlanılmıştır. Teknik bağımlılıkların değerlendirilmesi noktasında, firmaların teknik bilgi birikiminin de göz önüne alınması gerekmektedir. Öyle ki geçmişte yapılmış projelerden edindiği teknik bilgilerin de pozitif etkisi olacaktır. Bu çalışmada firmanın sahip olduğu bilgi birikiminin, teknik bağımlılıklar üzerinde tanımlanmasına imkan verilmiştir.

Pazar bağımlılıkları, bir projenin sonucu portföydeki başka bir projenin sonucuna bağlı olarak değişiklik gösterdiğinde ortaya çıkmaktadır. Problemin tanımlanmasında sonucunu nitelendiren tek parametre, yatırım getirisi parametresi olarak seçilmiştir. Yatırım getirisi parametresi, projenin kendisini ne kadar sürede amorti edeceğini ifade eden bir gösterge olarak tanımlandığı için pazar bağımlılıklarını tam olarak karşılamamaktadır. Bu sebepten dolayı pazar bağımlılıkları kapsam dışı tutulmuştur.

Kullanılacak olan bu iki parametre özelinde, sinerjileri dahil etmek için her bir proje çiftinin ilişkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada karar vericilerin ilişkileri kuracağı öngörülerek bu veriler için atama yapılmıştır. Atama Çizelge 6.3'te verilen skalada yer alan kesin değerler ile yapılmıştır. Bu skala oluşturulurken sadece pozitif sinerjiler göz önüne alınmıştır. Literatürde de bahsedilen kaynak ve teknik bağımlılıkların projeleri olumlu yönde etkilediğine yer verilmiştir (Bhattacharyya ve diğerleri, 2011). Ancak pazar bağımlılıkları için hem pozitif hem de negatif kaynak sinerjinin oluşabileceği için bu noktada eksi değerler de eklenebilirdi.

Çizelge 6.3. Sinerji değerlendirme skalası

Nitel	Nicel
0	Sinerji yok
1	Çok düşük sinerji
2	Düşük sinerji
3	Kısmi sinerji
4	Yüksek sinerji
5	Çok yüksek / tam sinerji

Maliyet parametresi için tanımlanmış karşılıklı bağımlılıklar değerleri EK-1'de verilmiştir. Bu karşılıklı bağımlılık matrisinin simetrik bir matris olduğu görülebilir. Bunun nedeni karşılıklı bağımlılıkların sadece bir projeyi değil birden fazla projeyi etkilemesidir.

Geliştirilen yöntem ile ikili, üçlü vb. bağımlılıkların etkilediği projelerin hepsine dahil edilmesi sağlanmıştır.

Eşitlik 6.163'teki τ_{pj} değeri, p parametresi üzerinde tanımlanan j projesinin toplam sinerjisi olarak adlandırılabilir. f_{ijp} değeri, p parametresi üzerinde tanımlanan i ve j projesi arasındaki sinerji miktarına, φ değeri ise kaç proje arasında sinerji olduğuna karşılık gelmektedir. p ile belirtilen küme karşılıklı bağımlılıkların tanımlanacağı parametrelere karşılık gelmektedir. p değeri bu eşitlikte maliyet sinerjisini tanımlayan 1 değerini alacaktır. Her satırdaki karşılıklı bağımlılık değerleri toplanarak bu proje üzerindeki toplam sinerji hesaplanmıştır. Ancak bu sinerjiler birbirini etkileyen diğer projede ve/veya projelerde de yer almaktadır. Dolayısıyla birbirini etkilen projelerdeki sinerji miktarının tamamının alınması, bu sinerji miktarının birden fazla dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Bunun önüne geçip, sinerji miktarının, sinerji oluşan projeler arasında eşit bir şekilde paylaştırılması hedeflenmiştir. Hesaplanan sinerji miktarı, onluk düzende işlemlere devam edilebilmesi için tam sinerji değerine karşılık gelen 5 değerine bölünmüştür. Eşitlik 6.163'te verilen denklem ile bir projenin üzerinde oluşan toplam maliyet sinerji değeri hesaplanmıştır. Ancak bu sinerji değerinin 1'den büyük çıkması durumunda, tam sinerji değerini aşamaması gerekliliğinden dolayı maksimum değer olan 1 olarak kabul edilmiştir. Yapılmış olan bu tanımlama ile bütün oluşabilecek ikili, üçlü vb. sinerji ilişkilerinin tanımlanmasına ve çözümlenmesine olanak verilmiştir.

$$\tau_{pj} = \min \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{30} (f_{ijp}/\varphi)}{5}, p = 1, \forall j \right. \quad (6.163)$$

Her karar verme birimi tarafından tüketilen maliyet parametresinin değerleri ($\tilde{x}'_{1j}$) Eşitlik 6.164'te gösterildiği gibi karşılıklı bağımlılıklar da dahil edilerek tekrar hesaplanmıştır.

$$\tilde{x}'_{1j} = (\tilde{x}_{1j})(1 - \tau_{pj}), p = 1, \forall j \quad (6.164)$$

Teknik görevler parametresi için tanımlanmış karşılıklı bağımlılık değerleri EK-2'de verilmiştir. Karşılıklı bağımlılık matrisinin sütun değerlerine 0 değeri eklenerek bilgi birikiminin de modelde dahil edilmesine olanak sağlanmıştır. Geliştirilen yöntem ile ikili, üçlü vb. bağımlılıkların etkilediği projelerin hepsine dahil edilmesi sağlanmıştır.

Eşitlik 6.165'teki τ_{pj} değeri, p parametresi üzerinde tanımlanan j projesinin toplam sinerjisi olarak adlandırılabilir. f_{ijp} değeri, p parametresi üzerinde tanımlanan i ve j projesi arasındaki sinerji miktarına, φ değeri ise kaç proje arasında sinerji olduğuna karşılık gelmektedir. p ile belirtilen küme karşılıklı bağımlılıkların tanımlanacağı parametrelere karşılık gelmektedir. p değeri bu eşitlikte teknik görevler sinerjisini tanımlayan 2 değerini alacaktır. Firmanın bilgi birikimi f_{ijp} değerleri i parametresi üzerinde toplanırken başlangıç noktası 0 olarak tanımlanmıştır. 0. proje tanımlaması ile firmanın bilgi birikimi teknik görevler üzerinde modele dahil edilmiştir. Bu sayede teknik bağımlılıkların değerlendirilmesi noktasında, firmaların teknik bilgi birikiminin de göz önüne alınmasına olanak sağlanmıştır. Her satırdaki karşılıklı bağımlılık değerleri toplanarak bu proje üzerindeki toplam sinerji hesaplanmıştır. Ancak bu sinerjiler birbirini etkileyen diğer projede ve/veya projelerde de yer almaktadır. Dolayısıyla birbirini etkilen projelerdeki sinerji miktarının tamamının alınması, bu sinerji miktarının birden fazla dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Bunun önüne geçip, sinerji miktarının, sinerji oluşan projeler arasında eşit bir şekilde paylaşılması hedeflenmiştir. Hesaplanan sinerji miktarı, onluk düzende işlemlere devam edilebilmesi için tam sinerji değerine karşılık gelen 5 değerine bölünmüştür. Eşitlik 6.165'te verilen denklem ile bir projenin üzerinde oluşan toplam teknik görevler sinerji değeri hesaplanmıştır. Ancak bu sinerji değerinin 1'den büyük çıkması durumunda, tam sinerji değerini aşamaması gerekliliğinden dolayı maksimum değer olan 1 olarak kabul edilmiştir. Yapılmış olan bu tanımlama ile bütün oluşabilecek ikili, üçlü vb. sinerji ilişkilerinin tanımlanmasına ve çözümlenmesine olanak verilmiştir.

$$\tau_{pj} = \min \left\{ \frac{\sum_{i=0}^{30} (f_{ijp}/\varphi)}{5}, p = 2, \forall j \right. \quad (6.165)$$

Her karar verme birimi tarafından üretilen teknik görevler parametresinin değerleri ($\tilde{y}'_{3j}$) Eşitlik 6.166'da gösterildiği gibi karşılıklı bağımlılıklar da dahil edilerek tekrar hesaplanmıştır.

$$\tilde{y}'_{3j} = (\tilde{y}_{3j})(1 + \tau_{pj}), p = 2, \forall j \quad (6.166)$$

Eşitlik 6.164 ve 6.166'da gösterilen $\tilde{x}_{1j}$ ve $\tilde{y}_{3j}$ değerleri üçgensel bulanık sayılar olarak karşılık gelmektedir. Belirtilen işlemler, bu üçgensel sayıların alt, orta ve üst değerleri için

uygulanacağı anlamına gelmektedir. Karşılıklı bağımlılıklar eklenmiş bu son değerler modellerde yerine konularak güncellenmiştir.

7. UYGULAMA

Bu çalışmada, Ar-Ge PPS problemi için geliştirilen yaklaşım hipotetik bir problem üzerinde uygulanmıştır. Portföydeki 30 projenin 4 kişilik uzman grubu tarafından değerlendirileceği varsayılmıştır. Literatür araştırması sonucu belirlenen 9 parametreyi Çizelge 6.2’de verilen dilsel ifadelerle yaptığı değerlendirmeler rassal olarak üretilmiştir. Üretilen veriler EK-3’te verilmiştir. Modeller bu değerlendirmeler çerçevesinde kurulmuştur.

Modeller GAMS paket programında kodlanmıştır. Her dört model sırasıyla, üretilen sayılar ile çözdürülmüştür. Elde edilen optimal girdi ve çıktı katsayı değerleri Çizelge 7.1’de paylaşılmıştır.

Çizelge 7.1. Optimal katsayı değerleri

Model	Optimal Değerler								
	v_1	v_2	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
1	0,012	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
2	0,023	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
3	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
4	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Kurulmuş her model için, elde edilen katsayı değerleri kullanılarak her karar verme birimi için etkinlik skoru hesaplanmıştır. Hesaplama yapılacak denklem Eşitlik 7.1’de verilmiştir.

$$E_j^k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^k \tilde{y}_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^k \tilde{x}_{ij}}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (7.1)$$

$\tilde{y}_{rj}$ ve $\tilde{x}_{ij}$ değerlerinin hesaplanmasında optimal α değerlerinden yararlanılmıştır.

Modelin doğrusallaştırılmasında kullanılan $\beta_r = \alpha_r u_r$ ve $\gamma_i = \alpha_i v_i$ denklemleri aracılığıyla α_i ve α_r değerleri hesaplanmıştır. α kesme seviyelerinin optimum değerleri Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Optimal α değerleri

Model	Optimal Değerler								
	Girdi Değerleri		Çıktı Değerleri						
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tablodaki ilk iki sütun girdi değerlerinin katsayılarına karşılık gelen α_i kesme seviyelerine, kalan diğer sütunlar ise çıktı değerlerinin katsayıları olan α_r kesme seviyelerine karşılık gelmektedir.

Eşitlik 7.1’de verilen denklem aracılığıyla etkinlik skorları hesaplanırken, proje portföy seçimi probleminin doğasında yer alan karşılıklı bağımlılıklar değerlendirilmemiştir. Denklemde yer alan girdi ve çıktı parametrelerin ağırlıkları, karşılıklı bağımlılıklar göz önüne alınarak tekrar güncellenmelidir.

Karşılıklı bağımlılıkların çözümlenmesi aşamasında maliyet ve teknik görevler parametreleri için sinerjiler göz önüne alınmıştır. Eşitlik 6.164 ile maliyet sinerjisinin, Eşitlik 6.166 ile teknik görevler sinerjisinin modele dahil edilmesine olanak sağlanmıştır. Bu güncellenen parametre değerleri ile Eşitlik 7.1 tekrar yazılabilir. Ancak karşılıklı bağımlılıkları etkileyen iki tane parametreden biri payda diğeri paydada yer aldığı için aynı anda hesaplamak etkin olmayan sonuçlara neden olacaktır. Dolayısıyla bu parametrelerin karşılıklı bağımlılık etkileri ayrı bir şekilde hesaplanmalıdır.

Karşılıklı bağımlılıkların hesaplanması aşamasında özgün bir yaklaşım geliştirilmiştir. Karşılıklı bağımlılıklar dahil edilmiş çıktı ve girdi parametrelerinin etkinlik skoru üzerindeki etkisi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Etkinlik skorları, Eşitlik 7.1’de gösterildiği gibi, çıktı parametrelerinin ağırlıklarının toplamı, girdi parametrelerinin ağırlıklarının toplamına oranlanarak bulunmaktadır. Kaynak ve teknik karşılıklı bağımlılıklarını niteleyen parametrelerden biri girdi diğeri ise çıktı parametresidir. Bu eşitlikte, girdi parametresi paydada yer aldığından dolayı, bu parametreyi niteleyen karşılıklı bağımlılık etkisi bireysel bir şekilde hesaplanamamaktadır. Dolayısıyla maliyet karşılıklı bağımlılıklarını dahil edip etkinlik skorları hesaplanmıştır. Diğer taraftan ise çıktı parametresi payda yer aldığından

dolayı, bu parametreyi niteleyen karşılıklı bağımlılık etkisi bireysel olarak hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla teknik görevler karşılıklı bağımlılıklarının etkisi bireysel olarak göz önüne alınmıştır. Bu hesaplanan değer maliyet karşılıklı bağımlılıkları dahil edilmiş etkinlik skoruna eklenmiştir. Böylece maliyet ve teknik karşılıklı bağımlılıklarını tanımlanmış ve hesaplamalara dahil edilmiştir.

Öncelikle, yalnızca maliyet sinerjileri dahil edilmiş etkinlik skorları hesaplanmış ardından yalnız teknik görevler sinerjisi dahil edilmiş parametrenin etkinlik skoruna katkısı hesaplanıp eklenmiştir. Bu yöntemle sinerjiler ayrı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Hesaplanan maliyet sinerjileri Eşitlik 7.2 kullanılarak dahil edilmiştir.

$$E_j^{k'} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^k \tilde{y}_{rj}}{v_1^k \tilde{x}_{1j} + v_2^k \tilde{x}_{2j}}, \quad j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, 3, 4 \quad (7.2)$$

Teknik görevler sinerjisinin katkısı Eşitlik 7.3'te verilmiştir.

$$\varphi_j = \frac{u_3^k \tilde{y}_{3j}}{\sum_{i=1}^m v_i^k \tilde{x}_{ij}} (\tau_{pj}), \quad p = 2, \quad \forall j \quad (7.3)$$

Hesaplanan teknik görevler sinerjilerinin etkisi Eşitlik 7.3 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte sadece teknik görevler çıktı parametresi üzerinde işlem yapıldığı görülebilir. Bunun nedeni, teknik bağımlılıkları niteleyen tek parametrenin teknik görevler parametresi olmasıdır.

Teknik görevler sinerjisinin katkısı da dahil edilerek nihai etkinlik skoru bulunmuştur. Her karar verme biriminin karşılıklı bağımlılıklarını da dahil eden etkinlik skorları, Eşitlik 7.4 ile gösterilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$E_j^{k''} = E_j^{k'} + \varphi_j, \quad \forall j \quad (7.4)$$

Her model için karşılıklı bağımlılıkları dahil edilmiş etkinlik skorları EK-4'te verilmiştir. Ekstrem durumları niteleyen bu dört modelde bir projenin farklı etkinlik skor değerleri

çıkmiştir. Hesaplanan etkinlik skorlarının yorumlanabilmesi için belirsizlik altında karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Tavana ve diğerleri (2013) yapmış olduğu çalışmada iyimser, kötümser, eş olasılık ve gürbüz atama stratejileri kullanılarak öncelik sıraları belirlenmiştir. Bu çalışmada da öncelik sıraları belirlenirken aynı yol takip edilmiştir.

İyimser atama stratejisinde bir projenin, her bir modeldeki etkinlik değerlerinin maksimumuna göre, kötümser atama stratejisinde, bir projenin her bir modeldeki etkinlik değerlerinin minimumuna göre, eş olasılık atama stratejisinde, bir projenin her bir modeldeki etkinlik değerlerinin ortalamasına göre, gürbüz atama stratejisinde ise, bir projenin her bir modeldeki maksimum ve minimum etkinlik değerlerinin ortalamasına göre sıralama yapılmıştır. Bu sıralamalar toplu halde Çizelge 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Öncelik sıralamaları

Öncelik	İyimser	Kötümser	Eş Olasılık	Gülbüz
1	24	24	24	24
2	23	14	23	23
3	30	23	14	14
4	14	4	30	30
5	25	8	8	8
6	8	25	25	25
7	1	7	4	4
8	26	30	26	26
9	15	26	7	7
10	4	19	10	10
11	10	10	19	19
12	5	5	5	5
13	27	11	1	1
14	19	22	15	15
15	7	27	22	27
16	13	21	27	22
17	3	15	13	13
18	22	17	11	3
19	2	13	3	11
20	17	1	2	2
21	11	2	21	17
22	21	3	17	21
23	28	6	6	6
24	16	29	29	16
25	6	16	16	29
26	18	18	28	28
27	29	28	18	18
28	9	9	9	9
29	12	12	12	12
30	20	20	20	20

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ar-Ge proje portföy seçim problemi incelenmiştir. Portföy seçim problemi, projelerin nasıl doğru yapılır sorusundan ziyade doğru projeler nasıl yapılır sorusuna cevap aramaktadır. Bu çalışma ile firmaların planlama ufkundaki proje portföyünün belirlenmesine yönelik problem çözümlenmiştir. Problemin çözümünde birden fazla girdi ve çıktıyı içeren ve bunlar üzerinde öncül ağırlık tanımlanmadan çözülmesine olanak sağlayan veri zarflama analizi kullanılmıştır.

Ar-Ge proje portföy seçimi probleminde yer alan belirsizlik ve karşılıklı bağımlılıklar modellenmiştir. Ar-Ge projelerinin başlangıç aşamasında hangi projelerin seçileceğine karar vermek için değerlendirilen parametreler genellikle öngörülemezdir. Bu noktada belirsizlik kesin ayırma zorluğu olarak tanımlanabilir. Bu belirsizlik gerek tarihsel veri eksikliğinden gerekse de uzmanlık eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı net sayılar kullanmak yerine gerçek hayattaki belirsizliği içeren modellemeler yapılmıştır. Belirsizlik, dilsel ifadeler yardımıyla modele dahil edilmiştir. 5 kademeli dilsel ifade seti oluşturulmuş ve bu dilsel ifadeler, bulanık üçgensel sayılar yardımıyla sayısal ifadelere dönüştürülmüştür. Bulanık üçgensel sayıların kullanımından doğan muğlaklık mevcuttur. Muğlaklık bir ifadenin iki veya daha fazla sayıda karşılığının olması anlamına gelmektedir. Muğlaklığı çözümlmek için ise üçgensel bulanık sayıların ekstrem noktalarından yararlanılmıştır.

Ar-Ge proje portföyü literatüründe yapılan araştırma sonucu problemin çözümünde kullanılmak üzere 9 parametre belirlenmiştir. Bu parametreler üzerinde kaynak ve teknik bağımlılık tanımlamaları yapılmıştır. Teknik bağımlılıklar modellenirken firmanın bilgi birikiminin de tanımlanmasına olanak sağlanmıştır. Daha önceden yapılmış olan çalışmalarda, karşılıklı bağımlılıklar ya kapsam dışı bırakılmış ya da ikili ilişkiler üzerinden modellenebilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen özgün yaklaşım ile bütün yönlü karşılıklı bağımlılıklar modellenmiş ve çözümlenmiştir.

Karşılıklı bağımlılıklar hem veri zarflama modeli çözülürken hem de veri zarflama analizi sonucunda elde edilen optimal kriter ağırlıklarıyla etkinlik skorları hesaplanırken dikkate alınmıştır. Hesaplanan etkinlik skorları, belirsizlik altında karar verme yöntemleri

kullanılarak dört farklı karar verici tipi için sıralanmıştır. Karar verici tipleri sırasıyla, iyimser, kötümser, eş olasılık ve gürbüz olarak nitelendirilmiştir. Her karar verici tipi için öncelik sırası oluşturulmuştur. Planlama ufku içerisindeki bütçe kısıtı gözetilerek öncelik sıralamalarına göre portföy seçimi yapılabilir.

Yapılan bu çalışma ile Tavana ve diğerleri (2013)'nin geliştirdiği modelden yararlanılarak proje portföy seçimi probleminin ana karakteristiği olan belirsizlik ile birlikte çok yönlü karşılıklı bağımlılığı da dahil eden özgün bir yöntem geliştirilmiş ve hipotetik bir problem üzerinde uygulanmıştır. Ancak seçilen parametreler dolayısıyla pazar bağımlılığı kapsam dışı bırakılmıştır. Dolayısıyla ileride yapılacak çalışmalar için pazar bağımlılıklarını da dahil etmek isteyen araştırmacılar, farklı bir parametre seçerek bu parametre üzerinden hem pozitif hem de negatif sinerjiler dahil edilebilir. Ayrıca geliştirilen yöntem güncellenerek negatif sinerjilerin de değerlendirilmesi için kullanılabilir. Bunun yanı sıra karşılıklı bağımlılıkların tanımlanması sırasında net değerler kullanılmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda karşılıklı bağımlılık tanımlamalarında ortaya çıkabilecek belirsizlikler için bulanık mantık çözüm yöntemleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abbassi, M., Ashrafi, M. and Tashnizi, E. S. (2014). Selecting Balanced Portfolios of R&D Projects with Interdependencies: A Cross-Entropy Based Methodology. *Technovation*, 34(1), 54–56.
- Aker, P. (2010). *A DEA Based Sorting Approach for Industrial R&D Projects*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40.
- Al Zaabi, H., & Bashir, H. (2020). Modeling and Analyzing Project Interdependencies in Project Portfolios Using an Integrated Social Network Analysis-Fuzzy TOPSIS MICMAC Approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11(6), 1083–1106.
- Archer, N., and Ghasemzadeh, F. (1999). An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4), 207–216.
- Arratia M. N., López I. F., Schaeffer, S. E. and Cruz-Reyes, L. (2016). Static R&D Project Portfolio Selection in Public Organizations. *Decision Support Systems*, 84, 53–63.
- Ashrafi, M., Davoudpour, H. and Abbassi, M. (2012 November). *Developing a decision support system for R&D project portfolio selection with interdependencies*, Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 1499(1), 370–378.
- Alvarez-García, B. and Fernández-Castro, A. S. (2018). A Comprehensive Approach for the Selection of a Portfolio of Interdependent Projects. An Application to Subsidized Projects in Spain. *Computers & Industrial Engineering*, 118, 153-159.
- Ali, M. Y., Sultan, A. and Khan, A. F. M. K. (2016). Comparison of Fuzzy Multiplication Operation on Triangular Fuzzy Number. *IOSR Journal of Mathematics*, 12(04), 35-41.
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092.
- Bas, E. (2012). Surrogate relaxation of a fuzzy multidimensional 0–1 knapsack model by surrogate constraint normalization rules and a methodology for multi-attribute project portfolio selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(5), 958–970.
- Bathallath, S., Smedberg, Å. and Kjellin, H. (2016). Managing Project Interdependencies in IT/IS Project Portfolios: A Review of Managerial Issues. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 4(1), 67–82.
- Bhattacharyya, R., Kumar, P. and Kar, S. (2011). Fuzzy R&D Portfolio Selection of Interdependent Projects. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(10), 3857–3870.

- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247.
- Carazo, A. F., Gomez, T., Molina, J., Hernandez-Díaz, A. G., Guerrero, F. M. and Caballero, R., (2010). Solving a Comprehensive Model for Multiobjective Project Portfolio Selection. *Computers & Operations Research*, 37(4), 630–639.
- Carlsson, C., Fullér, R., Heikkilä, M., and Majlender, P. (2007). A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, 44(2), 93–105.
- Charnes, A. and Cooper, W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval Research Logistics Quarterly*, 9(3–4), 181–186.
- Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
- Chu, P. Y. V., Hsu, Y. L. and Fehling, M. (1996). A Decision Support System for Project Portfolio Selection. *Computers in Industry*, 32(2), 141–149.
- Cooper, R., Edgett, S. and Kleinschmidt, E. (2001). Portfolio Management for New Product Development: Results of an Industry Practices Study. *R&D Management*, 31(4), 361–380.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses* (First edition). Boston: Springer, 89.
- Costantino, F., Di Gravio, G. and Nonino, F. (2015). Project Selection in Project Portfolio Management: An Artificial Neural Network Model Based on Critical Success Factors. *International Journal of Project Management*, 33(8), 1744–1754.
- Cook, W. D. and Seiford, L. M. (2009). Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty Years On. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 1–17.
- Damghani, K. K., Sadi-Nezhad, S. and Aryanezhad, M. (2011). A modular Decision Support System for optimum investment selection in presence of uncertainty: Combination of fuzzy mathematical programming and fuzzy rule based system. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 824–834.
- de Souza, D. G. B., dos Santos, E. A., Soma, N. Y., and da Silva, C. E. S. (2021). MCDM-Based R&D Project Selection: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(21), 11626.
- Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2006). Constructing and Evaluating Balanced Portfolios of R&D Projects with Interactions: A DEA Based Methodology. *European Journal of Operational Research*, 172(3), 1018–1039.
- Ghapanchi, A. H., Tavana, M., Khakbaz, M. H. and Low, G. (2012). A Methodology for Selecting Portfolios of Projects with Interactions and Under Uncertainty. *International Journal of Project Management*, 30(7), 791–803.

- Ghasemzadeh, F., Archer, N. P. and Iyogun, P. (1999). A Zero-One Model for Project Portfolio Selection and Scheduling. *Journal of Operational Research Society*, 50(7), 745–755.
- Ghasemzadeh, F. and Archer, N. P. (2000). Project Portfolio Selection Through Decision Support. *Decision Support System*, 29(1), 73–88.
- Greiner, M., Fowler, J., Shunk, D., Carlyle, W. and McNutt, R. (2003). A hybrid approach using the analytic hierarchy process and integer programming to screen weapon systems projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2), 192–203.
- Guo, P. and Tanaka, H. (2001). Fuzzy DEA: A Perceptual Evaluation Method. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(1), 149–160.
- Guo, P. and Tanaka, H. (2008). Decision Making Based on Fuzzy Data Envelopment Analysis. *Intelligent Decision and Policy Making Support Systems*, 39–54.
- Jafarzadeh, H., Akbari, P. and Abedin, B. (2018). A Methodology for Project Portfolio Selection Under Criteria Prioritisation, Uncertainty and Projects Interdependency – Combination of Fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 110, 237–249.
- Jerry Ho, W. R., Tsai, C. L., Tzeng, G. H. and Fang, S. K. (2011). Combined DEMATEL technique with a novel MCDM model for exploring portfolio selection based on CAPM. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 16–25.
- Jeng, D. J. F. and Huang, K. H. (2015). Strategic project portfolio selection for national research institutes. *Journal of Business Research*, 68(11), 2305–2311.
- Hassanzadeh, F., Collan, M. and Modarres, M. (2011). A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1–4), 227–236.
- Huang, C. C., Chu, P. Y. and Chiang, Y. H. (2008). A Fuzzy AHP Application in Government-Sponsored R&D Project Selection. *Omega*, 36(6), 1038–1052.
- Iamratanakul, S., Patanakul, P. and Milosevic, D. (2008). *Project portfolio selection: From past to present*. Paper presented at the 2008 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, 287–292.
- İnternet: Brennan, T., Ernst, P., Katz, J., Roth, E. (November 2020). Building an R&D strategy for modern times. *Strategy & Corporate Finance Practice, McKinsey*. Web: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/building-an-r-and-d-strategy-for-modern-times> Son Erişim Tarihi: 29.05.2021.
- Kahraman, C. and Tolga, E. (1998 May). *Data envelopment analysis using fuzzy concept*, 28th International Symposium on Multiple-Valued Logic, 338–343.

- Kao, C., & Liu, S. T. (2000). Fuzzy Efficiency Measures in Data Envelopment Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(3), 427–437.
- Klir, G. J. (1987). Where do We Stand on Measures of Uncertainty, Ambiguity, Fuzziness, and the Like? *Fuzzy Sets and Systems*, 24(2), 141–160.
- Lechler, T. G., Edington, B. H. and Gao, T. (2012). Challenging Classic Project Management: Turning Project Uncertainties into Business Opportunities. *Project Management Journal*, 43(6), 59–69.
- Lertworasirikul, S., Fang, S. C., A. Joines, J. and L.W. Nuttle, H. (2003a). Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA): a Possibility Approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 139(2), 379–394.
- Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Nuttle, H. L. W. and Joines, J. A. (2003b). Fuzzy BCC Model for Data Envelopment Analysis. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2(4), 337–358.
- Li, X., Huang, Y. H., Fang, S. C. and Zhang, Y. (2020). An Alternative Efficient Representation for the Project Portfolio Selection Problem. *European Journal of Operational Research*, 281(1), 100–113.
- Liesiö, J., Salo, A., Keisler, J. M., & Morton, A. (2021). Portfolio decision analysis: Recent developments and future prospects. *European Journal of Operational Research*, 293(3), 811–825.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D. and Capros, P. (2003). Combined MCDA–IP Approach for Project Selection in the Electricity Market. *Annals of Operations Research*, 120, 159–170.
- Mavrotas, G., and Pechak, O. (2013). Combining Mathematical Programming and Monte Carlo Simulation to Deal with Uncertainty in Energy Project Portfolio Selection. *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems*, 129, 333–356.
- Mavrotas, G. and Makryvelios, E. (2021). Combining Multiple Criteria Analysis, Mathematical Programming and Monte Carlo Simulation to Tackle Uncertainty in Research and Development Project Portfolio Selection: A case study from Greece. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 794–806.
- Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K. and Tiwari, M. K. (2005). A Fuzzy ANP Based Approach to R&D Project Selection: A Case Study. *International Journal of Production Research*, 43(24), 5199–5216.
- Panadero, J., Doering, J., Kizys, R., Juan, A. A., and Fito, A. (2018). A variable neighborhood search simheuristic for project portfolio selection under uncertainty. *Journal of Heuristics*, 26(3), 353–375.
- Perez, F. and Gomez, T. (2016). Multiobjective Project Portfolio Selection with Fuzzy Constraints. *Annals of Operations Research*, 245(1–2), 7–29.

- RezaHoseini, A., Ghannadpour, S. F. and Hemmati, M. (2020). A Comprehensive Mathematical Model for Resource-Constrained Multi-Objective Project Portfolio Selection and Scheduling Considering Sustainability and Projects Splitting. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122073.
- Riddell, S., and Wallace, W. A. (2007). *The Use of Fuzzy Logic and Expert Judgment in the R&D Project Portfolio Selection Process*. Paper presented at the PICMET '07 - 2007 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 1228–1238.
- Saiz, M., Lostumbo, M. A., Juan, A. A. and Lopez-Lopez, D. (2021). A clustering-based review on project portfolio optimization methods. *International Transactions in Operational Research*, 29(1), 172–199.
- Schmidt, R. L. (1993). A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40(4), 403–410.
- Sengupta, J. K. (1992). A Fuzzy Systems Approach in Data Envelopment Analysis. *Computers & Mathematics with Applications*, 24(8–9), 259–266.
- Solak, S., Clarke, J. P. B., Johnson, E. L. and Barnes, E. R. (2010). Optimization of R&D Project Portfolios Under Endogenous Uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 420–433.
- Suyo, J. G. B., Le Masson, V., Shaxson, L., Luhan, M. R. J. and Hurtado, A. Q. (2021). Navigating Risks and Uncertainties: Risk Perceptions and Risk Management Strategies in the Philippine Seaweed Industry. *Marine Policy*, 126, 104408.
- Tavana, M., Keramatpour, M., Santos-Arteaga, F. J. and Ghorbaniane, E. (2015). A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 8432–8444.
- Tavana, M., Khalili-Damghani, K. and Sadi-Nezhad, S. (2013). A Fuzzy Group Data Envelopment Analysis Model for High-Technology Project Selection: A Case Study at NASA. *Computers & Industrial Engineering*, 66(1), 10–23.
- Tavana, M., Khosrojerdi, G., Mina, H. and Rahman, A. (2019). A hybrid mathematical programming model for optimal project portfolio selection using fuzzy inference system and analytic hierarchy process. *Evaluation and Program Planning*, 77, 101703.
- Tofighian, A. A., Moezzi, H., Khakzar Barfuei, M. and Shafiee, M. (2018). Multi-period project portfolio selection under risk considerations and stochastic income. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 571–584.
- Tofighian, A. A. and Naderi, B. (2015). Modeling and Solving the Project Selection and Scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 30–38.

- Vetschera, R. and de Almeida, A. T. (2012). A PROMETHEE-Based Approach to Portfolio Selection Problems. *Computers & Operations Research*, 39(5), 1010–1020.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3(1), 28–44.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3–28.
- Zanakis, S. H., Mandakovic, T., Gupta, S. K., Sahay, S. and Hong, S. (1995). A Review of Program Evaluation and Fund Allocation Methods with in The Service and Government Sectors. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(1), 59–79.
- Zheng, E. Z. H. and Carvalho, M. M. D. (2016). Managing Uncertainty in Projects: A Review, Trends and Gaps. *Revista de Gestão e Projetos*, 07(02), 95–109.
- Zimmermann, H. J., (2001). *Fuzzy Set Theory--and Its Applications* (Fourth Edition). New York: Springer Science+Business Media, 141.

EKLER

EK-1. Maliyet karşılıklı bağımlılık değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	-				1																									
2		-	1																											
3		1	-																											
4				-																										
5	1				-								1																	
6					-																									
7						-					1																			
8							-							1																
9								-																						
10									-																					
11						1				-																				
12											-																			
13				1								-							1											
14													-																	
15							1							-																
16															-															
17																-														
18																	-													
19																		-										1		
20																			-											
21																				-		1								
22																					-									
23																				1		-			1					
24																							-							
25								1																-						
26																						1			-					
27																			1								-			1
28																												-		
29																													-	
30																											1			-

EK-2. Teknik görevler karşılıklı bağımlılık değerleri

[illegible]

EK-3. Girdi ve çıktı parametre değerleri

Proje No	Maliyet				Yatırım Getirisi				Proje Gereksinimleri			
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4
1	ÇY	O	Y	ÇY	O	Y	O	ÇY	ÇY	ÇY	O	Y
2	Y	ÇY	Y	Y	D	O	Y	Y	D	ÇY	D	O
3	ÇY	Y	O	Y	D	D	O	ÇD	O	O	O	D
4	D	ÇD	D	O	Y	ÇY	O	ÇY	Y	O	D	ÇY
5	D	O	O	D	ÇY	Y	Y	O	ÇY	ÇY	ÇY	O
6	Y	O	Y	ÇY	ÇD	D	O	O	O	ÇY	Y	D
7	ÇD	D	O	O	D	O	D	ÇD	ÇD	D	D	ÇD
8	D	O	D	D	ÇD	ÇD	D	D	O	O	ÇD	D
9	O	O	O	Y	Y	ÇY	O	Y	ÇD	O	ÇD	O
10	O	D	D	Y	O	Y	ÇY	Y	Y	Y	O	ÇY
11	Y	D	O	O	D	O	O	Y	O	Y	O	ÇY
12	O	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	O	Y	D	O	ÇD
13	ÇY	O	ÇY	Y	O	D	O	D	ÇD	D	ÇD	O
14	ÇD	ÇD	O	D	ÇY	O	Y	ÇY	Y	Y	ÇY	O
15	ÇY	Y	O	O	ÇD	ÇD	O	ÇD	ÇY	Y	O	Y
16	Y	ÇY	ÇY	ÇY	D	D	ÇD	ÇD	O	ÇD	ÇD	O
17	O	Y	D	O	D	ÇD	ÇD	O	ÇY	D	Y	O
18	Y	ÇY	O	O	Y	ÇY	ÇY	O	D	ÇY	Y	O
19	O	D	O	ÇD	O	D	O	ÇD	O	Y	Y	Y
20	ÇY	ÇY	Y	Y	ÇY	Y	Y	Y	D	ÇD	O	ÇD
21	Y	O	O	O	ÇY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇD	O	O
22	O	O	D	Y	D	O	O	O	ÇD	O	O	ÇD
23	ÇD	ÇD	D	ÇD	O	D	D	D	D	D	Y	ÇD
24	ÇD	ÇD	D	D	ÇD	D	O	O	Y	O	O	ÇY
25	ÇD	O	O	D	D	O	ÇD	O	D	D	D	Y
26	ÇD	D	D	D	D	D	O	O	D	ÇY	O	Y
27	D	ÇD	D	O	O	Y	O	O	O	D	O	ÇY
28	O	Y	D	D	ÇY	Y	O	ÇY	Y	D	D	ÇY
29	ÇY	ÇY	Y	O	D	O	O	Y	Y	ÇY	O	Y
30	D	Y	D	O	O	D	O	O	ÇY	O	Y	Y

EK-3. (devam) Girdi ve çıktı parametre değerleri

Proje No	Araştırma Grubu				Teknik Görevler				Stratejik Hedefler			
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4
1	Y	ÇY	Y	ÇY	ÇY	O	Y	ÇY	Y	D	O	ÇY
2	O	O	D	D	O	ÇY	Y	Y	Y	O	Y	Y
3	D	D	Y	Y	ÇY	D	Y	O	D	Y	D	O
4	O	ÇY	ÇY	O	Y	ÇY	O	ÇY	ÇY	O	Y	O
5	Y	ÇY	D	ÇY	ÇD	ÇD	O	O	O	D	ÇD	D
6	ÇY	O	ÇY	D	Y	D	ÇY	D	D	ÇD	O	D
7	Y	D	D	O	Y	ÇY	D	D	Y	Y	ÇY	O
8	O	ÇY	O	Y	O	D	ÇY	O	ÇY	Y	ÇY	ÇY
9	ÇD	ÇD	D	D	ÇY	O	Y	Y	D	Y	D	O
10	O	O	D	ÇD	ÇY	ÇY	Y	O	O	O	ÇY	Y
11	ÇD	O	ÇD	ÇD	Y	ÇY	O	Y	D	O	Y	D
12	ÇY	D	O	Y	D	ÇD	O	ÇD	Y	D	O	D
13	D	Y	Y	D	ÇY	O	Y	O	Y	ÇY	ÇY	Y
14	ÇY	D	ÇY	O	D	D	Y	Y	D	O	D	ÇD
15	Y	D	ÇY	D	O	O	D	D	O	O	O	ÇD
16	O	Y	Y	D	ÇY	ÇY	O	Y	O	O	O	D
17	ÇY	Y	D	O	ÇD	D	D	O	D	D	O	O
18	O	Y	ÇY	D	O	ÇD	D	ÇD	ÇD	D	O	ÇD
19	O	D	O	Y	D	O	O	ÇD	O	O	O	ÇD
20	O	D	ÇD	O	ÇD	D	ÇD	Y	D	D	D	D
21	O	O	Y	D	Y	D	O	D	Y	ÇY	Y	ÇY
22	Y	ÇY	O	D	D	O	O	ÇD	ÇY	O	Y	ÇY
23	Y	D	D	O	O	O	D	D	Y	D	O	D
24	ÇY	D	Y	O	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	O	D	D
25	D	Y	O	D	O	ÇY	ÇY	O	ÇD	O	ÇD	D
26	D	ÇY	O	Y	ÇY	Y	Y	O	D	D	ÇD	O
27	ÇY	O	ÇY	O	ÇD	ÇD	ÇD	O	O	D	D	O
28	ÇD	ÇD	D	ÇD	D	Y	O	O	D	O	ÇD	O
29	Y	O	D	ÇY	O	O	D	Y	ÇD	ÇD	D	O
30	O	D	ÇY	O	O	Y	ÇY	D	O	D	O	Y

EK-3. (devam) Girdi ve çıktı parametre değerleri

Proje No	Uygunluk				Potansiyel Müteakip Projeler				Çevre			
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4	KV1	KV2	KV3	KV4
1	Y	ÇY	ÇY	O	D	Y	D	O	Y	O	Y	O
2	O	Y	ÇY	ÇY	O	Y	O	ÇY	O	O	O	ÇD
3	ÇY	O	ÇY	Y	O	Y	ÇY	O	D	D	O	D
4	D	ÇD	D	D	ÇD	D	D	D	D	O	Y	D
5	ÇY	O	ÇY	ÇY	D	O	D	ÇD	D	O	ÇD	D
6	Y	ÇY	Y	Y	D	O	ÇD	ÇD	ÇD	O	D	O
7	ÇD	ÇD	O	D	ÇD	D	O	D	Y	Y	ÇY	Y
8	ÇD	D	O	ÇD	D	ÇD	D	ÇD	Y	Y	Y	ÇY
9	D	D	ÇD	D	D	D	D	ÇD	ÇD	D	D	D
10	O	Y	ÇY	Y	ÇY	O	Y	Y	D	O	O	ÇD
11	D	ÇD	O	D	D	D	D	ÇD	ÇY	ÇY	Y	ÇY
12	D	D	ÇD	D	ÇD	D	D	ÇD	D	ÇD	ÇD	D
13	ÇD	O	ÇD	D	Y	ÇY	ÇY	ÇY	Y	D	O	Y
14	D	D	D	ÇD	O	ÇY	O	Y	O	O	ÇY	ÇY
15	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	O	Y	O	ÇY	O	O	Y
16	Y	Y	O	ÇY	O	D	O	D	ÇD	ÇD	ÇD	D
17	Y	D	Y	Y	Y	ÇY	Y	Y	O	ÇD	ÇD	ÇD
18	O	O	ÇD	ÇD	ÇY	O	Y	Y	ÇD	Y	O	D
19	ÇY	ÇY	Y	ÇY	O	D	D	ÇD	O	O	ÇD	ÇD
20	O	ÇY	O	Y	D	D	D	ÇD	O	O	ÇD	D
21	ÇY	ÇY	O	Y	O	D	ÇD	D	Y	O	D	O
22	ÇY	Y	Y	Y	Y	D	D	O	Y	Y	ÇY	Y
23	ÇD	ÇD	O	D	O	Y	Y	ÇY	ÇD	O	D	O
24	O	Y	Y	O	O	Y	Y	D	ÇD	D	D	D
25	D	Y	Y	O	Y	O	ÇY	Y	O	D	O	Y
26	O	Y	ÇD	O	D	ÇD	O	D	D	O	ÇD	ÇD
27	ÇD	D	ÇD	O	O	O	ÇD	D	ÇD	D	O	ÇD
28	D	ÇD	ÇD	Y	D	D	D	Y	O	ÇD	D	ÇD
29	Y	Y	O	ÇY	ÇD	O	D	ÇD	ÇD	O	D	D
30	D	D	D	O	ÇY	Y	Y	ÇY	D	O	D	Y

EK-4. Etkinlik skorları

Proje No	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
1	0,55	0,37	0,82	0,57
2	0,53	0,35	0,68	0,47
3	0,52	0,35	0,70	0,48
4	0,72	0,61	0,75	0,67
5	0,73	0,57	0,58	0,48
6	0,43	0,29	0,42	0,29
7	0,71	0,58	0,67	0,57
8	0,76	0,60	0,84	0,68
9	0,40	0,28	0,20	0,15
10	0,63	0,48	0,74	0,58
11	0,59	0,43	0,61	0,46
12	0,39	0,28	0,17	0,13
13	0,57	0,38	0,70	0,49
14	0,83	0,76	0,85	0,80
15	0,58	0,40	0,78	0,54
16	0,37	0,24	0,44	0,29
17	0,54	0,40	0,62	0,46
18	0,41	0,28	0,31	0,22
19	0,72	0,60	0,58	0,49
20	0,31	0,21	0,13	0,09
21	0,57	0,41	0,59	0,44
22	0,59	0,43	0,69	0,51
23	1,00	1,02	0,72	0,76
24	0,91	0,86	1,04	1,01
25	0,70	0,58	0,84	0,71
26	0,80	0,70	0,58	0,52
27	0,72	0,62	0,46	0,41
28	0,45	0,34	0,25	0,20
29	0,40	0,27	0,40	0,27
30	0,71	0,53	0,92	0,72



Gazili olmak ayrıcalıktır