



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**BULANIK ORTAMDA AKILLI VE  
SÜRDÜRÜLEBİLİR KRİTERLERLE  
TEDARİKÇİ SEÇİM SÜRECİ İÇİN STRATEJİ  
GELİŞTİRME**

**Enes DEMİRALAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Enes DEMİRALAY tarafından hazırlanan “Bulanık Ortamda Akıllı ve Sürdürülebilir Kriterlerle Tedarikçi Seçim Süreci İçin Strateji Geliştirme” adlı tez çalışması 11/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Ahmet PEKER

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Turan PAKSOY

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Engin Hasan ÇOPUR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Enes DEMİRALAY

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BULANIK ORTAMDA AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KRİTERLERLE TEDARİKÇİ SEÇİM SÜRECİ İÇİN STRATEJİ GELİŞTİRME

Enes DEMİRALAY

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2022, 72 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ahmet PEKER  
Prof. Dr. Turan PAKSOY  
Dr. Öğr. Üyesi Engin Hasan ÇOPUR

Tedarik zinciri yönetimi, son birkaç on yıldaki gelişmelere uyum sağlayabilmek için çeşitli değişimlere uğramıştır. Günümüzün en önemli paradigma değişimlerinden biri olan akıllı paradigmlar, günlük hayatımızın hemen her anında karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, dünyamızın mevcut kaynaklarının azalması, iklim değişikliğinin ve çevresel bozulmanın etkisinin artmasıyla birlikte sürdürülebilirliğin önemi daha da artmıştır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında, farklı bulanık ortamlar ve farklı karar verme yöntemleri yardımıyla, akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimi üzerindeki etkileri araştırılarak tedarikçi seçim sürecine yönelik bir strateji geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yaklaşımların uygulanabilirliği, bir otomobil yedek parça üreticisi olan Şirket V'nin tedarikçi seçimi vaka çalışması ile gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı analizler ile tedarikçi seçiminde, farklı bulanık ortamların veya değişken karar verme yöntemlerinin kullanılmasının kriter ağırlıklarında küçük farklılıklar oluşturmasına rağmen tedarikçi değerlendirmelerinde herhangi bir farklılık yaratmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle tedarikçi seçimini etkilemediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan senaryo analizleri ile geliştirilen stratejilerdeki farklı tedarikçi dağılımlarının Şirket V'nin her bir amacını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca akıllı ve sürdürülebilir kriterlere dayalı tedarikçi seçim süreci için strateji geliştirme ile ilgili çalışmaya literatürde daha önce hiç rastlanmadığından yapılan tez çalışması, bu alanda öncü bir çalışmadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı paradigma, Bulanık küme, Çok kriterli karar verme, Sürdürülebilirlik, Tedarikçi seçimi

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **STRATEGY DEVELOPMENT FOR SUPPLIER SELECTION PROCESS WITH SMART AND SUSTAINABLE CRITERIA IN FUZZY ENVIRONMENT**

**Enes DEMİRALAY**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Industrial Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Turan PAKSOY**

**2022, 72 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Ahmet PEKER  
Prof. Dr. Turan PAKSOY  
Asst. Prof. Dr. Engin Hasan ÇOPUR**

Supply chain management has been mutated to adapt to the developments over the last couple of decades. Smart paradigms, one of today's most significant paradigm shifts, occur in almost every moment of our daily lives. On the other hand, the importance of sustainability has increased more and more, with the reduction of available resources of our world, increasing the effect of climate change and environmental degradation. In this context, this study, it is aimed to develop a strategy for the supplier selection process by investigating the impacts of using different fuzzy environments and different decision-making methods on smart and sustainable supplier selection. The applicability of the proposed approaches has been demonstrated by a supplier selection case study of Company V, an automobile spare parts manufacturer. With the comparative analyzes made, it has been observed that although different fuzzy environments or the use of varying decision-making methods in supplier selection create minor differences in criterion weights, it does not make any difference in supplier evaluations. For this reason, it has been concluded that it does not affect supplier selection. In addition, it has been investigated how the distinct supplier distributions in the strategies developed with the scenario analysis made affect each purpose of Company V. To the best knowledge of authors, strategy development for the smart and sustainable criteria-based supplier selection process is a pioneering work in this field as it has never been studied before in the literature.

**Keywords:** Fuzzy environment, Multi-criteria decision-making, Smart paradigm, Sustainability, Supplier selection

## ÖNSÖZ

Tedarik zincirleri küreselleşme ile işletmelerin dünyaya açılmalarında, geniş kitlelere ulaşmalarında ve artan işletmeler arası rekabete karşı esnek hale gelmelerinde önemli bir role sahiptir. İhracatın artması ile işletmelerin müşteri beklentilerini sağlayabilmesi ve en önemlisi azalan kaynaklar ve kar marjları, çevresel kaygılar, iklim değişiklikleri ve uluslararası düzenlemelere karşı sürdürülebilir olabilmesi amacıyla farklı tedarik zinciri modları geliştirilmiştir. Tedarik zincirleri tedarikçiler, üretim, dağıtım, depolama, toplama ve geri kazanım tesislerini bünyesinde bulundurmaktadır. Tedarik zinciri bünyesinde bulunan her bir üyenin beklentilerinin karşılanması ve tedarik zincirlerinin verimli olarak çalışabilmesi için odaklanması gereken en önemli hususlardan biri tedarikçi seçim süreçleridir. Yıllar içinde değişen tedarik zinciri dinamiklerine karşı işletmeler performanslarını arttırmak amacıyla akıllı ve sürdürülebilir uygulamaların kullanımına başvurmuştur. Bu tez çalışmasında, farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin farklı bulanık ortamlarda kullanılarak tedarikçi seçim sürecine etkileri araştırılmış ve tedarikçi seçim sürecinde akıllı ve sürdürülebilir paradigmalardan faydalanan işletmeler için çeşitli yeni stratejiler geliştirilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında değerli katkıları ile emeği geçen, değişik bakış açılara sahip olmamı sağlayarak yeni ufuklar açan başta danışman hocam Prof. Dr. Turan PAKSOY'a, yardımlarını esirgemeyerek destek olan Arş. Gör. Yüksel DEĞİRMENCİOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Engin Hasan ÇOPUR'a, yüksek lisansım boyunca destek olan bölüm hocalarıma özellikle Prof. Dr. Ahmet PEKER'e, ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Enes DEMİRALAY  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY ile İlgili Literatür Araştırması.....	4
2.2. Akıllı ve Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması.....	7
2.3. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY BWM Yöntemi Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması.....	8
2.4. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY AHP Yöntemi Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması.....	11
2.5. Pisagor Bulanık Ortamda ÇKKV Yöntemleri Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması.....	13
2.6. Pisagor Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması.....	17
2.7. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması.....	17
2.8. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması.....	18
2.9. Bulanık BWM Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması....	18
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>20</b>
3.1. Pisagor Bulanık kümeler İçin Ön Bilgiler .....	20
3.2. Bulanık BWM Yöntemi.....	23
3.3. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi.....	26
3.4. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi .....	27
3.5. Bulanık Doğrusal Programlama Yaklaşımı .....	29
3.6. Ağırlıklı Katkı Modeli .....	30
<b>4. GERÇEK HAYAT UYGULAMASI.....</b>	<b>31</b>
4.1. Bulanık BWM Yönteminin Uygulanması .....	35
4.2. Pisagor Bulanık AHP Yönteminin Uygulanması .....	37
4.3. Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması.....	41
<b>5. KULLANILAN ÇKKV YÖNTEMLERİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....</b>	<b>45</b>
<b>6. STRATEJİ GELİŞTİRME VE YÖNETSEL ÇIKARIMLAR.....</b>	<b>46</b>

<b>7. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

TZ: Tedarik Zinciri  
TZY: Tedarik Zinciri Yönetimi  
TBL: Üçlü Karlılık Yaklaşımı  
TZY 4.0: Akıllı Tedarik Zinciri Yönetimi  
IoT: Nesnelerin İnterneti  
CPS: Siber Fiziksel Sistemler  
BCT: Blok Zincir Teknolojisi  
ÇKKV: Çok Kriterli Karar Verme  
AHP: Analytical Hierarchy Process  
BWM: Best Worst Method  
TOPSIS: Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution  
RFID: Radyo Frekans ile Tanımlama  
DEMATEL: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory  
İHA: İnsansız Hava Araçları  
ERP: Kurumsal Kaynak Planlaması  
KDS: Karar Destek Sistemleri  
KOBİ: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler  
VIKOR: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje  
COPRAS: Complex Proportional Assessment  
3PRLP: Üçüncü Parti Tersine Lojistik Sağlayıcı  
MABAC: Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison  
WASPAS: Weighted Aggregated Sum Product Assessment  
IRN: Aralıklı Kaba Sayı  
RSR: Kaba Dayanım İlişkisi  
KTDP: Karma Tam sayılı Doğrusal Programlama  
PROMETHEE: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation  
GIS: Coğrafi Bilgi Sistemi  
TDP: Tam sayılı doğrusal programlama  
TODIM: An acronym in Portuguese of “Interactive and Multicriteria Decision Making”  
QUALIFLEX: Qualitative Flexible  
OWA: Ordered Weighted Averaging  
PRA: Oransal Risk Değerlendirmesi  
FMEA: Arıza Modları ve Etkileri Analizi  
MOORA: Multi-Objective Optimization Method by Ratio Analysis  
ELECTRE: Elimination and Choice Expressing Reality  
VZA: Veri Zarflama Analizi  
SED: Kare Öklid Mesafesi  
LINMAP: Linear Programming Technique For Multidimensional Analysis of Preferences  
CoCoSo: Combined Compromise Solution  
IFS: Sezgisel Bulanık Küme

## 1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ve ihracatın artması Tedarik Zincirinin (TZ) geniş bir alana yayılmasında önemli bir role sahiptir. Farklı coğrafyalarda iş ortağı veya rakip haline gelen işletmelerin başarısında Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) stratejik önem kazanmaya başlamıştır. Ayrıca işletmeler arasında artan rekabet, TZ'nin öneminin artmasına neden olmuştur. Tedarik zinciri çok sayıda endüstriyel alanda malzeme, fon ve bilgi akışını içeren bir dinamik süreçtir. Tedarikçiler, üretim tesisleri, dağıtım tesisleri, depolama tesisleri, toplama ve geri kazanım tesisleri TZ'nin üyeleri arasındadır (Jain ve ark., 2009). Bu tesislerin sayılarının, yerlerinin ve kapasitelerinin de belirlenmesi de TZY olarak adlandırılmaktadır.

Hükümetler tarafından yapılan yasal düzenlemeler, azalan hammadde, kaynaklar ve kar marjları, artan iklim değişikliği etkileri, toplumsal çevreye karşı bilinç, müşteri beklentileri gibi işletmeleri sürdürülebilir olmaya yönlendiren etmenler TZ'nin önemini son birkaç on yılda daha belirgin hale getirmiştir. Yaşanan bu değişim ve gelişmeler doğrultusunda TZ'de son tüketicilerden kullanılmış ürünlerin toplanması, ayrıştırılması ve yeniden üretilerek veya gerekli düzeltmeler yapılarak tekrar tüketicilere sunulması ile TZY döngüsel ve sürdürülebilir bir yapıya dönüşerek "Kapalı Döngü TZY" veya "Sürdürülebilir TZY" kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Artan çevresel farkındalık ve sürdürülebilirliğin önemi nedeniyle, sürdürülebilir TZY akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Literatürde Sürdürülebilirlik, Üçlü Karlılık (TBL) yaklaşımı olarak adlandırılan yapı, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler olmak üç ana sütun üzerinde tanımlanmıştır (Carter ve Easton, 2011). Yapılan son çalışmalar, sürdürülebilir araç ve yalın yöntemlerin entegre kullanımının sinerji oluşturduğunu ve aynı zamanda hem çevresel hem de operasyonel performansı artırdığını göstermektedir (Paksoy, 2019). Bu sonuç aslında çok şaşırtıcı değildir. Çünkü sürekli iyileştirme için kullanılan en popüler ekonomik paradigmalardan biri olan yalın üretimin temel amaçlarından israfların yani mudaların azaltılması (malzeme, su, enerji vb.), doğrudan yeşil felsefe ile örtüşmektedir.

Diğer taraftan, rekabet ortamı ve maliyet baskıları gün geçtikçe artmaktadır. İşletmeler artan müşteri ihtiyaçlarına, hız ve esneklik beklentilerine cevap verebilmek için gelişen yeni teknolojiler ve yeni yaklaşımlara uyum sağlamaya çalışmaktadırlar. Yöneticilerin ve işletmelerin yardımına koşan bu teknolojiler ilk kez 2011 yılında Almanya'da Endüstri 4.0 adı altında bir çağın adını tanımlayacak şekilde kullanılmaya

başlanmıştır. Bu tarihten itibaren, tüm Endüstri 4.0 teknolojileri işletme / TZY için karar verme sürecini destekleyen hızlı veri toplama, analiz etme ve değişiklik yapabilme yeteneği sayesinde imalat ve hizmet endüstrisindeki yöneticilerin dikkatini çekmiştir. Böylece TZY, yeni bir konsept olan “Akıllı Tedarik Zinciri Yönetimi”, yani “TZY 4.0” a dönüşmüştür. TZY 4.0, sensörler, cihazlar ve kurumsal kaynaklar gibi bir takım fiziksel öğeleri birbirine ve İnternete bağlamayı içerir ve Nesnelerin İnterneti (IoT), Siber Fiziksel Sistemler (CPS), Yapay Zekâ, Robotik, Blockchain Teknolojisi (BCT), Bulut sistemleri gibi yeni teknolojiler kullanır.

Akıllı ve Sürdürülebilir TZY kavramı, Endüstri 4.0 araçlarını kullanarak, ürün tasarımından, işyeri organizasyonuna, tedarikçi seçiminden, tesis içi lojistiğe, paketlenmeden, nakliye ve ürün geri dönüşümüne tüm TZY faaliyetlerine sosyal ve çevresel düşüncenin dahil edilmesi olarak tanımlanabilir.

Akıllı ve Sürdürülebilir TZY işletmelerin, daha çevreci olmalarını, kendi ekonomilerini geliştirmelerini, ülke ekonomisine katkıda bulunmalarını, toplumsal kalkınmaya katkı sağlamalarını, üretim performanslarını artırmalarını ve ürünlerini müşterilere zamanında teslim etmelerini sağlamaktadır. Öte yandan üretim süresini ve maliyetini azaltarak, ürün kalitesini iyileştirerek ve zamanında teslimat performansını artırarak ekonomik performanslarını da artırmalarına destek olmaktadır.

TZY ve çevre yönetimi kavramları, stratejik örgütsel uygulamalarda rekabet avantajı kazandıkça, özellikle 1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında artan bir ilgi kazanmıştır. Günümüzde Akıllı ve Sürdürülebilir TZY kendi pazarlarında sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir iş yapmak isteyen işletmeler için Endüstri 4.0 döneminin gelişen teknolojileri yardımıyla rekabet gücünü geliştiren önemli ve pratik bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır.

TZY'deki bu gelişmelerin yanı sıra, işletmeler arasında artan rekabet, artan maliyetler, esnek ve hızlı teslimat talepleri ve artan müşteri talepleri, TZY'de tedarikçi seçiminin önemini artırmıştır. Ayrıca Akıllı ve Sürdürülebilir TZY konusunda kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiği zaman tedarikçi seçiminin TZY'deki verimliliği artırma ve değişen paradigmalara uyum sağlaması konusunda önemli olduğu şeklinde ortak bir sonuca varılmıştır. Bu sebeple tedarikçi seçimi konusunda farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tedarikçi seçim sürecinde ilk adım işletmelerin önceliklerini belirlemek olmalıdır. Fakat işletmelerin tedarikçi seçim sürecinde dikkat etmesi gereken birden fazla faktörün olabileceği gözlemlenmiştir. Bu tür karar verme süreçlerinde problemlere çözüm sağlamak için Çok Kriterli Karar

Verme Yöntemleri (ÇKKV) kullanılmaktadır. ÇKKV yöntemleri ile ilgili literatür araştırması yapıldığı zaman karşımıza geliştirilmiş 50'den fazla ÇKKV yönteminin olduğu çıkmıştır. Bu yöntemlerin birçoğu tedarikçi seçimi problemlerine çözüm bulmak amacıyla kullanılmıştır. Gerçek hayat problemlerine çözüm aranırken en sık rastlanan eksiklik gerçek hayat problemlerinde ortaya çıkan belirsizliklerdir. Bu belirsizlikleri elimine etmek amacıyla farklı bulanık ortamlar kullanılarak tedarik seçim süreçleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, tedarikçi seçim sürecinde farklı ÇKKV yöntemlerinin farklı bulanık ortamlarda kullanmanın etkileri araştırılmış, akıllı ve sürdürülebilir tedarikçiler seçmek isteyen işletmeler için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Tedarikçi seçim sürecindeki çeşitli değişikliklerin etkilerini incelemek için üçgensel ve Pisagor Bulanık ortamlarda AHP, BWM ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Bulanık çok amaçlı doğrusal bir matematiksel model önerilerek, geliştirilen stratejilerin işletmelerin amaçları doğrultusunda fayda mı yoksa zarar mı sağladığı incelenmiştir. Uzun literatür araştırmasının bir sonucu olarak, önerilen yaklaşımda kullanılan ÇKKV yöntemleri ve bulanık ortamlar, gerçek hayat problemlerini ifade etmedeki yüksek doğrulukları nedeniyle seçilerek bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının geri kalan kısmı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. Bölüm 2'de bir literatür araştırması, Bölüm 3'te ayrıntılı bir materyal ve yöntem sunulmuştur. Bölüm 4'te, gerçek hayattaki akıllı ve sürdürülebilir bir tedarikçi seçimi vaka çalışması sunulmakta ve önerilen yaklaşımın nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Bölüm 5'te, farklı ÇKKV yöntemlerinin farklı bulanık ortamlarda kullanılmasının tedarikçi seçim süreci üzerindeki etkilerini incelemek için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bölüm 6'da geliştirilen stratejilerin şirketlerin hedeflerini nasıl etkilediği incelenmiş ve yönetsel çıkarımlarda bulunulmuştur. Son olarak, Bölüm 7'de, tez çalışmasının sonucu sunulmuştur.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Bu bölümde, bu tez çalışmasının literatüre olan katkılarını vurgulamak amacıyla Akıllı ve Sürdürülebilir TZY ve akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemi üzerine yapılmış çalışmaların karşılaştırmalı bir sonucu sunulmuştur. İlk olarak Akıllı ve Sürdürülebilir TZY konusuna ilişkin literatür incelendiğinde çalışmaların ortak sonuçlarından birisi tedarikçi seçimi sürecinin TZY'yi etkileyen en önemli faktörler

arasında bulunmaktadır. Bu sonuç doğrultusunda, akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimine ilişkin literatür araştırması yapılmış ve seçim süreçleri gibi karar verme problemlerine çözüm aramak için ÇKKV yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bunun üzerine yaygın olarak kullanılan ve iyi sonuçlar vererek yüksek tutarlılık oranına sahip ÇKKV yöntemleri belirlenmiş ve akıllı ve sürdürülebilir TZY’de AHP ve BWM yöntemleri kullanımına ilişkin literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırması ile gerçek hayat problemlerini ifade etmede ortaya çıkan belirsizlik ve karşılaşılan zorluklar olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple tedarikçi seçim problemlerine belirsizlikleri ortadan kaldırmada yüksek verimliliğe sahip Pisagor Bulanık ortamda çözüm aranmasına karar verilmiş ve tedarikçi seçim sürecinde Pisagor AHP, BWM ve TOPSIS yöntemleri kullanımına ilişkin literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırma ile mevcut zamanda Pisagor Bulanık ortamda henüz BWM yönteminin geliştirilmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle BWM yöntemi yine belirsizlikleri ortadan kaldırmak amacıyla üçgensel bulanık ortamda geliştirilmeye karar verilmiş ve gerekli literatür araştırması yapılmıştır.

Yapılan literatür araştırmaları ile literatürde bazı boşluklar olduğu gözlemlenmiştir. Bulanık ortamlarda akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimi konusunu ÇKKV yöntemleri ile ele almış sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı bulanık ortamlarda farklı ÇKKV yöntemlerinin problemler üzerindeki etkileri daha önce araştırılmamıştır. Bu tez çalışması ile literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır.

## **2.1. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY ile İlgili Literatür Araştırması**

Dünyada yaşanan gelişmeler ışığında günümüz modern TZ’de her zamankinden daha fazla bilgi ve teknolojiye erişilerek yeni, akıllı TZ’ler oluşturulmaktadır. Mevcut dijitalleşme döneminde, işletmeler TZ uygulamalarını tasarlamının yollarını yenilemek zorunda kalmakta ve Büyük Veri Analizi, Bulut Sistemler ve IoT gibi “akıllı teknolojilerin” kullanımına giderek daha fazla bağımlı hale gelmektedirler. “Endüstri 4.0” adı verilen stratejik girişim ile akıllı teknolojilerin üretim ve dağıtım ortamlarına girmesi, işletmeleri kendileri ve paydaşları açısından yenilikçi yollar aramaya yönlendirmiştir (Wang ve ark., 2015). Endüstri 4.0 teknolojileriyle üretim ve dağıtım süreçleri yeniden yapılandırılarak tedarikçiler, üreticiler ve son müşteriler arasında daha fazla üretkenliğe yol açan tam entegre, otomatik ve optimize edilmiş bir üretim akışı

oluşturulması sağlanmaktadır. Akıllı TZ, Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanılarak geleneksel tedarik zincirlerine akıllı sistemlerin entegrasyonudur. Sonuç olarak akıllı TZ ile üretim, lojistik ve kalite maliyetlerinde azalma, ürünlerin daha kısa sürede piyasaya sürülmesi, esneklik, verimlilik, yüksek müşteri memnuniyeti ve rekabet avantajı gibi getiriler elde edilebilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinden bir veya birkaçıyla birlikte sürdürülebilir paradigmalardan entegre edildiği akıllı ve sürdürülebilir TZY'ye dair ilginin araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından son yıllarda artmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Gu ve Liu (2013) IoT uygulamasını, tersine lojistikte bilgi yönetimine uyarlayarak kesin ve zamanında üretilen bilginin, tersine lojistik yönetiminin başarısında önemli bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Verdouw ve ark. (2016) sanal gıda TZ'si kavramını IoT perspektifinden analiz ederek etkin bilgi sistemlerini uygulamak için bir çerçeve önermişlerdir. Tjahjono ve ark. (2017) depo, nakliye lojistiği ve satın alma fonksiyonları için Endüstri 4.0 teknolojilerin uygulama boşluğunu doldurmayı amaçlamışlardır. Kirch ve ark. (2017) akıllı lojistik bölgelerini tanımlamak üzere bir yaklaşım önererek uygulama için iki RFID tabanlı kullanım örneği sunmuşlardır. Lorite ve ark. (2017) bozulabilir gıdaların TZ'sini ve depolama koşullarını izlemek için bir çözücü erime noktasına dayanan kritik bir sıcaklık göstergesi / akıllı sensör geliştirmişlerdir. Bir RFID etiketine entegre edilen bu sıcaklık göstergesi, stratejik noktalarda RFID okuyucusunun basit kullanımı ile TZ'yi gerçek zamanlı olarak izlemek için bir avantaj sağlamıştır.

Ding (2018) ilaç TZ'si ile ilgili hakemli akademik dergilerden 2008–2018 yılları arasında alınan 33 ilgili makaleyi sistematik olarak gözden geçirerek ilaç TZ'sinin potansiyel sürdürülebilirlik engellerini tanımlamış ve Endüstri 4.0'ın nasıl uygulanabileceğini araştırmıştır. Abdel-Basset ve ark. (2018) verileri, bilgileri, ürünleri, fiziksel nesnelere ve TZ'nin tüm süreçlerini birleştiren akıllı bir altyapı oluşturmak için TZY'de IoT uygulamışlardır. Önerilen TZY sisteminin güvenlik kriterlerini değerlendirmek için, nötrosofik DEMATEL tekniğini AHP ile entegre eden bir çerçeve önermişlerdir. Büyüközkan ve Göçer (2018) TZ süreçlerinin İnsansız Hava Araçları (İHA), Bulut Sistemleri ve IoT gibi çeşitli yenilikçi teknolojilerle yönetildiği Dijital TZ literatürünün son teknoloji durumunu hem akademik hem de endüstriyel açıdan ayrıntılı olarak gözden geçirmişlerdir.

Ehie ve Ferreira (2019) dijital teknolojilerin TZY uygulamaları üzerindeki rolünü araştıran bir anket aracının geliştirilmesi için kavramsal bir çerçeve sunmuşlardır. Issaoui ve ark. (2019) BCT'nin akıllı lojistikteki çeşitli uygulamalarını (Bilgi, Ulaşım, Finans ve

Yönetim) tanımlamış ve bu uygulamaların somut örneklerini sunmuştur. Kauf (2019) akıllı şehirlerin gelişimini destekleyen, aynı zamanda şehirlerin yenilik düzeyini artıran bilgi teknolojilerinin dijitalleştirilmesi ve kullanılması yoluyla lojistik süreçlerin optimize edilmesine izin veren akıllı lojistik alanında sonuç göstergesini belirlemiştir. Korczak ve Kijewska (2019) Endüstri 4.0 ve IoT işleyişlerinin temel varsayımlarını tanımlayarak Endüstri 4.0'daki akıllı lojistik hedefleri / görevlerini nitelendirmiş ve akıllı kentlerin geliştirilmesinde akıllı lojistik potansiyelinin kullanılması olasılıklarını belirtmişlerdir. Manavalan ve Jayakrishna (2019) TZY, ERP, IoT ve Endüstri 4.0'ın çeşitli yönlerini gözden geçirmiş ve IoT gömülü sürdürülebilir TZ'de Endüstri 4.0 dönüşümü için mevcut potansiyel fırsatları araştırmışlardır. Kamble ve ark. (2019) Hindistan şartlarında gıda perakende TZ'sinde IoT'nin benimsenmesini etkileyen çeşitli engelleri belirlemeye çalışarak iki aşamalı entegre bir Yorumlayıcı Yapısal Modelleme ve DEMATEL metodolojisiyle faktörler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları araştırmışlardır. Sonuç olarak, hükümet düzenlemelerinin eksikliği ve zayıf internet altyapısı, IoT'nin benimsenmesinde önemli engeller olarak belirlenmiştir. Garrido-Hidalgo ve ark. (2019) farklı tedarik iletişim standartları arasındaki iş birliğine dayalı olarak tersine TZY için uçtan uca bir çözüm önermiş ve gömülü sensörler aracılığıyla atık elektrik ve elektronik ekipmanlarının bulut tabanlı envanter izlenmesini sağlamak için IoT cihazları ve sensörleri kullanarak, kablosuz iletişimlere odaklanan bir dizi deneysel test gerçekleştirmişlerdir. Kousiouris ve ark. (2019) TZY için IoT yönetim platformlarını, semantik ve yapay zekâ hizmetlerini entegre eden mikro hizmet tabanlı bir çerçeve sunmuşlardır. Oh ve Jeong (2019) akıllı üretim TZ adı verilen bilgi, iletişim ve üretim teknolojileri ile birleştirilmiş bir TZ'yi ele almışlardır. İlk olarak, akıllı üretim TZ fonksiyonel ve yapısal özellikleri tanımlanmış, daha sonra bu zincirin avantajlarından yararlanmak üzere kâr ve teslim süresi arasında en uygun dengeyi bulmak için kâr-etkin ve müdahale-etkin taktiksel bir tedarik planlama modeli geliştirilmiştir. Sun ve ark. (2019) akıllı tedarik ortamında çok periyotlu paralel üretim sistemi için üretim, teslim tarihi ve kaliteyi dikkate alan optimal bir anahtar model sunmuşlardır. Ghadimi ve ark. (2019) Endüstri 4.0 TZ'leri için akıllı sürdürülebilir tedarikçi değerlendirme ve seçim sürecini ele alarak bir yaklaşım önermişlerdir. Dev ve ark. (2019) Endüstri 4.0'da dinamik bir yeşil ürün yayılım (dağıtım) ortamında tersine TZ'nin yönetilmesini sağlayan bir bilgi teknolojisi çerçevesi önermişlerdir. Bu iki çalışma, Endüstri 4.0'ın özellikleri, KDTZ / tersine lojistik, yeşil ürün dağıtım, envanter ve üretim planlaması gibi farklı paradigmaları içeren tek çalışmalardır. Chen ve ark. (2020) Akıllı TZY uygulamalarını

tedarikçi seçim kriterleri olarak tanımlama amaçlı yeni bir çerçeve önermişlerdir. Kaba bulanık DEMATEL kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve kaba bulanık TOPSIS tedarikçilerin sıralanması için kullanılmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği ve doğruluğu, sürdürülebilir bir araç şanzıman tedarikçisi seçimi uygulaması yoluyla gösterilmiştir. Dev ve ark. (2020) Endüstri 4.0, tersine lojistik ve yalın yaklaşımı içeren teknoloji yönetiminin özellikleri ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarının ortak uygulanmasıyla sürdürülebilir tersine TZ için bir yol haritası önermişlerdir.

## **2.2. Akıllı ve Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması**

Mattos ve ark. (2019) tarafından, hurda metal veya e-atık gibi boşa harcanan materyalleri tedarik zincirlerine eklemek üzere geri dönüştüren bir model oluşturmak için akıllı teknolojilerin ve döngüsel ekonomi uygulamalarının entegrasyonu için yeni bir nitel yöntem uygulandı. Sonuç olarak, talep üzerine ürünler üretmek için atıkları TZ'ye yeniden yerleştirerek sürdürülebilirliğin artırılması olumlu bir etkiye sahiptir. Nitin ve ark. (2019) Endüstri 4.0 çağında akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimindeki belirsizliği azaltmak için melez TOPSIS ile sezgisel bulanık (IFS) entropi ağırlık tabanlı ÇKKV modeli önermişlerdir. IFS ağırlıklı yaklaşım operatörü, bireysel karar vericilerin görüşlerini toplamak için kullanılmıştır. Ölçüt ağırlıklarını hesaplamak için ise Shannon entropisi kullanılmıştır. Ghadimi ve ark. (2019) tedarikçiler ve üreticiler arasında uygun bir iletişim kanalı, yapılandırılmış bilgi alışverişi ve görünürlük sağlamak için sürdürülebilir tedarikçi seçimini yönelik bir Çoklu Temsilci Sistemleri yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için tıbbi cihaz üreticileri için bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Z. Chen ve ark. (2020) Akıllı ve Sürdürülebilir TZY uygulamalarını akıllı bir TZ için akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçim kriterleri olarak tanımlamak amacıyla melez bir bulanık çerçeve önermiştir. Önerilen yaklaşımda, akıllı ve sürdürülebilir tedarikçi seçimi iki bölümden oluşmaktadır: DEMATEL ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve TOPSIS ile tedarikçilerin sıralaması. Önerilen yaklaşım, sürdürülebilir araç şanzıman tedarikçi seçimi süreci uygulamasıyla gösterilmektedir. Diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Hasan ve ark. (2020) lojistik 4.0 ortamında esnek tedarikçileri sıralamak için karar vericinin birleşik bir çerçeveye dahil olmasına yardımcı olacak bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirmiştir. Alternatif tedarikçileri sıralamak için Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Zekhnini



ve ark. (2020) uygun tedarikçileri seçmek için “dayanıklılık”, “sürdürülebilirlik” ve “akıllılık” içeren yeni bir akıllı karar verme modeli önermişlerdir.

### **2.3. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY BWM Yöntemi Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması**

BWM, Rezaei (2015) tarafından geliştirilen yeni bir ÇKKV yöntemidir. BWM, iş, sağlık, mühendislik, tarım ve ekonomi gibi çeşitli karar verme alanlarında kullanılabilir. Prensipte olarak, amacın bir dizi alternatif arasından bir alternatif seçmek ve derecelendirmek olduğu her yerde bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntem bir karar verici veya bir karar vericiler grubu tarafından kullanılabilir. Mevcut ÇKKV yöntemlerine kıyasla BWM'in göze çarpan özellikleri şu şekilde sıralanabilir: a) daha az karşılaştırma verisi gerektirir; b) daha tutarlı karşılaştırmalar yapılmasına yol açar, yani daha güvenilir sonuçlar üretir (Rezaei, 2018).

BWM'e göre, en iyi (en çok arzu edilen, en önemli olanı) ve en kötü (en az arzu edilen, en az önemli olan) kriterler ilk olarak karar vericiler tarafından belirlenir. Çift yönlü karşılaştırmalar daha sonra bu iki kriterin (en iyi ve en kötü) ve diğer kriterlerin her biri arasında gerçekleştirilir. Bir maximin problemi, farklı kriterlerin ağırlığını belirlemek için doğrusal programlama şeklinde formüle edilir ve çözülür. Farklı kriterlere göre alternatiflerin ağırlıkları aynı süreçten elde edilir. Alternatiflerin son puanları, en iyi alternatifin seçildiği farklı kriterler ve alternatifler arasından ağırlıkların toplanmasıyla elde edilir. Karşılaştırmaların güvenilirliğini kontrol etmek için BWM için bir tutarlılık oranı geliştirilmiştir. İlk önerilen BWM yöntemi doğrusal olmayan bir model içermektedir (Rezaei, 2015). Sonraki versiyonu ise doğrusallaştırılmıştır (Rezaei, 2016). Rezaei ve ark. (2015) ilk olarak BWM yöntemini tedarikçi segmentasyonu sürecinde, ardından Rezaei ve ark. (2016) geleneksel ve çevresel kriterleri entegre ederek tedarikçi seçimi probleminde kullanmışlardır. Wan Ahmad ve ark. (2017) petrol ve gaz sektöründeki ekonomik istikrar, politik istikrar, paydaş baskısı, rekabet, enerji dönüşümü ve yönetmelikler olmak üzere altı dış gücün sürdürülebilir TZY uygulamalarındaki önemini nicel olarak değerlendirmek için Amerikan ve Avrupa üniversitelerinden sürdürülebilir TZ ve petrol-gaz alanındaki akademik uzmanlara ve gelişmekte olan ülkelerdeki iki ulusal petrol ve gaz işletmelerine bir anket yapmış ve toplanan verileri BWM yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Badri Ahmadi ve ark. (2017) imalat işletmelerinde TZ'nin sosyal sürdürülebilirliğini araştırmak üzere önerdikleri çerçevenin

uygulanabilirliğini ve verimliliğini göstermek için BWM yöntemini kullanılarak 38 uzmanın değerlendirmelerini analiz etmişlerdir. Gupta ve Barua (2017) KOBİ'lerin yeşil inovasyon kabiliyeti temelinde tedarikçileri seçmek için üç aşamalı bir metodoloji sunmuşlardır. İlk aşamada literatür taraması ve uzman görüşleriyle toplam yedi ana ve 42 alt KOBİ'lerde yeşil inovasyon kriterleri seçilmiştir. İkinci aşama, çalışmadaki tüm ana ve alt kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için BWM yöntemi kullanılmıştır. Son aşamada, Bulanık TOPSIS yöntemiyle kriter ağırlıkları kullanılarak yedi tedarikçi sıralanmıştır. Ghasemian Sahebi ve ark. (2017) Tahran Kızılay Derneklerinin bir örnek çalışması bağlamında insani TZ engellerini analiz etmek için Bulanık Delphi ve BWM yöntemlerini kullanan entegre bir yaklaşım sunmuşlardır. Literatür ve uzmanlarla yapılan görüşmeler ışığında, insani TZ'de tespit edilen 28 engel, Bulanık Delphi ile dokuz kategoride sınıflandırılarak 22 engele indirilerek BWM yöntemiyle değerlendirilmiştir. Aboutorab ve ark. (2018) belirsizlikle başa çıkmak için Z-sayılarını BWM metoduna entegre ederek Z-BWM yöntemini geliştirmiş ve bir tedarikçi geliştirme problemine uygulamışlardır. Deneysel sonuçlara göre, Z-BWM yöntemi BWM ve Bulanık BWM ile karşılaştırıldığında daha tutarlı bir yaklaşım sunmuştur. Cheraghalipour ve Farsad (2018) İran'ın kuzeyindeki çok-dönemli, çok-ürünlü ve çok tedarikçili gerçek bir vaka çalışmasının sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsis problemini, miktar indirimleri ve kesinti risklerini göz önüne alarak çözmek için bir karar verme aracı sağlamışlardır. Belirlenen kriterlerin ağırlıkları ve bu kriterlere göre de tedarikçilerin öncelik ağırlıkları BWM yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve önerilen modelde bu skorlar maksimize edilmeye çalışılmıştır. Groenendijk ve ark. (2018) transit düğümün kalitesini belirleme sürecinde seyahat edenlerin deneyimini de göz önüne alarak BWM yöntemine dayalı bir değerlendirme yöntemi geliştirmişler ve Rotterdam vakası üzerinde uygulamışlardır. Gupta (2018) BWM yöntemi ile VIKOR yöntemini entegre ederek hava yolu taşımacılığında hizmet kalitesinin değerlendirilmesi için melez bir yaklaşım önermiştir. Shojaei ve ark. (2018) yine hava yolu taşımacılığında Taguchi kayıp fonksiyonunu, BWM yöntemini ve VIKOR'u birleştirerek havalimanlarının değerlendirilmesi ve sıralanması için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Lo ve ark. (2018) yeşil tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemi için BWM- modifiye bulanık TOPSIS ve bulanık çok-amaçlı doğrusal programlama içeren yeni bir model önermişlerdir. Çalışmada önerilen yöntem bir elektronik işletmesi tarafından sağlanan gerçek veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Rezaei ve ark. (2018) farklı ülkelerin lojistik performansları hakkında fikir edinmek için farklı ülkelere 107 uzmandan oluşan bir anket yaparak altı

Lojistik Performans Endeksi bileşenine (altyapı, lojistik hizmetleri, dakiklik, gümrük, uluslararası sevkiyatlar ve izleme- takip) BWM yöntemini kullanarak ağırlık atamışlardır. Elde edilen puanlar, ülkelere lojistik durumlarını en verimli şekilde nasıl geliştirebilecekleri hakkında fikir vermektedir. Govindan ve ark. (2019) Hindistan’da bulunan bir işletmenin Üçüncü Parti Tersine Lojistik Sağlayıcı (3PRLP) problemini ele almışlardır. İşbirlikçi ortakların seçimi için COPRAS-BWM entegre yöntemini kullanarak sürdürülebilir bir değerlendirme çerçevesi sunmuşlardır. Haeri ve Rezaei (2019) ekonomik ve çevresel kriterleri içeren kapsamlı bir gri tabanlı yeşil tedarikçi seçim modeli önermişlerdir. İran’daki büyük motorlu taşıt imalatçısı için beş alüminyum malzeme tedarikçisini değerlendirmek ve sıralamak için beş uzmandan oluşan bir panel oluşturulmuştur. Kriterleri değerlendirmek için BWM ve bulanık gri bilişsel yöntemleri birleştirerek yeni bir ağırlık atama modeli önerilmiştir. Daha sonra geliştirilen Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle yeşil tedarikçiler değerlendirilmiştir. Wu ve ark. (2019) yeşil tedarikçi seçimi problemi için Aralık Tip-2 bulanık ortamda BWM ve VIKOR tekniğine dayalı entegre bir metodoloji sunmuşlardır. H. C. Liu ve ark. (2019) BWM ve Alternatif Kuyruk Yöntemini entegre ederek, aralık değerli IFS sürdürülebilir tedarikçi seçimi için yenilikçi ÇKKV modeli önermiş ve bir saat üreticisi örneğiyle modelin uygulanabilirliği ve etkinliğini göstermişlerdir. A. Liu ve ark. (2019) 3PRLP seçimi için yeni bir Aralık-Değerli Pisagor Kararsız bulanık BWM ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Pamucar ve ark. (2019) 3PRLP’leri değerlendirmek için MABAC yanında WASPAS ve BWM yöntemine dayanan yeni bir bütünleşik aralıklı kaba sayı (IRN) yaklaşımı sunmuşlardır. Melez IRN-BWM kriterlerin öncelikli ağırlıklarını hesaplamak için kullanılırken, IRN-WASPAS ve IRN-MABAC, 3PRLP’lerin son sıralamasını elde etmek için kullanılmıştır. Suhi ve ark. (2019) Bangladeş'teki seçkin endüstrilerin TZ’lerin sürdürülebilirliği için çevresel kriterleri değerlendirmek üzere BWM yöntemi önermişlerdir. Elde edilen bulgular, Bangladeş'teki endüstrilerde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında en önemli göstergenin atık yönetimi olduğunu ortaya koymuştur. Fartaj ve ark. (2019) otomotiv parçaları üreten bir imalat işletmesine ait TZ’nin kritik ulaşım bozulma faktörlerini analiz etmeyi ve BWM-kaba dayanım ilişkisi (RSR) analiz yöntemlerini kullanarak karşılıklı ilişkileri ortaya koymayı amaçlamışlardır. Geliştirilen BWM-RSR çerçevesinin uygulanabilirliği Oldcastle, Ontario, Kanada'daki bir otomotiv parçaları üreten bir imalat işletmesinde gösterilmiştir. Sonuçlar, altyapı darboğazlarının / tıkanıklığının ve yetersiz vasıflı iş gücünün otomotiv endüstrisindeki ulaşım ağının bozulmasında en kritik faktörler olduğunu göstermiştir. Orji ve ark. (2019) nakliye lojistiği sürdürülebilirliği için

eko-inovasyon uygulamalarının uygulanmasındaki zorlukları tanımlamışlardır. Bu zorlukları geliştirmekte olan bir ekonomi olan Nijerya'daki göreceli önemleri açısından değerlendirmek ve sıralamak için BWM yöntemini uygulamışlardır. Rahemi ve ark. (2020) bir biyoetanol TZ ağının optimum tasarım ve planlamasını formüle etmek için iki amaçlı KTDP modeli önererek, ekili alanların toprağına ve topografik özelliklerine göre mevcut ekin alanlarının uygunluğunu belirlemek için BWM, PROMETHEE II ve GIS kullanmışlardır. Önerilen modelin performansı, İran'ın Fars eyaletindeki çok hammaddeli bir biyoetanol TZ'de gösterilmiştir. Munny ve ark. (2019) Bangladeş'teki bir ayakkabı imalat işletmesinin TZ'sinde sosyal sürdürülebilirlik sağlayıcıları, BWM yöntemini kullanarak incelemiştir. Sonuçlar, işyeri sağlığı ve güvenliği uygulamalarının, bir ayakkabı imalat işletmesi TZ'sinin sosyal sürdürülebilirliğinin en önemli sağlayıcısı olduğunu, bunu işletme çalışanlarına sunulan ücret ve yan yardımların izlediğini göstermiştir. Qin ve Liu (2019) acil durum malzeme tedarikçisi seçim problemi için entegre bir Tip-2 bulanık BWM ve COPRAS yaklaşımı sunmuştur. Gan ve ark. (2019) esnek tedarikçi seçim problemini çözmek üzere grup karar verme için rastgele ortamlarda bulanık BWM ve modüler TOPSIS kombinasyonuna dayanan melez bir yöntem önermişlerdir. BWM yönteminin KDTZ'de kullanımı konusunda henüz bir makale yayınlanmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu net bir şekilde, 2017 yılında yapılan bir literatür araştırması, 1994-2017 tarihleri arasında yayınlanmış 800 eseri değerlendirerek KDTZ yönetimi konusunda kullanılan bulanık ÇKKV yöntemleri alanındaki araştırma boşluklarına dair bir analiz sunarak göstermişlerdir (Tozanli ve ark., 2017).

#### **2.4. Akıllı ve Sürdürülebilir TZY AHP Yöntemi Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması**

Bu bölümde akıllı ve sürdürülebilir paradigmaları içeren KDTZ'de AHP yönteminin bağımsız ve bütünleşik kullanımına ilişkin çalışmaların bir özeti sunulmuştur. Amin ve Zhang (2012) genel bir KDTZ ağı için iki aşamalı entegre bir model önermişlerdir. İlk aşamada, tersine lojistikteki tedarikçi seçimi için Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada, hangi tedarikçilerin ve yenileme alanlarının seçilmesi gerektiğini belirlemek ve TZ ağını optimize etmek için çok-amaçlı KTDP modeli önerilmiştir. Subulan ve ark. (2015) farklı önem ve önceliklere sahip bulanık çok-amaçlı, çok-seviyeli ve çok-ürünlü KTDP modeli geliştirmişlerdir. Farklı önem ve önceliklere sahip bulanık hedef programlama modelini çözmek için ağırlıklı geometrik ortalama

temel alınarak Bulanık AHP yöntemi kullanılmış ve her bir bulanık hedefin istenen başarı derecesi elde edilmiştir. Prakash ve Barua (2015) Hint elektronik endüstrisindeki engelleri aşmak, tersine lojistiği benimseme çözümlerini tanımlamak ve sıralamak için Bulanık TOPSIS yöntemi, engellerin ağırlığını ölçmek için ise Bulanık AHP yöntemine dayanan bir metodoloji önermişlerdir. Kafa ve ark. (2015) tedarikçi ve 3PRLP seçimi için sürdürülebilirlik kriterleri arasında bir denge öneren paydaş seçimi ve KDTZ ağ yapılandırması için entegre bir sürdürülebilir yaklaşım önermişlerdir. İlk aşamada potansiyel paydaşlar, Bulanık AHP / PROMETHEE yöntemleri kullanılarak sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Ardından KDTZ ağı, çok-amaçlı KTDP modeli şeklinde formüle edilerek çözüm için ağırlıklı maks-min yaklaşımı kullanılmıştır. Khatri ve Dash (2015) metal geri dönüşüm KDTZ operasyonlarındaki kritik sürdürülebilirlik faktörlerini araştırarak listelemişlerdir. En önemli faktörleri belirlemek için AHP ve Temel Bileşenler Analizi tekniklerini uygulamışlardır. Hint metal geri dönüşüm KDTZ'de sürdürülebilirliği sağlamak için en önemli beş faktörü tanımlamışlardır. Khodaverdi ve Hashemi (2015) bir KDTZ'de 3PRLP'nin seçilmesi ve değerlendirilmesi için AHP ve Gri İlişkisel Analiz yöntemine dayanan metodolojik bir çerçeve önermişlerdir. Shakourloo ve ark. (2016) üretici, yeniden imalatçı ve 3PRLP içeren genel bir KDTZ modeli önermişlerdir. Önerilen model iki aşamadan oluşmaktadır: birinci aşamada, yeniden imalat süreci riskini azaltmak amacıyla Bulanık AHP yöntemine dayanarak, ürünlerin önceliğini belirten ve her bir ürünü toplamak için bir tedarikçiyi tahsis eden bir çerçeve sunulmuştur. İkinci aşamada, tedarikçiler tarafından sağlanması gereken ürün sayısını ve KDTZ ağında yeniden üretilmesi gereken her bir ürünün bileşenlerinin belirlenmesi için çok amaçlı tam sayılı Doğrusal Programlama (TDP) önerilmiştir. Gaur ve ark. (2017) tüketicilerin eğilim davranışını tanıtarak mevcut KDTZ düzenlemesini genişleten kavramsal bir çerçeve önermişlerdir. Tasarladıkları bir ankete dayanan on bir araştırma önerisi geliştirmişlerdir. Anket, farklı yeniden imalat endüstrilerinin karar alma yöneticilerine algılarını istemek için gönderilmiş ve katılımcılardan AHP kullanarak ikili karşılaştırmalar yapmaları istenmiştir. Govindan ve ark. (2017) mürekkep püskürtmeli yazıcıları montaj eden Hintli bir işletmenin mevcut TZ'sini genişletmek için eko-verimli bir KDTZ tasarımı önermişlerdir. Ağ tasarımı, çok-dönemli, çok-amaçlı bir model olarak yapılandırılmıştır ve bulanık hedeflerle KTDP problemi şeklinde formüle edilmiştir. Tedarikçi değerlendirmesi ve seçimi için Faktör Analizi ve AHP yöntemini birleştiren entegre bir metodoloji, optimum dağıtım ve toplama bölgelerinin oluşturulması için k-ortalama kümeleme tekniği ve çok amaçlı

probleme uygun etkin çözümler bulmak için ağırlıklı maks-min yaklaşımı kullanılmıştır. Taleizadeh ve ark. (2019) çok-dönemli çok-aşamalı sürdürülebilir KDTZ planlama üzerine çalışmıştır. TZ kararlarının sosyal ve çevresel yönlerini ciddiye alan ve Küresel Raporlama Girişimi kılavuz göstergelerini kullanarak sosyal ve çevresel etkilerini ölçen kapsamlı bir model önermiş ve her bir göstergenin önem ağırlığını belirlemek için de Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Darbari ve ark. (2019) Hintli bir dizüstü bilgisayar üreticisi için KDTZ ağı tasarlayarak bulanık talep ve kapasite kısıtlarıyla net kâr ve sosyal etkiyi maksimize eden ve çevresel etkiyi minimize eden bulanık hedefli KTDP modeli geliştirmişlerdir. Modelin yeniliği, TBL göstergesinin ölçümüne ve paydaşların çok kriterli perspektiflerini modellemek için melez AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanımına dayanmaktadır.

## **2.5. Pisagor Bulanık Ortamda ÇKKV Yöntemleri Kullanımına İlişkin Literatür Araştırması**

Atanassov (1986) tarafından önerilen IFS Yager, (2014) tarafından Pisagor Bulanık kümelerine genişletilmiştir. Zhang ve Xu (2014) Pisagor Bulanık kümelerin bazı yeni operasyonel kurallarını tanımlamış ve arzulanan özelliklerini tartışmışlardır. Pisagor Bulanık kümeleri ÇKKV problemlerinde genişletilerek TOPSIS yöntemini önerilmiştir. Peng ve Yang (2016) Pisagor Bulanık ortamındaki Pisagor Bulanık Choquet İntegral Ortalaması operatörü ve MABAC'ın bağımlı ve bağımsız olduğu nitelikleri içeren iki adet çok amaçlı grup karar verme yaklaşımını önermişlerdir. Ren ve ark. (2016) TODIM yaklaşımını, Pisagor Bulanık ortamında ÇKKV problemlerini çözmek için genişletmişler ve karar vericilerin riskli tutumlarının belirsizlikler altındaki karar verme sonuçları üzerindeki etkisini analiz etmek için simülasyon testleri yapmışlardır. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için Asya Altyapısı Yatırım Bankası valisinin seçilmesi ile ilgili bir vaka çalışması yapılmıştır. Zhang (2016) Pisagor Bulanık ortamda, aralık değerli Pisagor Bulanık sayıları kullanarak hiyerarşik ÇKKV problemlerini ele almak için yakınlık endeksi temelli bir Pisagor Bulanık QUALIFLEX metodu geliştirmiştir. Zeng (2017) olasılıksal bilgilere ve OWA yaklaşımına dayanan Pisagor Bulanık çok amaçlı grup karar verme yöntemi geliştirmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini doğrulamak için bir tedarikçi seçimi problemi ele alınmıştır. Mohd ve Abdullah (2017) belirsizliklerin hâkim olduğu gerçek hayat problemlerinde klasik AHP yönteminin yetersiz kalmasından dolayı Pisagor Bulanık

kümeden yararlanarak Pisagor Bulanık AHP yöntemine dayalı bir yaklaşım önermişlerdir. Yöntemin uygulanabilirliği test edilmiş ve ÇKKV problemlerinin çözümünde yararlı bir yol sağlayacağı gösterilmiştir. Cevik Onar ve ark. (2018) yedi Kriter, 21 alt kriter ve dört alternatif içeren bulut servis sağlayıcı probleminin seçilmesini ÇKKV problemi olarak modellemiş ve bir karar modeli önermişlerdir. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi alternatifleri sıralamak için kullanılmıştır. Cui ve ark. (2018) alternatiflerin değerlendirilmesinin Pisagor Bulanık dilsel terimlerin kullanıldığı Elektrikli Araç Şarj İstasyonu yer seçimi problemini çözmek için Pisagor Bulanık VIKOR yaklaşımı geliştirmişlerdir. Önerilen Elektrikli Araç Şarj İstasyonu yerleşim modelini göstermek için Şangay, Çin'deki pratik bir örnek dahil edilmiş ve sonuçlar diğer ilgili yöntemlerle karşılaştırılarak avantajlar vurgulanmıştır. Gul (2018) Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yöntemlerini risk değerlendirme sürecine dahil ederek iş sağlığı ve güvenliği alanında yeni bir yaklaşım önermiştir. Risk parametrelerinin ağırlıklandırılması için Pisagor Bulanık AHP yöntemini, tehlikelerin önceliklendirilmesi için Bulanık VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini ve geçerliliğini göstermek için, bir tabanca ve tüfek üretim tesisinin namlu dış yüzey oksidasyonu ve renklendirme biriminin bir vaka çalışması yapılmıştır. Önerilen yaklaşım ile IFS tabanlı yaklaşım arasında da bir karşılaştırma yapılmış ve önerilen yaklaşımın, karar alma sürecindeki belirsizliği daha iyi temsil eden güvenilir sonuçlar ürettiği bulunmuştur. Ilbahar ve ark. (2018) iş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirmesi için Fine Kiney, Pisagor Bulanık AHP yöntemi, bulanık çıkarım sistemini içeren Pisagor Bulanık Oransal Risk Değerlendirmesi (PRA) yaklaşımını önermişlerdir. Sonuçlar Pisagor Bulanık Arıza Modları ve Etkileri Analizi (FMEA) ile karşılaştırılmıştır. Liang ve ark. (2018) Pisagor Bulanık bilgi sistemlerine dayanan bir karar alma prosedürü geliştirerek araştırma ve geliştirme projesi seçiminde Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlardır. Wan ve ark. (2018) TOPSIS yöntemini kullanarak Pisagor Bulanık sayılarla çok özellikli grup karar vermeyi ele almak ve uygulamak için üç aşamalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve pratikliğini ekipman seçim örneği üzerinde göstermek için duyarlılık analizi, geçerlilik testi ve karşılaştırmalı analiz yapmışlardır. Gul ve Ak (2018) iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde risk derecelendirmelerini ölçmek için yeni ve karşılaştırmalı metodoloji önermişlerdir. Tehlikeleri sıralamak için Bulanık TOPSIS yöntemi, risk değerlendirmesinde kriterlerin önem seviyeleri Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın pratikliğini sunmak için bir yeraltı bakır ve çinko madeninde bir vaka çalışması yürütülmüştür.

Büyüközkan ve Göçer (2018) üç boyutlu baskı teknolojisinin seçimine yardımcı olmak ve TZ'lerin ihtiyaçlarına uygunluklarını değerlendirmek için Pisagor Bulanık ortamında CODAS metoduna dayalı bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. T. Y. Chen (2019) Serebrovasküler hastalıklar için akut sonrası bakım programında pilot hastanelerin seçimi problemini ele alarak, aralık değerli Pisagor Bulanık ortamda VIKOR yöntemini kullanmış ve yeni bir uzlaşık karar verme yöntemi geliştirmiştir. Karasan ve ark. (2019) İstanbul'da depolama sahası seçim problemi için Pisagor Bulanık AHP yöntemine dayalı yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Depolama sahası alternatifleri düşünülen kriterler açısından değerlendirilmiş ve sonuçlar klasik AHP yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karar verme ortamının belirsizliği altında önerilen yöntemin daha tutarlı ve bilgilendirici sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir. Gul ve ark. (2019) Pisagor Bulanık ortamda VIKOR yaklaşımını kullanarak bir risk değerlendirme yaklaşımı önermişlerdir. Bakır ve çinko madeninde bir vaka çalışması yapılmış ve risk yönetimi potansiyel tehlikelerini göz önünde bulundurarak, yeraltı madenciliğinin genel güvenlik seviyelerinin iyileştirilmesine katkı sağlanmıştır. Liang ve ark. (2019) geleneksel VIKOR yöntemine dayanarak, bu çalışmada TODIM yöntemi teşvik edilerek karar vericinin psikolojik davranışını idare edebilecek, uzlaşık bir çözüm için yeni bir bakış açısı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımların geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için Ganalı bankacılık endüstrisindeki İnternet bankacılığı web sitelerinin sıralanmasına dair bir örnek verilmiştir. Wilcoxon işaretli sıralama testini kullanarak VIKOR, TODIM ve önerilen yöntemler arasındaki farklılıklar tartışılmıştır. Biswas ve Sarkar (2019) hem karar vericilerin hem de kriterlerin ağırlıklarıyla ilgili bilgilerin tamamen bilinmediği, Pisagor Bulanık ortamdaki çok kriterli grup kararı verme problemlerini çözmek için yeni bir TOPSIS yöntemi tabanlı yaklaşım önermişlerdir. Mete ve ark. (2019) doğal gaz boru hattı projelerinde ortaya çıkan riskleri ortadan kaldırmak için Pisagor Bulanık VIKOR yöntemine dayalı mesleki risk değerlendirmesi için bir KDS önermişlerdir. Boru hattı projesinin burju sondaj süreci ile kazısız geçişlerin kurulması için risk değerlendirmesi vaka çalışması yapılmıştır. Dorfeshan ve Meysam Mousavi (2019) gerçek dünyadaki projelerin belirsizliklerinin üstesinden gelmek ve projelerin kritik yolunu zaman, maliyet, risk, kalite ve güvenlik gibi etkin kriterleri göz önünde bulundurarak belirlemek için Pisagor Bulanık kümeler altındaki TOPSIS ve COPRAS yöntemlerine dayanan yeni bir grup karar yöntemi geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemin kabiliyetini daha iyi ifade etmek için, mermer işleme tesisleri projesinin iş akışı şemasıyla ilgili literatürden bir vaka çalışması sunulmuştur. Mete (2019) doğal gaz boru hattı projesinde mesleki risklerin



değerlendirilmesi için Pisagor Bulanık FMEA temelli AHP ve MOORA yöntemlerine dayalı bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımın fizibilitesini ve etkinliğini göstermek için doğal gaz boru hattı projesinin beton kaplama işlemi için bir vaka çalışması yapılmıştır. Oz ve ark. (2019) birincil ve artık risklerin önceliklendirilmesi için bulanık risk modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada iki boyutlu risk matrisi yöntemi ve belirlenmiş tehlikelere öncelik vermek için Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Bir doğal gaz boru hattı projesinin temizlenme ve derecelendirilme işlemi için vaka çalışması uygulanmıştır. Rani ve ark. (2019) yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmek için Pisagor Bulanık ortamda VIKOR yönteminin sapma ve entropi ölçümlerini kullanan yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Önerilen Pisagor Bulanık VIKOR yaklaşımının yenilenebilir enerji teknolojilerini seçmek ve değerlendirmek için etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Yu ve ark. (2019) aralık değerli Pisagor Bulanık ortamı altında genişletilmiş TOPSIS yöntemini kullanarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi için yeni bir grup karar yaklaşımı geliştirmişlerdir. Akram ve ark. (2019) ELECTRE I yöntemini, grup karar verme ortamında Pisagor Bulanık ELECTRE I yöntemine genişletmişlerdir. Bu doğrultuda, önerilen yöntemin uygulanabilirliğini doğrulamak ve göstermek için sağlık güvenliği ve çevre yönetimi alanındaki iki açıklayıcı örnek verilmiştir. Yucesan ve Kahraman (2019) Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle hidroelektrik santralleri için risk değerlendirilmesini yapmışlardır. Otay ve Jaller (2020) çiftlik yerlerinde rüzgâr gücünün değerlendirilmesi ve seçilmesi probleminde aralık değerli Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlar Aralık Tip-2 AHP yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Yörükoğlu ve Aydın (2020) akıllı evlerdeki akıllı sayaçları değerlendirmek için Pisagor Bulanık AHP yöntemini önermişlerdir. Özkan ve ark. (2020) BCT uygulamalarında ortaya çıkan risklerin belirlenmesinde Delphi yöntemini, değerlendirilmesinde Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmayla BCT uygulamalarında hangi risklerin daha kritik olduğunun belirlenmesinde ve hangilerinin kritik olduğuna karar verilmesinde işletmelere yardımcı olabilmek amaçlanmıştır. Karaşan ve ark. (2020) Marmara Bölgesinde en uygun temiz enerji teknolojisinin seçiminde Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Karasan et al. (2020) otonom sürüş sistemindeki riskleri önceliklendirmek için Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır.

## 2.6. Pisagor Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması

Eda (2018) Pisagor Bulanık ortamda imalat şirketleri için tedarikçileri seçmek için bir CODAS yöntemi önermiştir. Animesh ve Biswajit (2019) aralık değerli bir Pisagor Bulanık ortamda belirsizlik ÇKKV problemlerindeki alternatifleri sıralamak için TODIM yaklaşımını geliştirmiştir. Fan ve ark. (2019) Pisagor Bulanık ortamda istenmeyen çıktılara sahip bir veri zarflama analizi (VZA) modeli geliştirmiştir. M. Wu ve ark. (2019) aralık değerli Pisagor Bulanık ağırlıklı ortalama operatörünü ve çarpım teorisini kullanarak bir model geliştirmiştir. Silva ve ark. (2019) Pisagor Bulanık kümeleri ve Boyut Analizi kullanarak TZ döngüsünde tedarikçileri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yöntemin uygulanabilirliğini kanıtlamak için sayısal örnekler verilmiştir. Vahid ve ark. (2020) Pisagor Bulanık küme belirsizliği altında MOORA yöntemi ile yeni bir proje ortamı karar verme yöntemi önermiştir. Deng ve ark. (2020) iki katmanlı Pisagor Bulanık küme belirsizliği altında bazı güç Muirhead ortalama operatörü ve güç ikili Muirhead ortalama operatörünü kullanarak yeni bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımı değerlendirmek için Yeşil Tedarikçi Seçimi vaka çalışması yapılmıştır. Dai ve ark. (2020) Pisagor Bulanık gücü Bonferroni ortalama operatörüne dayalı bir tarımsal ürün tedarikçisi seçim algoritması önermiştir. Modelin uygulanabilirliğini doğrulamak için tarımsal ürün tedarikçisi seçimine ilişkin bir vaka çalışması kullanılmıştır. T.-Y. Chen (2021) Pisagor Bulanık küme belirsizliği altında, Kare Öklid Mesafesi (SED) tabanlı geçiş yaklaşımı oluşturmak ve yeni bir Pisagor Bulanık LINMAP metodolojisi geliştirmek amacıyla yeni bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımı değerlendirmek için köprü üstyapı konstrüksiyonunun bir vaka çalışması kullanılmıştır. Tang ve Yang (2021), geri dönüşüm tedarikçilerinin seçimini belirlemek için Pisagor Bulanık ortam altında bir karar verme yöntemi geliştirmiştir. Yöntemin uygulanabilirliğini doğrulamak için sürdürülebilir bir e-bisiklet paylaşımı geri dönüşüm tedarikçisi seçimi örneği kullanılmıştır.

## 2.7. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması

Buyukozkan ve Gocer (2019) en dijitalleşmiş ortağı seçmek için Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiş kriter ağırlıklarını kullanarak Pisagor Bulanık COPRAS yöntemine dayalı yeni bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımı doğrulamak için Türkiye'deki bir şirkete ait vaka çalışması kullanılmıştır. Yücesan (2019) Pisagor Bulanık AHP

yöntemi ile ağırlıkları belirleyerek ve Bulanık TOPSIS yöntemi ile en iyi alternatifi belirleyerek plastik endüstrisinde yeşil tedarikçi seçimi için entegre bir model önermiştir. Shete ve ark. (2020) TZ'de sürdürülebilirliği sağlamak için Pisagor Bulanık AHP yöntemini kullanarak sürdürülebilir TZ yenilik sağlayıcılarını araştırmıştır. Bu çalışma, Hindistan'da imalat sanayisinde uygulanmıştır ve Hintli imalat sanayicileri için TBL yaklaşımının boyutlarının eş zamanlı olarak iyileştirildiğini göstermektedir. Çalık (2020) Pisagor Bulanık ortamda AHP ve TOPSIS yöntemleriyle Endüstri 4.0 bileşenlerine dayalı en iyi yeşil tedarikçiyi seçmek için bir karar verme yaklaşımı geliştirmiştir. Yaklaşımın etkinliğini doğrulamak için tarım araçları ve makine sektöründe çalışan bir şirket üzerine vaka çalışması yapılmıştır.

## **2.8. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması**

Yu ve ark. (2019) aralık değerli Pisagor Bulanık ortamda TOPSIS yöntemini kullanarak sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemleri için bir grup karar verme yöntemi geliştirmiştir. Önerilen yaklaşımın, verimli sürdürülebilir tedarikçiler seçmek için çok etkili olduğu gözlemlenmiştir. Mao ve Cai (2020) revize Göreceli Yakınlık (RC) indeksinin TOPSIS yöntemine dayalı yeni bir Pisagor Bulanık sayı entropisi önermiştir. Mevcut yöntemler yalnızca tek bir Pisagor Bulanık sayısının belirsizliğini değerlendirebilir. Önerilen yöntem, TOPSIS yöntemindeki Pisagor Bulanık sayılarının belirsizliğini değerlendirmek için uygundur. Rani ve ark. (2020) sürdürülebilir bir geri dönüşüm ortağı seçmek için benzerlik önlemlerinden ve Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminden oluşan yeni bir yaklaşım önermiştir. Kriter ağırlıklarını hesaplamak için Pisagor Bulanık kümeler için trigonometrik fonksiyona dayalı yeni bir benzerlik ölçüsü geliştirilmiştir. Yaklaşımı doğrulamak için sürdürülebilir bir geri dönüşüm ortağı seçimi vaka çalışması kullanılmıştır.

## **2.9. Bulanık BWM Yöntemi ile Tedarikçi Seçimine İlişkin Literatür Araştırması**

Guo ve Zhao (2017) BWM'nin Bulanık ortamda genişletildiği yeni bir yaklaşım önermiştir. Kriter ağırlıklarını elde etmek için doğrusal olmayan bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için biri tedarikçi seçimi problemi olan üç örnek sunulmuştur. Deneyle sonuçunda, önerilen Bulanık BWM'in,

kesin BWM'den daha yüksek karşılaştırma tutarlılığına sahip olduğunu görülmektedir. A. Liu ve ark. (2018) kriter ağırlıklarını hesaplamak için Bulanık BWM yöntemi, en iyi tedarikçi alternatiflerini sıralamak için MULTIMOORA yöntemi kullanılarak yeni bir iki aşamalı bulanık entegre yöntem önermiştir. Modelin fizibilitesini doğrulamak için bir uygulama vaka çalışması sunulmuştur. Gan ve ark. (2019) kriter ağırlıklarını elde etmek için Bulanık BWM ve en iyi esnek tedarikçiyi seçmek için grup karar verme TOPSIS yöntemlerine dayalı yeni bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği açıklayıcı örneklerle gösterilmiştir. Q. Wu ve ark. (2019) BWM yönteminin yeşil tedarikçi seçim süreci için Tip-2 bulanık ortamda genişletildiği yeni bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için bir yeşil tedarikçi seçimi örneği sunulmuştur. Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2019) kriter ağırlıklarını elde etmek için Bulanık BWM yöntemine ve sürdürülebilir tedarikçileri sıralamak için Parçalı Doğrusal Değerler Fonksiyonuna dayalı yeni bir yöntem önermiştir. Amiri ve ark. (2020) TZ'de sürdürülebilir tedarikçi seçimi için BWM yöntemine ve  $\alpha$ -kesim analizine dayalı yeni bir bulanık model önermiştir. Modelin uygulanabilirliğini göstermek için İran Khodro Şirketi'nde bir vaka çalışması yapılmıştır. Ecer ve Pamucar (2020) kriter ağırlıklarını hesaplamak için Bulanık BWM yöntemi ve en iyi tedarikçi alternatifini seçmek için Combined Compromise Solution (CoCoSo) yöntemine dayalı yeni bir yöntem önermiştir. Modelin uygulanabilirliğini göstermek için Sırbistan'daki bir ev aletleri üreticisine ait bir vaka çalışması yapılmıştır. Kannan ve ark. (2020) döngüsel TZ'de kriter ağırlıklarını hesaplamak için Bulanık BWM yöntemi ve sürdürülebilir tedarikçilere öncelik vermek için VIKOR yöntemine dayalı yeni bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımı değerlendirmek için İran'daki tel ve kablo endüstrisindeki bir şirkete ait vaka çalışması sunulmuştur. Hendiani ve ark. (2020) tedarikçileri sürdürülebilirlik yaklaşımına göre sıralamak için Bulanık BWM yöntemi ile yeni çok aşamalı hiyerarşik bulanık endeks tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Rahimi ve ark. (2020) depolama sahası seçimi problemi için kriter ağırlıklarını Bulanık BWM yöntemi, uygunluk haritalarını GIS teknikleri ve alternatif tedarikçi sıralamanı Bulanık MULTIMOORA yöntemleriyle belirleyen bir çerçeve önermiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, tedarikçi seçim süreci için bir strateji belirlemek için önerilen yaklaşımda kullanılan Pisagor Bulanık kümeler ve ÇKKV yöntemleri, geniş bir perspektif sağlamak için gözden geçirilmiştir. Ayrıca strateji seçiminde kullanılacak yaklaşımlar detaylı olarak açıklanmıştır. Materyal ve yöntem bölümü altı alt başlık altında incelenmiştir: *i)* Pisagor Bulanık kümeler için ön bilgiler, *ii)* Bulanık BWM yöntemi, *iii)* Pisagor Bulanık AHP yöntemi, *iv)* Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi, *v)* Bulanık doğrusal programlama yaklaşımı ve *vi)* Ağırlıklı katkı modeli.

#### 3.1. Pisagor Bulanık Kümeler İçin Ön Bilgiler

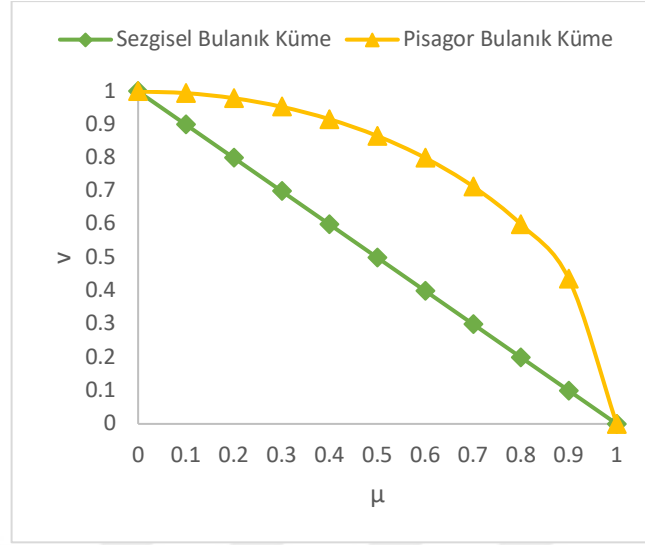
IFS, Atanassov (1986) tarafından gerçek hayat problemlerini daha iyi ifade etmek amacıyla geliştirilmiştir. IFS üyelik, üye olmama ve tereddüt dereceleri ile açıklanmaktadır. IFS'e göre üyelik ve üye olmama derecelerinin toplamı 1'i geçmemektedir. Üyelik ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'den büyük olduğu bazı durumlarda, IFS gerçek hayat problemlerindeki belirsizliği açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Yager (2014) bu gibi durumlarla başa çıkabilmek için Pisagor Bulanık kümeleri geliştirmiştir. Pisagor Bulanık kümelerde, IFS'den farklı olarak üyelik ve üye olmama derecelerinin toplamı 1'den büyük olabilir. Fakat üyelik ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamı 1'i aşamaz. Pisagor Bulanık kümeler IFS'in genelleştirilmiş halidir. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1'de Pisagor Bulanık kümeler ve IFS'in karşılaştırılması gösterilmiştir. Pisagor Bulanık kümelerin tanımları aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

*Tanım 1:* Evrensel bir  $X$  kümesi üzerinde olan Pisagor Bulanık  $P$  kümesi şu şekilde ifade edilmektedir (Zhang ve Xu, 2014):

$$P = \{ \langle x, P(\mu_p(x), \nu_p(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.1)$$

Burada  $x$  elemanın  $P$  Pisagor Bulanık kümesine üyelik derecesi  $\mu_p(x): x \mapsto [0,1]$  ve üye olmama derecesi  $\nu_p(x): x \mapsto [0,1]$  ile ifade edilmektedir. Her  $x \in X$  için Denklem (3.2)'de gösterildiği gibi üye olma ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamı 1'i geçemez:

$$0 \leq \mu_p^2(x) + v_p^2(x) \leq 1 \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. IFS ile Pisagor Bulanık kümelerin grafiksel karşılaştırılması

Çizelge 3.1. IFS ile Pisagor Bulanık kümelerin karşılaştırılması

IFS		Pisagor Bulanık Kümeler	
μ	v	μ	v
0	1	0	1
0,05	0,95	0,05	0,99875
0,1	0,9	0,1	0,99499
0,15	0,85	0,15	0,98869
0,2	0,8	0,2	0,97980
0,25	0,75	0,25	0,96825
0,3	0,7	0,3	0,95394
0,35	0,65	0,35	0,93675
0,4	0,6	0,4	0,91652
0,45	0,55	0,45	0,89303
0,5	0,5	0,5	0,86603
0,55	0,45	0,55	0,83516
0,6	0,4	0,6	0,8
0,65	0,35	0,65	0,75993
0,7	0,3	0,7	0,71414
0,75	0,25	0,75	0,66144
0,8	0,2	0,8	0,6
0,85	0,15	0,85	0,52678
0,9	0,1	0,9	0,43589
0,95	0,05	0,95	0,31225
1	0	1	0

Her  $x \in X$  için,  $P$  Pisagor Bulanık kümesine üye olan bir  $x$  elemanın tereddüt derecesi  $\pi_p(x)$  Denklem (3.3)'te gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır:

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p^2(x) - v_p^2(x)} \quad (3.3)$$

*Tanım 2:* Eğer  $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$  ve  $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$  Pisagor Bulanık sayı ve  $\lambda > 0$  ise,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  üzerindeki matematiksel işlemler Denklem (3.4-3.7)'de gösterildiği şekilde tanımlanabilir (Zeng ve ark., 2015; Zhang ve Xu, 2014):

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P\left(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2}\right) \quad (3.4)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P\left(\mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2}\right) \quad (3.5)$$

$$\lambda \beta_1 = P\left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta_1}^2)^\lambda}, v_{\beta_1}^\lambda\right) \quad (3.6)$$

$$\beta_1^\lambda = P\left(\mu_{\beta_1}^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta_1}^2)^\lambda}\right) \quad (3.7)$$

*Tanım 3:* İki Pisagor Bulanık küme arasındaki mesafe, Zhang ve Xu (2014) tarafından geliştirilmiş Denklem (3.8)'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır:

$$d(\beta_1, \beta_2) = \frac{1}{2} (|\mu_{\beta_1}^2 - \mu_{\beta_2}^2| + |v_{\beta_1}^2 - v_{\beta_2}^2| + |\pi_{\beta_1}^2 - \pi_{\beta_2}^2|) \quad (3.8)$$

*Tanım 4:* Eğer kriterler birden fazla karar verici tarafından değerlendiriliyor ve  $\beta_j = ([\mu_j^L, \mu_j^U], [v_j^L, v_j^U])$  bir Pisagor Bulanık sayı ise, aralık değerli Pisagor Bulanık sayılar, aralık değerli Pisagor Bulanık ağırlıklı geometrik (IVPFWG) operatörü kullanılarak Denklem (3.9)'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Burada n karar vericilerin sayısını,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  olması şartıyla  $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \beta_j (i = 1, 2, \dots, n)$  Pisagor Bulanık sayısının ağırlık vektörünü temsil etmektedir (Peng ve Yang, 2016).

$$\begin{aligned} IVPFWG(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) &= \\ &= \left( \left[ \prod_{j=1}^n (\mu_{\alpha_j}^L)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\mu_{\alpha_j}^U)^{w_j} \right], \left[ \prod_{j=1}^n (v_{\alpha_j}^L)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (v_{\alpha_j}^U)^{w_j} \right] \right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

### 3.2. Bulanık BWM Yöntemi

Rezaei (2015) tarafından geliştirilen BWM yöntemi, Guo ve Zhao (2017) tarafından bulanık ortamda genişletilmiştir. Fakat, bulanık matematiksel işlemlerdeki bazı hatalar ve matematiksel modelin doğrusal olmaması nedeniyle, Dong et al. (2021) tarafından yeni bir Bulanık BWM yöntemi geliştirilmiştir. Dong et al. (2021) tarafından geliştirilmiş yeni Bulanık BWM yönteminin adımları şu şekildedir:

*Adım 1:* Bir dizi  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  karar kriteri belirleyiniz.

*Adım 2:*  $C_B$  kriterini (en iyi/en önemli) ve  $C_W$  kriterini (en kötü/en az önemli) belirleyiniz.

**Çizelge 3.2.** Bulanık BWM yöntemi için ağırlıklandırma ölçeği

Dilsel İfadeler	Üçgensel Bulanık Sayılar		
	$l$	$m$	$u$
Zayıf / W	0.66	1	1.5
Oldukça / F	1.5	2	2.5
Çok / V	2.5	3	3.5
Kesinlikle / A	3.5	4	4.5
Eşit/ E	1	1	1

*Adım 3:* Bulanık En iyiden Diğerlerine vektörünü  $\tilde{A}_B = [\tilde{a}_{B1}, \tilde{a}_{B2}, \dots, \tilde{a}_{Bn}]$  elde etmek için  $C_B$  kriteri bulanık referans karşılaştırmalarını Çizelge 3.2'deki dilsel ifadeleri kullanarak kurunuz. Burada  $\tilde{a}_{Bj} = (a_{Bj}^l, a_{Bj}^m, a_{Bj}^u)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$   $C_B$  kriterinin  $C_j$  kriteri üzerindeki bulanık tercihini göstermektedir ve  $\tilde{a}_{BB} = (1, 1, 1)$  şeklinde tanımlanmaktadır.

*Adım 4:* Bulanık Diğerlerinden En kötüye vektörünü  $\tilde{A}_W = [\tilde{a}_{1W}, \tilde{a}_{2W}, \dots, \tilde{a}_{nW}]$  elde etmek için  $C_W$  kriteri bulanık referans karşılaştırmaları kurunuz. Burada  $\tilde{a}_{jW} = (a_{jW}^l, a_{jW}^m, a_{jW}^u)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$   $C_j$  kriterinin  $C_W$  kriteri üzerindeki bulanık tercihini göstermektedir ve  $\tilde{a}_{WW} = (1, 1, 1)$  şeklinde tanımlanmaktadır.

*Adım 5:* Karar verici, karar vericinin tercihinine ve karar verme problemlerinin özelliklerine göre  $d_j^t$  ve  $q_j^t$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $t = l, m, u$ ) tolerans parametrelerinin uygun değerlerini tanımlamaktadır. Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda Denklem (3.10-3.13)'te gösterildiği üzere dört farklı model geliştirilmiştir. Genellikle  $d_j^t$  ve  $q_j^t$  [1,9] aralığından herhangi bir değer alabilmektedir.



*İyimser Yaklaşım:*

$$\begin{array}{l}
 \text{maks } \beta \\
 S. T. \left\{ \begin{array}{l}
 1 - \frac{w_B - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_B - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 1 - \frac{w_j - a_{jw}^t w_w^t}{q_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_j - a_{jw}^t w_w^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 0 \leq \beta \leq 1 \\
 \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{array} \right. \quad (3.10)
 \end{array}$$

*Kötümser Yaklaşım:*

$$\begin{array}{l}
 \text{maks } \beta \\
 S. T. \left\{ \begin{array}{l}
 1 + \frac{w_B - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_B - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 1 + \frac{w_j - a_{jw}^t w_w^t}{q_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_j - a_{jw}^t w_w^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 0 \leq \beta \leq 1 \\
 \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{array} \right. \quad (3.11)
 \end{array}$$

*Karma Yaklaşım 1:*

$$\begin{array}{l}
 \text{maks } \beta \\
 S. T. \left\{ \begin{array}{l}
 1 - \frac{w_B - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_B - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 1 + \frac{w_j - a_{jw}^t w_w^t}{q_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_j - a_{jw}^t w_w^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\
 0 \leq \beta \leq 1 \\
 \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{array} \right. \quad (3.12)
 \end{array}$$

*Karma Yaklaşım 2:*

$$\begin{aligned} & \text{maks } \beta \\ & S. T. \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{w_B - w_j^t a_{Bj}^t}{d_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_B - w_j^t a_{Bj}^t \leq d_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 1 - \frac{w_j - a_{jw}^t w_w^t}{q_j^t} \geq \beta, 0 \leq w_j - a_{jw}^t w_w^t \leq q_j^t \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = l, m, u) \\ 0 \leq \beta \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n w_i^m = 1, w_j^u + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^l \leq 1, w_j^l + \sum_{i=1, i \neq j}^n w_i^u \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{array} \right\} \quad (3.13) \end{aligned}$$

*Adım 6:* GAMS, Lingo, vb. gibi optimizasyon yazılımlarını kullanarak optimal bulanık ağırlık vektörü  $\tilde{w}^* = [\tilde{w}_1^*, \tilde{w}_2^*, \dots, \tilde{w}_n^*]$  ve optimal  $\beta^*$ 'yi elde ediniz.

*Adım 7:* Bulanık sapmayı  $\xi^* = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u})$  Denklem (3.17)'yi kullanarak hesaplayınız.

$$\xi^{*l} = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*l} - w_j^{*l} a_{Bj}^l| + |w_j^{*l} - a_{jw}^l w_w^{*l}|) \quad (3.14)$$

$$\xi^{*m} = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*m} - w_j^{*m} a_{Bj}^m| + |w_j^{*m} - a_{jw}^m w_w^{*m}|) \quad (3.15)$$

$$\xi^{*u} = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n (|w_B^{*u} - w_j^{*u} a_{Bj}^u| + |w_j^{*u} - a_{jw}^u w_w^{*u}|) \quad (3.16)$$

$$\xi^{*l} = \min\{\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}\}, \xi^{*m} = \text{medyan}\{\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}\}, \xi^{*u} = \max\{\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}\} \quad (3.17)$$

*Adım 8:* Çizelge 3.3'e göre Bulanık Tutarlılık İndeksini (FCI) elde edin ve Denklem (3.18)'e göre Bulanık Tutarlılık Oranını (FCR) hesaplayınız.

**Çizelge 3.3.** Önerilen bulanık BWM'nin FCI'sı

$\tilde{\alpha}_{BW}$	(1,1,1)	(2/3,1,3/2)	(3/2,2,5/2)	(5/2,3,7/2)	(7/2,4,9/2)
FCI $\tilde{\xi}$	(0,0,0)	(0,0,1.36)	(0.34,0.44,2.16)	(0.71,1,4.29)	(1.31,1.63,5.69)
$\tilde{\alpha}_{BW}$	(9/2,5,11/2)	(11/2,6,13/2)	(13/2,7,15/2)	(15/2,8,17/2)	(17/2,9,19/2)
FCI $\tilde{\xi}$	(1.96,2.30,7.04)	(2.65,3,8.85)	(3.36,3.73,9.64)	(4.09,4.47,10.91)	(4.85,5.23,12.15)

$$FCR = \tilde{\xi}^* / \tilde{\xi} = (\xi^{*l}, \xi^{*m}, \xi^{*u}) / (\xi^l, \xi^m, \xi^u) = (\xi^{*l} / \xi^u, \xi^{*m} / \xi^m, \xi^{*u} / \xi^l) \quad (3.18)$$

*Adım 9:* Elde edilen FCR'nin dereceli ortalama entegrasyon gösterimini (GMIR)R(FCR) Denklem (3.19)'u kullanarak hesaplayınız.

$$R(FCR) = \frac{1}{6} \left( \frac{\xi^{*l}}{\xi^u} + 4 \frac{\xi^{*m}}{\xi^m} + \frac{\xi^{*u}}{\xi^l} \right) \quad (3.19)$$

### 3.3. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi

AHP yöntemi Saaty (1990) tarafından geliştirilen bir ÇKKV yöntemidir. AHP yöntemi, karar verme problemlerinde bir grup bireyinin önceliklerini dikkate alarak nitel ve nicel değişkenleri birlikte değerlendirebilen bir yöntemdir. AHP yöntemi ilk olarak Ilbahar ve ark. (2018) tarafından Pisagor Bulanık ortamda genişletilmiştir. Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları şu şekildedir:

*Adım 1:* İkili karşılaştırma matrisini  $A = (a_{ik})_{m \times m}$ , Çizelge 3.4'teki ölçeği kullanarak dokuz noktalı dilsel terimler ile oluşturunuz.

**Çizelge 3.4.** Aralık değerli Pisagor Bulanık AHP yöntemi için ağırlıklandırma ölçeği

Dilsel İfadeler	Aralık Değerli Pisagor Bulanık Sayılar			
	$\mu_L$	$\mu_U$	$v_L$	$v_U$
Aşırı Düşük / EL	0	0	0.9	1
Çok Düşük / VL	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük / L	0.2	0.35	0.65	0.8
Ortalamanın Altında / BA	0.35	0.45	0.55	0.65
Ortalama / A	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalamanın Üstünde / AA	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek / H	0.65	0.8	0.2	0.35
Çok Yüksek / VH	0.8	0.9	0.1	0.2
Aşırı Yüksek / EH	0.9	1	0	0
Tam Eşit / EE	0.1965	0.196	0.1965	0.1965

*Adım 2:* Üyelik ve üyelik olmama fonksiyonların alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri  $D = (d_{ik})_{m \times m}$  Denklem (3.20,3.21) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$d_{ik_L} = \mu_{ik_L}^2 - v_{ik_U}^2 \quad (3.20)$$

$$d_{ik_U} = \mu_{ik_U}^2 - v_{ik_L}^2 \quad (3.21)$$

*Adım 3:* Aralık çarpım matrisleri  $S = (S_{ik})_{m \times m}$  Denklem (3.22,3.23) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$S_{ik_L} = \sqrt{1000^{d_L}} \quad (3.22)$$

$$S_{ik_U} = \sqrt{1000^{d_U}} \quad (3.23)$$

*Adım 4:* Belirlilik değeri  $(\tau_{ik})_{m \times m}$  Denklem (3.24) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\tau_{ik} = 1 - (\mu_{ik_U}^2 - \mu_{ik_L}^2) - (v_{ik_U}^2 - v_{ik_L}^2) \quad (3.24)$$

*Adım 5:* Belirlilik değerleri normalizasyon işleminden önce  $T = (t_{ik})_{m \times m}$  matris ağırlıklarını elde etmek için Denklem (3.25)'te gösterildiği şekilde aralık çarpım matrislerinin ortalaması ile çarpılmaktadır:

$$t_{ik} = \left( \frac{S_{ik_L} + S_{ik_U}}{2} \right) \times \tau_{ik} \quad (3.25)$$

*Adım 6:* Normalleştirilmiş öncelik ağırlıkları  $w_i$  Denklem (3.26) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (3.26)$$

### 3.4. Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi ilk olarak Cevik Onar ve ark. (2018) tarafından Pisagor Bulanık ortamında genişletilmiştir. Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin adımları şu şekildedir:

*Adım 1:* Pisagor Bulanık sayılara dayalı karar matrisini  $R = (C_j(x_i))_{m \times n}$  Çizelge 3.5'teki dilsel ifadeleri kullanarak oluşturunuz.  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$  ve  $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$  kriterlerin ve alternatiflerin değerlerini ifade etmektedir.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} P(u_{11}, v_{11}) & \cdots & P(u_{1n}, v_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P(u_{m1}, v_{m1}) & \cdots & P(u_{nm}, v_{nm}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.27)$$

**Çizelge 3.5.** Alternatiflerin performans derecelendirme ölçęi

Dilsel İfadeler	Aralık Değerli Pisagor Bulanık Sayılar	
	$u$	$v$
Aşırı Düşük / EL	0,1	0,99
Çok Düşük / VL	0,1	0,97
Düşük / L	0,25	0,92
Orta Düşük / ML	0,4	0,87
Orta / M	0,5	0,8
Orta Yüksek / MH	0,6	0,71
Yüksek / H	0,7	0,6
Çok Yüksek / VH	0,8	0,44
Aşırı Yüksek / EH	1	0

*Adım 2:* Pisagor Bulanık Pozitif İdeal Çözümü (PIS) ve Negatif İdeal Çözüm (NIS), Denklem (3.28,3.29) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$x^+ = \left\{ C_j, \max_i \langle s(C_j(x_i)) \rangle \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} \\ = \{ \langle C_1, P(u_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(u_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^+, v_n^+) \rangle \} \quad (3.28)$$

$$x^- = \left\{ C_j, \min_i \langle s(C_j(x_i)) \rangle \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} \\ = \{ \langle C_1, P(u_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(u_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^-, v_n^-) \rangle \} \quad (3.29)$$

*Adım 3:* PIS ve NIS'e olan uzaklık Denklem (3.30,3.31) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$D(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) \\ = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left( |(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2| \right) \quad (3.30)$$

$$D(x_i, x^-) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^-)) \\ = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left( |(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^-)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^-)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^-)^2| \right) \quad (3.31)$$

*Adım 4:* Alternatif  $x_i$ 'nin Görelî Yakınlığı  $RC(x_i)$  Denklem (3.32) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$RC(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{(D(x_i, x^+), D(x_i, x^-))} \quad (3.32)$$

*Adım 4, İkinci Seçenek:* Hadi-Vencheh ve Mirjaberi (2014), Denklem (3.33) kullanılarak hesaplanan başka bir  $RC$  katsayısı  $\xi(x_i)$  geliştirmiştir:

$$\xi(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{maks}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{min}(x_i, x^+)} \quad (3.33)$$

### 3.5. Bulanık Doğrusal Programlama Yaklaşımı

Zimmermann (1978), Bellman ve Zadeh (1970) yaklaşımını dikkate alarak Bulanık Doğrusal Programlamayı önermiştir. Özellikle çok amaçlı problemlerde sisteme bulanıklık getirilerek bulanık amaç fonksiyonları ve bulanık kısıtlar içeren modellere çözümler bulunmaktadır.

Zimmermann (1978) tarafından önerilen geleneksel bir doğrusal programlama modeli Denklem (3.34-3.36)'da gösterilmiştir.

$$Min Z = Cx \quad (3.34)$$

*S. T.*

$$Ax \leq b \quad (3.35)$$

$$x \geq 0 \quad (3.36)$$

Bulanıklaştırma işleminden sonra denklemlerin sembolleri Denklem (3.37-3.39)'daki şekilde değişmektedir.

$$\tilde{C}x \leq Z \quad (3.37)$$

*S. T.* (3.38)

$$\tilde{A}x \leq b \quad (3.39)$$

$$x \geq 0$$

Kısıt kümesindeki  $\leq$  sembolü, “küçük veya eşittir” anlamına gelmektedir.  $\tilde{C}$  ve  $\tilde{A}$ 'nın bulanık değerleri temsil ettiği bir aspirasyon seviyesine ulaşmasına izin verilmektedir. Bellman ve Zadeh (1970) yaklaşımına göre,  $X$ 'teki  $A$  bulanık kümesi

$A = \{x, \mu_A(x)/x \in X\}$  olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\mu_A(x): x \rightarrow [0,1]$ ,  $A$ 'nın üyelik fonksiyonu olarak kabul edilir ve  $\mu_A(x)$ ,  $x$ 'in  $A$ 'ya üyelik derecesini temsil etmektedir.

Bir bulanık amaç  $\tilde{Z} \in X$ , üyelik fonksiyonu  $\mu_Z(x): x \rightarrow [0,1]$  ile nitelendirilen  $X$ 'in bulanık bir alt kümesidir. Bu yaklaşım, her amaç fonksiyonuna maksimum ve minimum değer atayarak her bir amaç için üyeliği nitelendirmektedir. Yani amaç fonksiyonlarını maksimum değere ve minimum değere sahip olarak ayırmaktadır.

Minimizasyon ve maksimizasyon amaç fonksiyonları için doğrusal üyelik fonksiyonları şu şekilde verilmiştir:

$$\mu_{Z_j}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j(x) \leq Z_j^{\min} \\ \frac{Z_j^{\max} - Z_j(x)}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} < Z_j(x) \leq Z_j^{\max}, j = 1, 2, \dots, J \text{ (minimizasyon)} \\ 0 & \text{if } Z_j(x) > Z_j^{\max} \end{cases} \quad (3.40)$$

$$\mu_{Z_j}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } Z_j(x) \leq Z_j^{\min} \\ \frac{Z_j(x) - Z_j^{\max}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} < Z_j(x) \leq Z_j^{\max}, j = 1, 2, \dots, J \text{ (maksimizasyon)} \\ 1 & \text{if } Z_j(x) > Z_j^{\max} \end{cases} \quad (3.41)$$

Denklem (3.40,3.41)'de  $Z_j^{\min} \min_j Z_j(x^*)$ 'i ve  $Z_j^{\max} \max_j Z_j(x^*)$ 'ı ve  $x^*$  ise optimal çözümü ifade etmektedir.

Zimmermann (1978) her bir amaç fonksiyonuna dikkat edilmesi gerektiğini ve aynı anda sadece bir amaç fonksiyonuna odaklanılması gerektiğini öne sürmüştür.  $J$  farklı amaç fonksiyonu için süreç  $j$  kez tekrar edilmelidir. Tüm elde edilen çözümler,  $j$   $x$   $j$  boyutunda bir ödünleşme matrisi elde etmek için kullanılmaktadır. Bu ödünleşme matrisi, amaç fonksiyonları için  $Z_j^{\min}$  ve  $Z_j^{\max}$  değerleri sağlamalıdır (Behera ve Nayak, 2011).

$$Z_j^{\min} \leq Z_j \leq Z_j^{\max} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (3.42)$$

### 3.6. Ağırlıklı Katkı Modeli

Kesin formülasyon, aşağıda Denklem (3.43-3.48)'de gösterildiği gibi  $j$  hedefleri ve  $k$  kısıtları için bir bulanık programlama modeli olan "Ağırlıklı katkı modeli" (Tiwari ve ark., 1987) uygulanmaktadır:

$$\text{Maks } \sum_j^J w_j \lambda_j \quad (3.43)$$

S. T.

$$\lambda_j \leq \mu_{z_j}(x) \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (3.44)$$

$$Ax \leq b \text{ her deterministik kısıt için} \quad (3.45)$$

$$\sum_j^J w_j = 1 \quad (3.46)$$

$$w_j, x \geq 0 \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (3.47)$$

$$0 \leq \lambda_j \leq 1 \quad (3.48)$$

Burada  $w_j$ , bulanık hedefler arasında görelî önemi temsil eden katsayı ağırlığı olarak kullanılmaktadır.

#### 4. GERÇEK HAYAT UYGULAMASI

İşletmelerin hedefleri doğrultusundaki stratejileri arasından en uygun stratejinin belirlenebilmesi için öncelikle stratejilerde bulunacak tedarikçi dağılımlarına karar verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle tedarikçi seçimini belirleyen kriter ağırlıkları ve tedarikçi dağılımları belirlenmelidir. Önerilen yaklaşımların uygulanabilirliğini göstermek ve yaklaşımı okuyucuya daha iyi tanıtmak için Konya'da otomotiv yedek parça sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin tedarikçi seçimi örneği incelenmiştir. İşletmenin gizlilik politikaları gereği işletme adının paylaşılması için gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Şu andan itibaren işletmenin adı Şirket V olarak adlandırılmaktadır.

Şirket V, 1968 yılında otomotiv sektörüne ürün üretmek amacıyla kurulmuştur. Bugünün ötesinde gelişimini sürdüren Şirket V, 20 000 m<sup>2</sup>'ye yayılmış modern tesisi, yüzlerce çalışanı ile geçmişten günümüze otomotiv sektörünün ihtiyaç duyduğu ürün ve yarı mamulleri üretmektedir. Mevcut kapasitesi ile yetinmeyip, 80 000 m<sup>2</sup> alana yayılmış, daha modern ve akıllı teknolojilerle donatılmış yeni tesisine taşınmak için gerekli çalışmalara başlamıştır. Şirket V bir tasarım ve Ar-Ge departmanına, metal, alüminyum ve plastik enjeksiyon kalıp departmanına, yüksek ve alçak basınçlı döküm departmanına, pres departmanına ve yüksek teknoloji işleme üretim hatlarına sahiptir. Şirket V, kalite standartlarını yakalamış, pazardaki payını arttırmış, sürekli gelişim düşüncesine sahip ve geleceği gören bir markadır. Sadece satış odaklı olmayıp aynı zamanda süreklilik, kalite, hizmet, güvenilirlik ve yenilikçilik anlayışına sahiptir bir işletme olmayı başarmıştır.



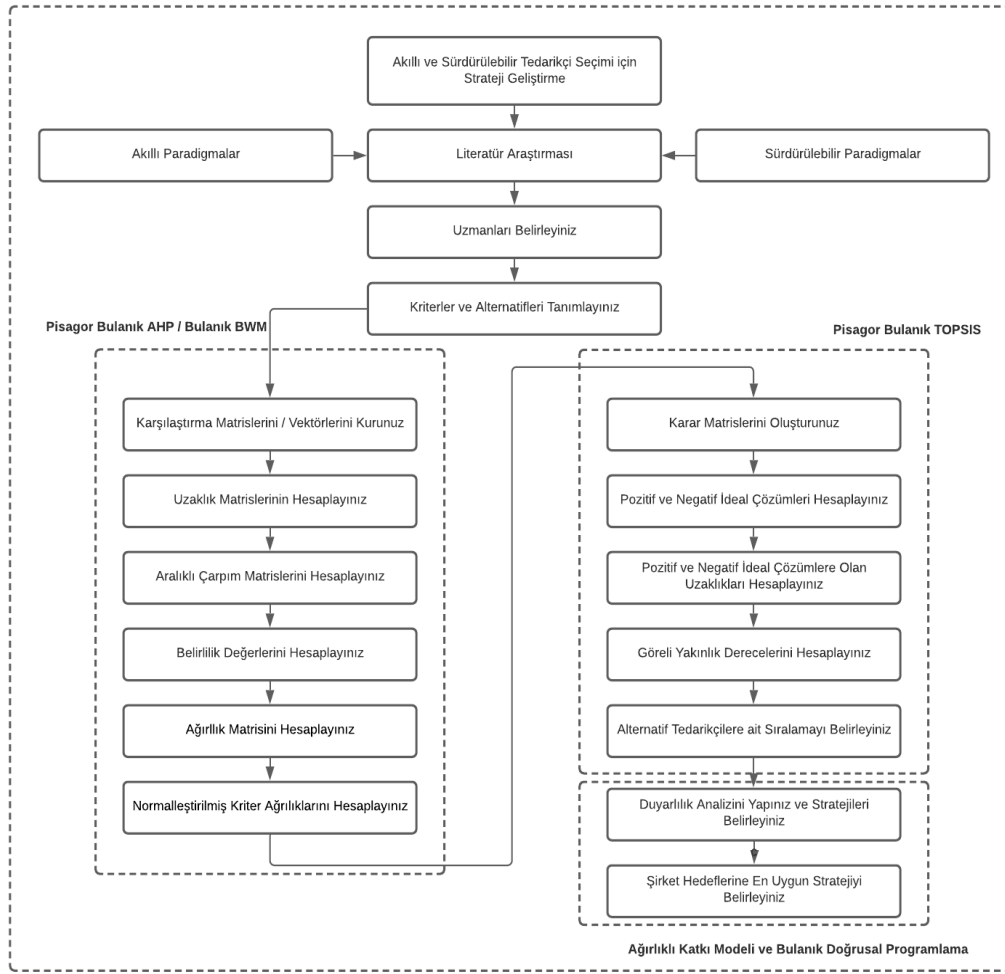
Şirket V yalın üretim konusunda çalışmalar yapmaktadır. Şirket V için yalın olmanın en büyük zorluğu, müşteri siparişlerindeki büyük dalgalanmalar nedeniyle şirketin geleneksel üretimden vazgeçememesidir. Şirket V, siparişlerdeki dalgalanmaları üretime yansıtılmamak için Toyota'nın “siparişe göre değişim” yaklaşımını yeni tesiste uygulamayı hedeflemektedir. Bu yaklaşımın temel noktası, tedarikçilerin üretim sürecine adaptasyonuna dayanmaktadır. İşletmelerin birbirleri ile uyumluluğunu sağlamak için tedarikçilerin de yalın olması gerekmektedir.



**Şekil 4.1.** Şirket V tarafından üretilen ürünler

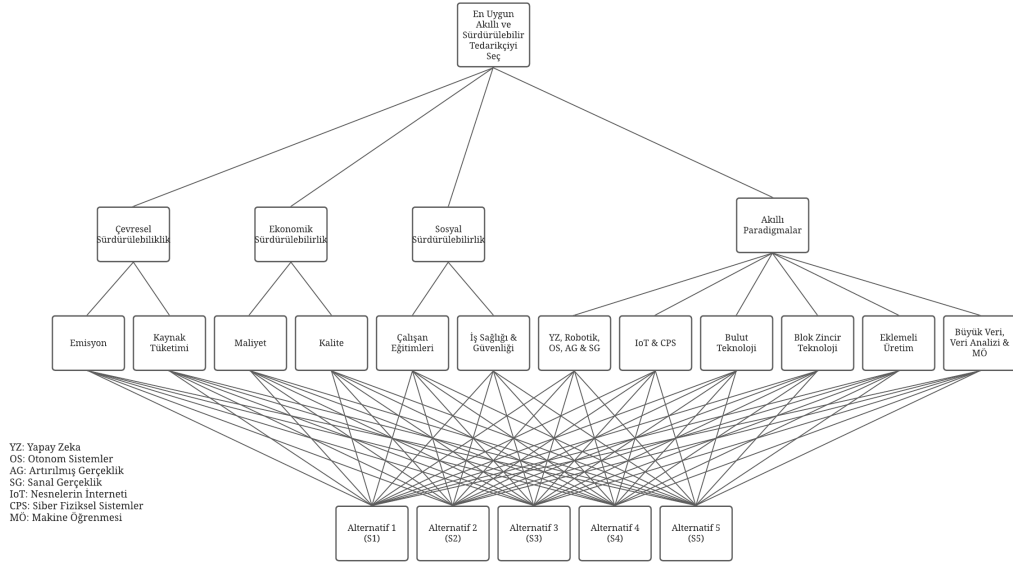
Şekil 4.1'de işletmenin ürettiği bazı ürünler gösterilmektedir. Bu ürünlerin ortak noktası, döküm işleminde aynı alaşımı kullanmalarıdır. İşletme bu alaşımın tedarikinde geçmiş dönemlerde geç teslimat, kalitesizlik ve yüksek maliyet gibi sorunlar yaşamıştır. Bu bölümde, Şirket V'nin yaşadığı sorunları gidermek için tedarikçi seçimi konusu incelenmiştir.

Artan maliyetler, uluslararası rekabet, iklim değişiklikleri, çevresel kaygılar ve çevreye yönelik hükümet düzenlemeleri ve azalan doğal kaynaklar ve kar marjları, Şirket V'yi sürdürülebilirlik konusu üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Ayrıca Şirket V, müşterilerin talep ettiği ürünlerin yeterli gereksinimleri karşılamaktan daha ötesini sağlayarak yüksek kalitede mamuller üretmek ve zamanında teslimatı sağlamak amacıyla Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmaya başlamıştır. İşletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerinden verimli olarak yararlanabilmesi için yine yalın olmanın kuralı gibi tedarikçilerini de Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmaya teşvik etmelidir. Bu nedenle Şirket V, alaşım tedarikçilerini akıllılığa ve sürdürülebilirliğe önem vererek tercih etmek istemektedir. Bu doğrultuda önerilecek yaklaşımın çerçevesi Şekil 2'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Önerilen yaklaşım çerçevesi

Önerilen yaklaşıma göre, farklı bulanık ortamlarda farklı ÇKKV yöntemlerinin kriter ağırlıklarını belirlemede ne gibi etkisinin olduğunu araştırmak amacıyla iki farklı bulanık ortamda iki farklı ÇKKV yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bulanık AHP yöntemi örnekleri literatürde kapsamlı olarak incelendiği için örnek vaka çalışması gösterilmemiştir. Örnek vaka üzerinden hesaplamalar gösterilmese de beşinci bölümdeki karşılaştırmalı analizler bölümünde bulanık AHP yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları da diğer ÇKKV yöntemleri kullanılarak belirlenmiş kriter ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır. Bulanık BWM ve Pisagor Bulanık AHP yöntemleri ile kriter ağırlıkları hesaplamaları vaka çalışması ile gösterilmiştir. Alternatif alarım tedarikçileri, hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılarak Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir.



**Şekil 4.3.** Problemin hiyerarşik yapısı

Üniversite-sanayi iş birliğini güçlendirmek için akıllı ve sürdürülebilir paradigmlar konusunda uzmanlar araştırılmış ve karar verici olarak alanında uzman üç öğretim üyesi belirlenmiştir. Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik konusunda SCI indeksi olan yayınların sayısı bu öğretim üyelerinin seçilmesinde en kritik faktörlerden biridir. Uzun tartışmalar sonucunda, tedarikçi seçimi için akıllı ve sürdürülebilir kriterler karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Tedarikçileri değerlendirmek amacıyla, sürdürülebilirlik için altı kriter ve akıllılık için altı kriter belirlenmiş ve Şekil 3'te sunulmuştur. Ayrıca her bir kriterin açıklaması Çizelge 4.1'de detaylandırılmıştır.

**Çizelge 4.1.** Tedarikçi seçim kriterleri

Kriter Tipi	Kriter	Açıklama
Sürdürülebilir Kriterler	ENC <sub>1</sub>	Emisyon
	ENC <sub>2</sub>	Kaynak Tüketimi
	ECC <sub>1</sub>	Maliyet
	ECC <sub>2</sub>	Kalite
	SOC <sub>1</sub>	Çalışan İstihdamları
	SOC <sub>2</sub>	İş Sağlığı & Güvenliği
Akıllı Kriterler	SMC <sub>1</sub>	Yapay Zeka, Robotik, Otonom Sistemler, Artırılmış Gerçeklik & Sanal Gerçeklik
	SMC <sub>2</sub>	Nesnelerin İnterneti & Siber Fiziksel Sistemler
	SMC <sub>3</sub>	Bulut Teknolojisi
	SMC <sub>4</sub>	Blok Zincir Teknolojisi
	SMC <sub>5</sub>	Eklemeli Üretim
	SMC <sub>6</sub>	Büyük Veri, Veri Analizi & Makine Öğrenmesi

#### 4.1. Bulanık BWM Yönteminin Uygulanması

Öncelikle karar vericilerden en iyi ve en kötü kriterleri belirlemeleri istenmiştir. Daha sonra, Çizelge 4.2-4.4'te gösterildiği gibi dilsel ifadeler yardımıyla En İyi Diğerlerine ve Diğerlerinden En Kötüye şeklinde karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma vektörlerinde dilsel değişkenlere karşılık gelen Üçgen bulanık sayılar (TFN), Çizelge 3.2'de gösterildiği üzere eşleştirilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Karar Verici 1'e ait En iyiden Diğerlerine ve Diğerlerinden En kötüye ikili karşılaştırma vektörü

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
En İyi	V	F	F	E	A	V	W	W	F	A	V	A
En Kötü	F	V	V	A	W	F	A	A	V	E	F	W

**Çizelge 4.3.** Karar Verici 2'ye ait En iyiden Diğerlerine ve Diğerlerinden En kötüye ikili karşılaştırma vektörü

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
En İyi	F	V	V	W	A	V	E	W	F	A	F	A
En Kötü	V	F	F	A	W	F	A	A	V	E	V	W

**Çizelge 4.4.** Karar Verici 3'e ait En iyiden Diğerlerine ve Diğerlerinden En kötüye ikili karşılaştırma vektörü

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
En İyi	W	W	V	E	F	F	A	V	F	A	V	A
En Kötü	A	A	F	A	V	V	W	F	V	W	F	E

Bulanık kriter ağırlıkları, tüm karar vericilerin iyimser olduğu varsayılarak Denklem (3.10)'daki matematiksel model kullanılarak GAMS optimizasyon yazılımı ile hesaplanmıştır. Her bir karar vericiye göre hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları Çizelge 4.5-4.7'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Karar Verici 1'e ait değerlendirmeler doğrultusunda hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
<i>l</i>	0,037	0,090	0,090	0,0925	0,026	0,037	0,139	0,139	0,090	0,040	0,037	0,0264
<i>m</i>	0,060	0,090	0,090	0,1312	0,040	0,060	0,151	0,151	0,090	0,040	0,0598	0,0396
<i>u</i>	0,065	0,091	0,091	0,1782	0,050	0,065	0,151	0,151	0,091	0,040	0,0647	0,0503

**Çizelge 4.6.** Karar Verici 2'e ait değerlendirmeler doğrultusunda hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
<i>l</i>	0,090	0,037	0,037	0,139	0,026	0,037	0,093	0,139	0,090	0,040	0,090	0,026
<i>m</i>	0,090	0,060	0,060	0,151	0,040	0,060	0,131	0,151	0,090	0,040	0,090	0,040
<i>u</i>	0,091	0,065	0,065	0,151	0,050	0,065	0,178	0,151	0,091	0,040	0,091	0,050

**Çizelge 4.7.** Karar Verici 3'e ait değerlendirmeler doğrultusunda hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
<i>l</i>	0,139	0,139	0,037	0,093	0,090	0,090	0,026	0,037	0,090	0,026	0,037	0,040
<i>m</i>	0,151	0,151	0,060	0,131	0,090	0,090	0,040	0,060	0,090	0,040	0,060	0,040
<i>u</i>	0,151	0,151	0,065	0,178	0,091	0,091	0,050	0,065	0,091	0,050	0,065	0,040

Nihai bulanık kriter ağırlıkları, her bir karar verici tarafından değerlendirilen bulanık kriter ağırlıklarının geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Nihai bulanık kriter ağırlıkları Çizelge 4.8'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Karar vericilerin kriterlere ait değerlendirmelerinin geometrik ortalaması ile belirlenen bulanık kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
<i>l</i>	0,088	0,088	0,055	0,108	0,047	0,055	0,086	0,105	0,090	0,035	0,055	0,031
<i>m</i>	0,100	0,100	0,070	0,138	0,056	0,070	0,107	0,121	0,090	0,040	0,070	0,040
<i>u</i>	0,102	0,102	0,073	0,169	0,064	0,073	0,126	0,122	0,091	0,043	0,073	0,047

Son olarak, dereceli ortalama entegrasyon yaklaşımı ile bulanık kriter ağırlıkları kesin ağırlıklara dönüştürülmüştür. Bulanık BWM ile hesaplanan kriter ağırlıkları Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Bulanık BWM ile hesaplanan net kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
<i>w<sub>i</sub></i>	0,098	0,098	0,068	0,138	0,056	0,068	0,107	0,118	0,090	0,039	0,068	0,039
Sıra	4	4	7	1	10	7	3	2	6	11	7	11

Bulanık BWM yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre ECC2 (Kalite), SMC2 (IoT ve CBS) ve SMC1 (Yapay Zekâ, Robotik, Otonom Sistemler, Artırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik) sırasıyla alaişim tedarikçisi seçimini en çok etkileyen ilk üç kriterdir.

## 4.2. Pisagor Bulanık AHP Yönteminin Uygulanması

Kriter belirleme sürecinden sonra karar vericiler, Çizelge 4.10-4.12'te gösterildiği gibi dilsel değişkenlere göre (Çizelge 3.4'te gösterilen) kriterlerin karşılaştırmalarını yapmıştır.

**Çizelge 4.10.** Karar Verici 1'e ait ikili karşılaştırma matrisi

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
ENC <sub>1</sub>	EE	BA	BA	L	AA	A	L	L	BA	AA	A	AA
ENC <sub>2</sub>	AA	EE	A	BA	H	AA	BA	BA	A	H	AA	H
ECC <sub>1</sub>	AA	A	EE	BA	H	AA	BA	BA	A	H	AA	H
ECC <sub>2</sub>	H	AA	AA	EE	VH	H	A	A	AA	VH	H	VH
SOC <sub>1</sub>	BA	L	L	VL	EE	BA	VL	VL	L	A	BA	A
SOC <sub>2</sub>	A	BA	BA	L	AA	EE	L	L	BA	AA	A	AA
SMC <sub>1</sub>	H	AA	AA	A	VH	H	EE	A	AA	VH	H	VH
SMC <sub>2</sub>	H	AA	AA	A	VH	H	A	EE	AA	VH	H	VH
SMC <sub>3</sub>	AA	A	A	BA	H	AA	BA	BA	EE	H	AA	H
SMC <sub>4</sub>	BA	L	L	VL	A	BA	VL	VL	L	EE	BA	A
SMC <sub>5</sub>	A	BA	BA	L	AA	A	L	L	BA	AA	EE	AA
SMC <sub>6</sub>	BA	L	L	VL	A	BA	VL	VL	L	A	BA	EE

**Çizelge 4.11.** Karar Verici 2'ye ait ikili karşılaştırma matrisi

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
ENC <sub>1</sub>	EE	AA	AA	BA	H	AA	BA	BA	A	H	A	H
ENC <sub>2</sub>	BA	EE	A	L	AA	A	L	L	BA	AA	BA	AA
ECC <sub>1</sub>	BA	A	EE	L	AA	A	L	L	BA	AA	BA	AA
ECC <sub>2</sub>	AA	H	H	EE	VH	H	A	A	AA	VH	AA	VH
SOC <sub>1</sub>	L	BA	BA	VL	EE	BA	VL	VL	L	A	L	A
SOC <sub>2</sub>	BA	A	A	L	AA	EE	L	L	BA	AA	BA	AA
SMC <sub>1</sub>	AA	H	H	A	VH	H	EE	A	AA	VH	AA	VH
SMC <sub>2</sub>	AA	H	H	A	VH	H	A	EE	AA	VH	AA	VH
SMC <sub>3</sub>	A	AA	AA	BA	H	AA	BA	BA	EE	H	A	H
SMC <sub>4</sub>	L	BA	BA	VL	A	BA	VL	VL	L	EE	L	A
SMC <sub>5</sub>	A	AA	AA	BA	H	AA	BA	BA	A	H	EE	H
SMC <sub>6</sub>	L	BA	BA	VL	A	BA	VL	VL	L	A	L	EE

Çizelge 4.12. Karar Verici 3'e ait ikili karşılaştırma matrisi

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
ENC <sub>1</sub>	EE	A	H	A	AA	AA	VH	H	AA	VH	H	VH
ENC <sub>2</sub>	A	EE	H	A	AA	AA	VH	H	AA	VH	H	VH
ECC <sub>1</sub>	L	L	EE	L	BA	BA	AA	A	BA	AA	A	AA
ECC <sub>2</sub>	A	A	H	EE	AA	AA	VH	H	AA	VH	H	VH
SOC <sub>1</sub>	BA	BA	AA	BA	EE	A	H	AA	A	H	AA	H
SOC <sub>2</sub>	BA	BA	AA	BA	A	EE	H	AA	A	H	AA	H
SMC <sub>1</sub>	VL	VL	BA	VL	L	L	EE	BA	L	A	BA	A
SMC <sub>2</sub>	L	L	A	L	BA	BA	AA	EE	BA	AA	A	AA
SMC <sub>3</sub>	BA	BA	AA	BA	A	A	H	AA	EE	H	AA	H
SMC <sub>4</sub>	VL	VL	BA	VL	L	L	A	BA	L	EE	BA	A
SMC <sub>5</sub>	L	L	A	L	BA	BA	AA	A	BA	AA	EE	AA
SMC <sub>6</sub>	VL	VL	BA	VL	L	L	A	BA	L	A	BA	EE

Karar vericiler tarafından değerlendirilen dilsel ikili karşılaştırma matrisleri yukarıdaki tablolarda gösterilmektedir. Bu tablolardaki dilsel değişkenler Pisagor Bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Toplu karşılaştırma matrisi (Çizelge 4.13), birden fazla karar verici olması nedeniyle IVPFWG operatörü kullanılarak elde edilmiştir. Örnek olarak, ENC<sub>1</sub> ve ENC<sub>2</sub> arasındaki IVPFWG, Denklem (3.9) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 & ENC_1 - ENC_2 \quad (4.1) \\
 & = \sqrt[3]{(0,350 \ 0,450 \ 0,550 \ 0,650) * (0,550 \ 0,650 \ 0,350 \ 0,450) * (0,450 \ 0,550 \ 0,450 \ 0,550)} \\
 & = \sqrt[3]{(0,762 \ 0,816 \ 0,762 \ 0,816)} = (0,442 \ 0,544 \ 0,442 \ 0,544)
 \end{aligned}$$

Çizelge 4.13. Pisagor Bulanık sayılarla eşleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi

		ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
ENC <sub>1</sub>	$\mu_L$	0,197	0,442	0,338	0,544	0,290	0,381	0,329	0,415	0,442	0,191	0,343	0,191
	$\mu_U$	0,197	0,544	0,468	0,659	0,414	0,481	0,470	0,567	0,544	0,316	0,473	0,316
	$\nu_L$	0,197	0,442	0,500	0,316	0,581	0,514	0,383	0,357	0,442	0,659	0,509	0,659
	$\nu_U$	0,197	0,544	0,616	0,442	0,697	0,615	0,521	0,501	0,544	0,776	0,623	0,776
ENC <sub>2</sub>	$\mu_L$	0,442	0,197	0,343	0,544	0,290	0,381	0,329	0,415	0,442	0,191	0,338	0,191
	$\mu_U$	0,544	0,197	0,473	0,659	0,414	0,481	0,470	0,567	0,544	0,316	0,468	0,316
	$\nu_L$	0,442	0,197	0,509	0,316	0,581	0,514	0,383	0,357	0,442	0,659	0,500	0,659
	$\nu_U$	0,544	0,197	0,623	0,442	0,697	0,615	0,521	0,501	0,544	0,776	0,616	0,776
ECC <sub>1</sub>	$\mu_L$	0,500	0,509	0,197	0,615	0,338	0,442	0,500	0,544	0,514	0,290	0,442	0,290
	$\mu_U$	0,616	0,623	0,197	0,747	0,468	0,544	0,616	0,659	0,615	0,414	0,544	0,414
	$\nu_L$	0,338	0,343	0,197	0,241	0,500	0,442	0,338	0,316	0,381	0,581	0,442	0,581
	$\nu_U$	0,468	0,473	0,197	0,381	0,616	0,544	0,468	0,442	0,481	0,697	0,544	0,697
ECC <sub>2</sub>	$\mu_L$	0,316	0,316	0,241	0,197	0,152	0,241	0,273	0,343	0,350	0,100	0,241	0,100
	$\mu_U$	0,442	0,442	0,381	0,197	0,262	0,381	0,393	0,473	0,450	0,200	0,381	0,200
	$\nu_L$	0,544	0,544	0,615	0,197	0,706	0,615	0,545	0,509	0,550	0,800	0,615	0,800
	$\nu_U$	0,659	0,659	0,747	0,197	0,807	0,747	0,648	0,623	0,650	0,900	0,747	0,900
SOC <sub>1</sub>	$\mu_L$	0,581	0,581	0,500	0,706	0,197	0,514	0,504	0,607	0,575	0,343	0,500	0,343
	$\mu_U$	0,697	0,697	0,616	0,807	0,197	0,615	0,657	0,714	0,706	0,473	0,616	0,473
	$\nu_L$	0,290	0,290	0,338	0,152	0,197	0,381	0,187	0,177	0,262	0,509	0,338	0,509
	$\nu_U$	0,414	0,414	0,468	0,262	0,197	0,481	0,317	0,296	0,407	0,623	0,468	0,623
SOC <sub>2</sub>	$\mu_L$	0,514	0,514	0,442	0,615	0,381	0,197	0,439	0,529	0,514	0,290	0,442	0,290
	$\mu_U$	0,615	0,615	0,544	0,747	0,481	0,197	0,607	0,660	0,615	0,414	0,544	0,414
	$\nu_L$	0,381	0,381	0,442	0,241	0,514	0,197	0,296	0,280	0,381	0,581	0,442	0,581
	$\nu_U$	0,481	0,481	0,544	0,381	0,615	0,197	0,461	0,430	0,481	0,697	0,544	0,697
SMC <sub>1</sub>	$\mu_L$	0,383	0,383	0,338	0,545	0,187	0,296	0,197	0,481	0,430	0,165	0,338	0,165
	$\mu_U$	0,521	0,521	0,468	0,648	0,317	0,461	0,197	0,581	0,545	0,280	0,468	0,280
	$\nu_L$	0,329	0,329	0,500	0,273	0,504	0,439	0,197	0,414	0,393	0,660	0,500	0,660
	$\nu_U$	0,470	0,470	0,616	0,393	0,657	0,607	0,197	0,514	0,529	0,764	0,616	0,764
SMC <sub>2</sub>	$\mu_L$	0,357	0,357	0,316	0,509	0,177	0,280	0,414	0,197	0,407	0,152	0,316	0,152
	$\mu_U$	0,501	0,501	0,442	0,623	0,296	0,430	0,514	0,197	0,509	0,262	0,442	0,262
	$\nu_L$	0,415	0,415	0,544	0,343	0,607	0,529	0,481	0,197	0,473	0,706	0,544	0,706
	$\nu_U$	0,567	0,567	0,659	0,473	0,714	0,660	0,581	0,197	0,575	0,807	0,659	0,807
SMC <sub>3</sub>	$\mu_L$	0,442	0,442	0,381	0,550	0,262	0,381	0,393	0,473	0,197	0,200	0,381	0,200
	$\mu_U$	0,544	0,544	0,481	0,650	0,407	0,481	0,529	0,575	0,197	0,350	0,481	0,350
	$\nu_L$	0,442	0,442	0,514	0,350	0,575	0,514	0,430	0,407	0,197	0,650	0,514	0,650
	$\nu_U$	0,544	0,544	0,615	0,450	0,706	0,615	0,545	0,509	0,197	0,800	0,615	0,800
SMC <sub>4</sub>	$\mu_L$	0,659	0,659	0,581	0,800	0,509	0,581	0,660	0,706	0,650	0,197	0,581	0,450
	$\mu_U$	0,776	0,776	0,697	0,900	0,623	0,697	0,764	0,807	0,800	0,197	0,697	0,550
	$\nu_L$	0,191	0,191	0,290	0,100	0,343	0,290	0,165	0,152	0,200	0,197	0,290	0,450
	$\nu_U$	0,316	0,316	0,414	0,200	0,473	0,414	0,280	0,262	0,350	0,197	0,414	0,550
SMC <sub>5</sub>	$\mu_L$	0,509	0,500	0,442	0,615	0,338	0,442	0,500	0,544	0,514	0,290	0,197	0,290
	$\mu_U$	0,623	0,616	0,544	0,747	0,468	0,544	0,616	0,659	0,615	0,414	0,197	0,414
	$\nu_L$	0,343	0,338	0,442	0,241	0,500	0,442	0,338	0,316	0,381	0,581	0,197	0,581
	$\nu_U$	0,473	0,468	0,544	0,381	0,616	0,544	0,468	0,442	0,481	0,697	0,197	0,697
SMC <sub>6</sub>	$\mu_L$	0,659	0,659	0,581	0,800	0,509	0,581	0,660	0,706	0,650	0,450	0,581	0,197
	$\mu_U$	0,776	0,776	0,697	0,900	0,623	0,697	0,764	0,807	0,800	0,550	0,697	0,197
	$\nu_L$	0,191	0,191	0,290	0,100	0,343	0,290	0,165	0,152	0,200	0,450	0,290	0,197
	$\nu_U$	0,316	0,316	0,414	0,200	0,473	0,414	0,280	0,262	0,350	0,550	0,414	0,197



Artık Pisagor Bulanık sayıları ile hesaplanmış ikili matris oluşturulduğuna göre, Adım 1 uygulanmıştır ve diğer adımlarla devam edilecektir. Bu adımdan sonra hesaplamalar örnek olarak ENC1 ve ENC2 üzerinden gösterilecektir. Adım 2'de üyelik ve üye olmama fonksiyonların alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$d_{ENC1,ENC2_L} = 0,442^2 - 0,544^2 = -0,100 \quad (4.2)$$

$$d_{ENC1,ENC2_U} = 0,544^2 - 0,442^2 = 0,233 \quad (4.3)$$

Adım 3'te, aralık çarpım matrisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$s_{ENC1,ENC2_L} = \sqrt{1000^{-0,100}} = 0,708 \quad (4.4)$$

$$s_{ENC1,ENC2_U} = \sqrt{1000^{0,100}} = 1,413 \quad (4.5)$$

Adım 4'te, belirlilik değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\tau_{ENC1,ENC2_L} = 1 - (0,544^2 - 0,442^2) - (0,544^2 - 0,442^2) = 0,800 \quad (4.6)$$

Adım 5'te ENC1'in ağırlığı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$T_{ENC1,ENC2_L} = \left( \frac{0,708 + 1,413}{2} \right) * 0,800 = 0,848 \quad (4.7)$$

$$Toplam T_{ENC1} = 1 + 0,848 + \dots + 3,933 = 18,926 \quad (4.8)$$

$$w_{ENC1} = \frac{18,926}{190,864} = 0,099 \quad (4.9)$$

Her bir kriterin ağırlığı Pisagor Bulanık AHP yöntemi adımlarına göre hesaplanarak elde edilmiştir ve Çizelge 4.14'te kriter ağırlıklarına ait kesin sonuçlar gösterilmektedir.

**Çizelge 4.14.** Pisagor Bulanık AHP ile hesaplanan net kriter ağırlıkları

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
$w_i$	0,099	0,099	0,058	0,223	0,036	0,059	0,097	0,129	0,097	0,022	0,058	0,022
Sıra	3	3	8	1	10	7	5	2	6	11	8	11

Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, ECC2 (Kalite), ENC1 (Emisyon) ve ENC2 (Kaynak Tüketimi) sırasıyla alaişım tedarikçisi seçimini en çok etkileyen ilk üç kriterdir.

### 4.3. Pisagor Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Alternatif alaişım tedarikçilerini değerlendirmek için kullanılacak kriter ağırlıkları Bulanık BWM ve Pisagor Bulanık AHP yöntemleri kullanılarak hesaplandığına göre, önerilen yaklaşımın ikinci bölümü olan alternatifler tedarikçileri Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak karşılaştırabiliriz. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif tedarikçiler değerlendirilirken gösterilen örneklerde Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiş kriter ağırlıkları kullanılmıştır. İlk adım olarak alternatif tedarikçiler, karar vericiler tarafından belirlenmiş kriterlere göre Çizelge 3.5'teki dilsel performans ölçeğine göre değerlendirilmiştir. Bulanık BWM ve Pisagor Bulanık AHP yönteminden farklı olarak, Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminde karar vericiler, alternatif tedarikçileri kriterlere göre fikir birliği olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra dilsel ifadelere karşılık gelen Pisagor Bulanık sayılar ile Çizelge 4.15'te gösterildiği şekilde karar matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.15. Alternatif alaişım tedarikçilerinin kriterlere göre değerlendirilmesi

	ENC <sub>1</sub>	ENC <sub>2</sub>	ECC <sub>1</sub>	ECC <sub>2</sub>	SOC <sub>1</sub>	SOC <sub>2</sub>	SMC <sub>1</sub>	SMC <sub>2</sub>	SMC <sub>3</sub>	SMC <sub>4</sub>	SMC <sub>5</sub>	SMC <sub>6</sub>
S <sub>1</sub>	ML	L	M	M	L	M	MH	M	M	L	ML	L
S <sub>2</sub>	MH	M	ML	H	ML	MH	H	MH	MH	M	MH	M
S <sub>3</sub>	VH	H	VH	MH	H	VH	ML	MH	M	L	M	ML
S <sub>4</sub>	L	ML	ML	H	ML	M	H	MH	H	H	MH	MH
S <sub>5</sub>	VH	H	H	VH	MH	VH	H	VH	H	H	H	VH

Karar vericiler tarafından dilsel olarak değerlendirilen alternatiflerin Pisagor Bulanık performansları Çizelge 4.16'da gösterilmektedir. ENC1 kriterine göre S1 skoru şu şekilde elde edilmektedir:

$$Skor_{S_1,ENC_1} = 0,400^2 - 0,870^2 = -0,597 \quad (4.10)$$

Çizelge 4.16. Alternatiflere ait Pisagor Bulanık performanslar

		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
ENC <sub>1</sub>	u	0,400	0,600	0,800	0,250	0,800
	v	0,870	0,710	0,440	0,000	0,440
ENC <sub>2</sub>	u	0,250	0,500	0,700	0,400	0,700
	v	0,000	0,000	0,600	0,870	0,600
ECC <sub>1</sub>	u	0,500	0,400	0,800	0,400	0,700
	v	0,800	0,000	0,440	0,870	0,600
ECC <sub>2</sub>	u	0,500	0,700	0,600	0,700	0,800
	v	0,800	0,600	0,710	0,600	0,000
SOC <sub>1</sub>	u	0,250	0,400	0,700	0,400	0,600
	v	0,920	0,870	0,600	0,870	0,710
SOC <sub>2</sub>	u	0,500	0,600	0,800	0,500	0,800
	v	0,800	0,710	0,440	0,000	0,000
SMC <sub>1</sub>	u	0,600	0,700	0,400	0,700	0,700
	v	0,710	0,600	0,870	0,600	0,600
SMC <sub>2</sub>	u	0,500	0,600	0,600	0,600	0,800
	v	0,800	0,710	0,710	0,710	0,440
SMC <sub>3</sub>	u	0,500	0,600	0,500	0,700	0,700
	v	0,800	0,710	0,800	0,600	0,600
SMC <sub>4</sub>	u	0,250	0,500	0,250	0,700	0,700
	v	0,920	0,800	0,920	0,600	0,600
SMC <sub>5</sub>	u	0,400	0,600	0,500	0,600	0,700
	v	0,870	0,710	0,800	0,710	0,600
SMC <sub>6</sub>	u	0,250	0,500	0,400	0,600	0,800
	v	0,920	0,800	0,870	0,710	0,440

ENC1 kriterine ilişkin S1'in belirsizlik derecesi Denklem (3.3)'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\pi_{S1,ENC1} = \sqrt{1 - 0,400^2 - 0,870^2} = 0,288 \quad (4.11)$$

Adım 2'de, ENC1 kriterinin PIS ve NIS (Çizelge 4.17) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$x_{ENC1}^+ = \max\{(-0,597) (-0,144) 0,446 0,063 0,446\} = 0,446 \quad (4.12)$$

$$x_{ENC1}^- = \min\{(-0,597) (-0,144) 0,446 0,063 0,446\} = -0,597 \quad (4.13)$$

Çizelge 4.17. Kriterlere ait PIS ve NIS değerleri

		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	Positive	Negative	w <sub>i</sub>
ENC <sub>1</sub>	<i>Skor</i>	-0,597	-0,144	0,446	0,063	0,446	0,446	-0,597	0,099
	$\mu$	0,400	0,600	0,800	0,250	0,800	0,800	0,400	
	$\nu$	0,870	0,710	0,440	0,000	0,440	0,440	0,870	
	$\pi$	0,288	0,369	0,408	0,968	0,408	0,408	0,288	
ENC <sub>2</sub>	<i>Skor</i>	0,063	0,250	0,130	-0,597	0,130	0,250	-0,597	0,099
	$\mu$	0,250	0,500	0,700	0,400	0,700	0,500	0,400	
	$\nu$	0,000	0,000	0,600	0,870	0,600	0,000	0,870	
	$\pi$	0,968	0,866	0,387	0,288	0,387	0,866	0,288	
ECC <sub>1</sub>	<i>Skor</i>	-0,390	0,160	0,446	-0,597	0,130	0,446	-0,597	0,058
	$\mu$	0,500	0,400	0,800	0,400	0,700	0,800	0,400	
	$\nu$	0,800	0,000	0,440	0,870	0,600	0,440	0,870	
	$\pi$	0,332	0,917	0,408	0,288	0,387	0,408	0,288	
ECC <sub>2</sub>	<i>Skor</i>	-0,390	0,130	-0,144	0,130	0,640	0,640	-0,390	0,223
	$\mu$	0,500	0,700	0,600	0,700	0,800	0,800	0,500	
	$\nu$	0,800	0,600	0,710	0,600	0,000	0,000	0,800	
	$\pi$	0,332	0,387	0,369	0,387	0,600	0,600	0,332	
SOC <sub>1</sub>	<i>Skor</i>	-0,784	-0,597	0,130	-0,597	-0,144	0,130	-0,784	0,036
	$\mu$	0,250	0,400	0,700	0,400	0,600	0,700	0,250	
	$\nu$	0,920	0,870	0,600	0,870	0,710	0,600	0,920	
	$\pi$	0,302	0,288	0,387	0,288	0,369	0,387	0,302	
SOC <sub>2</sub>	<i>Skor</i>	-0,390	-0,144	0,446	0,250	0,640	0,640	-0,390	0,059
	$\mu$	0,500	0,600	0,800	0,500	0,800	0,800	0,500	
	$\nu$	0,800	0,710	0,440	0,000	0,000	0,000	0,800	
	$\pi$	0,332	0,369	0,408	0,866	0,600	0,600	0,332	
SMC <sub>1</sub>	<i>Skor</i>	-0,144	0,130	-0,597	0,130	0,130	0,130	-0,597	0,097
	$\mu$	0,600	0,700	0,400	0,700	0,700	0,700	0,400	
	$\nu$	0,710	0,600	0,870	0,600	0,600	0,600	0,870	
	$\pi$	0,369	0,387	0,288	0,387	0,387	0,387	0,288	
SMC <sub>2</sub>	<i>Skor</i>	-0,390	-0,144	-0,144	-0,144	0,446	0,446	-0,390	0,129
	$\mu$	0,500	0,600	0,600	0,600	0,800	0,800	0,500	
	$\nu$	0,800	0,710	0,710	0,710	0,440	0,440	0,800	
	$\pi$	0,332	0,369	0,369	0,369	0,408	0,408	0,332	
SMC <sub>3</sub>	<i>Skor</i>	-0,390	-0,144	-0,390	0,130	0,130	0,130	-0,390	0,097
	$\mu$	0,500	0,600	0,500	0,700	0,700	0,700	0,500	
	$\nu$	0,800	0,710	0,800	0,600	0,600	0,600	0,800	
	$\pi$	0,332	0,369	0,332	0,387	0,387	0,387	0,332	
SMC <sub>4</sub>	<i>Skor</i>	-0,784	-0,390	-0,784	0,130	0,130	0,130	-0,784	0,022
	$\mu$	0,250	0,500	0,250	0,700	0,700	0,700	0,250	
	$\nu$	0,920	0,800	0,920	0,600	0,600	0,600	0,920	
	$\pi$	0,302	0,332	0,302	0,387	0,387	0,387	0,302	
SMC <sub>5</sub>	<i>Skor</i>	-0,597	-0,144	-0,390	-0,144	0,130	0,130	-0,597	0,058
	$\mu$	0,400	0,600	0,500	0,600	0,700	0,700	0,400	
	$\nu$	0,870	0,710	0,800	0,710	0,600	0,600	0,870	
	$\pi$	0,288	0,369	0,332	0,369	0,387	0,387	0,288	
SMC <sub>6</sub>	<i>Skor</i>	-0,784	-0,390	-0,597	-0,144	0,446	0,446	-0,784	0,022
	$\mu$	0,250	0,500	0,400	0,600	0,800	0,800	0,250	
	$\nu$	0,920	0,800	0,870	0,710	0,440	0,440	0,920	
	$\pi$	0,302	0,332	0,288	0,369	0,408	0,408	0,302	

Adım 3'te, ENC1 kriterine ilişkin PIS ve S1 arasındaki mesafe aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} D^+(x_{S1}, x_{ENC1}^+)_{ENC1} &= \\ &= |0,400^2 - 0,800^2| + |0,870^2 - 0,440^2| + |0,288^2 - 0,408^2| = 1,127 \end{aligned} \quad (4.14)$$

ENC1 kriterine ilişkin NIS ve S1 arasındaki mesafe şu şekilde elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} D^-(x_{S1}, x_{ENC1}^-)_{ENC1} &= \\ &= |0,400^2 - 0,400^2| + |0,870^2 - 0,870^2| + |0,288^2 - 0,288^2| = 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

PIS'e olan toplam mesafe şu şekilde elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} D^+(x_{S1}, x^+) &= \\ &= \frac{1}{2} * ((0,099 * 1,127) + (0,099 * 0,375) + \dots + (0,022 * 1,306)) = 0,445 \end{aligned} \quad (4.16)$$

NIS'e olan toplam mesafe şu şekilde elde edilmektedir:

$$\begin{aligned} D^-(x_{S1}, x^-) &= \\ &= \frac{1}{2} * ((0,099 * 0) + (0,099 * 1,709) + \dots + (0,022 * 0)) = 0,116 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Adım 4'te, S1'in RC'si Denklem (3.32) kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$RC(x_{S1}) = \frac{0,116}{0,445 + 0,116} = 0,207 \quad (4.18)$$

Adım 4'ün 2. Seçeneği, yani Hadi-Vencheh ve Mirjaberi'nin S1 RC'si Denklem (3.33) kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$\zeta(x_{S1}) = \frac{0,116}{0,482} - \frac{0,445}{0,074} = -5,739 \quad (4.19)$$

Adım 4 ve Adım 4'ün 2. seçeneğinde gerçekleştirilen işlemler sonucunda her bir alternatif alایشım tedarikçisine ait skorlar hesaplanmıştır. Hesaplanmış alternatif tedarikçi skorları Çizelge 4.18'da gösterildiği gibidir.

**Çizelge 4.18.** Alternatif tedarikçilere ait skorlar ve tedarikçi sıralamaları

	RC	Sıra	Hadi-Vencheh RC	Sıra
S <sub>1</sub>	0,207	5	-5,739	5
S <sub>2</sub>	0,533	2	-3,016	2
S <sub>3</sub>	0,411	4	-3,937	3
S <sub>4</sub>	0,460	3	-4,166	4
S <sub>5</sub>	0,866	1	0,000	1

Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarına ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanan alternatif alışım tedarikçisi skorlarına göre tedarikçilerin öncelik sırası  $S_5 > S_2 > S_4 > S_3 > S_1$  şeklindedir. Böylece S5, Pisagor Bulanık ortamdaki en akıllı ve sürdürülebilir alışım tedarikçisidir.

## 5. KULLANILAN ÇKKV YÖNTEMLERİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Bu bölümde, farklı ÇKKV yöntemlerinin farklı bulanık ortamlarda tedarikçi seçim süreci üzerindeki etkilerini incelemek için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Vaka çalışmasında tedarikçi seçimini etkileyen kriter ağırlıkları Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi bulanık AHP, bulanık BWM ve Pisagor Bulanık AHP yöntemleri kullanılarak üç farklı şekilde hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları ile Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif alışım tedarikçi skorları hesaplanmış ve tedarikçiler sıralanmıştır. Alternatif tedarikçilere ait skorlar normalleştirilerek Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

**Çizelge 5.1.** Farklı ÇKKV yöntemleri ile hesaplanan kriter ağırlıkları

	Bulanık AHP	Bulanık BWM	Pisagor Bulanık AHP
ENC <sub>1</sub>	0,092	0,099	0,099
ENC <sub>2</sub>	0,092	0,099	0,099
ECC <sub>1</sub>	0,081	0,068	0,058
ECC <sub>2</sub>	0,111	0,138	0,223
SOC <sub>1</sub>	0,067	0,056	0,036
SOC <sub>2</sub>	0,081	0,068	0,059
SMC <sub>1</sub>	0,089	0,107	0,097
SMC <sub>2</sub>	0,098	0,118	0,129
SMC <sub>3</sub>	0,093	0,09	0,097
SMC <sub>4</sub>	0,057	0,04	0,022
SMC <sub>5</sub>	0,081	0,068	0,058
SMC <sub>6</sub>	0,057	0,04	0,022

Tablolar incelendiğinde birkaç sonuca varmak mümkündür. Farklı ÇKKV yöntemlerinin farklı bulanık ortamlarda kullanılmasının kriter ağırlıklarının hesaplanmasında küçük farklılıklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ancak kriter ağırlıklarında gözlenen bu değişiklikler tedarikçi sıralamalarını değiştirmemektedir. Sonuç olarak, farklı ÇKKV yöntemleri veya farklı bulanık ortamlar tedarikçi seçimini etkilememektedir.

**Çizelge 5.2.** Farklı ÇKKV yöntemleri ile elde edilen alternatif tedarikçilerin sıralaması

	Bulanık AHP- Pisagor Bulanık TOPSIS	Bulanık BWM- Pisagor Bulanık TOPSIS	Pisagor Bulanık AHP-Pisagor Bulanık TOPSIS
S <sub>1</sub>	0.08	0.09	0.08
S <sub>2</sub>	0.21	0.21	0.21
S <sub>3</sub>	0.18	0.17	0.17
S <sub>4</sub>	0.19	0.19	0.19
S <sub>5</sub>	0.34	0.34	0.35

## 6. STRATEJİ GELİŞTİRME VE YÖNETSEL ÇIKARIMLAR

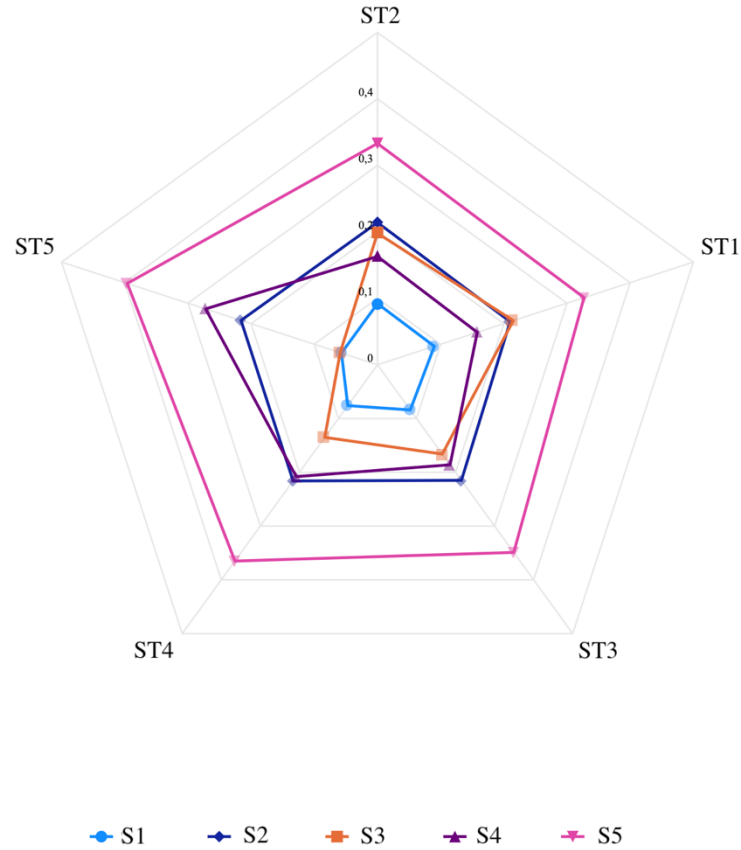
Bu bölümde, senaryo analizi yardımıyla işletmelerin amaçlarına uygun olarak kullanabilecekleri beş farklı strateji geliştirilmiştir. Tedarikçi seçim sürecini etkileyen akıllı ve sürdürülebilir kriter ağırlıklarının stratejilerde tedarikçilerin dağılımında farklı oranlarda kullanılması senaryo analizi ile araştırılmıştır. Ardından, geliştirilen stratejiler arasında işletmelerin amaç ve isteklerine en uygun stratejinin belirlenmesi için çok amaçlı bir karma tam sayılı programlama modeli ve bulanık karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir.

Bölüm 5'te yapılan karşılaştırmalı analiz ile kullanılacak ÇKKV yöntemlerinin veya bulanık ortamların tedarikçi seçim sürecini etkilemediği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle yeni stratejiler geliştirilirken stratejilerdeki tedarikçi dağılımları Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Tedarikçilerin stratejilere göre kullanım dağılımları

Stratejiler	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
ST <sub>1</sub>	0,090	0,210	0,215	0,158	0,327
ST <sub>2</sub>	0,092	0,214	0,198	0,163	0,333
ST <sub>3</sub>	0,084	0,215	0,166	0,186	0,349
ST <sub>4</sub>	0,076	0,216	0,135	0,208	0,365
ST <sub>5</sub>	0,057	0,216	0,059	0,272	0,396

Tedarikçi seçim süreçleri için sadece sürdürülebilir kriterlerin etkilediği tedarikçi dağılımı (ST<sub>1</sub>), sadece akıllı kriterlerin etkilediği tedarikçi dağılımı (ST<sub>5</sub>), mevcut vaka analizine göre hesaplanan tedarikçi dağılımı (ST<sub>3</sub>), mevcut tedarikçi dağılımlarını etkileyen sürdürülebilir kriter ağırlıklarının %50 arttığı tedarikçi dağılımı (ST<sub>2</sub>) ve mevcut tedarikçi dağılımlarını etkileyen akıllı kriter ağırlıklarının %50 arttığı tedarikçi dağılımı (ST<sub>4</sub>) olmak üzere beş farklı strateji geliştirilmiştir. Bu stratejilerdeki tedarikçi dağılımları Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

**Şekil 6.1.** Tedarikçilerin stratejilere göre kullanım dağılımları



Geliştirilen stratejiler ile tedarikçi dağılımı arasındaki ilişki yorumlanacak olursa, sürdürülebilir kriterlerin stratejilerdeki ağırlıkları arttığında S1 ve S3 olumlu, S2, S4 ve S5 olumsuz etkilenmektedir. Akıllı kriterlerin stratejilerdeki ağırlıkları arttığında, sürdürülebilirlikteki değişimin tam tersi yaşanmıştır. Kriter ağırlıklarındaki değişikliklere en duyarlı tedarikçi ise S3'tür.

İşletmenin tedarikçi seçim sürecinde kullanabileceği stratejiler ve stratejilerdeki tedarikçilerin dağılımı belirlendikten sonra işletmenin amaç fonksiyonları belirlenmelidir. Bulanık çok amaçlı karışık tam sayı modelini optimize etmek için gereken tedarikçi parametreleri Çizelge 6.2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 6.2.** Tedarikçilere ait parametre değerleri

	Satın Alma Maliyeti (PC) (\$)	Kalite Oranı (QR) (%)	Zamanında Teslimat Oranı (ODR) (%)	Karbon Emisyon Oranı (CER) (metrik ton)
S <sub>1</sub>	1.700.000	78	77	4,98
S <sub>2</sub>	1.800.000	89	80	4,62
S <sub>3</sub>	1.100.000	84	72	4,12
S <sub>4</sub>	1.900.000	92	88	5,26
S <sub>5</sub>	1.400.000	97	94	4,19

Şirket V'nin strateji seçim süreci için bulanık, çok amaçlı bir karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Bulanık küme teorisi, problemin modellenmesi ve çözümü için kullanılmıştır. Tüm amaç fonksiyonları bulanık kabul edilmiştir. Bulanıklaştırma işleminden sonra, çok amaçlı model, bir seferde yalnızca bir hedefi optimize ederek tek amaçlı bir model olarak çözülmüştür. İşletme tarafından belirlenen dört amaç fonksiyonundan ikisi maksimize edilecek hedefler, ikisi ise minimize edilecek hedeflerdir. Amaç fonksiyonlarının minimizasyonunda, alt sınırı elde etmek için amaç fonksiyonu minimize edilir ve diğer amaç fonksiyonları çözülmeyeceği için bu değer en iyisidir. Amaç fonksiyonlarının maksimizasyonunda, üst sınırı elde etmek için amaç fonksiyonu maksimize edilir ve diğer amaç fonksiyonları çözülmeyeceği için bu değer en iyisidir.

### İndisler:

i: Senaryolar kümesi ( $i=1, 2, \dots, n$ )

j: Tedarikçiler kümesi ( $j=1, 2, \dots, m$ )

**Parametreler:**

- $c_j$ : J. tedarikçiden satın alınan ürünlerin maliyeti  
 $q_j$ : J. tedarikçiden satın alınan ürünlerin kalite oranı  
 $o_j$ : J. tedarikçiden satın alınan ürünlerin zamanında teslimat oranı  
 $co_j$ : J. tedarikçiden satın alınan ürünlerin karbon emisyon oranı  
 $r_{ij}$ : J. Tedarikçiden i. senaryoda satın alınan ürünlerin oranı

**Karar Değişkenleri:**

$$x_i: \begin{cases} 1, i. \text{ senaryo seçilmişse } \\ 0, \text{ diğer durumlarda } \end{cases}$$

**Amaç Fonksiyonları:**

$$\text{Min PC} = \sum_i^n \sum_j^m x_i * (c_j * r_{ij}) \quad (6.1)$$

$$\text{Maks QR} = \sum_i^n \sum_j^m x_i * (q_j * r_{ij}) \quad (6.2)$$

$$\text{Maks ODR} = \sum_i^n \sum_j^m x_i * (o_j * r_{ij}) \quad (6.3)$$

$$\text{Min CER} = \sum_i^n \sum_j^m x_i * (co_j * r_{ij}) \quad (6.4)$$

**Kısıtlar:**

$$\sum_i^n \sum_j^m x_i * (c_j * r_{ij}) \leq 1670000 \quad (6.5)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m x_i * (q_j * r_{ij}) \geq 0,8 \quad (6.6)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m x_i * (o_j * r_{ij}) \geq 0,6 \quad (6.7)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m x_i * (co_j * r_{ij}) \leq 5 \quad (6.8)$$

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad (6.9)$$

$$\sum_i^n x_i = 1 \quad (6.10)$$

Tüm amaç fonksiyonlarının tek tek optimize edilmesiyle elde edilen sonuçlara göre Çizelge 6.3 her bir amaç fonksiyonunun getiri matrisi için veri setlerini

göstermektedir. Çizelge 6.4 her bir amaç fonksiyonu için alt ve üst sınır değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 6.3.** Ödünleşme tablosu

Amaç Fonksiyonları	PC	QR	ODR	CER
Min PC	1525500	0,9003	0,8385	4,5054
Maks QR	1621800	0,9206	0,8708	4,6148
Maks ODR	1621800	0,9206	0,8708	4,6148
Min CER	1525500	0,9003	0,8385	4,5054

**Çizelge 6.4.** Amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonları veri kümeleri

Amaç fonksiyonları	$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 0$
PC	-	1525500	1621800
QR	0,9003	0,9206	-
ODR	0,8385	0,8708	-
CER	-	4,5054	4,6148

Herhangi bir ÇKKV probleminde olduğu gibi, Şirket V için tüm amaç fonksiyonları aynı öneme sahip değildir. Amaç fonksiyonlarının önem dereceleri hesaplanmalıdır. Bu nedenle, Şirket V yöneticilerinden amaç fonksiyonlarının ağırlıklarını belirlemek için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturmaları istenmiştir. Amaç fonksiyon ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır:  $w_{PC} = 0,10$ ,  $w_{QR} = 0,39$ ,  $w_{ODR} = 0,34$ ,  $w_{CER} = 0,17$ . Elde edilen amaç fonksiyonu önem seviyeleri, bulanık karışık tam sayı modeline entegre edilmiştir.

Bir problemdeki amaçların önem derecesi, amaç fonksiyonlarına ağırlık verilmesine yardımcı olur. Yüksek önem derecesi, amaç fonksiyonunun daha kritik olduğunu ve amaç fonksiyonuna daha fazla ağırlık verilmesi gerektiğini gösterir. Bu nedenle kalite oranları ve zamanında teslimat oranları, Pisagor Bulanık AHP ile hesaplanan amaç fonksiyonunun önem derecelerine göre Şirket V için daha fazla ağırlık verilmesi gereken amaç fonksiyonlarıdır. Şirket V'nin strateji seçim sürecinin net formülasyonu, ağırlıklı katkı modeline göre oluşturulmuştur.

$$\text{Maks } Z = 0,10 * \lambda_1 + 0,39 * \lambda_2 + 0,34 * \lambda_3 + 0,17 * \lambda_4 \quad (6.11)$$

S. T.

$$\lambda_1 \leq \frac{1621800 - (\text{PC})}{96300} \quad (6.12)$$

$$\lambda_2 \leq \frac{(\text{QR}) - 0,9003}{0,0203} \quad (6.13)$$

$$\lambda_3 \leq \frac{(\text{ODR}) - 0,8385}{0,0323} \quad (6.14)$$

$$\lambda_4 \leq \frac{4,6148 - (\text{CER})}{0,1094} \quad (6.15)$$

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

$$\text{tüm diğer kısıtlar} \quad (6.17)$$

Bulanık çok amaçlı karma tam sayılı programlama modeli, GAMS/CPLEX paket yazılımı kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre sadece akıllı kriterlere kullanılarak yapılan tedarikçi dağıtım stratejisi optimal strateji olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonlarının optimal çözümleri Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 6.5.** Optimal amaç fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	$\lambda$	Değer
PC	0	1621800
QR	1	0,9206
ODR	1	0,8708
CER	0	4,6148

Bu uygulamada Şirket V için en uygun stratejinin hangisi olduğu belirlenmiştir. Ancak, gelecekteki uygulamalara ışık tutmak için beş stratejinin hepsinin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Çizelge 6.6 amaç fonksiyonlarının farklı stratejilerde nasıl sonuç verdiğini göstermektedir. Stratejilere göre amaç fonksiyonlarının olumlu veya olumsuz etkilerini daha iyi görebilmek için oluşturulan grafikler Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

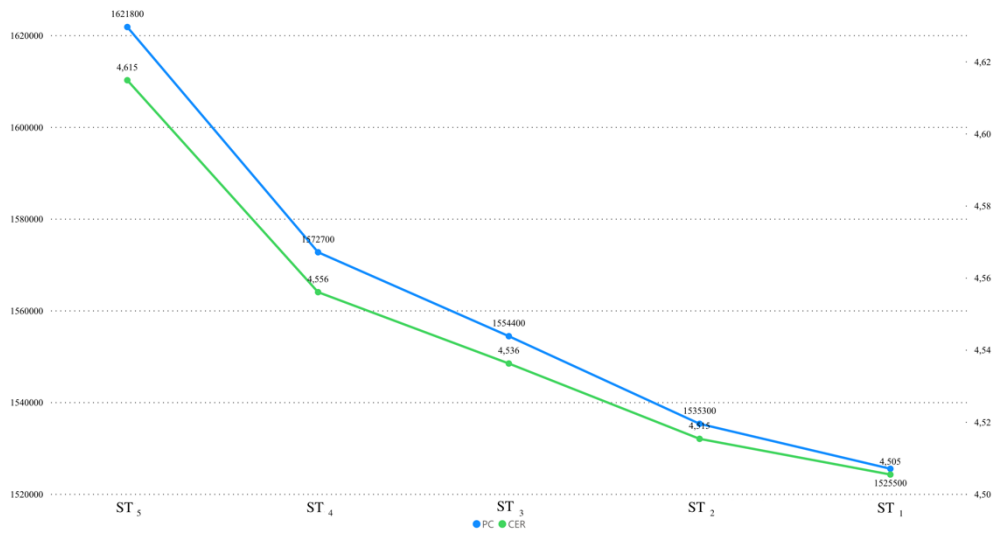
**Çizelge 6.6.** Stratejilere ait amaç fonksiyonu değerleri

Amaç Fonksiyonları	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	ST <sub>3</sub>	ST <sub>4</sub>	ST <sub>5</sub>
PC	1525500	1535300	1554400	1572700	1621800
QR	0,9003	0,9015	0,9060	0,9103	0,9206
ODR	0,8385	0,8411	0,8479	0,8547	0,8708
CER	4,5054	4,5153	4,5362	4,5560	4,6148

Gelecekteki uygulamalara rehberlik etmek için dört amaç fonksiyonu üzerinde yapılan çıkarımlar aşağıdaki gibidir:

*Satın alma maliyeti:* Sadece sürdürülebilirlik kriterlerinden etkilenen tedarikçi dağılım stratejisinden sadece akıllı kriterlerden etkilenen tedarikçi dağılım stratejisine doğru satın alma fiyatlarının arttığı gözlemlenmiştir. Akıllı teknoloji araçlarının uygulanmasının sabit maliyeti nedeniyle satış fiyatlarında artış gözlemlenmiştir. Öte yandan, sürdürülebilirliği sağlamak için kaynak tüketimini azaltmak ve maliyetleri düşürmeyi amaçladığından satış fiyatında düşüş gözlemlenmektedir.

*Kalite Oranı:* Sadece sürdürülebilirlik kriterlerinden etkilenen tedarikçi dağılım stratejisinden sadece akıllı kriterlerin etkilendiği tedarikçi dağılım stratejisine doğru kalite oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Otonom sistemler, robotik, IoT, eklemeli imalat gibi akıllı teknoloji araçları ile ürün imalatında operatörden kaynaklı oluşabilecek hatalar giderilerek ürün kalitesi artırılmaktadır. Öte yandan, satın alınan hammaddelerin sürdürülebilirliği sağlaması mevcut kalite oranlarını karşılayamadığında kalite sorunları ortaya çıkabilmektedir.

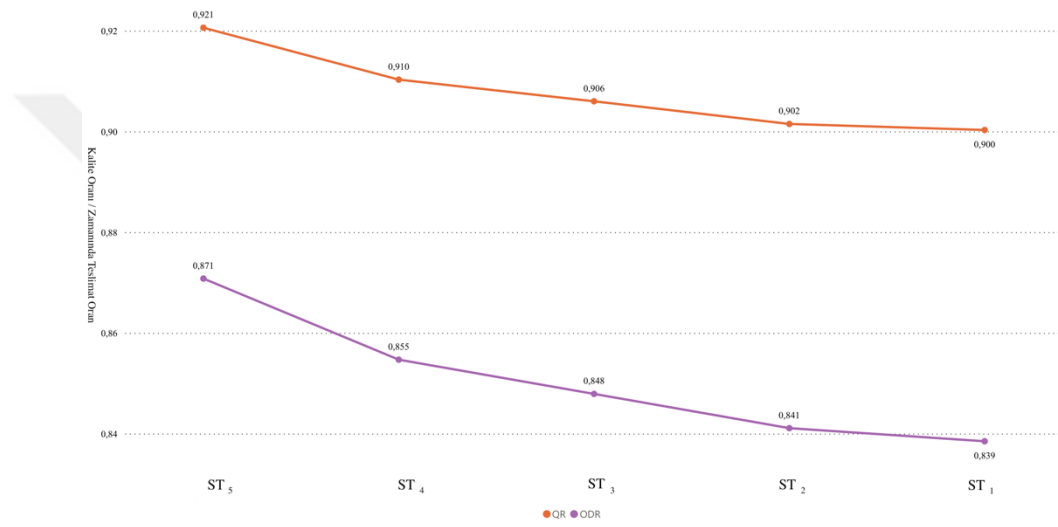


**Şekil 6.2.** Stratejilere ait Satın Alma Maliyeti ve Karbon Emisyon Oranı amaç fonksiyonu değerleri

*Zamanında Teslimat Oranı:* Sadece sürdürülebilirlik kriterlerinden etkilenen tedarikçi dağılım stratejisinden, sadece akıllı kriterlerin etkilendiği tedarikçi dağılım stratejisine zamanında teslimat oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Otonom sistemler, Robotik, IoT, bulut teknolojisi gibi akıllı araçların kullanımı ile ürün imalatında operatörden kaynaklanabilecek kusurları, oluşan kusurları düzeltmek için gereken ekstra

süreyi ve ürün akışını bozabilecek her şeyi ortadan kaldırarak ürünün zamanında teslim oranı artırılmaktadır.

*Karbon Emisyon Oranı:* Sadece sürdürülebilirlik kriterlerinden etkilenen tedarikçi dağılım stratejisinden sadece akıllı kriterlerin etkilendiği tedarikçi dağılım stratejisine doğru karbon emisyon oranlarının düştüğü gözlemlenmiştir. İklim değişiklikleri ve artan sera gazı etkileri nedeniyle, devlet politikası yükümlülüklerini birleştirerek hayatımızın sürdürülebilirliğini artırarak karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 6.3. Stratejilere ait Kalite Oranı ve Zamanında Teslimat Oranı amaç fonksiyonu değerleri

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

TZY'nin dinamikleri yıllar içinde değişime uğramıştır. Artan çevresel kaygılara ve müşteri baskılarına cevap verebilmek için TZY'ye yeni paradigmlar eklenmiştir. Bu nedenle akıllı ve sürdürülebilir uygulamalar işletmelerin performanslarını artırmada en önemli faktör haline gelmiştir. Şirket V, gelecekteki hedeflerine ulaşmak için sürdürülebilirlik ve akıllı paradigmların işletmelere entegre etmenin önemini farkındadır. Ayrıca ürünlerin hammaddesi olan alışımların tedarikinde yaşanan sorunlar nedeniyle tedarikçi seçimi konularında çalışmak ve farklı tedarikçilerle iş yapmak için stratejiler geliştirmeye karar vermiştir. Bu tez çalışmasında, işletmelerin kullanabileceği akıllı ve sürdürülebilir kriterlere dayalı tedarikçi seçim süreci için stratejiler geliştirilmiştir. Bu çalışma, tedarikçi seçim süreci için geliştirilecek stratejileri

belirlemeyi ve stratejilerin sonuçlarını inceleyerek gelecek çalışmalara ışık tutmayı amaçlamaktadır. Tedarikçi seçimini etkileyen birden çok kriterler mevcuttur. Akıllı teknolojilerin kullanımı ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından tedarikçi seçim sürecini hangi kriterlerin etkilediği belirlenmiştir. Üçlü kârlılık yaklaşımına göre altı kriter ve endüstri 4.0 araçlarına dayalı altı kriter belirlenmiştir.

Stratejileri geliştirmeden önce akıllı ve sürdürülebilir kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle farklı ÇKKV yöntemlerini farklı bulanık ortamlarda kullanarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık AHP, Bulanık BWM ve Pisagor Bulanık AHP yöntemleri kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Farklı yöntemlerin farklı bulanık ortamlarda kullanılmasının tedarikçi seçim sürecini etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. İncelenen sonuçlara göre, farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanılması veya farklı bulanık ortamların kullanılması, kriter ağırlıklarında küçük farklılıklar oluştursalar bile tedarikçi sıralamalarını etkilememektedir. Bulanık ortamların ve ÇKKV yöntemlerinin tedarikçi seçim sürecine etkisi araştırıldıktan sonra akıllı ve sürdürülebilirlik kriterlerinin tedarikçi seçimine farklı oranlarda etkisine dayalı olarak çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bulanık çok amaçlı bir karma tam sayı modeli oluşturularak, ağırlıklı katkı modeli yardımıyla Şirket V'nin amaçlarına en uygun strateji belirlenmiştir. Modelin sonuçlarından şu çıkarımlar yapılabilmektedir; i) Tedarikçi dağılım stratejilerinde sürdürülebilir kriter ağırlıkları arttığında satın alma maliyetleri ve karbon emisyonları azalır, ii) Tedarikçi dağılım stratejilerinde akıllı kriterlerin ağırlıkları arttığında satın alma maliyetlerinin, kalitenin ve zamanında teslimatın arttığı görülmektedir. Ayrıca bu çalışma bir bütün olarak incelendiğinde farklı bulanık ortamların veya farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasının tedarikçi seçiminde bir değişikliğe yol açmadığı sonucuna varılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., ve Mohamed, M., 2018, Internet of things (iot) and its impact on supply chain: a framework for building smart, secure and efficient systems, *Future Generation Computer Systems*, 86, 614–628.
- Aboutorab, H., Saberi, M., Asadabadi, M. R., Hussain, O., ve Chang, E., 2018, ZBWM: The z-number extension of best worst method and its application for supplier development, *Expert Systems with Applications*, 107, 115–125.
- Akram, M., Ilyas, F., ve Garg, H., 2019, Multi-criteria group decision making based on electre I method in pythagorean fuzzy information, *Soft Computing*.
- Amin, S. H., ve Zhang, G., 2012, An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach, *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782–6791.
- Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., ve Banaitis, A., 2020, A new fuzzy bwm approach for evaluating and selecting a sustainable supplier in supply chain management, *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 1–18.
- Animesh, B., ve Biswajit, S., 2019, Interval-valued pythagorean fuzzy todim approach through point operator-based similarity measures for multicriteria group decision making, *Kybernetes*, 48(3), 496–519.
- Atanassov, K. T., 1986, Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.
- Badri Ahmadi, H., Kusi-Sarpong, S., ve Rezaei, J., 2017, Assessing the social sustainability of supply chains using best worst method, *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 99–106.
- Behera, S., ve Nayak, J., 2011, Solution of multi-objective mathematical programming problems in fuzzy approach, *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3, 3790–3799.
- Bellman, R. E., ve Zadeh, L. A., 1970, Decision-making in a fuzzy environment, *management science*, 17(4), B-141-B-164.
- Biswas, A., ve Sarkar, B., 2019, Pythagorean fuzzy topsis for multicriteria group decision-making with unknown weight information through entropy measure, *International Journal of Intelligent Systems*, 34(6), 1108–1128.
- Büyüközkan, G., ve Göçer, F., 2018, Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research, *Computers in Industry*, 97, 157–177.
- Buyukozkan, G., ve Gocer, F., 2019, A novel approach integrating ahp and copras under pythagorean fuzzy sets for digital supply chain partner selection, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–18.
- Çalık, A., 2020, A novel Pythagorean fuzzy ahp and fuzzy topsis methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era, *Soft Computing*.
- Carter, C. R., ve Easton, P. L., 2011, Sustainable supply chain management: Evolution and future directions, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41(1), 46–62.
- Cevik Onar, S., Oztaysi, B., ve Kahraman, C., 2018, Multicriteria evaluation of cloud service providers using pythagorean fuzzy topsis, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 30(2–3), 263–283.
- Chen, T. Y., 2019, A novel vikor method with an application to multiple criteria decision analysis for hospital-based post-acute care within a highly complex uncertain environment, *Neural Computing and Applications*, 31(8), 3969–3999.



- Chen, T.-Y., 2021, Pythagorean fuzzy linear programming technique for multidimensional analysis of preference using a squared-distance-based approach for multiple criteria decision analysis, *Expert Systems with Applications*, 164.
- Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., ve Chang, Y., 2020, Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach, *Applied Soft Computing*, 87, 106004.
- Cheraghalipour, A., ve Farsad, S., 2018, A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry, *Computers and Industrial Engineering*, 118, 237–250.
- Cui, F. B., You, X. Y., Shi, H., ve Liu, H. C., 2018, Optimal siting of electric vehicle charging stations using pythagorean fuzzy vikor approach, *Mathematical Problems in Engineering*.
- Dai, L., Bai, S., ve Yang, Z., 2020, An approach to selection of agricultural product supplier using pythagorean fuzzy sets, *Mathematical Problems in Engineering*.
- Darbari, J. D., Kannan, D., Agarwal, V., ve Jha, P. C., 2019, Fuzzy criteria programming approach for optimising the tbl performance of closed loop supply chain network design problem, *Annals of Operations Research*, 273(1–2), 693–738.
- Deng, X., Wang, J., ve Wei, G., 2020, Multiple attribute decision making based on power muirhead mean operators under 2-tuple linguistic pythagorean fuzzy environment, *Cognitive Computation*, 12(6), 1276–1298.
- Dev, N. K., Shankar, R., ve Qaiser, F. H., 2020, Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance, *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104583.
- Dev, N. K., Shankar, R., ve Swami, S., 2019, Diffusion of green products in industry 4.0: Reverse logistics issues during design of inventory and production planning system, *International Journal of Production Economics*, 107519.
- Ding, B., 2018, Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains, *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 115–130.
- Dong, J., Wan, S., ve Chen, S.-M., 2021, Fuzzy best-worst method based on triangular fuzzy numbers for multi-criteria decision-making, *Information Sciences*, 547, 1080–1104.
- Dorfeshan, Y., ve Meysam Mousavi, S., 2019 A group topsis-copras methodology with pythagorean fuzzy sets considering weights of experts for project critical path problem, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(2), 1375–1387.
- Ecer, F., ve Pamucar, D., 2020, Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (f-bwm) and fuzzy cocoso with bonferroni (cocoso'b) multi-criteria model, *Journal of Cleaner Production*, 266.
- Eda, B., 2018, Pythagorean fuzzy codas and its application to supplier selection in a manufacturing firm, *Journal of Enterprise Information Management*, 31(4), 550–564.
- Ehie, I., ve Ferreira, L. M. D. F., 2019, Conceptual development of supply chain digitalization framework, *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2338–2342.
- Fan, J., Liu, X., Wu, M., ve Wang, Z., 2019, Green supplier selection with undesirable outputs dea under pythagorean fuzzy environment, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*.
- Fartaj, S. R., Kabir, G., Eghujovbo, V., Ali, S. M., ve Paul, S. K., 2019, Modeling transportation disruptions in the supply chain of automotive parts manufacturing company, *International Journal of Production Economics*, 107511.

- Gan, J., Zhong, S., Liu, S., ve Yang, D., 2019, Resilient supplier selection based on fuzzy bwm and gmo-rtopsis under supply chain environment, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1–14.
- Garrido-Hidalgo, C., Olivares, T., Ramirez, F. J., ve Roda-Sanchez, L., 2019, An end-to-end internet of things solution for reverse supply chain management in industry 4.0, *Computers in Industry*, 112, 103127.
- Gaur, J., Amini, M., ve Rao, A. K., 2017, Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model, *Omega (United Kingdom)*, 66, 212–223.
- Ghadimi, P., Wang, C., Lim, M. K., ve Heavey, C., 2019, Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains, *Computers and Industrial Engineering*, 127, 588–600.
- Ghasemian Sahebi, I., Arab, A., ve Sadeghi Moghadam, M. R., 2017, Analyzing the barriers to humanitarian supply chain management: A case study of the Tehran Red Crescent Societies, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 232–241.
- Govindan, K., Darbari, J. D., Agarwal, V., ve Jha, P. C., 2017, Fuzzy multi-objective approach for optimal selection of suppliers and transportation decisions in an eco-efficient closed loop supply chain network, *Journal of Cleaner Production*, 165, 1598–1619.
- Govindan, K., Jha, P. C., Agarwal, V., ve Darbari, J. D., 2019, Environmental management partner selection for reverse supply chain collaboration: A sustainable approach, *Journal of Environmental Management*, 236, 784–797.
- Groenendijk, L., Rezaei, J., ve Correia, G., 2018, Incorporating the travellers' experience value in assessing the quality of transit nodes: A Rotterdam case study, *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), 564–576.
- Gu, Y., ve Liu, Q., 2013, Research on the application of the internet of things in reverse logistics information management, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 963–973.
- Gul, M., 2018, Application of pythagorean fuzzy ahp and vikor methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*.
- Gul, M., ve Ak, M. F., 2018, A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment, *Journal of Cleaner Production*, 196, 653–664.
- Gul, M., Ak, M. F., ve Guneri, A. F., 2019, Pythagorean fuzzy vikor-based approach for safety risk assessment in mine industry, *Journal of Safety Research*, 69, 135–153.
- Guo, S., ve Zhao, H., 2017, Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications, *Knowledge-Based Systems*, 121, 23–31.
- Gupta, H., 2018, Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and vikor, *Journal of Air Transport Management*, 68, 35–47.
- Gupta, H., ve Barua, M. K., 2017, Supplier selection among smes on the basis of their green innovation ability using bwm and fuzzy topsis, *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258.
- Hadi-Vencheh, A., ve Mirjaberi, M., 2014, Fuzzy inferior ratio method for multiple attribute decision making problems, *Information Sciences*, 277, 263–272.
- Haeri, S. A. S., ve Rezaei, J., 2019, A grey-based green supplier selection model for uncertain environments, *Journal of Cleaner Production*, 221, 768–784.

- Hasan, M. M., Jiang, D., Ullah, A. M. M. S., ve Noor-E-Alam, Md., 2020, Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information, *Expert Systems with Applications*, 139, 112799.
- Hendiani, S., Mahmoudi, A., ve Liao, H., 2020, A multi-stage multi-criteria hierarchical decision-making approach for sustainable supplier selection, *Applied Soft Computing*, 94, 106456.
- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., ve Kahraman, C., 2018, A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using pythagorean fuzzy ahp & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103, 124–136.
- Issaoui, Y., Khiat, A., Bahnasse, A., ve Ouajji, H., 2019, Smart logistics: Study of the application of blockchain technology, *Procedia Computer Science*, 160, 266–271.
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Khazaeili, M., Amini, A., ve Osgooei, E., 2019, Multi-criteria sustainable supplier selection using piecewise linear value function and fuzzy best-worst method, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37, 2309–2325.
- Jain, V., Wadhwa, S., ve Deshmukh, S. G., 2009, Select supplier-related issues in modelling a dynamic supply chain: Potential, challenges and direction for future research, *International Journal of Production Research*.
- Kafa, N., Hani, Y., ve el Mhamedi, A., 2015, An integrated sustainable partner selection approach with closed-loop supply chain network configuration, *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 1840–1845.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., ve Joshi, S., 2019, Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains, *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 154–168.
- Kannan, D., Mina, H., Nosrati-Abarghoee, S., ve Khosrojerdi, G., 2020, Sustainable circular supplier selection: A novel hybrid approach, *Science of The Total Environment*, 722, 137936.
- Karaşan, A., Gündoğdu, F. K., ve Kahraman, C., 2020, Pythagorean fuzzy ahp method for the selection of the most appropriate clean energy technology, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029, 879–887.
- Karasan, A., Ilbahar, E., ve Kahraman, C., 2019, A novel pythagorean fuzzy ahp and its application to landfill site selection problem, *Soft Computing*, 23(21), 10953–10968.
- Karasan, A., Kaya, İ., Erdoğan, M., ve Budak, A., 2020, Risk analysis of the autonomous vehicle driving systems by using pythagorean fuzzy ahp, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029, 926–934.
- Kauf, S., 2019, Smart logistics as a basis for the development of the smart city, *Transportation Research Procedia*, 39, 143–149.
- Khatri, J., ve Dash, A., 2015, Sustainable metal recycling supply chains: Prioritizing success factors applying combined ahp & pca techniques, *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 6(3), 31–44.
- Khodaverdi, R., ve Hashemi, S. H., 2015, A grey-based decision-making approach for selecting a reverse logistics provider in a closed loop supply chain, *International Journal of Management and Decision Making*, 14(1), 32–43.
- Kirch, M., Poenicke, O., ve Richter, K., 2017, RFID in logistics and production - applications, research and visions for smart logistics zones, *Procedia Engineering*, 178, 526–533.
- Korczak, J., ve Kijewska, K., 2019, Smart logistics in the development of smart cities, *Transportation Research Procedia*, 39, 201–211.
- Kousiouris, G., Tsarsitalidis, S., Psomakelis, E., Koloniaris, S., Bardaki, C., Tserpes, K., Nikolaidou, M., ve Anagnostopoulos, D., 2019, A microservice-based framework

- for integrating iot management platforms, semantic and ai services for supply chain management, *ICT Express*, 5(2), 141–145.
- Liang, D., Xu, Z., Liu, D., ve Wu, Y., 2018, Method for three-way decisions using ideal topsis solutions at pythagorean fuzzy information, *Information Sciences*, 435, 282–295.
- Liang, D., Zhang, Y., Xu, Z., ve Jamaldeen, A., 2019, Pythagorean fuzzy vikor approaches based on todim for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry, *Applied Soft Computing Journal*, 78, 583–594.
- Liu, A., Ji, X., Lu, H., ve Liu, H., 2019, The selection of 3prls on self-service mobile recycling machine: Interval-valued pythagorean hesitant fuzzy best-worst multi-criteria group decision-making, *Journal of Cleaner Production*, 230, 734–750.
- Liu, A., Xiao, Y., Ji, X., Wang, K., Tsai, S.-B., Lu, H., Cheng, J., Lai, X., ve Wang, J., 2018, A novel two-stage integrated model for supplier selection of green fresh product, *Sustainability*, 10(7).
- Liu, H. C., Quan, M. Y., Li, Z. W., ve Wang, Z. L., 2019, A new integrated mcdm model for sustainable supplier selection under interval-valued intuitionistic uncertain linguistic environment, *Information Sciences*, 486, 254–270.
- Lo, H. W., Liou, J. J. H., Wang, H. S., ve Tsai, Y. S., 2018, An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation, *Journal of Cleaner Production*, 190, 339–352.
- Lorite, G. S., Selkälä, T., Sipola, T., Palenzuela, J., Jubete, E., Viñuales, A., Cabañero, G., Grande, H. J., Tuominen, J., Uusitalo, S., Hakalahti, L., Kordas, K., ve Toth, G., 2017, Novel, smart and rfid assisted critical temperature indicator for supply chain monitoring, *Journal of Food Engineering*, 193, 20–28.
- Manavalan, E., ve Jayakrishna, K., 2019, A review of Internet of Things (iot) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements, *Computers and Industrial Engineering*, 127, 925–953.
- Mao, H., ve Cai, R., 2020, Negation of pythagorean fuzzy number based on a new uncertainty measure applied in a service supplier selection system, *Entropy*, 22(2), 195.
- Mattos, N. D. L., Viviam, A., Gonçalves, Q. O. L., Gusmão, C. R. G., Arturo, G.-R. J., Luis, R.-L., ve Guilherme, T., 2019, Exploring industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627.
- Mete, S., 2019, Assessing occupational risks in pipeline construction using fmea-based ahp-moora integrated approach under pythagorean fuzzy environment, *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(7), 1645–1660.
- Mete, S., Serin, F., Oz, N. E., ve Gul, M., 2019, A decision-support system based on pythagorean fuzzy vikor for occupational risk assessment of a natural gas pipeline construction, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 71.
- Mohd, W. R. W., ve Abdullah, L., 2017, Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to multi-criteria decision making, *AIP Conference Proceedings*, 1905.
- Munny, A. A., Ali, S. M., Kabir, G., Moktadir, M. A., Rahman, T., ve Mahtab, Z., 2019, Enablers of social sustainability in the supply chain: An example of footwear industry from an emerging economy, *Sustainable Production and Consumption*, 20, 230–242.
- Nitin, S., K., S. A., ve Ankur, C., 2019, Modeling supplier selection in the era of industry 4.0, *Benchmarking: An International Journal*.
- Oh, J., ve Jeong, B., 2019, Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 217–233.

- Orji, I. J., Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., ve Okwu, M., 2019, Evaluating challenges to implementing eco-innovation for freight logistics sustainability in Nigeria, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 129, 288–305.
- Otay, I., ve Jaller, M., 2020, Multi-criteria and multi-expert wind power farm location selection using a pythagorean fuzzy analytic hierarchy process, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029, 905–914.
- Oz, N. E., Mete, S., Serin, F., ve Gul, M., 2019, Risk assessment for clearing and grading process of a natural gas pipeline project: An extended topsis model with pythagorean fuzzy sets for prioritizing hazards, *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1615–1632.
- Özkan, B., Kaya, İ., Erdoğan, M., ve Kardeş, A., 2020, Evaluating blockchain risks by using a mcdm methodology based on pythagorean fuzzy sets, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029, 935–943.
- Paksoy, T., 2019, Lean and green supply chain management, Eds.; T. Paksoy, G.-W. Weber, ve S. Huber, *Springer International Publishing*.
- Pamucar, D., Chatterjee, K., ve Zavadskas, E. K., 2019, Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers, *Computers and Industrial Engineering*, 127, 383–407.
- Peng, X., ve Yang, Y., 2016, Fundamental properties of interval-valued pythagorean fuzzy aggregation operators, *International Journal of Intelligent Systems*, 31(5), 444–487.
- Prakash, C., ve Barua, M. K., 2015, Integration of ahp-topsis method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 599–615.
- Qin, J., ve Liu, X., 2019, Interval type-2 fuzzy group decision making by integrating improved best worst method with copras for emergency material supplier selection, *Type-2 Fuzzy Decision-Making Theories, Methodologies and Applications*, Springer Singapore, 249–271.
- Rahemi, H., Torabi, S. A., Avami, A., ve Jolai, F., 2020, Bioethanol supply chain network design considering land characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109517.
- Rahimi, S., Hafezalkotob, A., Monavari, S. M., Hafezalkotob, A., ve Rahimi, R., 2020, Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group bwm-multimoora-gis, *Journal of Cleaner Production*, 248.
- Rani, P., Mishra, A. R., Pardasani, K. R., Mardani, A., Liao, H., ve Streimikiene, D., 2019, A novel vikor approach based on entropy and divergence measures of pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India, *Journal of Cleaner Production*, 238.
- Rani, P., Mishra, A. R., Rezaei, G., Liao, H., ve Mardani, A., 2020, Extended pythagorean fuzzy topsis method based on similarity measure for sustainable recycling partner selection, *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(2), 735–747.
- Ren, P., Xu, Z., ve Gou, X., 2016, Pythagorean fuzzy todim approach to multi-criteria decision making, *Applied Soft Computing Journal*, 42, 246–259.
- Rezaei, J., 2015, Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega (United Kingdom)*, 53, 49–57.
- Rezaei, J., 2016, Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model, *Omega (United Kingdom)*, 64, 126–130.
- Rezaei, J., 2018, Best worst method, <http://bestworstmethod.com>.

- Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., ve Tavasszy, L., 2016, A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method, *Journal of Cleaner Production*, 135, 577–588.
- Rezaei, J., van Roekel, W. S., ve Tavasszy, L., 2018, Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using best worst method, *Transport Policy*, 68, 158–169.
- Rezaei, J., Wang, J., ve Tavasszy, L., (2015, Linking supplier development to supplier segmentation using best worst method, *Expert Systems with Applications*, 42(23), 9152–9164.
- Saaty, T. L., 1990, How to make a decision: The analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26.
- Shakourloo, A., Kazemi, A., ve Javad, M. O. M., 2016, A new model for more effective supplier selection and remanufacturing process in a closed-loop supply chain, *Applied Mathematical Modelling*, 40(23–24), 9914–9931.
- Shete, P. C., Ansari, Z. N., ve Kant, R., 2020, A pythagorean fuzzy ahp approach and its application to evaluate the enablers of sustainable supply chain innovation, *Sustainable Production and Consumption*, 23, 77–93.
- Shojaei, P., Seyed Haeri, S. A., ve Mohammadi, S., 2018, Airports evaluation and ranking model using taguchi loss function, best-worst method and vikor technique, *Journal of Air Transport Management*, 68, 4–13.
- Silva, A. J. V. A. J. V., Dominguez, L. A. P. L. A. P., Gómez, E. M. E. M., Alvarado-Iniesta, A., ve Olguín, I. J. C. P. I. J. C. P., 2019, Dimensional analysis under pythagorean fuzzy approach for supplier selection, *Symmetry*, 11(3).
- Subulan, K., Taşan, A. S., ve Baykasoğlu, A., 2015, A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead/acid battery closed-loop supply chain, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 243–264.
- Suhi, S. A., Enayet, R., Haque, T., Ali, S. M., Muktadir, M. A., ve Paul, S. K., 2019, Environmental sustainability assessment in supply chain: An emerging economy context, *Environmental Impact Assessment Review*, 79, 106306.
- Sun, J., Yamamoto, H., ve Matsui, M., 2019, Horizontal integration management: An optimal switching model for parallel production system with multiple periods in smart supply chain environment, *International Journal of Production Economics*, 107475.
- Taleizadeh, A. A., Haghghi, F., ve Niaki, S. T. A., 2019, Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products, *Journal of Cleaner Production*, 207, 163–181.
- Tang, Y., ve Yang, Y., 2021, Sustainable e-bike sharing recycling supplier selection: An interval-valued pythagorean fuzzy magdm method based on preference information technology, *Journal of Cleaner Production*, 287.
- Tiwari, R. N., Dharmar, S., ve Rao, J. R., 1987, Fuzzy goal programming — An additive model, *Fuzzy Sets and Systems*, 24(1), 27–34.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., ve Pelaez, G., 2017, What does industry 4.0 mean to supply chain, *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182.
- Tozanli, O., Duman, G., Kongar, E., ve Gupta, S., 2017, Environmentally concerned logistics operations in fuzzy environment: A literature survey, *Logistics*, 1(2), 4.
- Vahid, M., Meysam, M. S., Mohammad, M., ve Sidney, N., 2020, Introducing a multi-criteria evaluation method using pythagorean fuzzy sets: A case study focusing on resilient construction project selection, *Kybernetes*.

- Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., ve Rialland, A., 2016, Virtualization of food supply chains with the internet of things, *Journal of Food Engineering*, 176, 128–136.
- Wan Ahmad, W. N. K., Rezaei, J., Sadaghiani, S., ve Tavasszy, L. A., 2017, Evaluation of the external forces affecting the sustainability of oil and gas supply chain using Best Worst Method, *Journal of Cleaner Production*, 153, 242–252.
- Wan, S. P., Li, S. Q., ve Dong, J. Y., 2018, A three-phase method for pythagorean fuzzy multi-attribute group decision making and application to haze management, *Computers and Industrial Engineering*, 123, 348–363.
- Wang, L., Törngren, M., ve Onori, M., 2015, Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527.
- Wu, M., Zhang, C., Liu, X., ve Fan, J., 2019, Green supplier selection based on dea model in interval-valued pythagorean fuzzy environment, *IEEE Access*, 7, 108001–108013.
- Wu, Q., Zhou, L., Chen, Y., ve Chen, H., 2019, An integrated approach to green supplier selection based on the interval type-2 fuzzy best-worst and extended vikor methods, *Information Sciences*, 502, 394–417.
- Yager, R. R., 2014, Pythagorean membership grades in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958–965.
- Yörükoğlu, M., ve Aydın, S., 2020, Smart meter selection using pythagorean fuzzy analytic hierarchy process, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029, 896–904.
- Yu, C., Shao, Y., Wang, K., ve Zhang, L., 2019, A group decision making sustainable supplier selection approach using extended topsis under interval-valued pythagorean fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, 121, 1–17.
- Yücesan, M., 2019, Green supplier selection for plastic industry using integrated model based on pythagorean fuzzy ahp and fuzzy topsis, *Journal of Business Research - Turk*, 11(1), 26–41.
- Yucesan, M., ve Kahraman, G., 2019, Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on pythagorean fuzzy ahp, *Energy Policy*, 126, 343–351.
- Zekhnini, K., Cherrafi, A., Bouhaddou, I., Benghabrit, Y., ve Garza-Reyes, J. A., 2020, Supplier selection for smart supply chain: An adaptive fuzzy-neuro approach, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Zeng, S., 2017, Pythagorean fuzzy multiattribute group decision making with probabilistic information and owa approach, *International Journal of Intelligent Systems*, 32(11), 1136–1150.
- Zeng, S., Chen, J., ve Li, X., 2015, A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple-criteria decision making, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(02), 403–422.
- Zhang, X., 2016, Multicriteria pythagorean fuzzy decision analysis: A hierarchical qualiflex approach with the closeness index-based ranking methods, *Information Sciences*, 330, 104–124.
- Zhang, X., ve Xu, Z., 2014, Extension of topsis to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets, *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061–1078.
- Zimmermann, H.-J., 1978, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45–55.