

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR PORSELEN FİRMASINDA PİSAGOR BULANIK AHP VE  
BULANIK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İÇ  
LOJİSTİK YATIRIM PROJESİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı DİLSİZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2024



T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR PORSELEN FİRMASINDA PİSAGOR BULANIK AHP VE  
BULANIK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İÇ  
LOJİSTİK YATIRIM PROJESİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı DİLSİZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seher ARSLANKAYA

HAZİRAN 2024



Nazlı DİLSİZ tarafından hazırlanan “Bir Porselen Firmasında Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri ile İç Lojistik Yatırım Projesi Seçimi” adlı tez çalışması 14.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

|                       |                                                            |       |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Jüri Başkanı :</b> | <b>Unvan Adı SOYADI (Danışman)</b><br>Sakarya Üniversitesi | ..... |
| <b>Jüri Üyesi :</b>   | <b>Unvan Adı SOYADI</b><br>Sakarya Üniversitesi            | ..... |
| <b>Jüri Üyesi :</b>   | <b>Unvan Adı SOYADI</b><br>..... Üniversitesi              | ..... |



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “BİR PORSELEN FİRMASINDA PİSAGOR BULANIK AHP VE BULANIK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İÇ LOJİSTİK YATIRIM PROJESİ SEÇİMİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....)

Nazlı DİLSİZ





*Anneanneme*



## TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve fikirleriyle beni yönlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Seher ARSLANKAYA'ya teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamı tasarlama aşamasında fikirleriyle destek olan Murat ERYİĞİT'e, uygulama aşamasında öneri ve yönlendirmeleri ile çalışmama katkı sağlayan Gökhan YAĞCILAR'a çok teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan, desteklerini hep hissettiğim anneanneme ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nazlı DİLSİZ



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                 |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                               | v     |
| TEŞEKKÜR .....                                                                  | ix    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                               | xi    |
| KISALTMALAR .....                                                               | xiii  |
| SİMGELER .....                                                                  | xv    |
| TABLO LİSTESİ .....                                                             | xvii  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                             | xix   |
| ÖZET .....                                                                      | xxi   |
| SUMMARY .....                                                                   | xxiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                  | 1     |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                                  | 3     |
| 2.1. Karar Verme .....                                                          | 3     |
| 2.1.1. Karar öğeleri .....                                                      | 3     |
| 2.1.2. Karar problemi ve süreci .....                                           | 4     |
| 2.1.3. Karar verme çeşitleri .....                                              | 5     |
| 2.2. Tek Kriterli Kararlı Karar Verme Yöntemleri .....                          | 6     |
| 2.3. Çok Kriterli Kararlı Karar Verme Yöntemleri .....                          | 6     |
| 2.3.1. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin amacı .....                       | 7     |
| 2.4. Bulanık Mantık .....                                                       | 8     |
| 2.4.1. Bulanık kümeler .....                                                    | 9     |
| 2.4.2. Bulanık sayılar .....                                                    | 10    |
| 2.4.3. Bulanık çok kriterli karar verme .....                                   | 13    |
| 2.4.4. Dilsel değişkenler .....                                                 | 14    |
| 2.5. Pisagor Bulanık Kümeler .....                                              | 15    |
| 2.6. Pisagor Bulanık AHP .....                                                  | 17    |
| 2.7. Bulanık Gri İlişkisel Analiz .....                                         | 19    |
| 2.8. Literatür Taraması .....                                                   | 23    |
| 3. PROBLEMİN TANIMI .....                                                       | 33    |
| 4. UYGULAMA .....                                                               | 35    |
| 4.1. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi .....                                          | 37    |
| 4.1.1. Ana kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması .....                        | 37    |
| 4.1.2. Alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması .....                        | 41    |
| 4.1.2.1. Değişikliklere uyum sağlama esnekliği'nin alt kriter ağırlıkları ..... | 41    |
| 4.2. Bulanık Gri İlişkisel Analiz .....                                         | 50    |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                      | 55    |
| KAYNAKLAR .....                                                                 | 59    |
| 6. EKLER .....                                                                  | 61    |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                  | 67    |



## KISALTMALAR

|                  |                                                                 |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>AHP</b>       | : Analitik Hiyerarşi Prosesi                                    |
| <b>ARAS</b>      | : Katkı Oranı Değerlendirilmesi                                 |
| <b>CODAS</b>     | : Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme Yöntemi       |
| <b>COPRAS</b>    | : Karmaşık Oransal Değerlendirme Yöntemi                        |
| <b>CRITIC</b>    | : Kriterler Arasındaki İlişkilere Göre Kriter Önemi Yöntemi     |
| <b>ÇKKV</b>      | : Çok Kriterli Karar Verme                                      |
| <b>DEMATEL</b>   | : Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Yöntemi                   |
| <b>ELECTREE</b>  | : Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi                       |
| <b>ERP</b>       | : Kurumsal Kaynak Planlaması                                    |
| <b>MCDM</b>      | : Multi-Criteria Decision Making (Çok Kriterli Karar Verme)     |
| <b>MOORA</b>     | : Oran Analizi Temeline Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi  |
| <b>PROMETHEE</b> | : Çok Ölçütlü Değerlendirmeler İçin Tercihli Sıralama Yöntemi   |
| <b>SWARA</b>     | : Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi                  |
| <b>TOPSIS</b>    | : İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği         |
| <b>VIKOR</b>     | : Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm                    |
| <b>WASPAS</b>    | : Ağırlıklandırılmış Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirilmesi |



## SİMGELER

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| $\mu_A$       | : Üyelik fonksiyonu                   |
| $\tilde{A}$   | : Üçgensel bulanık sayı               |
| $k$           | : Katsayı                             |
| $P$           | : Pisagor bulanık küme                |
| $X$           | : Sonlu küme                          |
| $\mu_p$       | : Üye olma derecesi                   |
| $\nu_p$       | : Üye olmama derecesi                 |
| $\pi_p$       | : Tereddüt derecesi                   |
| $A$           | : Bir Pisagor bulanık sayı            |
| $B$           | : Bir Pisagor bulanık sayı            |
| $\lambda$     | : Sabit sayı                          |
| $\mu_L$       | : En düşük üye olma derecesi          |
| $\mu_U$       | : En yüksek üye olma derecesi         |
| $\nu_L$       | : En düşük üye olmama derecesi        |
| $\nu_U$       | : En yüksek üye olmama derecesi       |
| $R$           | : İkili kıyaslama matrisi             |
| $D$           | : Fark matrisi                        |
| $S$           | : Aralıklı çarpım matrisi             |
| $H$           | : Belirsizlik değeri matrisi          |
| $T$           | : Normalleştirilmemiş ağırlık matrisi |
| $w_i$         | : Ağırlık değerleri                   |
| $\tilde{x}$   | : Bulanık karar matrisi               |
| $r_{ij}$      | : Normalize değerler                  |
| $\tilde{X}^*$ | : Bulanık normalize karar matrisi     |
| $R_0$         | : Referans seri                       |
| $\Delta_{0i}$ | : Uzaklık matrisi                     |
| $\gamma_{0i}$ | : Gri ilişki katsayıları              |
| $\zeta$       | : Ayırıcı katsayı                     |
| $\Gamma_{0i}$ | : Gri ilişki derecesi                 |

$Z_i$  : Belirlenen alternatifler

$K_i$  : Belirlenen kriterler



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Dilsel değişken ölçeği. (Goyal ve Grover, 2012).....                           | 15 |
| <b>Tablo 2.2.</b> Pisagor bulanık sayı ölçeği ve dilsel değişkenler. (İlbahar ve ark., 2018)17   | 17 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi. ....                              | 38 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Ana kriterlerin pisagor bulanık sayılar ile ikili karşılaştırma matrisi. ....  | 39 |
| <b>Tablo 4.3.</b> Ana kriterlerin fark matrisi. ....                                             | 39 |
| <b>Tablo 4.4.</b> Ana kriterlerin aralıklı çarpım matrisi. ....                                  | 39 |
| <b>Tablo 4.5.</b> Ana kriterlerin belirsizlik değeri matrisi. ....                               | 40 |
| <b>Tablo 4.6.</b> Ana kriterlerin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi. ....                      | 40 |
| <b>Tablo 4.7.</b> Ana kriterlerin normalize ağırlıkları. ....                                    | 41 |
| <b>Tablo 4.8.</b> Değişiklik alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi. ....                    | 42 |
| <b>Tablo 4.9.</b> Değişiklik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi. ....    | 42 |
| <b>Tablo 4.10.</b> Değişiklik alt kriterlerinin fark matrisi. ....                               | 43 |
| <b>Tablo 4.11.</b> Değişiklik alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi. ....                    | 43 |
| <b>Tablo 4.12.</b> Değişiklik alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi. ....                 | 43 |
| <b>Tablo 4.13.</b> Değişiklik alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi. ....        | 43 |
| <b>Tablo 4.14.</b> Değişiklik alt kriterlerinin normalize ağırlıkları. ....                      | 44 |
| <b>Tablo 4.15.</b> Güvenilirlik alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi. ....                 | 45 |
| <b>Tablo 4.16.</b> Güvenilirlik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi. .... | 45 |
| <b>Tablo 4.17.</b> Güvenilirlik alt kriterlerinin fark matrisi.....                              | 45 |
| <b>Tablo 4.18.</b> Güvenilirlik alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi.....                   | 45 |
| <b>Tablo 4.19.</b> Güvenilirlik alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi. ....               | 46 |
| <b>Tablo 4.20.</b> Güvenilirlik alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi. ....      | 46 |
| <b>Tablo 4.21.</b> Güvenilirlik alt kriterlerinin normalize ağırlıkları. ....                    | 46 |
| <b>Tablo 4.22.</b> Maliyet alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi. ....                      | 47 |
| <b>Tablo 4.23.</b> Maliyet alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi. ....      | 47 |
| <b>Tablo 4.24.</b> Maliyet alt kriterlerinin fark matrisi.....                                   | 47 |
| <b>Tablo 4.25.</b> Maliyet alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi.....                        | 48 |
| <b>Tablo 4.26.</b> Maliyet alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi. ....                    | 48 |
| <b>Tablo 4.27.</b> Maliyet alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi. ....           | 48 |
| <b>Tablo 4.28.</b> Maliyet alt kriterlerinin normalize ağırlıkları. ....                         | 48 |
| <b>Tablo 4.29.</b> Alt ve ana kriterlerin yerel ve genel ağırlıkları. ....                       | 49 |
| <b>Tablo 4.30.</b> Tüm kriterler ve genel ağırlıkları. ....                                      | 49 |
| <b>Tablo 4.31.</b> Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi. ....                       | 51 |
| <b>Tablo 4.32.</b> Bulanık sayılar ile alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi. ....   | 51 |
| <b>Tablo 4.33.</b> Kriterlerin minimizasyon ve maksimizasyon durumu. ....                        | 51 |
| <b>Tablo 4.34.</b> Normalize Karar Matrisi .....                                                 | 52 |
| <b>Tablo 4.35.</b> Referans serileri matrisi. ....                                               | 52 |
| <b>Tablo 4.36.</b> Uzaklık matrisi. ....                                                         | 53 |
| <b>Tablo 4.37.</b> Gri ilişkisel katsayılar matrisi. ....                                        | 53 |
| <b>Tablo 4.38.</b> Gri ilişkisel değerler. ....                                                  | 53 |
| <b>Tablo 4.39.</b> Alternatiflerin gri ilişkisel değerleri ve sıralaması.....                    | 54 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Üçgensel bulanık sayı gösterimi. (Akman ve Alkan, 2006).....  | 11 |
| Şekil 3.1. Çalışmada izlenen akış yapısı. ....                           | 34 |
| Şekil 4.1. İç lojistik yatırım projesi seçimi ana ve alt kriterler. .... | 36 |





# **BİR PORSELEN FİRMASINDA PİSAGOR BULANIK AHP VE BULANIK GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İÇ LOJİSTİK YATIRIM PROJESİ SEÇİMİ**

## **ÖZET**

Günümüzde firmalar sürekli karar vermek durumunda kalmaktadır. Şirket yöneticileri tedarikçi seçimi, yatırım projesi seçimi, pazarlama stratejisi seçimi, yeni ürün seçimi gibi çeşitli durumlarda sürekli seçim yapmaktadırlar. İşletmeler için yatırım projelerinin seçimi artan rekabet, kısıtlı kaynaklar ve firma stratejilerinden dolayı oldukça karmaşık bir karar problemi haline gelmiştir, çeşitli kısıtlar altında en doğru seçimin yapılması oldukça önemlidir. Yatırım projeleri seçilirken birden fazla kriter ve birden fazla alternatifin bulunması karar verme sürecinin zorlaşmasına sebep olmaktadır. Karar verme süreci problemi ve amacı doğru şekilde analiz etmenin önemli olduğu karmaşık bir süreçtir bu yüzden çözümün bilimsel temellere dayalı olması kritiktir.

Yatırım projesi seçimi gibi çok kriterin ve çok alternatifin olduğu karar problemlerinin çözümü için ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) metotları kullanılmaktadır, literatürde bulunan çeşitli ÇKKV metotları sayesinde kriterler ağırlıklandırılmaktadır sonrasında her bir alternatif bu kriterlere göre değerlendirilerek sıralanmaktadır ancak günlük hayatta kesin yargılara varılamamaktadır, bu yüzden Klasik ÇKKV Yöntemlerinin cevap veremediği sorulara cevap verme amacıyla Bulanık Küme teorisinden yararlanılarak çeşitli bulanık ÇKKV Yöntemleri geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde çok sayıda Bulanık ÇKKV Yöntemi'nin kullanıldığı görülmüştür.

Her sektörde olduğu gibi porselen sektöründe de bitmiş ürünlerin depoya transferinin nasıl yapılacağı önemli bir sorudur. Ürünlerin kolaylıkla stoklanabilmesi, iş gücü verimliliğinin artırılması ve işlerin doğru organize edilebilmesi için uygun iç lojistik sisteminin seçilmesi önemlidir. Sürecin kolayca koordine edilebilmesi ve gelecekte ihtiyaç duyulabilecek değişikliklere cevap verebilmek için esnek bir sisteme sahip olmak ve uygun seçimler yapmak gerekmektedir. Bu transferi yapmayı sağlayan iç lojistik sisteminin esnekliği, maliyeti, kullanılabilirliği gibi çok sayıda kriter bulunmaktadır. Bu çalışmada porselen sektöründe hizmet veren bir firmanın iç lojistik yatırım projesinin ÇKKV metotları kullanılarak seçilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak kriterler ve alternatifler belirlenmiştir, dokuz adet ana kriter ve ana kriterlerin alt kriterleri olmak üzere toplamda on yedi kriter ve dört farklı alternatif literatürde bulunan dilsel değişkenler yardımıyla karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Bulanık ÇKKV metotlarından Pisagor Bulanık AHP Yöntemi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmıştır, sonrasında Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır.

Literatüre bakıldığında Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yönteminin diğer yöntemlere göre daha az sayıda kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca bu yöntemlerin birbirine entegre olarak kullanıldığı çalışma bulunmamaktadır. Porselen sektöründe ilk kez uygulanan bu alternatif yöntem ile literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır, bu duruma ek olarak çalışmanın sadece yatırım projesi

seçim problemi çözümü olarak değil diğer herhangi bir karar problemi için kullanılabileceği için literatüre katkıda bulunacağı düşünölmektedir.



# **INTERNAL LOGISTICS INVESTMENT PROJECT SELECTION WITH PYTHAGOREAN FUZZY AHP AND FUZZY GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD FOR A PORCELAIN COMPANY**

## **SUMMARY**

Nowadays, companies constantly have to make decisions. Company managers constantly make choices in various situations, such as supplier selection, investment project selection, marketing strategy selection, and new product selection.

Choosing investment projects for businesses has become a very complex decision problem due to increasing competition, limited resources, and company strategies; there are various constraints, so choosing the right investment project is very important.

The presence of more than one criterion and more than one alternative when selecting investment projects makes the decision-making process more difficult and manageable. Since the decision-making process is complex, it is essential to determine the problem and purpose, determine the criteria, and evaluate the selection method correctly, so the solution must be based on scientific foundations. Multi-criteria decision-making methods solve problems with many criteria and alternatives, such as investment project selection. The criteria are weighted thanks to various MCDM methods found in the literature. Then, each alternative is evaluated and ranked according to these criteria. However, in daily life, definitive judgments cannot be made, so there are questions that Classical MCDM Methods cannot answer. Various fuzzy MCDM methods have been developed using the fuzzy set theory to answer the questions. When the literature is examined, it is seen that a large number of fuzzy MCDM methods have been used. In addition, since the values, judgments, and experiences of decision-making individuals vary from person to person, it is impossible to express these opinions with exact numbers. Instead of using precise mathematical data, building a model with linguistic variables is a better approach. In Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making problems, linguistic variables are used to determine the criteria weights and to select alternatives according to the determined criteria.

As in every sector, transferring finished products to the porcelain warehouse is essential. Choosing the appropriate internal logistics system is crucial so that products can be readily stocked, workforce efficiency can be increased, and work is organized correctly. In order to efficiently coordinate the process and respond to changes that may be needed in the future, it is necessary to have a flexible system and make appropriate choices. There are many criteria, such as the logistics system's flexibility, cost, and availability of the internal logistics system that enables product transfer.

This study aims to select the internal logistics investment project of a company serving in the porcelain industry using fuzzy MCDM methods, Pythagorean Fuzzy AHP, and Fuzzy Gray Relational Analysis method; these methods were developed to solve the decision problem with incomplete or limited information. First, the criteria and

alternatives were determined. Decision makers evaluated four alternatives with the help of seventeen criteria, nine main criteria and sub-criteria of the main criteria, and linguistic variables found in the literature. The criteria were weighted using the Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method, one of the fuzzy MCDM methods. Then, the alternatives were ranked using the Fuzzy Gray Relational Analysis Method.

In the first part of the study, there is an introduction; in the second part, information about decision-making processes, Multi-Criteria Decision Making Methods, and Fuzzy Logic is given, then the solution steps of the Pythagorean Fuzzy AHP and Fuzzy Gray Relational Analysis Method are explained in detail, and the studies in the literature are mentioned. The third part shows the hierarchical structure related to the flow followed in the study. The application was made in the fourth part of the study, and in the fifth part, results and recommendations are presented. Detailed information of the application is explained as follows:

Firstly, the main criteria and sub-criteria were determined by taking expert opinions and researching the literature. There are nine main criteria in this study: Flexibility to Adapt to Changes, Automation Level (Dependency on Person), Reliable and Stable Operation of the System, backup management, Loss of Space in the Warehouse, Application Duration, Environmental Friendliness, Ease of Use, Cost. The main criteria of "Flexibility to Adapt to Changes" has four sub-criteria: Adaptability to Product Volume Change, Adaptability to Layout Change, Adaptability to Product Type and Size Change, and Adaptability to Product (Pallet) Weight Change. The main criterion, "Reliable and Stable Operation of the System," has four sub-criteria: low Failure Rate, Ease of Maintenance Intervention, Low Spare Part Stock Amount, and Service Availability. The main cost criterion has three sub-criteria: purchasing, labor, and energy. A pairwise comparison matrix of each criterion was created, and the general and local weights of the criteria were calculated with the Pythagorean Fuzzy AHP method.

Secondly, different alternatives were determined by taking expert opinions for project selection. This study has four alternatives: Rail Transit and Flexi AGV, Rail Transit and Shuttle System, Construction In-Tunnel Shuttle System, and Construction In-Tunnel Conveyor. Project selection and importance ranking of alternatives were made with the Fuzzy Gray Relational Analysis method using triangular fuzzy numbers. Criterion weights calculated using the Pythagorean Fuzzy AHP method were also used for this ranking. The alternatives are Rail Transit and Flexi AGV > Rail Transit and Shuttle System > Construction In-Tunnel Shuttle System > Construction In-Tunnel Conveyor. Alternative weights were 0.293, 0.271, 0.229, and 0.208, respectively. Rail Transit and Flexi AGV alternatives have been determined as the most suitable project for selecting internal logistics investment projects. With this study, the company is expected to make more beneficial investment decisions. It is thought that project selection can be made using different decision-making methods and the same alternatives and criteria.

When looking at the literature, it has been seen that the Pythagorean Fuzzy AHP Method and the Fuzzy Gray Relational Analysis Method are used less frequently than other MCDM methods. In addition, there are no studies in which these methods are used integrally with each other. It aims to fill the literature gap with this alternative method applied for the first time in the porcelain industry. In addition, this study will

contribute to the literature as it can be used not only as a solution to the investment project selection problem but also for any other decision problem.





## 1. GİRİŞ

Günümüzde gittikçe artan rekabete karşı işletmelerin ihtiyaçlarını karşılayacak yatırımlar için doğru adımlar atması kaçınılmaz hale gelmiştir. Kısıtlı kaynaklar altında doğru yatırım kararını verebilmek işletmeler için oldukça kritiktir, bu yüzden verilen kararın bilimsel temele dayanması önemlidir.

Karar verme süreci birden fazla değişkeni içerisinde barındıran, problemi ve amacı doğru şekilde analiz etmenin kritik olduğu karmaşık bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Karar verirken; problem, amaç, kararı etkileyen kriterler, seçimin nasıl yapılacağına doğru şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bu sebeple firmalar ideale en yakın kararı verebilmek için çeşitli Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri'nden faydalanmaktadırlar. Karar vericiler belirlenen her bir kriteri ve alternatifini ÇKKV Yöntemlerini aracılığıyla değerlendirerek istenilen en iyi alternatife ulaşmayı hedeflemektedirler. Literatürde karar verme probleminin amacına ve türüne göre çok sayıda ÇKKV Yöntemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, porselen sektöründe bir yatırım projesi seçimi ilk defa ÇKKV yöntemleri ile yapılmıştır. Aynı zamanda iç lojistik yatırım projesi seçimi için literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde henüz çok az sayıda araştırma yapılmış olan Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ilk kez birbirine entegre olarak kullanılmıştır. Bahsedilen sebeplerden dolayı bu çalışmanın literatüre önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Önerilen ÇKKV Yöntemi'nin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bu çalışmada porselen sektöründe faaliyet gösteren bir tesiste bitmiş ürünlerin palet ile depoya transferi için kurulacak olan iç lojistik sistem alternatiflerinin Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Dört alternatif belirlenmiştir ve en uygun alternatifi seçimi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde giriş, ikinci bölümünde karar verme süreçleri, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Bulanık Mantık ile ilgili bilgi verilmiş; Pisagor Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), Bulanık Gri İlişkisel

Analiz Yöntemi'nin çözüm adımları detaylıca anlatılmış ve literatürde bulunan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümünde çalışmada izlenen akış ile ilgili hiyerarşik yapı gösterilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde uygulama yapılmıştır ve beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.



## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Karar Verme**

Karar verme, günümüzde gerek sosyal gerek iş olmak üzere neredeyse tüm alanlarda karışık bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleceğin belirsiz olması ve rekabet ortamı karar verme süreçlerini zorlaştırmaktadır. Alternatifler arasından en uygunun bulunması, bu alternatiflerin seçimi için doğru kriterlerin belirlenmesi ve istenilen sonuçlara ulaşılabilmesi karar vericiler için oldukça zor bir süreçtir (Ersöz ve Kabak, 2010). Firmaların faaliyetlerini devam ettirebilmesi ve stratejik olarak başarılı olabilmesi için firma yöneticileri sürekli olarak alternatifler arasından seçim yapmak ve karar vermek zorunda kalmaktadırlar (Can, 2021).

#### **2.1.1. Karar öğeleri**

Karar aşamasında karar vericiler birden fazla alternatif arasında seçim yapmaktadırlar, bu süreçte karşımıza çıkan karar verme sürecinin öğeleri aşağıdaki gibidir.

**Karar Problemi:** Problemin tanımı mevcut durum ile olması beklenen durum arasındaki fark olarak ifade edilebilir. Bununla birlikte problem kavramı olumsuz olarak algılsa bile bazı durumlarda problemlerden fırsat olarak faydalanılmaktadır. Karar Problemi ile karşılaşıldığında iyi bir şekilde yorumlayabilmek ve analiz etmek oldukça önemlidir, bu analiz karar probleminin en temel adımıdır (Cengiz, 2012).

**Karar Verici:** Kararı verecek olan bireydir. Bir veya birden fazla kişiden oluşabilir.

**Amaç:** Karar verebilmek için öncelikle bir amacın olması gerekmektedir. Hedeflenen amaca göre alternatifler ve kriterler oluşturulmaktadır. Amaç, karmaşıklıktan uzak ve aynı zamanda karar vericiler tarafından anlaşılır bir şekilde tanımlanmalıdır. Doğru bir şekilde amacı tanımlayabilmek sadece ulaşılması istenen sonuçları vermekle kalmaz aynı zamanda amaca ulaşmayı engelleyen sorunları da ifade etmeye yardımcı olur.

**Kriterler:** Alternatiflerin birbirleriyle kıyaslanmasına olanak sağlamaktadır. İki çeşitten oluşmaktadır;

**Nicel Kriterler:** Sayısal olarak ifade edilebilen kriterlerdir.

Nitel kriterler: Sayısal olarak ifade edilemeyen ve iki farklı kriterden hangisi daha öncelikli gibi yalnızca sırasal olarak tercihlerin ifade edilebildiği kriterlerdir (Cengiz, 2012).

Alternatifler: Karar problemini çözebilmek için aralarından seçim yapma olanağı sunan olaylardır (Emhan, 2007).

### **2.1.2. Karar problemi ve süreci**

Karar verme probleminin tanımlanmasından ve probleminin çözümüne ulaşılmasına kadar geçen süreç karar verme süreci olarak adlandırılmaktadır. Literatür incelendiğinde bu süreç ile ilgili aşamaların bazı noktalarda farklılık gösterebildiği görülmüştür (Topçu, 2000). Literatürde genel olarak kabul gören süreç adımları aşağıdaki gibidir.

- Problemin belirlenmesi ve amacın açık bir şekilde ifade edilebilmesi
- Kriterlerin tanımlanması
- Alternatiflerin tanımlanması
- Karar probleminin modellenmesinin yapılması ve problemin çözümüne ulaşılması
- Çözüm sonucu verilen kararın uygulanması
- Uygulama sonuçlarının takip edilmesi

Yukarıda da ifade edildiği üzere bir karar probleminin ve amacının açık bir şekilde ifade edilebiliyor olması gerekmektedir, herhangi bir belirsizlik durumunda karar verme sürecinin doğru şekilde başlamasından bahsedilememekle birlikte rasyonel sonuçlara ulaşılacağı düşünülememektedir. Problem açık şekilde ifade edildikten sonra problemin kriterleri ve seçimi yapılacak olan alternatif seçenekler belirlenmektedir, daha sonra karar problemi modellenerek çözüme ulaşılmaktadır. Bu aşamadan sonraki adımlar karar problemi sürecinin dışında kalmaktadır fakat kararın işlevselliği ve verimi bu sürecin etkin bir sonuca ulaşp ulaşmadığını ölçmek için önemli olduğundan bu aşamaları birbirinden çok da ayırmak mümkün değildir. Karar verici kararın uygulamaya konmasını sağlamalıdır ve uygulama sonucunu takip ederek kararın işlevselliğini sürekli olarak takip etmesi gerekmektedir (Emhan, 2007).

### 2.1.3. Karar verme çeşitleri

Karar verme probleminde karar verici kişi veya kişilerin çalışacağı karar ortamını belirlemesi gerekmektedir. Bahsedilen karar ortamı, karar vericinin nasıl bir doğa durumunda çalıştığı ve bu durumların meydana gelmesine ilişkin beceri ve bilgi seviyesiyle ilgilidir. Karar verme çeşitleri aşağıdaki gibidir.

**Belirlilik Halinde Karar Verme:** Karar verme çeşitleri arasında en kolay karar verme durumudur. Bunun başlıca sebebi hiçbir karar ögesinin durumuyla ilgili belirsizliğin olmamasıdır. Bu karar verme çeşidinde alternatiflerin hangi koşullar içerisinde meydana geleceği ve getirisi kesin olarak bellidir, diğer bir deyişle meydana gelmesi beklenen durumun gerçekleşme olasılığı 1 olarak ifade edilebilir. Karar verici kişi veya kişiler karar verme eyleminden sonra nasıl bir sonuçla karşılaşacaklarını bilmektedirler (Karaca, 2011). Bu karar verme çeşidi deterministik bir yapıdadır (Ünal ve Atılgan, 2007). Bir işletmede yatırım projesi kararı belirlilik altında karar verme durumuna örnek olarak gösterilebilir.

**Risk Halinde Karar Verme:** Geçmişte yapılmış olan deneylere, tarihsel bilgilere, karar verilecek olan konuyla ilgili bilgi, tecrübe ve beceriye dayanarak karar verme durumu olarak tanımlanmaktadır. Kararı verecek olan kişi veya kişilerin hedeflerinin ne olduğunun açık bir şekilde tanımlanabildiği ve bu hedefe göre çeşitli bilgiler edinebildiği fakat bu bilgi birikimlerinin zaman geçtikçe farklılık gösterebileceği durumların var olma ihtimali olarak da ifade edilmektedir. Risk halinde karar verecek olan kişi veya kişiler ani değişimlere hazır olacak şekilde karar vermelidir (Torunlar, 2018). Örneğin; sabah evden ayrılırken Bu karar verme çeşidi stokastik (raslantısal) bir yapıdadır (Ünal ve Atılgan, 2007). Yağmur yağma ihtimalini göz önüne alarak şemsiye alma veya almama kararı risk halinde karar verme durumuna örnek olarak gösterilebilir (Karaca, 2011).

**Belirsizlik Halinde Karar Verme:** Karar verici kişi veya kişilerin karar verme sonucunda karşılaşacakları olayların kesinliğini bilmediği ve olasılıklarını da belirleyemedikleri karar verme durumudur (Ünal ve Atılgan, 2007). Olayların sonucunda karşılaşılabilecek olan durum net olarak bilinmediği için karar vericiler bu tarz karar verme problemlerinden kaçınmaktadırlar (Griffin, 2002). Karar vericinin elinde somut bir veri olmadığı için belirsizlik halinde karar verme durumunda literatürde farklı yaklaşımlar mevcuttur. İyimserlik (Maximax) Ölçütü, Kötümserlik (Maximin)

Ölçütü, Laplace Eşit Olasılık Ölçütü en çok kullanılan yaklaşımlar olarak örnek verilebilir. Belirsizlik halinde karar verme problemlerinde en doğru sonuca ulaşmanın temel adımı en uygun karar ölçütü ile çalışma yapmaktır (Karaca, 2011)

Karar verme çeşitleri birbirleri ile kıyaslandığında belirlilik halinde karar vermek diğer durumlara göre basittir çünkü karar verici seçilen alternatife göre karşılaşılabilecekleri sonuçları net olarak bilmektedirler, karar vericinin göz önünde bulundurabileceği somut veriler elinde mevcut olarak bulunmaktadır. Belirsizlik halinde karar verme durumu ise bunun tam tersidir karar vericinin elinde herhangi bir somut veri yoktur, kararın neye göre verileceği belli değildir. Risk altında karar verme durumunda ise karar verici karşılaşıacağı sonuçların olasılıklarını bilmektedir fakat bu sonuçlar zamanla değişkenlik gösterebilmektedir.

## **2.2. Tek Kriterli Kararlı Karar Verme Yöntemleri**

Karar verme problemlerini çözmek için literatürde birçok çözüm modeli geliştirilmiştir. Tek kriterli ve tek amaçlı karar verme problemleri en basit karar verme problemleri arasında yer almaktadır (Kangas ve ark., 2015). Literatürde problemlerin çözümü için doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yöntemleri ve tam sayılı programlama yöntemleri kullanılmaktadır (Luenburger, 2021).

## **2.3. Çok Kriterli Kararlı Karar Verme Yöntemleri**

İşletmeler yatırım kararı alırken minimum maliyetli ve maksimum faydayı alacak şekilde projeler seçmeyi hedeflemektedirler. Bu hedef doğrultusunda kriterler, alternatifler ve amaç belirlenmektedir. Karar verirken kriterler ve alternatiflerin adedi arttıkça karar vermek de zorlaşmaktadır, en önemli veya en önemsiz kriteri belirleyebilmek karar verme sürecindeki kritik aşamadır ve oldukça zordur, birden fazla kriterin olduğu durumlarda en iyi kararın verilebilmesi için literatürde çok sayıda karar verme metodu geliştirilmiştir (Lezki, 2019).

İşletmelerde yöneticilerin doğru zamanda doğru karar vermesi temel görevleri arasında yer almaktadır aynı zamanda yöneticiler seçim kriterlerini belirleyebilir ve bu kriterlere göre alternatifleri değerlendirebilirler. Birden fazla kriter ve alternatifin olduğu karar verme problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri kullanılmaktadır (Arslankaya, 2020). İşletmeler yatırım yaparken, süreçleri

yönetirken, mühendislik ve insan faaliyetlerini uygularken karmaşık sorunlarla karşılaşmaktadırlar, bu gibi sorunları ele alan yöntemler ÇKKV problemleri ile doğrudan ilişkilidir (Zegerek, 2014)

ÇKKV, temelinde bir yaklaşımı temsil etmektedir. Birbirinden farklı veya birbirleriyle çelişen seçeneklere sahip problemlerle karşılaşan kişilere kendilerine uygun şekilde seçim yapabilmelerine olanak sağlamak için tasarlanan metotları kapsayan bir unsurdur (Bogetoft ve Pruzan, 1997). Soyut, somut, birbirleriyle çelişen ölçekleri veya nitelikleri değerlendirerek karar alternatiflerinden amaca en uygununu seçmek, alternatifleri sıralamak veya sınıflandırmak için ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır (Guitouni ve Martel, 1998).

ÇKKV yöntemleri yukarıda da bahsedildiği gibi çeşitli problem türleri üzerinde çalışmaya imkan tanımaktadır. Karar problemlerinin her birinin hedefi birbirinden farklıdır. Alternatifler arasından en uygununu seçmek için seçme problemi kullanılır, alternatifler arasında en kötü ve en iyi arasında sıralama yapmak için sıralama problemi kullanılır, alternatifleri kendi arasında sınıflara ayırmak için ise sınıflandırma problemi kullanılmaktadır (Toksoy, 2012).

ÇKKV yöntemleri 1950 yılının ortalarında insanların karar vermede yetersiz kaldığı gözlemlendiği için geliştirilmiştir (Toksoy, 2012).

Günlük hayatta karşılaştığımız karar problemleri birden fazla kriter ve alternatif barındırmaktadır. Örneğin; müşteri bir kıyafet satın alırken yalnızca ürünün fiyatını göz önüne alarak karar vermez. Ürünün kalitesi, görünüşü, kullanışlılığı, geri dönüştürülebilmesi, satış sonrası müşteri hizmeti, fiyatı gibi birbirinden farklı kriterlere göre karar vermektedir ve karar kişisel tercihlerin etkisi altında verilmektedir. Her karar probleminde kişiye bağlı olarak alternatif ve kriterlere farklı ağırlıklar verilmektedir (Brans ve ark., 1986).

### **2.3.1. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin amacı**

ÇKKV yöntemleri, karışık veya tam olarak kavranması zor olan durumları analiz etmeyi ve karar problemi sürecini sistemli bir şekilde yürütebilmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda birden fazla karar vericinin olduğu durumlarda karar vericilerin ortak bir paydada buluşarak fikir alışverişi yapmasına yardımcı olmaktadır (Polat, 2015).

### 2.3.2. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

ÇKKV yöntemlerinin çözüm aşamasında karar verici için avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar şu şekilde ifade edilebilir:

Dezavantajları:

- Seçimi yapılacak olan alternatifleri kıyaslayamama problemi görülebilmektedir. Bir kritere göre bir alternatif en baskın seçenek olarak çıkarken, farklı bir kritere göre ise en düşük seçenek olarak çıkabilmektedir. Bu durumda karar vericinin kıyas yapabilmesi için ek bilgiyle birlikte ek modelleme yapması gerekmektedir.
- Karar verme problemlerinde çözümler tam olarak net değildir, ideale en yakın sonuçlar (uzlaşık sonuç) elde edilmektedir. Bunun sebebi ise karar problemlerinde tüm kriterler göz önüne alındığında bir alternatifin diğer alternatiflere göre tamamen baskın olduğu bir durum mümkün değildir. Ulaşılan sonuçlar karar verici kişiye bağlıdır.

Avantajları:

- Birden fazla ve birbirleri arasında çatışan kriterlerin mevcut olduğu durumlarda karar süreci için ortak bir bağlam oluşturmaktadır.
- Nicel, nitel veya çok fazla sayıda veri içeren problemler değerlendirilebilmektedir.
- Çözülmesi zor olarak görülen karmaşık durumların anlaşılabilirliğini kolaylaştırarak karar problemini sistemsal şekilde çözmeye olanak sağlamaktadır (Bengül, 2018).

### 2.4. Bulanık Mantık

Mantık terimi ilk kez Aristoteles tarafından kullanılmıştır. Aristoteles'in düşüncesine göre durumlar iki değerden oluşmaktadır. Mantıkta matematiksel modeller 0 ve 1'e dayalı olarak kurulmaktadır, önerme ya yanlıştır yani 0'dır ya da doğrudur yani 1'dir. Fakat günlük yaşantıda karşılaşılan sorunlar bu şekilde yanlış veya doğru olarak net şekilde ifade edilememektedir, kesinlik yoktur. Klasik mantıkta "aşağı yukarı", "kısmen", "çok az" vb. gibi ifadeler karşılık gelen cevaplar yoktur (Sancar, 2022).

Bulanık Yaklaşım terimi, Klasik Mantık kuramının cevap veremediği sorulara cevap verebilme amacıyla 1956 yılında ABD'de organize edilen bir konferansta kullanılmıştır. Fakat literatürde ilk olarak bu terim 1965 yılında Lotfi A. Zadeh'in yapmış olduğu "Bulanık Kümeler" adlı çalışmasında kullanılmıştır. Bulanık Mantık terimi ilk kez bu makalede karşımıza çıkmaktadır (Türkoğlu, 2016).

Bulanık Mantık, günlük hayatta kesinlik içermeyen, belirsiz olan problemlerin ifade edilmesi ve çözülmesi için oldukça kullanılan bir yöntemdir. Bulanık mantık “var”, “yok”, “doğru”, “yanlış”, “evet”, “hayır” gibi kesin olarak ifade edilen değişkenler yerine “ortalamanın altında”, “ortalama”, “ortalamanın üstünde” gibi değişkenlerin kullanıldığı bir teoridir (Dağdeviren, 2007).

Bulanık mantık analiz edildiğinde üyelik derecelerinin  $[0,1]$  aralığında bulunması olasılık kavramı ile ilişkili olabileceği düşüncesine sebep olmaktadır fakat bu terimler arasında belirgin farklılıklar mevcuttur. Bir olayın gerçekleşmesindeki belirsizlik olasılık ile açıklanmaktadır fakat bulanık olma durumu olayın meydana gelip gelmemesiyle ilgilenmemektedir, olayın hangi seviyeye kadar meydana geldiğini araştırmaktadır (Hoş ve Bağcı, 2021).

Bulanık Mantık teorisinin avantajları şunlardır:

- İnsani düşünce tarzına ve sistematığına yakındır.
- Uygulanabilmesi için kesin olarak matematiksel model kurulması gerekli değildir.
- Yazılmasının basit olması sebebiyle sistematığı diğer yöntemlere göre daha ekonomik şekilde kurulabilmektedir.
- Anlaşılması basittir.
- Üyelik dereceleri kullanıldığı için diğer yöntemlere göre daha esnektir.
- Kesinlik gerektirmeyen veriler kullanılmaktadır.
- Nonlineer fonksiyonların modellenmesine olanak sağlamaktadır.
- Yalnızca uzman kişilerin görüş ve deneyimlerinden yararlanılarak bulanık mantık temelli bir model kurulabilir ya da bir sistem tasarımı yapılabilir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

#### **2.4.1. Bulanık kümeler**

Bulanık Mantık kavramının temeli Bulanık Küme Teorisine dayanmaktadır ve bu kavram klasik küme teorisinin bir genellemesidir (Dernoncourt, 2013).

Zadeh tarafından tanımlanan Bulanık Küme teorisine incelendiğinde kümeye ait olan üyeler, kümeye aitlik derecesine göre tanımlanmaktadır, kümeye aitlik derecesi üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir ve kümenin üyeleri  $[0,1]$  kapalı aralığı arasında üyelik derecesi değerini alabilmektedir (Peng ve Selvachandran, 2019). Klasik küme

teorisinde “0” kesinlikle kümeye ait olmama durumunu ifade ederken; “1” kesinlikle kümeye ait olma durumunu ifade etmektedir, bulanık küme teorisinde ise kesinlik yoktur kümenin üyeleri bir üyelik derecesi ile tanımlanmaktadır (Çitli, 2006).

Bulanık Kümelerde üyelik derecesi o elemanın kümeye ait hangi derecede ait olduğunun bir göstergesi iken üyelik fonksiyonları o elemanın kümenin spesifik özelliklerini taşıdığını gösteren matematiksel ifadeleri kapsamaktadır (Arda, 2010).

Zadeh tarafından tanımlanan Bulanık Küme Teorisi geliştirilerek literatürde çeşitli bulanık küme teorileri önerilmiştir, önerilen teoriler enerji, ekonomi, tıp, mühendislik gibi birçok bilim alanında kullanılmaktadır (Kahraman ve ark., 2016).

Bulanık küme teorisinin mantığında klasik küme teorisinin mantığından farklı bir yapı mevcuttur, klasik küme teorisinde değerler 0 ve 1’den oluşurken bulanık kümelerde 0 ile 1 arasında birden fazla değişken değer bulunmaktadır (Ergül, 2015).

Bulanık kümeler; insanların öznel algı, kişisel yargı ve tecrübeleriyle ifade edilen belirsizliği modellemektedir ve bunların bulanık sayılar ile matematiksel model olarak ifade edilmesine olanak tanımaktadır (Zegerek, 2014).

#### **2.4.2. Bulanık sayılar**

Bulanık Mantığın diğer mantık çeşitlerinden en belirgin farkı sözel terimlerin kullanımına olanak sağlamasıdır. Bulanık Sayı kavramı sözel ifadeleri betimlemek için kullanılmaktadır (çok düşük, düşük, orta vb. gibi). Sözel ifadeler, kurulan modeldeki değişkenlerin üyelik değerlerini ve bulanık kümelerini tanımlayabilmek için kullanılmaktadır (Madenoglu, 2019).

Bulanık sayıların tanımlanmasında üyelik fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Bu tanımlamada kullanılan üyelik fonksiyonları  $\mu_A(x)$  ile ifade edilmektedir ve bu üyelik fonksiyonları  $[0,1]$  kapalı aralığında değer almaktadır. Belirtilen  $x$  değişkeni bir  $A$  kümesinin kesinlikle elemanı ise  $\mu_A(x) = 1$ , değil ise  $\mu_A(x) = 0$  olmaktadır.  $\mu_A(x)$  değerinin 1’e yaklaşması,  $x$  değişkeninin  $A$  kümesinin elemanı olma derecesinin daha fazla olduğu, 0’a yaklaşması ise  $A$  kümesinin elemanı olma derecesinin daha az olduğu anlamına gelmektedir (Çitli, 2006).

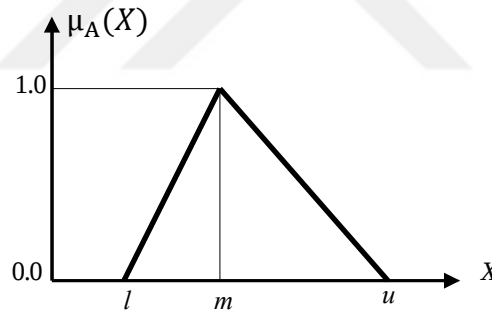
Bulanık Sayılar, bulanık kümelerde işlem kolaylığı sağlama amacıyla kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde en yüksek oranda Üçgensel Bulanık

Sayıların kullanıldığı görülmüştür. Üçgensel bulanık sayılar, bulanık sayıların spesifik bir alt kümesi olarak kabul edilmektedir (Madenoglu, 2019).

Üçgensel bir bulanık sayı  $(\tilde{A})$ , 3 gerçekte sayıdan oluşmakta olup  $(l, m, u)$  şeklinde ifade edilmektedir, üyelik dereceleri de bu sayılara göre tanımlanmaktadır. Üçgensel bulanık sayılar Denklem 2.1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 ve Şekil 2.1'de de gösterildiği gibi grafiğin başlangıç noktası  $l$ , tepe noktası  $m$  ve bitiş noktası  $u$  değerlerini ifade etmektedir. Bu parametreler sırayla en düşük mümkün değer, en mümkün değer ve en yüksek mümkün değeri göstermektedir (Dağdeviren, 2013).



**Şekil 2.1.** Üçgensel bulanık sayı gösterimi. (Akman ve Alkan, 2006)

Literatürde üçgensel bulanık sayılarda tanımlaması yapılan birden fazla işlem bulunmaktadır, bu çalışmada üçgensel bulanık sayılarla yapılan temel işlemlerden bahsedilmiştir (Çitli, 2006). İki pozitif üçgensel bulanık sayı  $A = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $B = (l_2, m_2, u_2)$  olarak tanımlanırsa bu iki bulanık sayı arasındaki matematiksel işlemler aşağıda gösterildiği gibidir (Ertugrul, 2007).

Eşitlik:  $A$  ve  $B$  üçgensel bulanık sayılarının eşit olması demek sayılarda karşılıklı olarak tüm küme elemanlarının eşit olması anlamına gelmektedir. Denklem 2.2'de verilmiştir.

$$A = B \text{ 'dir.}$$

$$(l_1, m_1, u_1) = (l_2, m_2, u_2) \quad (2.2)$$

$$(l_1) = (l_2), (m_1) = (m_2), (u_1) = (u_2)$$

Toplama İşlemi: Karşılıklı küme elemanları toplanmaktadır, sonuç üçgensel bulanık sayıdır. Denklem 2.3'te verilmiştir.

$$A \oplus B = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.3)$$

Çıkarma İşlemi: Karşılıklı küme elemanları birbirinden çıkarılmaktadır, sonuç üçgensel bulanık sayıdır. Denklem 2.4'te verilmiştir.

$$A \ominus B = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (2.4)$$

Çarpma İşlemi: Karşılıklı küme elemanları birbiriyle çarpılmaktadır, sadece pozitif reel sayılar için tanımlıdır, sonuç üçgensel bulanık sayıdır. Denklem 2.5'te verilmiştir.

$$A \otimes B = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (2.5)$$

Bölme İşlemi: Karşılıklı küme elemanları birbirine bölünmektedir, sadece pozitif reel sayılar için tanımlıdır, sonuç üçgensel bulanık sayıdır. Denklem 2.6'da verilmiştir.

$$A \oslash B = (l_1, m_1, u_1) \oslash (l_2, m_2, u_2) = (l_1 / l_2, m_1 / m_2, u_1 / u_2) \quad (2.6)$$

Uzaklık: İki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklık aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Denklem 2.7'de verilmiştir.

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (2.7)$$

Reel Sayıya Dönüştürme: Denklem 2.8'de verilmiştir. Bir üçgensel bulanık sayı aşağıda verildiği gibi reel bir sayıya dönüştürülebilmektedir (Madenoglu, 2019).

$$\text{Reel}(A) = \frac{l+2m+u}{4} \quad (2.8)$$

Ters İşlem: Bir üçgensel bulanık sayının tersi aşağıda verildiği gibi hesaplanabilmektedir. Denklem 2.9'da verilmiştir.

$$A^{-1} = (1/l_1, 1/m_1, 1/u_1) \quad (2.9)$$

Çarpımsal İşlem: Denklem 2.10’da verilmiştir.  $k$  bir katsayı olmak üzere bir üçgensel bulanık sayının bir katsayı ile çarpım işlemi aşağıdaki gibidir (Çitli, 2006).

$$k \times A = (kl_1, km_1, lu_1) \quad (2.10)$$

#### 2.4.3. Bulanık çok kriterli karar verme

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri farklı seçenekler arasından en uygun alternatifi bulma sürecinde kullanılmaktadır. En uygun alternatifin bulunması için karar vericiler birden farklı seçeneği değerlendirmektedirler, bu süreçte karar vericiler seçecekleri alternatifleri farklı kriterlere göre, kriterleri de birbirleri arasında değerlendirmekte ve derecelendirmektedirler. Günlük yaşamda verilen kararlar genel olarak kesin verilerin olmadığı, karar verici kişilerin tereddüt edebileceği ortamlarda verilmektedir, bu yüzden kesinlik içeren yargılar yerine “düşük”, “orta”, “yüksek” gibi bulanıklık içeren ifadeler tercih edilmektedir (Dalalah ve ark., 2011).

Günlük yaşamda karar verme süreçleri göz önüne alındığında doğal dilin kullanıldığı görülmektedir, doğal dil kullanılırken tercih edilen sözcüklerin anlamları genellikle net değildir, karar verici kişiler farklı deneyimlere ve farklı yargılara sahip oldukları için bazen aynı sözcükleri kullanmalarına rağmen farklı değerlendirme yapabilmektedirler, dilsel değişkenlerin sebep olduğu belirsizliği ve bulanıklığı engelleyebilmek için bulanık sayılardan yararlanılmaktadır (Mardani, 2015).

Günlük hayatta kesin yargılara varılamamaktadır, bu yüzden Klasik ÇKKV Yöntemlerinin cevap veremediği sorulara cevap verme amacıyla Bulanık Küme teorisi ve bulanık sayılardan yararlanılarak çeşitli ÇKKV Yöntemleri geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde çok sayıda Bulanık ÇKKV Yöntemi’nin kullanıldığı görülmüştür.

Literatürde genellikle tercih edilen yöntemler için şu şekilde sıralanabilir.

- Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
- Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
- Bulanık DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)
- Bulanık VIKOR (VIse Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje)

- Bulanık SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis)
- Bulanık MOORA (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis Method)
- Bulanık WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment)

#### **2.4.4. Dilsel değişkenler**

Günlük hayatta karar verme sürecine ait durumların modellenmesi için kesin matematiksel veriler yeterli olmamaktadır. Karar verici bireylerin değerleri, yargıları ve deneyimleri kişiden kişiye değişim gösterdiği için bu görüşleri kesin sayılarla ifade edebilmek mümkün değildir. Kesinlik içeren matematiksel veriler kullanmak yerine dilsel değişkenlerle model kurulması daha doğru bir yaklaşımdır. Çok Kriterli Karar Verme problemlerinde kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve belirlenen kriterlere göre alternatiflerin seçilmesi işleminde dilsel değişkenler kullanılmaktadır.

Bulanık mantığın temel hedefi belirsizlik durumunda kullanılan ifadelerin ve yargıların teorik bir altyapıya dayandırılabilmesidir. Bu hedef, insan yargılarının modellenmesine sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır. Dilsel değişkenler, karar verme sürecinde problemin çok karışık olduğu ve kesin sayısal verilerle ifade etmenin mümkün olmadığı durumlarda oldukça faydalıdır (Aplak, 2010).

Dilsel değişkenler, genellikle günlük hayatta kullanılan ve herkes tarafından algılanabilecek “çok düşük”, “düşük”, “çok az”, “az”, “yüksek” gibi ifadelerden oluşabilmektedir (Zadeh, 1994). Tercih edilen dilsel değişkenler zıtlık içeren ifadelerle tanımlanabileceği gibi bağlaçların oluşturduğu sözcük veya söz grupları ile de tanımlanabilmektedir (Türkbey, 2003). Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları ile ilgili değişkenleri temsilen dilsel değişkenlerden yararlanılmaktadır. Dilsel değişkenler günlük hayatta kullanılan doğal sözcüklerle ifade edilmektedir ve bulanık sayılara dönüştürülmektedir (Sumrit, 2020). Dilsel değişkenlerin belirsizliğini ortadan kaldırmak ve hesaplama kolaylığı sağlamak için üçgensel bulanık sayılardan yararlanılabilmektedir (Kannan ve ark., 2014). Literatürde birbirinden farklı çok sayıda dilsel değişken ölçeği geliştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada Bulanık Gri İlişkisel Yöntem ile alternatiflerin derecelendirilmesinde üçgensel bulanık sayılar ve Tablo 2.1’de verilen dilsel değişken ölçeği kullanılmıştır.

**Tablo 2.1.** Dilsel değişken ölçeği. (Goyal ve Grover, 2012)

| Dilsel Değişkenler | Bulanık Sayılar  |
|--------------------|------------------|
| Çok Düşük          | (0 ; 0 ; 3,)     |
| Düşük              | (0 ; 0,25 ; 0,5) |
| Orta               | (0,3 ; 0,5; 0,7) |
| Yüksek             | (0,5 ;0,75; 1)   |
| Çok Yüksek         | (0,7; 1; 1)      |

## 2.5. Pisagor Bulanık Kümeler

Atanassov (1986), Zadeh'in Bulanık Küme teorisi teorisini geliştirerek Sezgisel Bulanık Küme kavramını literatüre katmıştır. Bulanık küme teorisinde üyelik derecesi  $[0,1]$  kapalı aralığında tanımlanmıştır, Sezgisel Bulanık küme teorisinde ise üyelik derecesinin yanında üye olmama derecesi de bulunmaktadır, her iki derecelendirme de  $[0,1]$  kapalı aralığında yer almaktadır ve bu iki derecelendirmenin toplamının sonucu 1 olmayabilir (Yıldırım ve Kuzu Yıldırım, 2022).

Bazı durumlarda, Sezgisel bulanık kümeler üyelik derecelerinin toplamının 1'den büyük olduğu koşulları açıklayamamaktadır, bu yüzden Yager 2013 yılında Pisagor Bulanık Küme teorisini geliştirmiştir. Pisagor Bulanık Kümeler, belirsizliğin giderilemediği durumları tanımlayabilmek için Sezgisel Bulanık Kümelerin genişletilmiş versiyonu olarak da ifade edilebilir, bu durum Pisagor Bulanık Kümelerin diğer yöntemlere göre daha esnek olmasına imkan tanımaktadır (Gül, 2018).

Pisagor Bulanık Küme teorisinde üyelik derecesi ve üye olmama derecesinin toplamı 1'den büyük olabilmektedir fakat bu derecelerın karelerinin toplamı 1'den büyük olamamaktadır.

Pisagor Bulanık Kümeler aşığıdaki denklem 2.11'de verilen fonksiyonla tanımlanmaktadır.  $P$  bir Pisagor bulanık kümeyi,  $X$  sonlu kümeyi temsil etmektedir.

$$P = \{ \langle x, P(\mu_p(x), v_p(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.11)$$

Üye olma derecesi denklem 2.12, üye olmama derecesi ise denklem 2.13 ile verilmiştir.

$$\mu_p(x) : X \mapsto [0,1], x \in X \quad (2.12)$$

$$v_p(x) : X \mapsto [0,1], x \in X \quad (2.13)$$

Fonksiyonları verilen her iki derecenin karelerinin toplamı denklem 2.14'te verildiği gibi 1'den büyük olamamaktadır (Oruç, 2021).

$$0 \leq \mu_p(x)^2 + v_p(x)^2 \leq 1, , x \in X \quad (2.14)$$

Üyelik derecesinin 1'den daha küçük olduğu durumlarda tereddüt derecesi parametresinden bahsedilmektedir. Bu durum söz konusu olduğunda küme elemanlarının tereddüt dereceleri denklem 2.15'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - (\mu_p(x))^2 - (v_p(x))^2}, x \in X \quad (2.15)$$

Pisagor Bulanık sayılar ile yapılan işlemler ise aşağıda sırayla verilmiştir.

$A = P(\mu_{pA}, v_{pA})$  ve  $B = P(\mu_{pB}, v_{pB})$  iki Pisagor bulanık sayı olarak tanımlanmıştır.  $\lambda > 0$  ve sabit sayı olduğu kabul edilmektedir. denklem 2.16 ve 2.17 sırasıyla iki Pisagor Bulanık Sayının toplamı ve çarpımını, denklem 2.18 bir Pisagor Bulanık sayının bir katsayıyla çarpımını, denklem 2.19 bir Pisagor Bulanık Sayının kuvvetinin alınmasını göstermektedir (Yazıcı ve ark., 2021).

$$A \oplus B = P\left(\sqrt{(\mu_{pA})^2 + (\mu_{pB})^2}, v_{pA}v_{pB}\right) \quad (2.16)$$

$$A \otimes B = P\left(\mu_{pA}\mu_{pB}, \sqrt{(v_{pA})^2 + (v_{pB})^2} - v_{pA}^2v_{pB}^2\right) \quad (2.17)$$

$$\lambda A = P\left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{pA}^2)^\lambda}, (v_{pA})^2\right) \quad (2.18)$$

$$A^\lambda = P\left((\mu_{pA})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{pA}^2)^\lambda}\right) \quad (2.19)$$

İki Pisagor bulanık sayı arasındaki uzaklık denklem 2.20'de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Zhang ve Xu, 2014).

$$d(A - B) = \frac{1}{2} \left( |(\mu_{pA})^2 - (\mu_{pB})^2| + |(v_{pA})^2 - (v_{pB})^2| + |(\pi_{pA})^2 - (\pi_{pB})^2| \right) \quad (2.20)$$

$A = P(\mu_{pA}, v_{pA}, \pi_{pA})$  bir Pisagor bulanık sayı olmak üzere durulaştırma işlemi denklem 2.21'de verildiği gibi yapılmaktadır (Özgün, 2021).

$$\text{def } A = \frac{\mu_{pA} + 4v_{pA} + \pi_{pA}}{6} \quad (2.21)$$

## 2.6. Pisagor Bulanık AHP

Geleneksel AHP Yöntemi belirlenen seçenekleri kullanarak alternatiflerin ikili olarak kıyaslanması temeline dayanmaktadır. Bu yöntemle birlikte karar vericiler tutarlı kararlar vermektedir, aynı zamanda ikili kıyaslama yapıldığı için karar vericilerin karar verme süreci kolaylaşmaktadır, diğer bir deyişle AHP, karar verme sürecinin sistematik şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Belirsizliğin olduğu durumlarda çözüme ulaşabilmek için Bulanık Mantık ve AHP birbirine entegre edilerek Bulanık AHP yöntemi geliştirilmiştir. Çözüm aşamasında geleneksel yöntemde net değerler kullanılırken bu yöntemde kıyaslama oranları dilsel değerler kullanılarak belirlenmektedir (Oruç, 2021). AHP her ne kadar karar vericilerin subjektif görüşlerini içerse de net değerler kullanıldığı için karar vericilerin görüşleri tam olarak yansıtamamaktadır, Bulanık AHP bu durumu engellemeyi amaçlamaktadır (Satıcı, 2023). Ancak bulanık kümelerin cevap veremediği durumlarda Bulanık AHP yöntemi yetersiz kalmaktadır. Yager'in 2013 yılında geliştirdiği Pisagor Bulanık Kümeler diğer Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine entegre edilebildiği gibi AHP yöntemine de entegre edilebilmektedir. Karar verme sürecinde Pisagor Bulanık AHP Yöntemi, Bulanık AHP yöntemine göre esnek bir çözüm sunmaktadır. Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibidir.

Pisagor Bulanık Sayılarda karar vericilerin kriter veya ağırlıkları değerlendirdiği dilsel değişken ölçeği Tablo 2.2.'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Pisagor bulanık sayı ölçeği ve dilsel değişkenler. (İlbahar ve ark., 2018)

| Dilsel Değişkenler    | Pisagor Bulanık Sayılar                               |                                                        |                                                         |                                                          |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                       | En<br>Düşük<br>Üye<br>Olma<br>Derecesi<br>( $\mu_L$ ) | En<br>Yüksek<br>Üye<br>Olma<br>Derecesi<br>( $\mu_U$ ) | En<br>Düşük<br>Üye<br>Olmama<br>Derecesi<br>( $\nu_L$ ) | En<br>Yüksek<br>Üye<br>Olmama<br>Derecesi<br>( $\nu_U$ ) |
| Kesinlikle Düşük (KD) | 0.0                                                   | 0.0                                                    | 0.9                                                     | 1.0                                                      |
| Çok Düşük (ÇD)        | 0.1                                                   | 0.2                                                    | 0.8                                                     | 0.9                                                      |
| Düşük (D)             | 0.2                                                   | 0.35                                                   | 0.65                                                    | 0.8                                                      |
| Ortalamanın Altı (OA) | 0.35                                                  | 0.45                                                   | 0.55                                                    | 0.65                                                     |

**Tablo 2.2. (Devamı)** Pisagor bulanık sayı ölçeği ve dilsel değişkenler. (İlbahar ve ark., 2018)

| Dilsel Değişkenler     | Pisagor Bulanık Sayılar                |                                         |                                        |                                         |
|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                        | En Düşük Üye Olma Derecesi ( $\mu_L$ ) | En Yüksek Üye Olma Derecesi ( $\mu_U$ ) | En Düşük Üye Olmama Derecesi ( $v_L$ ) | En Yüksek Üye Olmama Derecesi ( $v_U$ ) |
| Eşit (E)               | 0.1965                                 | 0.1965                                  | 0.1965                                 | 0.1965                                  |
| Ortalama (O)           | 0.45                                   | 0.55                                    | 0.45                                   | 0.55                                    |
| Ortalamanın Üstü (OÜ)  | 0.55                                   | 0.65                                    | 0.35                                   | 0.45                                    |
| Yüksek (Y)             | 0.65                                   | 0.8                                     | 0.2                                    | 0.35                                    |
| Çok Yüksek (ÇY)        | 0.8                                    | 0.9                                     | 0.1                                    | 0.2                                     |
| Kesinlikle Yüksek (KY) | 0.9                                    | 1.0                                     | 0.0                                    | 0.0                                     |

Aşama 1: Karar vericilerden alınan görüşler ve Tablo 2.2.'de verilen Dilsel değişkenler kullanılarak ikili kıyaslama matrisi oluşturulur.

$$R = (r_{ij})_{mxm} \quad (2.22)$$

Aşama 2: Üye olma ve üye olmama derecelerinin en yüksek ve en düşük derecelerinin fark matrisi oluşturulmaktadır. Denklem 2.24 ve denklem 2.25'te verilmiştir.

$$D = (d_{ij})_{mxm} \quad (2.23)$$

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - v_{ijU}^2 \quad (2.24)$$

$$d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - v_{ijL}^2 \quad (2.25)$$

Yukarıda verilen denklemlerde  $i$ . sütun ve  $j$ . satırda bulunan en düşük üye olma derecesi  $\mu_{ijL}$ ,  $i$ . sütun ve  $j$ . satırda bulunan en yüksek üye olma derecesi  $\mu_{ijU}$ ,  $i$ . sütun ve  $j$ . satırda bulunan en düşük üye olmama derecesi  $v_{ijL}$ ,  $i$ . sütun ve  $j$ . satırda bulunan en yüksek üye olmama derecesi  $v_{ijU}$  elemanları ile ifade edilmektedir (Yazıcı ve ark., 2022).

Aşama 3: Aralıklı Çarpım Matrisi oluşturulmaktadır. Denklem 2.27 ve denklem 2.28'de verilmiştir.

$$S = (s_{ij})_{mxm} \quad (2.26)$$

$$S_{ijL} = \sqrt{1000^{d_L}} \quad (2.27)$$

$$S_{ijU} = \sqrt{1000^{d_U}} \quad (2.28)$$

Aşama 4: Denklem 2.30 kullanılarak  $r_{ij}$  'nin her kriteri için Belirsizlik Değeri Matrisi (Tereddüt dereceleri) oluşturulmaktadır.

$$H = (h_{ij})_{mxm} \quad (2.29)$$

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (v_{ijU}^2 - v_{ijL}^2) \quad (2.30)$$

Aşama 5: Normalleştirilmemiş Ağırlık Matrisi, Aralıklı Çarpım Matrisi ve Belirsizlik Değeri Matrisi çarpılarak hesaplanmaktadır. Denklem 2.32'te verilmiştir.

$$T = (\tau_{ij})_{mxm} \quad (2.31)$$

$$\tau_{ij} = \left( \frac{S_{ijL} + S_{ijU}}{2} \right) h_{ij} \quad (2.32)$$

Aşama 6: Denklem 2.33 kullanılarak kriterlerin normalize edildikten sonraki ağırlıkları olan  $w_i$  değeri hesaplanmaktadır (Özcan, 2019).

$$R = (r_{ij})_{mxm} w_i = \frac{\sum_{j=1}^m \tau_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tau_{ij}} \quad (2.33)$$

## 2.7. Bulanık Gri İlişkisel Analiz

Gri Sistem Teorisi, 1982 senesinde Julong Deng tarafından literatüre kazandırılmıştır, bu çalışmanın ardından Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri'nden birisi olan Gri ilişkisel Analiz ortaya çıkmıştır. Gri sistem teorisi, siyah ve beyazdan oluşan bir renk ölçeği aracılığıyla mevcut bilgi durumunu değerlendirme üzerine kurulmuş bir sistemdir. Net şekilde bilgi sahibi olunan ve herhangi bir belirsizliğin olmadığı sistemler beyaz ile ifade edilirken, bu durumun zıttı olan belirsizlik içeren ve elde mevcut bilgi olmadığı sistemler siyah ile ifade edilmektedir. Kısmen bilgiye sahip olunan sistem ise gri renk ile sembolize edilmektedir. Gri sistem, günlük hayatta karşılaşılan problemlere en uygun yaklaşıma sahip olan sistem olarak da açıklanmaktadır (Şenocak, 2016).

Günlük hayattaki problemler incelendiğinde neredeyse hiçbir durum tamamen siyah ya da beyazla ifade edilememektedir. Gri sistem teorisinin hedefi; mevcutta siyah olan bilgiyi gri renge dönüştürebilmektir, bu sistemlerin spesifik özelliği; sistem parametrelerinin, parametreler arasındaki ilişkinin ve sistemin ilerleme sürecinin belirsiz olmasıdır (Deng, 1989).

Gri Sistem Teorisi başlığı altında çok sayıda metot geliştirilmiştir, bu sistemden türetilen Gri İlişkisel Analiz literatürde en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Sistemde mevcut bilgi yetersiz olduğunda, sistemin parametreleri arasındaki ilişki karışık olduğunda tercih edilmektedir. Sistem parametreleri arasındaki farkların ya da benzerliklerin matematiksel model ile ifade edilmesine altyapı sağlamaktadır. Bir karar verme sürecinde belirlenen her bir kritere göre her alternatifin diğer alternatifler içinde en uygun olabilecek alternatife olan uzaklığına bağlı olarak seçim yapmayı olanak tanımaktadır (Kuo ve Liang, 2011).

Gri İlişkisel Analiz, büyük miktarda veri gerektiren diğer klasik yöntemlerle kıyaslandığında aşağıdaki avantajlara sahip olduğu görülmüştür.

- Yeterli bilgi bulunmayan belirsiz problemleri çözebilmektedir.
- Çözüm sürecinde basit ve kolay hesaplamalar kullanılmaktadır.
- Çok sayıda veri örneği gerektirmemektedir.
- Verilerin tipik bir dağılıma sahip olması şart değildir.
- Elde edilen niceliksel sonuçlar, nitel analizle elde edilen sonuçlarla çelişmemektedir (Liaou ve ark., 2011).

Yukarıda bahsedilen avantajlardan dolayı hem tek başına hem de diğer yöntemlere entegre edilerek karar verme süreçlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisidir (Köse ve ark., 2013).

Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'nin bulanık ortamda ve bulanık kümeler kullanılarak geliştirilmiş hali olarak ifade edilmektedir (Sarsour ve ark. 2020). Bu yöntem karar vericilerin düşüncelerini sözel olarak ifade etmelerine olanak sağlamaktadır ve böylelikle karar verme sürecinin değerlendirme işlemi günlük hayata uygun şekilde yürütülmektedir (Zegerek, 2014). Aşağıda Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi'nin aşamaları verilmiştir.

Aşama 1: Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi için ilk olarak Dilsel değişken ölçeğinden yararlanılarak karar matrisi elde edilmektedir. Bu çalışmada Tablo 2.1.'de verilen dilsel değişken ölçeği kullanılmıştır.

Karar matrisi, karar verme probleminde ilgili  $m$  adet alternatifin ve  $n$  adet kriterin matris halinde ifade edilmesiyle oluşturulmaktadır (Şenocak, 2016).

$$\tilde{x} = \begin{pmatrix} (l, m, u)_1(1) & \cdots & (l, m, u)_1(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (l, m, u)_m(1) & \cdots & (l, m, u)_m(n) \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

Denklem 2.34'te verilen karar matrisinde  $x = (l, m, u)$  değerlerinin her biri bir üçgensel bulanık sayıyı temsil etmektedir (Akyurt ve Kabaday, 2020).

Aşama 2: Karar matrisi denklem 2.35 ve denklem 2.36 kullanılarak normalize edilmektedir.  $r_{ij}$  normalize değerleri ifade etmektedir.

$i = 1, 2, 3 \dots, m$  ve  $j = 1, 2, 3 \dots, n$  olmak üzere;

$$r_j^+ = \max r_{ij} \text{ ise } r_{ij} = \left( \frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \quad (2.35)$$

$$l_j^- = \min l_{ij} \text{ ise } r_{ij} = \left( \frac{l_j^-}{u_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{m_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{l_{ij}^-} \right) \quad (2.36)$$

Normalizasyon aşamasında, ağırlıklarının hesaplanması amaçlanan kriterlerin özelliği belirleyicidir bu yüzden iki farklı denklemden yararlanılmaktadır. Öncelikle kriterler tek tek incelenmektedir, eğer kriterin amaç fonksiyonu maksimizasyon yani fayda kriteri ise denklem 2.35'ten yararlanılırken, kriterin amaç fonksiyonu minimizasyon yani maliyet kriteri ise denklem 2.36'dan yararlanılmaktadır. Elde edilen normalize karar matrisi denklem 2.37'de verilmiştir.

$$\tilde{X}^* = \begin{pmatrix} (l, m, u)_1^*(1) & \cdots & (l, m, u)_1^*(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (l, m, u)_m^*(1) & \cdots & (l, m, u)_m^*(n) \end{pmatrix} \quad (2.37)$$

Aşama 3: Normalize edilmiş karar matrisinde, ideal durumda veya ideale en yakın durumda olan değerlere sahip olan alternatifler her kriter için tek tek belirlenmektedir. Referans serisi oluşturulurken denklem 2.38 veya denklem 2.39 kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonu maksimizasyon ise denklem 2.38, amaç fonksiyonu minimizasyon ise denklem 2.39'dan yararlanılmaktadır.

$j = 1,2,3,4 \dots \dots \dots, n$  olmak üzere;

$$R_0 = r_{01}, \dots \dots \dots, r_{0n} = \max r_{ij} \quad (2.38)$$

$$R_0 = r_{01}, \dots \dots \dots, r_{0n} = \min r_{ij} \quad (2.39)$$

Aşama 4: Referans seriler ve normalize karar matrisi ve arasındaki uzaklık denklem 2.40 yardımıyla hesaplanmaktadır. Elde edilen matris uzaklık matrisi olarak adlandırılmaktadır. Matris, denklem 2.41’de verilmiştir.

$$d(\tilde{X}^*, R_0) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (2.40)$$

$$\Delta_{0i} = \begin{pmatrix} \Delta_{01}(1) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0m}(1) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{pmatrix} \quad (2.41)$$

Aşama 5: Gri İlişki Katsayıları Matrisi, denklem 2.42 kullanılarak elde edilmektedir, elde edilen matris denklem 2.43’te verilmiştir (Sarucan ve Demircan, 2018).

$\Delta_{max} = \max_i \max_j$  ve  $\Delta_{min} = \min_i \min_j$  olmak üzere;

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(j) + \zeta \Delta_{max}} \quad (2.42)$$

Ayırt edici katsayı olarak ifade edilen  $\zeta$  katsayısı  $[0,1]$  kapalı aralığında değere sahip olabilmektedir. Literatür incelendiğinde ilgili katsayının çoğunlukla 0,5 değeriyle kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada da  $\zeta$  katsayısı 0,5 olarak kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalar ayırt edici katsayının değiştirilmesiyle alternatifler arasındaki sıralamanın değişmediğini göstermektedir.  $\Delta_{max}$  dizisinde uç bir değer olma ihtimalinin önüne geçmek için kullanılmaktadır (Özdemir ve Deste, 2009).

$$\gamma_{0i} = \begin{pmatrix} \gamma_{01}(1) & \dots & \gamma_{01}(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{0m}(1) & \dots & \gamma_{0m}(n) \end{pmatrix} \quad (2.43)$$

Aşama 6: Gri İlişki Dereceleri hesaplanırken hedef, her bir alternatifin referans serisine göre farklılık seviyelerini veren değerlere ulaşmaktır, daha öncesinde elde edilen kriter ağırlıkları Gri İlişkisel Katsayı Matrisi ile çarpılmaktadır. Bu sonuçlar alternatiflerin önceliklendirilmesinde, sıralamasında kullanılan nihai sonuçlardır ve karar verme

sürecine doğrudan etki etmektedir. Kriterlerin Gri İlişki Dereceleri  $\Gamma_{0i}$  ile, Gri İlişki Katsayıları  $\gamma_{0i}$  ile gösterilmektedir,  $w_i(j)$  ise  $j$ . kriterin ağırlığını temsil etmektedir. denklem 2.44'te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Şenocak, 2016).

$i = 1,2,3,4 \dots \dots \dots, m$  ve  $j = 1,2,3,4 \dots \dots \dots, n$  olmak üzere;

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n (w_i(j)\gamma_{0i}(j)) \quad (2.44)$$

## 2.8. Literatür Taraması

Literatür incelendiğinde çok sayıda ÇKKV Yöntemleri ile ilgili çalışmanın mevcut olduğu görülmüştür. ÇKKV Yöntemleri'nden olan Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Yöntemi'nin kullanıldığı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Yıldız ve ark. (2019) çalışmalarında Avrupa birliği üyesi ülkelerin içinde bulunduğu yaşam şartlarını analiz etmeyi amaçlamıştır, uzmanların belirlemiş oldukları kriterler Modifiye Delphi Yöntemiyle birleştirilmiştir, belirlenen 9 kriter Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır, çalışmanın devamında Avrupa Birliği üyesi otuz bir ülke belirlenmiş ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemiyle analiz edilmiştir.

Yılmaz ve Yıldız (2022) Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önceliklendirilmesini yapmışlardır. Çalışmada Ar-Ge projelerini değerlendirmek için kullanılacak olan on dört adet kriter belirlenmiştir, belirlenen kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır, elde edilen sonuçlara göre "Ulusal/Uluslararası piyasada ticarileşme potansiyeli" kriteri ağırlığı en yüksek kriter olarak belirlenmiştir.

Kara ve Eren (2023) yaptıkları çalışmada afet sonrası hasar tespit amacıyla kullanılan dronelerin seçimini farklı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle yapmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada yedi adet kriter belirlenmiş ve kriterlerin ağırlıklandırılması Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle yapılmıştır, devamında bu ağırlıklar kullanılarak TOPSIS ve PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method For Enrichment Evaluations) yöntemiyle beş farklı alternatif değerlendirilmiştir, her iki yöntemde de en iyi ve en son tercih edilmesi gereken alternatifin aynı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yazıcı ve ark. (2021) Hidroelektrik Santrallerinin Bakımı için tercih edilecek stratejiler için hiyerarşik karar modeli önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada ilk olarak bakım stratejilerinin tercih edileceği ekipman sınıfı belirlenmiştir, ardından yedi adet kriterin Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle ağırlıkları belirlenmiştir, belirlenen ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemiyle en kritik ekipman seçilmiştir. Beş yüz altmış üç farklı alternatif arasından en kritik ekipman generatör olarak belirlenmiştir.

Yücesan ve Gül (2019) Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak hastanelerdeki hizmet kalitesini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, bir adet özel ve iki adet kamu hastanesinde otuz iki farklı kriter ile değerlendirme yapılmıştır. Uzmanlar tarafından belirlenen kriterler Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklar ile üç hastanenin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ma ve ark. (2022) çalışmalarında yeni ürün konsept tasarımlarının değerlendirilmesinde Pisagor Bulanık Kümeler ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile bir çözüm karar modeli önerisinde bulunmuşlardır. Pisagor Bulanık Sayılar, AHP ve TOPSIS yöntemine entegre edilerek yirmi bir farklı kriterin ağırlıkları belirlenmiştir ve yine aynı yöntemlerle üç farklı alternatifin seçimi yapılmıştır. Gelecek araştırmalarda daha farklı karar modeli geliştirebilmek için Pisagor Bulanık Sayıların diğer Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine entegre edilebileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Çelik ve Yıldız (2022) günümüzde iklim değişikliğinden dolayı ortaya çıkan sorunlara daha duyarlı yaklaşan işletmeleri göz önüne alarak yeşil inovasyon faaliyetlerinin önceliklerini araştırmışlardır. Çalışmada yeşil inovasyon faaliyetleri için dokuz kriter belirlendikten sonra bu kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile önem derecesine göre sıralanmıştır. “Karbon ayak izinin azaltılması” kriteri öncelikli kriter olarak belirlenmiştir.

Karasan ve ark. (2019) Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi’ni geliştirmek amacıyla yeni bir Pisagor Bulanık AHP yöntemi önermişlerdir ve yeni yöntemlerini İstanbul’da atık depolama alanı seçimi problemini çözmek için uygulamışlardır. Belirlenen dört adet ana kriter ve toplamda on iki adet kriter Pisagor Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın devamında beş adet depolama alanı alternatifi için aynı yöntem ile sıralama yapılmıştır. Sonuçlar tutarlılık analizi ile de incelenmiştir.

Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık AHP yöntemleri ile elde edilen sonuçların yakın ve tutarlı olduğu yorumu yapılmıştır.

Otay ve Jaller (2020) rüzgar enerji santrali için yer seçimi yapmayı amaçlamışlardır. Çalışmada üç farklı uzman görüşü alınarak; dört adet alternatif, yedi adet ana kriter olmak üzere toplamda yirmi beş adet kriter belirlenmiştir, kriterler Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır ardından alternatifler sıralanmıştır. Pisagor bulanık sayılar ile entegre olarak kullanılan AHP ve TOPSIS yönteminin tutarlı sonuçlar verdiği ve Pisagor bulanık sayıların farklı analiz yöntemlerine de entegre edilerek çalışılabileceği yorumu yapılmıştır.

Ayyıldız ve ark. (2021) mülteci kampı yer seçimi için Pisagor Bulanık Sayılar tabanlı AHP ve WASPAS yöntemi ile İstanbul için bir vaka çalışması yapmışlardır. Çalışmada yedi adet ana kriter olmak üzere toplamda yirmi sekiz adet kriter belirlenmiştir. Kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılarak sıralanmıştır. Uzman karar vericiler Esenyurt, Başakşehir, Küçükçekmece, Bağcılar, Zeytinburnu, Fatih ve Sultangazi olmak üzere yedi adet alternatif belirlemiştir. Kriter ağırlıkları kullanılarak bu alternatifler Pisagor Bulanık WASPAS yöntemi ile sıralanmıştır. Analiz sonucunda mülteci kampı yeri seçimi için en uygun alternatifin Başakşehir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zhui ve Li (2018) Pisagor Bulanık Sayıları Çok Kriterli Grup Karar Verme Yöntemlerine entegre ederek bir işletme için uygun ERP sistemini seçmeye çalışmışlardır. Belirlenen kriterler ve alternatifler sekiz farklı Pisagor Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Grup Verme yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda yedi yöntemin aynı sıralamayı verdiği görülmüştür.

Kaya ve ark. (2020) elektrik elektronik atıkları için geri dönüşüm tesislerinin yer seçimini yapmayı amaçlamışlardır. Çalışmada dört ana kriter, toplam on beş kriter ve üç alternatif uzman karar vericiler tarafından belirlenmiştir, önce kriterlerin ağırlıklandırması devamında ise bu ağırlıklar kullanılarak tesis yeri seçimi Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar klasik AHP yöntemiyle karşılaştırılmış ve analizin tutarlı olduğu yorumu yapılmıştır.

Lahane ve Kant (2021) döngüsel tedarik zinciri operasyonlarını engelleyen faktörlerin karşılıklı ilişkilerini ve bu faktörlerin döngüsel tedarik zincirine olan etkilerini değerlendirmek amacıyla Pisagor Bulanık Sayı Tabanlı AHP ve Pisagor Bulanık Sayı

Tabanlı DEMATEL Yöntemi analizine dayalı bir model geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda Pisagor Bulanık Tabanlı sayıların ELECTREE, SWARA, WASPAS, PROMETHEE gibi Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine uygulanabileceği tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Bolakar Tosun (2021) çalışmasında Pisagor Bulanık AHP ve Regresyon Analizi kullanarak Yüksek Hızlı Tren gecikmelerini yeni bir yaklaşım ile değerlendirmiştir. Çalışmada Yüksek Hızlı Tren Gecikmelerine sebep olan kriterlerin regresyon analizi yapılmıştır ve sonuçlara göre gecikmeyi etkileyen en önemli değişken D2 olarak bulunmuştur. Çalışmanın devamında gecikmeyi etkileyen kriterler Pisagor Bulanık AHP yöntemine göre ağırlıklandırılmıştır, ağırlıklandırma sonucunda en yüksek oran %36,52 ile D2 kriteri olarak belirlenmiştir.

Ayyıldız ve ark. (2023) Türkiye’de yetiştirilen fındıkların ekim sürecini analiz etme amacıyla Pisagor Bulanık AHP ile entegre Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada belirlenen müşteri beklentileri Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın devamında beklentilerin karşılanması için gerekli olan teknik özellikler belirlenmiştir. Teknik özellikler ve müşteri beklentileriyle ilişkili Kalite Evi Matrisi oluşturulmuş, sonuçlar analiz edilmiştir.

Sarkar ve Biswas (2021) tedarik zincirinde ulaştırma şirketlerinin seçimine ilişkin belirsizlikleri ortadan kaldırmak amacıyla Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları literatürde kullanılan farklı yöntemlerle kıyaslamışlardır.

Sancar (2022) çalışmasında Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık WASPAS Yöntemleri ile Bakım Stratejisi seçimi yapmayı amaçlamıştır. Çalışmada dört adet ana kriter olmak üzere toplamda on adet kriter belirlenmiştir, bu kriterler öncelikle Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır, çalışmanın ikinci kısmında beş farklı alternatif belirlenmiştir, çalışmanın ilk kısmında elde edilen kriter ağırlıkları da kullanılarak Pisagor Bulanık WASPAS Yöntemi ile bakım stratejisi alternatifleri önceliklendirilmiştir.

Özgün (2021) çalışmasında Türkiye’de yenilebilir enerji kaynaklarının alternatiflerinin seçimi için Pisagor Bulanık AHP yöntemi önerilmiştir. Çalışmanın devamında Pisagor Bulanık TOPSIS ve Pisagor Bulanık VIKOR (VIse Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje) Yöntemi ile en uygun alternatif seçimi

yapmayı amaçlamıştır. Çalışmanın ilk kısmında Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır, çalışmanın ikinci kısmında alternatifler Pisagor Bulanık TOPSIS ve Pisagor Bulanık VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır, kullanılan bu metotlar kıyaslandığında her iki metotta elde edilen sıralamanın aynı olduğu görülmüştür, ayrıca yapılan duyarlılık analizinde ana kriter ağırlıkları değişse bile elde edilen sıralamanın değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Utku (2023) çalışmasında aydınlatma ürünleri yapan bir işletmede Endüstri 4.0 operasyonlarında karşılaşılan zorlukları Pisagor Bulanık sayı tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri'nden olan Pisagor Bulanık CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation), Pisagor Bulanık SWARA, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemleriyle analiz etmiştir.

Satıcı (2023) çalışmasında bir enerji dağıtım firmasında insan kaldırma ekipmanlarının mesleki risklerinin değerlendirmesi için yeni bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada mesleki risklerin Fine Kinney Tabanlı Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık COPRAS yöntemi ile analizi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde Fine Kinney yöntemi parametrelerinin Bulanık AHP ile ağırlıklandırılması yapılmıştır. Çalışmanın devamında aynı parametreler Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Fine Kinney tabanlı Pisagor Bulanık Kümeler ile entegre olarak diğer Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile analiz yapılabileceği önerilmiştir.

Oruç (2021) çalışmasında sıfır atık uygulaması sırasında karşılaşılan zorlukları Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile analiz etmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın ilk bölümünde dört farklı uzman karar verici tarafından ana ve alt kriterler Pisagor Bulanık dilsel değişkenlerle değerlendirildikten sonra Python programlama dili yardımıyla Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır, ağırlıklandırılan kriterler önem derecesine göre sıralanmıştır.

Tepe (2023) yaptığı çalışmada ilkokulda okuyan öğrencilerin kodlama eğitimi için kullanılacak kodlama programını Küresel Bulanık AHP Yöntemi ve Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile bulmayı hedeflemiştir. Her iki yöntemde de en iyi alternatifin Tynker adlı kodlama programı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Mohd ve Abdullah (2017) çalışmalarında yönetici seçimi problemini çözmeyi amaçlamışlardır ve değerlendirme kriterlerinin kriter ağırlıklarını belirlemek için Pisagor Bulanık AHP yöntemini önermişlerdir.

Akyurt ve Kabadayı (2020) çalışmalarında farklı kargo uçağı tiplerinin seçimi için alternatif bir çözüm önerisinde bulunmayı amaçlamışlardır. Çalışmada belirlenen üç ana kriter ve bu kriterlerin toplamda on altı adet alt kriter ağırlıkları Bulanık AHP ile hesaplanmıştır ardından bu ağırlıklar kullanılarak Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile dört farklı uçak tipi açasında seçim yapılmıştır.

Ulutaş ve ark. (2018) otomotiv elektrik aksamaları üreten bir firma için personel seçimi yapmayı amaçlamışlardır. Çalışmada beş farklı kriter Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır ve bu ağırlıklar kullanılarak beş farklı personel arasından en uygunun seçimi Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile yapılmıştır.

Ergül (2015) bir gıda işletmesinde tedarikçi seçimi problemini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmada kriterler Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırıldıktan sonra Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ve MOORA Yöntemine göre alternatifler arasından tedarikçi seçimi yapılmıştır.

Sarucan ve Demircan (2018) yapmış oldukları çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı'nda iş gören yetkinlik analizini yapmayı hedeflemişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında belirlenen yetkinliklerin ağırlıkları Bulanık AHP Yöntemi ile bulunmuştur çalışmanın ikinci aşamasında ise kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile çalışanların yetkinlik sıralaması yapılmıştır.

Madenoglu (2019) yapmış olduğu çalışmada bir mobilya işletmesinde yeşil tedarikçi seçimi problemini Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile çözmeyi hedeflemiştir. Çalışmada yeşil tedarikçi kriter ağırlıkları Bulanık SWARA Yöntemi ile belirlenmiştir, tedarikçi öncelik sıralaması ise Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR, Bulanık Gri İlişkisel Analiz ve Bulanık ARAS (Additive Ratio Assessment) olmak üzere dört farklı Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemi ile yapılmıştır.

Kuo ve Liang (2011) uluslararası havalimanlarındaki hizmet kalitesi problemlerinin değerlendirilmesi amacıyla yeni bir Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi önermişlerdir. Önerilen modelde Kuzeydoğu Asya bölgesinde bulunan yedi adet havalimanının hizmet kalitesine göre öncelik sıralaması Bulanık VIKOR ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile yapılmıştır.

Chen ve Ren (2018) çeşitli alternatif havacılık yakıtlarının sürdürülebilirliğini analiz etmek amacıyla sürdürülebilirlik değerlendirme modeli geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Yapılan çalışmada sürdürülebilirlik değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir, ideal alternatif yakıt çeşidinin seçimi ise sırayla Bulanık Toplam Ağırlık Yöntemi, Bulanık TOPSIS Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile yapılmıştır. Farklı Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin birbirleriyle tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Li ve Zhao (2016) çalışmalarında endüstriyel termik santrallerin performansını değerlendirmek amacıyla Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile entegre olarak Bulanık VIKOR Yöntemini kullanarak yeni bir yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır.

TaşkınGümüş ve ark. (2013) çalışmalarında hidrojen enerjisi depolama alternatifleri arasından en uygun olanı seçmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada ilk olarak Bulanık AHP Yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır, çalışmanın devamında bu ağırlıklar kullanılarak Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile alternatifler arasında öncelik sıralaması yapılmıştır.

Çelik ve ark. (2016) en uygun yeşil lojistik tedarikçisi seçimi yapmak için yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada Bulanık AHP Yöntemi, Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılmıştır, ayrıca bu yöntemler ile kıyaslama yapmak amacıyla Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR metotları ile de değerlendirme yapılmıştır.

Liu ve ark. (2020) elektrikli araçlar için inşa edilen şarj istasyonlarının konumunu seçmek amacıyla üç aşamalı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi önermişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında Bulanık Delphi Yöntemi ile üç adet ana kriter olmak üzere 18 adet alt kriter belirlenmiştir, ikinci aşamada Bulanık Best-Worst Yöntemi ile bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir, son aşamada ise Bulanık Gri İlişkisel Yöntemi ile alternatifler arasından en uygun konumun seçimi yapılmıştır.

Zegerek (2014) acil servislerde sağlık çalışanlarının maruz kalabileceği risklerin değerlendirilmesi amacıyla DEMATEL ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Bulanık Çok Kriterli Karar Verme modeli önerisinde bulunmuştur. Çalışma Erzurum'da mevcut olan üç farklı devlet hastanesinde uygulanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde risk kriterleri DEMATEL Yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır, çalışmanın ikinci bölümünde ise hastanelerinin risk kriterlerine göre sıralaması Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile yapılmıştır.

Lee ve Kang (2019) havayolu hizmeti veren firmaların hizmet kalitesini değerlendirmek amacıyla alternatif firmaların öncelik sıralamasını yapmışlardır. Çalışmada yirmi iki adet kalite kriteri kullanılmıştır ve beş farklı havayolu hizmet şirketi Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi aracılığıyla sıralanmıştır.

MohammedOlabanji ve Mpofu (2021) yapmış oldukları çalışmada prototip boru bükme makinesinin tasarimsal sürecini hibritleştirilmiş Bulanık AHP Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada ilk olarak otuz üç adet kriter ağırlıklandırılmıştır, ikinci aşamada ise dört farklı alternatif arasından en uygun tasarım konseptinin seçimi yapılmıştır.

Zhang ve Liu (2011) yapmış oldukları çalışmada bir işletmede personel seçimi problemi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada bir yazılım firmasında sistem analizi mühendisini işe almak için ÇKKV Yöntemlerinden birisi olan Gri İlişkisel Analiz tabanlı Sezgisel Bulanık Kümeler kullanılmıştır.

Şenocak (2016) sürdürülebilir tedarikçi seçimini Bulanık ÇKKV Yöntemi ve Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemi ile yapmayı amaçlamıştır. Çalışmanın ilk bölümünde sürdürülebilir tedarikçi kriterleri Bulanık DEMATEL Yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır, çalışmanın ikinci bölümünde tedarikçiler Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile sıralanmıştır, çalışmanın son bölümünde ise alternatif tedarikçilere açılması gereken sipariş büyüklükleri hesaplanmıştır.

GökKısa (2021) yapmış olduğu çalışmada Türkiye’de dört farklı ilde bulunan çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının performanslarının değerlendirilmesini ve sıralamasını ÇKKV yöntemi ile yapmayı amaçlamıştır. Çalışmada belirlenen kriterler CRITIC yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır devamında alternatifler Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile önceliklendirilmiştir.

GülçiçekTolun ve Tümtürk (2020) çalışmada çeşitli tarım makineleri üretimi yapan bir firmada makine seçim probleminin Ahp Yöntemi ile entegre şekilde Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada ilk olarak on adet kriter belirlenmiştir ve kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır, bulunan kriter ağırlıkları da kullanılarak dört farklı makine alternatifinin öncelik sıralaması Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile yapılmıştır.

Dinçel (2020) çalışmasında çeşitli kentsel dönüşüm projelerini dört farklı ÇKKV Yöntemi ile analiz etmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın ilk aşamasında beş ana kriter

olmak üzere toplam on beş kriter belirlenmiştir ve kriterler Best Worst Yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında alternatifler sırasıyla Gri İlişkisel Analiz Yöntemi, CODAS Yöntemi ve WASPAS Yöntemi ile değerlendirilmiştir.

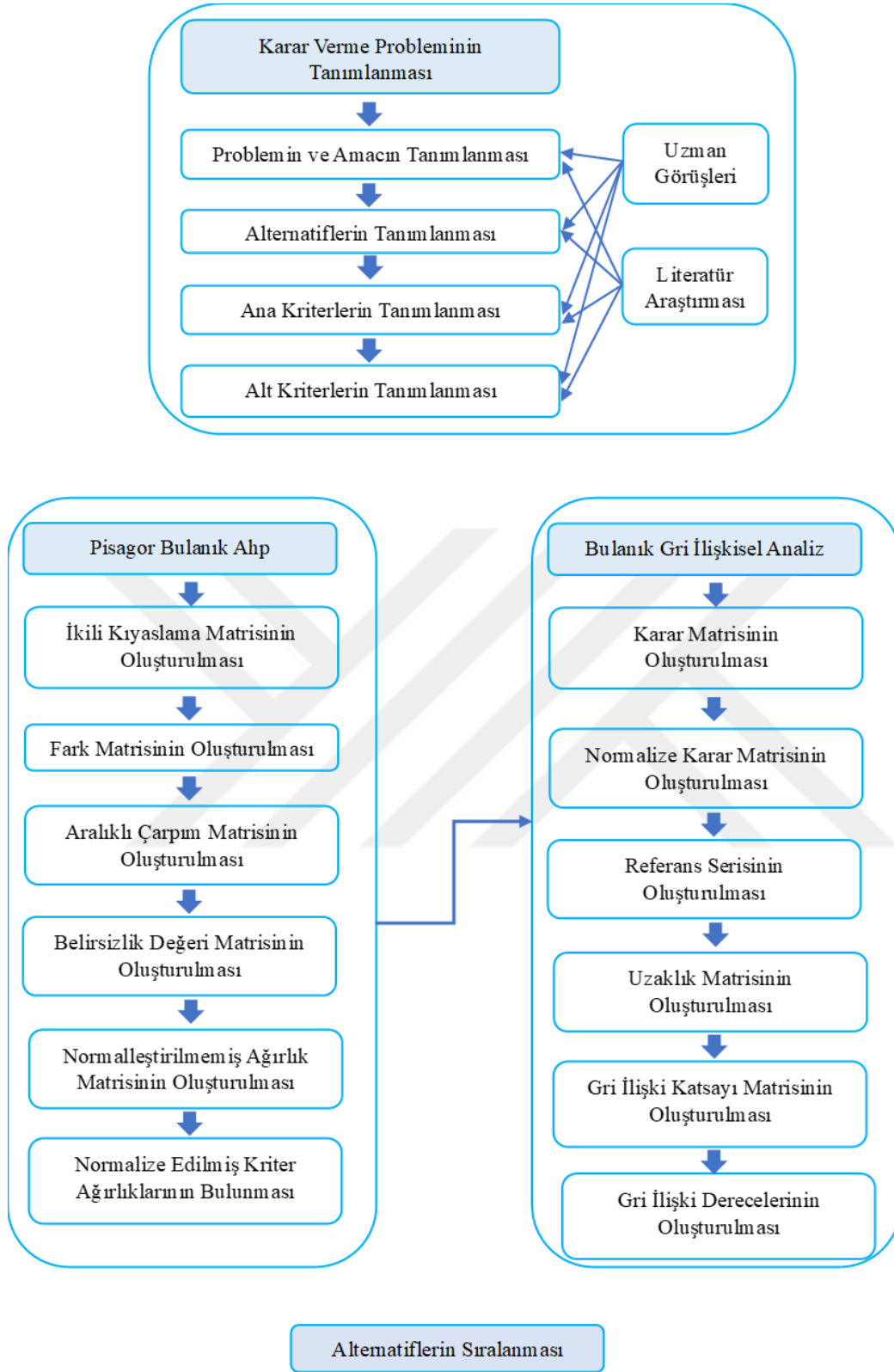




### 3. PROBLEMİN TANIMI

Çalışma bir porselen firmasında yapılmıştır, firmada bitmiş ürün deposu inşaa edilmektedir ve ürünlerin paketleme alanından depoya hangi şekilde transfer edileceğinin kararının verilmesi gerekmektedir. Üretim mühendisi, Yalın Üretim Mühendisi ve depo sorumlusundan oluşan karar verici kişiler ile görüşülüp Raylı Geçiş ve Flexi AGV, Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi, Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem, Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör olmak üzere dört farklı alternatif belirlenmiştir. Daha sonra kriterler belirlenmiştir. Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği, Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağlılık), Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması, Back-up Yönetimi, Depoda Alan Kaybı, Uygulama Süresi, Kullanım Kolaylığı ve Çevre Dostu olmak üzere dokuz adet ana kriter bulunmaktadır. Üç ana kriterin ise toplamda on bir alt kriteri bulunmaktadır. Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği ana kriterinin; Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama, Layout Değişimine Uyum Sağlama, Palet Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama, Palet Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama olmak üzere dört alt kriteri; Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması ana kriterinin; Düşük Arıza Oranı, Bakım Müdahale Kolaylığı, Düşük Yedek Parça Stok Miktarı, Servis Ulaşılabilirliği olmak üzere dört alt kriteri; Maliyet ana kriterinin; Satınalma Maliyeti, İşçilik Maliyeti, Enerji Maliyeti olmak üzere üç alt kriteri mevcuttur. Böylelikle toplamda on yedi kriter değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde uzman görüşleri alınmıştır bu görüşler dilsel değişken yardımıyla Pisagor Bulanık Sayılara dönüştürülmüştür ve kriterlerin ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP Yöntemiyle hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde uzman görüşleri alınarak alternatifler her bir kriter bazında tek tek değerlendirilmiştir, değerlendirmeler beş ölçekli dilsel değişken yardımıyla üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür, önceki bölümde hesaplanan kriter ağırlıkları da entegre edilerek Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Çalışmada izlenen akışın yapısı Şekil 3.1’de verilmiştir.



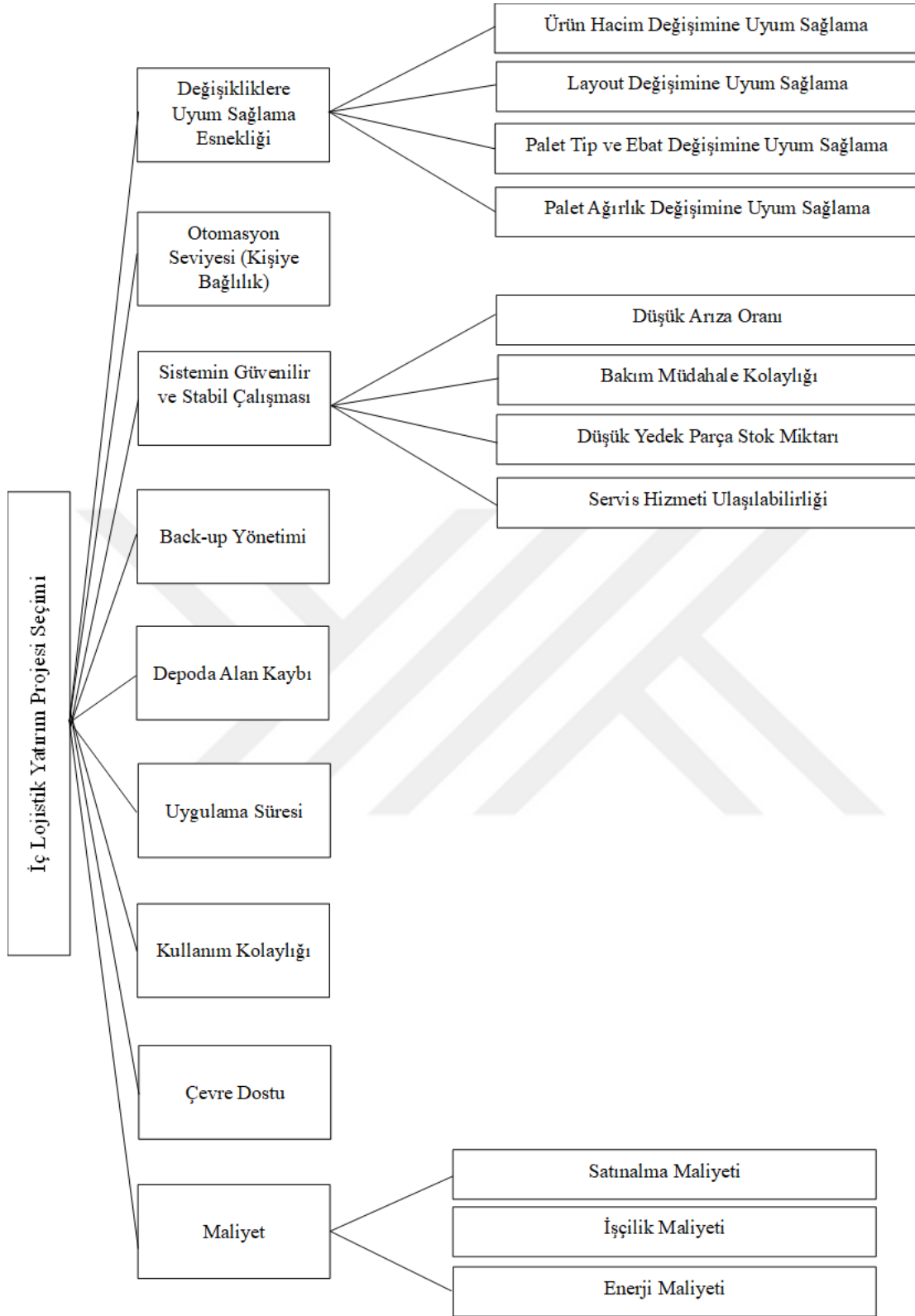
**Şekil 3.1.** Çalışmada izlenen akış yapısı

#### 4. UYGULAMA

Bu çalışmada, porselen sektöründe faaliyet gösteren bir firmada paketleme bölümü ve depo arasındaki ürün akışını sağlayacak iç lojistik sistem için en uygun yatırım projesinin seçimi amaçlanmıştır. Şekil 4.1.'de yatırım projesi probleminde kullanılacak olan ana kriterler ve alt kriterler verilmiştir. Dokuz ana kriter ve üç ana kriterin on bir adet alt kriteri olmak üzere toplamda on yedi kriter mevcuttur. Dört farklı yatırım alternatifi belirlenmiştir. Bu alternatifler aşağıda sıralanmıştır.

- Raylı Geçiş ve Flexi AGV
- Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi
- Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem
- Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör

Çalışmada ilk olarak ana ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması Pisagor Bulanık AHP Yöntemiyle yapılmıştır, ikinci aşamada ise her bir alternatif kriter bazında değerlendirilerek Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle en uygun alternatifin seçimi yapılmıştır.



Şekil 4.1. İç lojistik yatırım projesi seçimi ana ve alt kriterler.

#### 4.1. Pisagor Bulanık AHP Yöntemi

Üretim mühendisi, Yalın Üretim mühendisi, depo sorumlusundan oluşan uzman karar vericilerin görüşleri ve literatür araştırması ile kriterler belirlenmiştir, belirlenen kriterlerin ağırlıklarını değerlendirebilmek için dilsel değişkenler kullanılmıştır, kriterlerin değerlendirme sonuçları tek matriste toplanmış ve ağırlıklar Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ile hesaplanmıştır.

Uzmanların alt kriter ve ana kriter hakkındaki görüşlerini Pisagor Bulanık Sayı olarak ifade edebilmek amacıyla Tablo 2.2’de verilen ölçekten yararlanılmıştır.

##### 4.1.1. Ana kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması

Uzman karar vericiler ile görüşülerek belirlenen ana kriterler aşağıdaki gibidir.

Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği (K1): Sistem kurulduktan sonra yapılabilecek herhangi bir değişikliğe sistemin uyum sağlama yeteneğinin göstergesidir.

Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağıllık) (K2): Otomasyon seviyesi, bir sistemin mümkün olabildiğince düşük insan müdahalesiyle çalışabilmesi ve teknolojik olarak kolay bir şekilde müdahale edilebilmesidir. Örneğin, depo alanına konveyör üzerinde gelen paletlerin boşaltılması ve ayrıştırılması insan tarafından yapılıyor ise bu otomasyon seviyesinin düşüklüğünü göstermektedir, bu değer yüksek olması hedeflenmektedir.

Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması (K3): Sistemin mümkün olduğu kadar az arızalanması hedeflenmektedir ve olası bir arıza durumunda müdahale edilme hızı sistemin verimliliği için önemlidir.

Back-up Yönetimi (K4): Sistemde meydana gelen bir arıza olduğunda, arızanın tamamen giderilmesi ve tekrar devreye alınması için gerekecek süre boyunca, sürecin yürütülmeye devam edilmesi gereklidir. Bu nedenle yapılacak yeni sistemin arızalı olan kısmı devre dışı kalsa dahi diğer kısımları kullanılabilmelidir. Yeni sistemin bu yedek yönetim planına (alternatif plan, B Planı gibi) izin vermesidir.

Depoda Alan Kaybı (K5): Yeni taşıma sistemi ile depo içerisine paletlerin aktarılmasından sonra deponun içerisinde istenen noktaya taşınabilmesi için kurulacak sistem alt ekipmanları (ray, kafesli ayrılmış alan vb.) depoda alan kaybı oluşturabilir.

Taşıma rotası boyunca, depo alanının verimli olarak kullanmayı engellememesi ve burada alan kaybı oluşturmaması tercih edilir.

Uygulama Süresi (K6): Yatırımı yapılacak olan projenin devreye alınması için fizibilite etüdü, inşa süresi, ekipman alım ve yerleşimi gibi çeşitli aşamalar gerekmektedir. Bu süreçlerin tümünün tamamlanması için geçen süre uygulama süresi olarak adlandırılmaktadır.

Çevre Dostu Olma (K7): Sistemin çevreye minimum zarar verecek şekilde hammadde ve enerji kaynaklarını (elektrik, doğalgaz, su vs.) kullanması istenmektedir.

Kullanım Kolaylığı (K8): Kullanım kolaylığı, bir sistemi kolay bir şekilde öğrenebilme ve kullanabilme anlamına gelmektedir. Örneğin, sistemin ayar arayüzü operatöre paleti hangi eksenle yönlendirmesi gerektiğinin seçimini açık şekilde yaptırabiliyorsa bu sistemin kullanım kolaylığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Maliyet (K9): Projenin gerek yatırım sırasında gerekse yatırımdan sonra devamlılığının sağlanabilmesi için işletme tarafından katlanılan masrafların tümüdür.

Tablo 2.2’de verilen değerler ve denklem 2.22 kullanılarak ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.1.’de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| K1        | E  | OÜ | O  | Y  | OÜ | Y  | Y  | ÇY | Y  |
| K2        | OA | E  | OA | Y  | O  | Y  | O  | Y  | Y  |
| K3        | O  | OÜ | E  | OÜ | O  | OÜ | Y  | Y  | OÜ |
| K4        | D  | D  | OA | E  | O  | O  | O  | O  | O  |
| K5        | OA | O  | O  | O  | E  | O  | OA | O  | OÜ |
| K6        | D  | D  | OA | O  | O  | E  | D  | D  | D  |
| K7        | D  | O  | D  | O  | OÜ | Y  | E  | O  | Y  |
| K8        | ÇD | D  | D  | O  | O  | Y  | O  | E  | OA |
| K9        | D  | D  | OA | O  | OA | Y  | D  | OÜ | E  |

Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2.2.’de verilen ölçek yardımıyla Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Ana kriterlerin Pisagor Bulanık Sayılar ile ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.2’de verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A ‘da verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Ana kriterlerin pisagor bulanık sayılar ile ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | K1    |       |       |       | K2    |       |       |       | K9  |     |     |       |       |       |       |  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--|
|           | μL    | μU    | νL    | νU    | μL    | μU    | νL    | νU    | ... | ... | ... | μL    | μU    | νL    | νU    |  |
| K1        | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | ... | ... | ... | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |  |
| K2        | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | ... | ... | ... | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |  |
| K3        | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | ... | ... | ... | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 |  |
| K4        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | ... | ... | ... | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 |  |
| K5        | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | ... | ... | ... | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 |  |
| K6        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | ... | ... | ... | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 |  |
| K7        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | ... | ... | ... | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |  |
| K8        | 0,100 | 0,200 | 0,800 | 0,900 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | ... | ... | ... | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 |  |
| K9        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | ... | ... | ... | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 |  |

Denklem 2.24 ve denklem 2.25 kullanılarak elden edilen ana kriterlerin fark matrisi Tablo 4.3.'te verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Ana kriterlerin fark matrisi.

| Kriterler | K1     | K2     | K3     | K4    | K5     | K6    | K7     | K8     | K9     |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| K1        | 0,000  | 0,300  | 0,100  | 0,600 | 0,300  | 0,600 | 0,600  | 0,800  | 0,600  |
| K2        | -0,100 | 0,000  | -0,100 | 0,600 | 0,100  | 0,600 | 0,100  | 0,600  | 0,600  |
| K3        | 0,100  | 0,300  | 0,000  | 0,300 | 0,100  | 0,300 | 0,600  | 0,600  | 0,300  |
| K4        | -0,300 | -0,300 | -0,100 | 0,000 | 0,100  | 0,100 | 0,100  | 0,100  | 0,100  |
| K5        | -0,100 | 0,100  | 0,100  | 0,100 | 0,000  | 0,100 | -0,100 | 0,100  | 0,300  |
| K6        | -0,300 | -0,300 | -0,100 | 0,100 | 0,100  | 0,000 | -0,300 | -0,300 | -0,300 |
| K7        | -0,300 | 0,100  | -0,300 | 0,100 | 0,300  | 0,600 | 0,000  | 0,100  | 0,600  |
| K8        | -0,600 | -0,300 | -0,300 | 0,100 | 0,100  | 0,600 | 0,100  | 0,000  | -0,100 |
| K9        | -0,300 | -0,300 | -0,100 | 0,100 | -0,100 | 0,600 | -0,300 | 0,300  | 0,000  |

Denklem 2.27 ve denklem 2.28 kullanılarak elde edilen aralıklı çarpım matrisi Tablo 4.4.'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Ana kriterlerin aralıklı çarpım matrisi.

| Kriterler | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8     | K9    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| K1        | 1,000 | 2,818 | 1,413 | 7,943 | 2,818 | 7,943 | 7,943 | 15,849 | 7,943 |
| K2        | 0,708 | 1,000 | 0,708 | 7,943 | 1,413 | 7,943 | 1,413 | 7,943  | 7,943 |
| K3        | 1,413 | 2,818 | 1,000 | 2,818 | 1,413 | 2,818 | 7,943 | 7,943  | 2,818 |
| K4        | 0,355 | 0,355 | 0,708 | 1,000 | 1,413 | 1,413 | 1,413 | 1,413  | 1,413 |
| K5        | 0,708 | 1,413 | 1,413 | 1,413 | 1,000 | 1,413 | 0,708 | 1,413  | 2,818 |
| K6        | 0,355 | 0,355 | 0,708 | 1,413 | 1,413 | 1,000 | 0,355 | 0,355  | 0,355 |

**Tablo 4.5.(Devamı)** Ana kriterlerin aralıklı çarpım matrisi.

| Kriterler | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>K7</b> | 0,355 | 1,413 | 0,355 | 1,413 | 2,818 | 7,943 | 1,000 | 1,413 | 7,943 |
| <b>K8</b> | 0,126 | 0,355 | 0,355 | 1,413 | 1,413 | 7,943 | 1,413 | 1,000 | 0,708 |
| <b>K9</b> | 0,355 | 0,355 | 0,708 | 1,413 | 0,708 | 7,943 | 0,355 | 2,818 | 1,000 |

Denklem 2.30 kullanılarak elde edilen belirsizlik değeri matrisi Tablo 4.5.'te verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Ana kriterlerin belirsizlik değeri matrisi.

| Kriterler | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>K1</b> | 1,000 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 0,700 |
| <b>K2</b> | 0,800 | 1,000 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,700 |
| <b>K3</b> | 0,800 | 0,800 | 1,000 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,700 | 0,800 |
| <b>K4</b> | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 1,000 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| <b>K5</b> | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 1,000 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| <b>K6</b> | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 1,000 | 0,700 | 0,700 | 0,700 |
| <b>K7</b> | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 1,000 | 0,800 | 0,700 |
| <b>K8</b> | 0,800 | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,800 | 1,000 | 0,800 |
| <b>K9</b> | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,700 | 0,700 | 0,800 | 1,000 |

Denklem 2.32 kullanılarak elde edilen normalleştirilmemiş ağırlıklar Tablo 4.6.'da verilmiştir.

**Tablo 4.7.** Ana kriterlerin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi.

| Kriterler | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    | K9    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>K1</b> | 1,000 | 1,692 | 0,848 | 3,767 | 1,692 | 3,767 | 3,767 | 9,517 | 3,767 |
| <b>K2</b> | 0,425 | 1,000 | 0,425 | 3,767 | 0,848 | 3,767 | 0,848 | 3,767 | 3,767 |
| <b>K3</b> | 0,848 | 1,692 | 1,000 | 1,692 | 0,848 | 1,692 | 3,767 | 3,767 | 1,692 |
| <b>K4</b> | 0,168 | 0,168 | 0,425 | 1,000 | 0,848 | 0,848 | 0,848 | 0,848 | 0,848 |
| <b>K5</b> | 0,425 | 0,848 | 0,848 | 0,848 | 1,000 | 0,848 | 0,425 | 0,848 | 1,692 |
| <b>K6</b> | 0,168 | 0,168 | 0,425 | 0,848 | 0,848 | 1,000 | 0,168 | 0,168 | 0,168 |
| <b>K7</b> | 0,168 | 0,848 | 0,168 | 0,848 | 1,692 | 3,767 | 1,000 | 0,848 | 3,767 |
| <b>K8</b> | 0,076 | 0,168 | 0,168 | 0,848 | 0,848 | 3,767 | 0,848 | 1,000 | 0,425 |
| <b>K9</b> | 0,168 | 0,168 | 0,425 | 0,848 | 0,425 | 3,767 | 0,168 | 1,692 | 1,000 |

Ana kriterlerin normalize edilmiş ağırlıkları denklem 2.33 kullanılarak elde edilmiştir. Normalize ağırlıklar Tablo 4.7.'de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Ana kriterlerin normalize ağırlıkları.

| Kriterler     | Öncelik Ağırlıkları | Normalize Ağırlıklar |
|---------------|---------------------|----------------------|
| K1            | 29,816              | 0,264                |
| K2            | 18,613              | 0,165                |
| K3            | 16,999              | 0,150                |
| K4            | 6,003               | 0,053                |
| K5            | 7,784               | 0,069                |
| K6            | 3,963               | 0,035                |
| K7            | 13,107              | 0,116                |
| K8            | 8,148               | 0,072                |
| K9            | 8,662               | 0,077                |
| <b>Toplam</b> | <b>113,1</b>        | <b>1</b>             |

#### 4.1.2. Alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması

Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği, Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması, Maliyet kriterlerinin alt kriterler ağırlıkları Pisagor Bulanık AHP Yöntemiyle aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

##### 4.1.2.1. Değişikliklere uyum sağlama esnekliği'nin alt kriter ağırlıkları

Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği ana kriterinin dört adet alt kriteri belirlenmiştir. Kriterler aşağıda açıklanmıştır.

Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama (A1): İşletme üretimde ek kapasite ihtiyacı nedeniyle yapılacak üretim artışı durumunda, taşıma sistemi de yapılacak değişiklikler ve/veya düşük ek yatırımlarla bu artışa kolayca uyum sağlayabilecek şekilde revize ediliyor olması gerekmektedir.

Layout Değişimine Uyum Sağlama (A2): Yeni makine alımı, üretim sistemini değiştirme gibi çeşitli sebeplerden dolayı kullanılan alanda yerleşim değişikliği ihtiyacı doğabilir. Layout değişikliği esnekliği, olası yerleşim değişikliklerine sistemin kolayca uyarlanabilmesi yeteneğidir.

Ürün (Palet) Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama (A3): Lojistik süreçler(yurtiçi/yurtdışı), müşteri beklentileri veya depolama ihtiyacına göre palet ebatları en, boy ve yükseklik olarak değişim göstermesi gerekmektedir. Kurulacak

sistemin de bu değişikliklere uyum sağlayarak sistemin aynı verimle kullanılması beklenmektedir.

Ürün (Palet) Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama (A4): Palet ebatları aynı kalsa dahi paketleme sürecindeki ve ürün tip değişiklikleri palet ağırlığının belli aralıklarda değişmesine sebep olmaktadır. Kurulacak sistemin taşıma kapasitesinin palet ağırlığının değişim aralığından daha fazla olması beklenmektedir. (Hafif olursa sistemin sürtünme miktarı, ağır olursa motor gücü yetmemesi vs.)

Tablo 2.2.'de verilen değerler ve denklem 2.22 kullanılarak Değişiklik alt kriterinin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.8.'de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Değişiklik alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

| Değişiklik Alt Kriteri | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------------------|----|----|----|----|
| A1                     | E  | OÜ | OÜ | Y  |
| A2                     | OA | E  | OÜ | OÜ |
| A3                     | OA | OA | E  | Y  |
| A4                     | D  | OA | D  | E  |

Değişiklik alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2.2'de verilen ölçek yardımıyla Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Matris Tablo 4.9.'da verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A'da verilmiştir.

**Tablo 4.9.** Değişiklik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | A1      |         |         |         | A2      |         |         |         | A4  |     |         |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|-----|---------|---------|---------|---------|
|           | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ | ... | ... | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ |
| A1        | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,550   | 0,650   | 0,350   | 0,450   | ... | ... | 0,650   | 0,800   | 0,200   | 0,350   |
| A2        | 0,350   | 0,450   | 0,550   | 0,650   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | ... | ... | 0,550   | 0,650   | 0,350   | 0,450   |
| A3        | 0,350   | 0,450   | 0,550   | 0,650   | 0,350   | 0,450   | 0,550   | 0,650   | ... | ... | 0,650   | 0,800   | 0,200   | 0,350   |
| A4        | 0,200   | 0,350   | 0,650   | 0,800   | 0,350   | 0,450   | 0,550   | 0,650   | ... | ... | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   |

Denklem 2.24 ve denklem 2.25 kullanılarak elden edilen fark matrisi Tablo 4.10.'da verilmiştir.

**Tablo 4.10.** Değişiklik alt kriterlerinin fark matrisi.

| Kriterler | A1     | A2     | A3     | A4    |
|-----------|--------|--------|--------|-------|
| A1        | 0,000  | 0,300  | 0,300  | 0,600 |
| A2        | -0,100 | 0,000  | 0,300  | 0,300 |
| A3        | -0,100 | -0,100 | 0,000  | 0,600 |
| A4        | -0,300 | -0,100 | -0,300 | 0,000 |

Denklem 2.27 ve denklem 2.28 kullanılarak elde edilen aralıklı çarpım matrisi Tablo 4.11.'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** Değişiklik alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi.

| Kriterler | A1    | A2    | A3    | A4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| A1        | 1,000 | 2,818 | 2,818 | 7,943 |
| A2        | 0,708 | 1,000 | 2,818 | 2,818 |
| A3        | 0,708 | 0,708 | 1,000 | 7,943 |
| A4        | 0,355 | 0,708 | 0,355 | 1,000 |

Denklem 2.30 kullanılarak elde edilen belirsizlik değeri matrisi Tablo 4.12.'de verilmiştir.

**Tablo 4.12.** Değişiklik alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi.

| Kriterler | A1    | A2    | A3    | A4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| A1        | 1,000 | 0,800 | 0,800 | 0,700 |
| A2        | 0,800 | 1,000 | 0,800 | 0,800 |
| A3        | 0,800 | 0,800 | 1,000 | 0,700 |
| A4        | 0,700 | 0,800 | 0,700 | 1,000 |

Denklem 2.32 kullanılarak elde edilen normalleştirilmemiş ağırlıklar Tablo 4.13.'de verilmiştir.

**Tablo 4.13.** Değişiklik alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi.

| Kriterler | A1    | A2    | A3    | A4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| A1        | 1,000 | 1,692 | 1,692 | 3,767 |
| A2        | 0,425 | 1,000 | 1,692 | 1,692 |
| A3        | 0,425 | 0,425 | 1,000 | 3,767 |
| A4        | 0,168 | 0,425 | 0,168 | 1,000 |

Değişiklik alt kriterlerinin normalize edilmiş ağırlıkları denklem 2.33 kullanılarak elde edilmiştir. Normalize ağırlıklar Tablo 4.14.'te verilmiştir.

**Tablo 4.14.** Değişiklik alt kriterlerinin normalize ağırlıkları.

| Kriterler     | Öncelik Ağırlıkları | Normalize Ağırlıklar |
|---------------|---------------------|----------------------|
| A1            | 18,050              | 0,669                |
| A2            | 2,865               | 0,106                |
| A3            | 2,349               | 0,087                |
| A4            | 3,709               | 0,138                |
| <b>Toplam</b> | 26,972              | 1                    |

#### 4.1.2.2. Sistemin güvenilir ve stabil çalışması alt kriter ağırlıkları

Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması ana kriterinin dört adet alt kriteri belirlenmiştir. Kriterler aşağıda açıklanmıştır.

Düşük Arıza Oranı (B1): Bir sistemin çalışması sırasında meydana gelen arıza durumlarının oranıdır. Bakım ekibi tarafından müdahale, tamir, işçilik, gerekli durumlarda yedek parça kullanımını gerektirir.

Bakım Müdahale Kolaylığı (B2): Sistemde meydana gelen arıza durumunda soruna hızlı bir şekilde müdahale edilebilmesi üretim verimliliği açısından önemlidir. Bakım müdahale kolaylığı, bakım ekibinin sistemde yer alan tüm ekipmanlara kolayca ulaşabilir ve müdahale edebilir olduğunun göstergesidir.

Düşük Yedek Parça Stok Miktarı (B3): Sistemde meydana gelebilecek olası arıza durumunda veya planlı bakım sırasında ihtiyaç duyulabilecek malzemelerin miktarıdır.

Servis Ulaşılabilirliği (B4): Sistemde meydana gelebilecek olası arıza veya planlı bakım gibi durumlarda yüklenici firma tarafından alınacak desteğin kabul edilebilir sürede veya maliyet ile gerçekleştirilmesidir.

Tablo 2.2.'de verilen değerler ve denklem 2.22 kullanılarak güvenilirlik alt kriterinin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.15'te verilmiştir.

**Tablo 4.15.** Güvenilirlik alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

| Güvenilirlik Alt Kriteri | B1 | B2 | B3 | B4 |
|--------------------------|----|----|----|----|
| <b>B1</b>                | E  | Y  | ÇY | Y  |
| <b>B2</b>                | D  | E  | O  | O  |
| <b>B3</b>                | ÇD | O  | E  | OA |
| <b>B4</b>                | D  | O  | OÜ | E  |

Güvenilirlik alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2.2.'de verilen ölçek yardımıyla Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Matris Tablo 4.16.'da verilmiştir. Matris'in tamamı Ek A'da verilmiştir.

**Tablo 4.16.** Güvenilirlik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | B1    |       |       |       | B2    |       |       |       | B3  |     |     |       |       |       |       |  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--|
|           | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | ... | ... | ... | μL    | μU    | vL    | vU    |  |
| B1        | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | ... | ... | ... | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |  |
| B2        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | ... | ... | ... | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 |  |
| B3        | 0,100 | 0,200 | 0,800 | 0,900 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | ... | ... | ... | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 |  |
| B4        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | ... | ... | ... | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 |  |

Denklem 2.24 ve denklem 2.25 kullanılarak elden edilen alt kriterlerin fark matrisi Tablo 4.17.'de verilmiştir.

**Tablo 4.17.** Güvenilirlik alt kriterlerinin fark matrisi.

| Kriterler | B1     | B2    | B3    | B4     |
|-----------|--------|-------|-------|--------|
| <b>B1</b> | 0,000  | 0,600 | 0,800 | 0,600  |
| <b>B2</b> | -0,300 | 0,000 | 0,100 | 0,100  |
| <b>B3</b> | -0,600 | 0,100 | 0,000 | -0,100 |
| <b>B4</b> | -0,300 | 0,100 | 0,300 | 0,000  |

Denklem 2.27 ve denklem 2.28 kullanılarak elde edilen aralıklı çarpım matrisi Tablo 4.18.'de verilmiştir.

**Tablo 4.18.** Güvenilirlik alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi.

| Kriterler | B1    | B2    | B3     | B4    |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| <b>B1</b> | 1,000 | 7,943 | 15,849 | 7,943 |
| <b>B2</b> | 0,355 | 1,000 | 1,413  | 1,413 |
| <b>B3</b> | 0,126 | 1,413 | 1,000  | 0,708 |
| <b>B4</b> | 0,355 | 1,413 | 2,818  | 1,000 |

Denklem 2.30 kullanılarak elde edilen belirsizlik değeri matrisi Tablo 4.19.'da verilmiştir.

**Tablo 4.19.** Güvenilirlik alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi.

| Kriterler | B1    | B2    | B3    | B4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| B1        | 1,000 | 0,700 | 0,800 | 0,700 |
| B2        | 0,700 | 1,000 | 0,800 | 0,800 |
| B3        | 0,800 | 0,800 | 1,000 | 0,800 |
| B4        | 0,700 | 0,800 | 0,800 | 1,000 |

Denklem 2.32 kullanılarak elde edilen normalleştirilmemiş ağırlıklar Tablo 4.20.'de verilmiştir.

**Tablo 4.20.** Güvenilirlik alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi.

| Kriterler | B1    | B2    | B3    | B4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| B1        | 1,000 | 3,767 | 9,517 | 3,767 |
| B2        | 0,168 | 1,000 | 0,848 | 0,848 |
| B3        | 0,076 | 0,848 | 1,000 | 0,425 |
| B4        | 0,168 | 0,848 | 1,692 | 1,000 |

Güvenilirlik alt kriterinin normalize edilmiş ağırlıkları denklem 2.33 kullanılarak elde edilmiştir. Normalize ağırlıklar Tablo 4.21.'de verilmiştir.

**Tablo 4.21.** Güvenilirlik alt kriterlerinin normalize ağırlıkları.

| Kriterler     | Öncelik Ağırlıkları | Normalize Ağırlıklar |
|---------------|---------------------|----------------------|
| B1            | 18,050              | 0,669                |
| B2            | 2,865               | 0,106                |
| B3            | 2,349               | 0,087                |
| B4            | 3,709               | 0,138                |
| <b>Toplam</b> | 26,972              | 1,000                |

#### 4.1.2.3. Maliyet alt kriter ağırlıkları

Maliyet ana kriterinin üç adet alt kriteri belirlenmiştir. Kriterler aşağıda açıklanmıştır.

Satınalma Maliyeti (C1): Bir projenin yatırımı sırasında işletme tarafından bir kereliğine ödenen ücrettir. Makine ve ekipman alımı, makinelerin kurulumu ve devreye alınması gibi maliyetlerdir.

İşçilik Maliyeti (C2): Sistemin çalıştırılması için gerekli olacak işgücü ihtiyacına göre bu alanda görev alacak çalışanların işletmeye olan maliyetleridir. (Maaş, servis, yemek vb.)

Enerji Maliyeti (C3): Sistemin çalışması için gerekli olan enerjilerin işletmeye olan maliyetidir. Doğalgaz, elektrik, su gibi kaynakların maliyetini kapsamaktadır.

Tablo 2.2.'de verilen değerler ve denklem 2.22 kullanılarak maliyet alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.22'de verilmiştir.

**Tablo 4.22.** Maliyet alt kriterleri ikili karşılaştırma matrisi.

| Maliyet Alt Kriteri | C1 | C2 | C3 |
|---------------------|----|----|----|
| C1                  | E  | OA | OA |
| C2                  | OÜ | E  | O  |
| C3                  | OÜ | OA | E  |

Maliyet alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 2.2.'de verilen ölçek yardımıyla Pisagor bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. Matris Tablo 4.23.'te verilmiştir.

**Tablo 4.23.** Maliyet alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | C1      |         |       |       | C2      |         |       |       | C3      |         |       |       |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|
|           | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  |
| C1        | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 |
| C2        | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 | 0,450   | 0,550   | 0,450 | 0,550 |
| C3        | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 |

Denklem 2.24 ve denklem 2.25 kullanılarak elden edilen fark matrisi Tablo 4.24.'te verilmiştir.

**Tablo 4.24.** Maliyet alt kriterlerinin fark matrisi.

| Kriterler | C1    | C2     | C3     |
|-----------|-------|--------|--------|
| C1        | 0,000 | -0,100 | -0,100 |
| C2        | 0,300 | 0,000  | 0,100  |
| C3        | 0,300 | -0,100 | 0,000  |

Denklem 2.27 ve denklem 2.28 kullanılarak elde edilen aralıklı çarpım matrisi Tablo 4.25.'te verilmiştir.

**Tablo 4.25.** Maliyet alt kriterlerinin aralıklı çarpım matrisi.

| Kriterler | C1    | C2    | C3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| C1        | 1,000 | 0,708 | 0,708 |
| C2        | 2,818 | 1,000 | 1,413 |
| C3        | 2,818 | 0,708 | 1,000 |

Denklem 2.30 kullanılarak elde edilen belirsizlik değeri matrisi Tablo 4.26.'da verilmiştir.

**Tablo 4.26.** Maliyet alt kriterlerinin belirsizlik değeri matrisi.

| Kriterler | C1    | C2    | C3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| C1        | 1,000 | 0,800 | 0,800 |
| C2        | 0,800 | 1,000 | 0,800 |
| C3        | 0,800 | 0,800 | 1,000 |

Denklem 2.32 kullanılarak elde edilen normalleştirilmemiş ağırlıklar Tablo 4.27.'de verilmiştir.

**Tablo 4.27.** Maliyet alt kriterlerinin normalleştirilmemiş ağırlık matrisi.

| Kriterler | C1    | C2    | C3    |
|-----------|-------|-------|-------|
| C1        | 1,000 | 0,425 | 0,425 |
| C2        | 1,692 | 1,000 | 0,848 |
| C3        | 1,692 | 0,425 | 1,000 |

Maliyet alt kriterinin normalize edilmiş ağırlıkları denklem 2.33 kullanılarak elde edilmiştir. Normalize ağırlıklar Tablo 4.28.'de verilmiştir.

**Tablo 4.28.** Maliyet alt kriterlerinin normalize ağırlıkları.

| Kriterler     | Öncelik Ağırlıkları | Normalize Ağırlıklar |
|---------------|---------------------|----------------------|
| C1            | 1,850               | 0,217                |
| C2            | 3,541               | 0,416                |
| C3            | 3,117               | 0,366                |
| <b>Toplam</b> | <b>8,508</b>        | <b>1,000</b>         |

Pisagor Bulanık AHP yöntemine göre alt ve ana kriterlerinin yerel ağırlıkları belirlenmiştir. Alt kriteri olmayan ana kriterlerin ağırlıkları olduğu gibi alınırken, alt kriteri mevcut olan ana kriterlerin ağırlıkları ilgili alt kriterin ağırlığı ile çarpılarak

genel ağırlıklar elde edilmiştir. Alt ve ana kriterlerin yerel ve genel ağırlıkları Tablo 4.29.'da verilmiştir.

**Tablo 4.29.** Alt ve ana kriterlerin yerel ve genel ağırlıkları.

| Ana Kriterler                          | Yerel Ağırlık | Alt Kriterler                             | Yerel Ağırlık | Genel Ağırlık |
|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|---------------|---------------|
| Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği  | 0,264         | Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama        | 0,401         | 0,106         |
|                                        |               | Layout Değişimine Uyum Sağlama            | 0,236         | 0,062         |
|                                        |               | Palet Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama | 0,276         | 0,073         |
|                                        |               | Palet Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama     | 0,087         | 0,023         |
| Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağlılık)   | 0,165         | -                                         | -             | 0,165         |
| Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması | 0,150         | Düşük Arıza Oranı                         | 0,669         | 0,101         |
|                                        |               | Bakım Müdahale Kolaylığı                  | 0,106         | 0,016         |
|                                        |               | Düşük Yedek Parça Stok Miktarı            | 0,087         | 0,013         |
|                                        |               | Servis Ulaşılabilirliği                   | 0,138         | 0,021         |
| Back-up Yönetimi                       | 0,053         | -                                         | -             | 0,053         |
| Depoda Alan Kaybı                      | 0,069         | -                                         | -             | 0,069         |
| Uygulama Süresi                        | 0,035         | -                                         | -             | 0,035         |
| Kullanım Kolaylığı                     | 0,116         | -                                         | -             | 0,116         |
| Çevre Dostu                            | 0,072         | -                                         | -             | 0,072         |
| Maliyet                                | 0,077         | Satınalma Maliyeti                        | 0,217         | 0,017         |
|                                        |               | İşçilik Maliyeti                          | 0,416         | 0,032         |
|                                        |               | Enerji Maliyeti                           | 0,366         | 0,028         |

Genel ağırlıkları hesaplanan tüm kriterler sıralama yapılmaksızın Tablo 4.30'da verilmiştir.

**Tablo 4.30.** Tüm kriterler ve genel ağırlıkları.

| Kriterler | Kriter İsimleri                           | Genel Ağırlık |
|-----------|-------------------------------------------|---------------|
| <b>Z1</b> | Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama        | 0,106         |
| <b>Z2</b> | Layout Değişimine Uyum Sağlama            | 0,062         |
| <b>Z3</b> | Palet Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama | 0,073         |
| <b>Z4</b> | Palet Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama     | 0,023         |

**Tablo 4.30.(Devamı)** Tüm kriterler ve genel ağırlıkları.

| Kriterler      | Kriter İsimleri                      | Genel Ağırlık |
|----------------|--------------------------------------|---------------|
| Z5             | Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağlılık) | 0,165         |
| Z6             | Düşük Arıza Oranı                    | 0,101         |
| Z7             | Bakım Müdahale Kolaylığı             | 0,016         |
| Z8             | Düşük Yedek Parça Stok Miktarı       | 0,013         |
| Z9             | Servis Ulaşılabilirliği              | 0,021         |
| Z10            | Back-up Yönetimi                     | 0,053         |
| Z11            | Depoda Alan Kaybı                    | 0,069         |
| Z12            | Uygulama Süresi                      | 0,035         |
| Z13            | Kullanım Kolaylığı                   | 0,116         |
| Z14            | Çevre Dostu                          | 0,072         |
| Z15            | Satınalma Maliyeti                   | 0,017         |
| Z16            | İşçilik Maliyeti                     | 0,032         |
| Z17            | Enerji Maliyeti                      | 0,028         |
| Toplam Ağırlık |                                      | 1,000         |

#### 4.2. Bulanık Gri İlişkisel Analiz

Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile hesaplanan ağırlıklar kullanılarak, Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile iç lojistik yatırım projesinin seçimi ve sıralaması yapılmıştır. İç lojistik proje seçimi için dört farklı alternatif belirlenmiştir. Alternatifler aşağıdaki gibidir.

-Raylı Geçiş ve Flexi AGV (X1)

-Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi (X2)

-Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem (X3)

-Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör (X4)

Yukarıda belirtilen dört farklı alternatifin uzman karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve bu değerlendirmenin dilsel değişkenlerle ifade edilebilmesi için

Tablo 2.1.'de verilen ölçekten yararlanılmıştır. Dilsel değişkenler ile alternatiflerin kriterlere göre değerlendirme sonucu elde edilen karar matrisi Tablo 4.31.'de verilmiştir.

**Tablo 4.31.** Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi.

| Alternatifler | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X1            | ÇY | ÇY | Y  | Y  | ÇY | O  | Y  | Y  | D  | ÇY  | Y   | O   | Y   | Y   | O   | O   | O   |
| X2            | O  | Y  | Y  | Y  | ÇY | O  | Y  | Y  | O  | Y   | ÇY  | Y   | Y   | Y   | O   | O   | O   |
| X3            | O  | D  | O  | Y  | ÇY | O  | O  | O  | O  | D   | O   | ÇY  | Y   | O   | O   | Y   | O   |
| X4            | O  | D  | O  | ÇY | O  | O  | O  | O  | Y  | D   | O   | ÇY  | Y   | D   | O   | ÇY  | Y   |

Uzman karar vericiler tarafından dilsel değişkenler ile ifade edilen değerler Tablo 2.1. yararlanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Alternatiflerin bulanık sayılar ile kriterlere göre değerlendirilmesi ile oluşturulan karar matrisi Tablo 4.32.'de verilmiştir. Matrisin oluşturulması için denklem 2.34'ten yararlanılmıştır ve matrisin tamamı Ek A'da verilmiştir.

**Tablo 4.32.** Bulanık sayılar ile alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi.

|    | Z1                | Z2               | Z3                | ... | ... | ... | Z16               | Z17               |
|----|-------------------|------------------|-------------------|-----|-----|-----|-------------------|-------------------|
| X1 | (0,7 , 1 , 1)     | (0,7 , 1 , 1)    | (0,5 , 0,75 , 1)  | ... | ... | ... | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| X2 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1)  | ... | ... | ... | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| X3 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | ... | ... | ... | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| X4 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | ... | ... | ... | (0,7 , 1 , 1)     | (0,5 , 0,75 , 1)  |

Kriterlerin minimizasyon veya maksimizasyon kriteri olmasına göre denklem 2.35 veya denklem 2.36 kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Kriterlerin durumları Tablo 4.33.'te verilmiştir.

**Tablo 4.33.** Kriterlerin minimizasyon ve maksimizasyon durumu.

| Kriterler | Kriter İsimleri                           | Minimizasyon/Maksimizasyon Durumu |
|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| Z1        | Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama        | Maksimizasyon                     |
| Z2        | Layout Değişimine Uyum Sağlama            | Maksimizasyon                     |
| Z3        | Palet Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama | Maksimizasyon                     |
| Z4        | Palet Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama     | Maksimizasyon                     |
| Z5        | Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağlılık)      | Maksimizasyon                     |
| Z6        | Düşük Arıza Oranı                         | Minimizasyon                      |

**Tablo 4.33.(Devamı)** Kriterlerin minimizasyon ve maksimizasyon durumu.

| Kriterler | Kriter İsimleri                | Minimizasyon/Maksimizasyon Durumu |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Z7        | Bakım Müdahale Kolaylığı       | Maksimizasyon                     |
| Z8        | Düşük Yedek Parça Stok Miktarı | Minimizasyon                      |
| Z9        | Servis Ulaşılabilirliği        | Maksimizasyon                     |
| Z10       | Back-up Yönetimi               | Maksimizasyon                     |
| Z11       | Depoda Alan Kaybı              | Minimizasyon                      |
| Z12       | Uygulama Süresi                | Minimizasyon                      |
| Z13       | Kullanım Kolaylığı             | Maksimizasyon                     |
| Z14       | Çevre Dostu                    | Maksimizasyon                     |
| Z15       | Satınalma Maliyeti             | Minimizasyon                      |
| Z16       | İşçilik Maliyeti               | Minimizasyon                      |
| Z17       | Enerji Maliyeti                | Minimizasyon                      |

İlgili denklemler kullanılarak hesaplanan normalize karar matrisi Tablo 4.34’te verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A’da verilmiştir.

**Tablo 4.34.** Normalize Karar Matrisi

|    | Z1                | Z2               | Z3                | ... | ... | Z15           | Z16           | Z17               |
|----|-------------------|------------------|-------------------|-----|-----|---------------|---------------|-------------------|
| X1 | (0,7 , 1 , 1)     | (0,7 , 1 , 1)    | (0,5 , 0,75 , 1)  | ... | ... | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4)     |
| X2 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1)  | ... | ... | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4)     |
| X3 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | ... | ... | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4)     |
| X4 | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | ... | ... | (1, 0,6, 0,4) | (1, 0,6, 0,4) | (0,6 , 0,4 , 0,3) |

Tablo 4.33’te verilen kriterlerin minimizasyon veya maksimizasyon olma durumuna göre denklem 2.38 veya denklem 2.39’dan yararlanılarak referans serileri oluşturulmuştur. Referans serisi matrisi Tablo 4.35.’te verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A’da verilmiştir.

**Tablo 4.35.** Referans serileri matrisi.

|   | Z1            | Z2            | Z3               | ... | ... | Z15           | Z16             | Z17             |
|---|---------------|---------------|------------------|-----|-----|---------------|-----------------|-----------------|
| R | (0,7 , 1 , 1) | (0,7 , 1 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1) | ... | ... | (1, 0,6, 0,4) | (0,4, 0,3, 0,3) | (0,6, 0,4, 0,3) |

Referans serileri matrisi ve denklem 2.40'dan yararlanılarak uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen uzaklık matrisi Tablo 4.36.'da verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A'da verilmiştir.

**Tablo 4.36.** Uzaklık matrisi.

|    | Z1    | Z2    | Z3    | Z4    | Z5    | Z6    | Z7    | ... | ... | Z12   | Z13   | Z14   | Z15   | Z16   | Z17   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | ... | ... | 0,380 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,380 | 0,269 |
| X2 | 0,408 | 0,185 | 0,000 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | ... | ... | 0,115 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,380 | 0,269 |
| X3 | 0,408 | 0,659 | 0,253 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,253 | ... | ... | 0,000 | 0,000 | 0,253 | 0,000 | 0,115 | 0,269 |
| X4 | 0,408 | 0,659 | 0,253 | 0,000 | 0,408 | 0,000 | 0,253 | ... | ... | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Denklem 2.42'den yararlanılarak, belirlenen alternatiflerin her kriter için aldığı gri ilişkisel katsayılar elde edilmiştir. Tablo 4.37.'de gri ilişkisel katsayılar matrisi verilmiştir. Matrisin tamamı Ek A'da verilmiştir.

**Tablo 4.37.** Gri ilişkisel katsayılar matrisi.

|    | Z1    | Z2    | Z3    | Z4    | Z5    | Z6    | Z7    | ... | ... | Z12   | Z13   | Z14   | Z15   | Z16   | Z17   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | ... | ... | 0,464 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,464 | 0,551 |
| X2 | 0,447 | 0,641 | 1,000 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | ... | ... | 0,742 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,464 | 0,551 |
| X3 | 0,447 | 0,333 | 0,565 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 0,565 | ... | ... | 1,000 | 1,000 | 0,565 | 1,000 | 0,742 | 0,551 |
| X4 | 0,447 | 0,333 | 0,565 | 1,000 | 0,447 | 1,000 | 0,565 | ... | ... | 1,000 | 1,000 | 0,397 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile bulunan gri ilişkisel katsayılar ve Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları çarpılarak alternatiflerin seçimi için nihai değerler elde edilmiştir. Bu değerler denklem 2.44'te verilen eşitlik kullanılarak bulunmuştur. Tablo 4.38.'de alternatiflerin gri ilişki dereceleri ve bu alternatiflerin normalize edilmiş değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.38.** Gri ilişkisel değerler.

|               | Gri İlişkisel Değerler | Normalize Gri ilişkisel Değerler |
|---------------|------------------------|----------------------------------|
| X1            | 0,913                  | 0,293                            |
| X2            | 0,844                  | 0,271                            |
| X3            | 0,714                  | 0,229                            |
| X4            | 0,649                  | 0,208                            |
| <b>Toplam</b> | <b>3,120</b>           | <b>1,000</b>                     |

Uzman karar vericiler tarafından belirlenen alternatiflerin gri ilişkisel değerleri ve önem derecesine göre nihai sıralama Tablo 4.39'da verilmiştir.

**Tablo 4.39.** Alternatiflerin gri ilişkisel değerleri ve sıralaması.

| Alternatifler                        | Normalize Gri ilişkisel Değerler | Sıralama |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------|
| Raylı Geçiş ve Flexi AGV             | 0,293                            | 1        |
| Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi         | 0,271                            | 2        |
| Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem | 0,229                            | 3        |
| Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör     | 0,208                            | 4        |

Tablo 4.39’da görüldüğü gibi iç lojistik yatırım projesi seçimi için Raylı Geçiş ve Flexi AGV alternatifi en uygun proje olarak belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde işletmeler gittikçe artan rekabet karşısında yatırım projelerini seçerken en doğru kararı vermeyi hedeflemektedir. Karar verme süreci karmaşık bir yapıya sahip olduğu için doğru kararın bilimsel temellere dayanması oldukça önemlidir. Literatür incelendiğinde çok sayıda ÇKKV yönteminin geliştirildiği görülmüştür. Günlük yaşamda olduğu gibi karar verme sürecinde de her zaman net ifadeler kullanılamamaktadır, dilsel ifadeler ve bulanık sayılar yardımıyla geliştirilen bulanık ÇKKV yöntemleri bu belirsizliği en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri; Bulanık ÇKKV yöntemlerinden olup, eksik veya az bilgiyle karar verme probleminin çözümü için geliştirilmişlerdir.

Bu çalışmada porselen sektöründe faaliyet gösteren ve yeni bir depo binası inşa eden bir firmanın bitmiş ürünlerinin depoya transferinin nasıl olacağının kararının verilmesi amacıyla Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri kullanılarak bir iç lojistik yatırım projesi karar probleminin çözümü yapılmıştır. Çalışmada karar vericilerle görüşülüp dört farklı alternatif ve dokuz adet ana kriter belirlenmiştir. Alternatifler sırasıyla Raylı Geçiş ve Flexi AGV, Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi, Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem, Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör'dür. Belirlenen kriterler ise sırasıyla Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği, Otomasyon Seviyesi (Kişiye Bağlılık), Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması, Back-up Yönetimi, Depoda Alan Kaybı, Uygulama Süresi, Kullanım Kolaylığı ve Çevre Dostu Olmadır. Belirlenen üç ana kriterin toplamda on bir alt kriteri bulunmaktadır. Değişikliklere Uyum Sağlama Esnekliği ana kriterinin; Ürün Hacim Değişimine Uyum Sağlama, Layout Değişimine Uyum Sağlama, Palet Tip ve Ebat Değişimine Uyum Sağlama, Palet Ağırlık Değişimine Uyum Sağlama olmak üzere dört alt kriteri; Sistemin Güvenilir ve Stabil Çalışması ana kriterinin; Düşük Arıza Oranı, Bakım Müdahale Kolaylığı, Düşük Yedek Parça Stok Miktarı, Servis Ulaşılabilirliği olmak üzere dört alt kriteri; Maliyet ana kriterinin; Satınalma Maliyeti, İşçilik Maliyeti, Enerji Maliyeti olmak üzere üç alt kriteri mevcuttur. Böylelikle toplamda on yedi kriter belirlenmiştir. Tüm ana ve alt kriterler Pisagor Bulanık AHP

Yöntemi'yle ağırlıklandırılmıştır. Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ve ağırlıklandırılan kriterler yardımıyla dört farklı alternatifin öncelik sıralaması yapılmıştır. Belirlenen ağırlıklara göre alternatifler Raylı Geçiş ve Flexi AGV > Raylı Geçiş ve Mekik Sistemi > Konstrüksiyon Tünel İçi Mekik Sistem > Konstrüksiyon Tünel İçi Konveyör olarak sıralanmıştır, ağırlıklar sırasıyla 0.293, 0.271, 0.229 ve 0.208 olarak bulunmuştur. Belirlenen alternatif ve kriterler kullanılarak farklı karar verme metotları ile proje seçimi yapılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, porselen sektöründe bir yatırım projesi seçimi ilk defa ÇKKV yöntemleri ile yapılmıştır. Aynı zamanda iç lojistik yatırım projesi seçimi için literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca Pisagor Bulanık AHP Yöntemi ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ilk kez birbirine entegre olarak kullanılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akman, G., Alkan, A. (2006). Tedarik zinciri yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: Otomotiv yan Sanayiinde bir uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 23-46.
- Akyurt, İ. Z., Kabadayı, N. (2020). Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkiler Analizi Yöntemleri ile kargo uçak tipi seçimi: Bir Türk havayolu firmasında uygulama. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(57), 38-55. <https://doi.org/10.19168/jyasar.609416>
- Aplak, H. S., (2010). *Karar Verme Sürecinde Bulanık Mantık Bazlı Oyun Teorisi Uygulamaları* [Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Arda, R. İ., (2010). *Tedarikçi Seçiminde Bulanık Mantık ve Doğrusal Programlamanın Birlikte Kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Arslankaya, S. (2020). Catering company selection with Fuzzy AHP, ELECTRE and VIKOR Method for a company producing trailer. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 413-423. <https://doi.org/10.31590/ejosat.684600>
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Ayyildiz, E., Erdogan, M., TaskinGumus, A. (2021). A Pythagorean fuzzy number-based integration of AHP and WASPAS methods for refugee camp location selection problem: a real case study for Istanbul Turkey. *Neural Computing and Applications*. 33(22), 15751-15768. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06195-0>
- Ayyıldız, E., Yıldız, A., Taskin, A., & Ozkan, C. (2023). An interval valued Pythagorean fuzzy AHP integrated quality function deployment methodology for hazelnut production in Turkey. *Expert Syst. Appl.*, 231, 120708. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120708>
- Bengül, G. N., (2018), *Topsis ve Vikor Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Uygulama: Bartın Devlet Hastanesi Örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Bartın Üniversitesi
- Bogetoft, P. Pruzan, P., (1997). Planning with Multiple Criteria: Investigation, communication and choice, Handelshojskolens Forlag. *Copenhagen Business School Press*, ISBN 87-16-13386-2.
- BolakarTosun, H. (2021). A Novel approach for HST delays using Pythagorean Fuzzy AHP and Regression Analysis. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/914421>
- Brans, J. P., Vincke, Ph., Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. 24(2), 228-238. *European Journal of Operational Research* [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)

- Can, M., (2014). *Karar Teorisi*. Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (pp.1-11), Dora.
- Celik, E., Erdogan, M., TaskinGumus, A. (2016). An extended fuzzy TOPSIS–GRA method based on different separation measures for green logistics service provider selection. 13(5), 1377-1392. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-0977-4>
- Celik, M. T., Yildiz, A. (2022). Evaluation of green innovation criteria by using Pythagorean Fuzzy AHP Method. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 11(2), 2185-2193.
- Cengiz D., (2012). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Analiz*, [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Chen, L., Ren, J. (2018). Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis. *Journal of Air Transport Management*. Elsevier BV. 68(C), 176-186 <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.005>
- Çitli, N., (2006). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Dağdeviren, M. (2013). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4).
- Dalalah, D., Hayajneh, M., Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384–8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>
- Deng, J. (1989) Introduction to Grey System Theory. *Journal of Grey System*, 1, 1-24.
- Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*, 21, 50–56. <https://doi.org/10.2298/fuee0502319m>
- Dinçel, D. (2022). *Kentsel Dönüşüm Projelerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Proje Seçimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
- Emhan, D. A. (2007). Karar verme süreci ve bu süreçte bilişim sistemlerinin kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(21), 212-224.
- Ergül, Ö. (2015). *Gri İlişkisel Analiz ve Moora Yöntemleriyle Tedarikçi Seçimi ve Bir İşletmede Uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- Ersöz, F. Kabak, M. (2010). “Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması”, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97–125. <https://doi.org/10.17134/sbd.85950>.
- Ertuğrul, İ. (2007). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bir tekstil işletmesinde makine seçim problemine uygulanması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 171-192.
- Luenberger, D. G., Ye, Y. (2021). Linear and nonlinear programming. *International Series in Operations Research & Management Science*. Springer International Publishing. 228. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85450-8>

- Gök Kısa, A. C. (2021). TR83 bölgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının CRITIC tabanlı gri ilişkisel analiz yaklaşımı ile değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 542-548. <https://doi.org/10.5505/pajes.2021.99389>
- Goyal, S. ve Grover, S. (2012). Applying Fuzzy Grey Relational analysis for ranking the advanced manufacturing systems. *Grey Systems: Theory and Application*, 2(2), 284–298. <http://dx.doi.org/10.1108/20439371211260243>
- Griffin, R. W. (2002). Management. *Boston: Houghton Mifflin Company*.
- Guitouni, A., Martel, J.-M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*. Elsevier BV. 109(2), 501-521. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(98\)00073-3](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(98)00073-3)
- Gul, M. (2020). 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*, 26(4), 705-718, <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1492251>
- Gülçiçektolun, B., Tümtürk, A. (2020). AHP ile bütünleşik Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile makine Seçimi: Bir üretim işletmesinde uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 7(1), 21-34. <https://doi.org/10.18657/yonveek.610281>
- Hoş, S., Bağcı, B. (2021). Tedarikçi seçiminde bulanık esnek kümeler teorisi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(78), 630-645. <https://doi.org/10.17755/esosder.776894>
- İlbahar, E. Karaşan, A. Cebi, S. Kahraman, C. A., (2018). Novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Saf Sci*. 103, 124-136.
- Kahraman, C., Öztaysi, B., Onar, S. C., (2016). A Comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9, 3-24 <https://doi.org/10.1080/18756891.2016.1180817>
- Kangas, A., Kurttila, M., Hujala, T., Eyvindson, K., Kangas, J. (2015). Single-Criterion problems. *Managing Forest Ecosystems*, 30, 25–35. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23522-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23522-6_3)
- Kannan, D., Jabbour, A. B. L. de S. ve Jabbour, C. J. C. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 432–447. doi:10.1016/j.ejor.2013.07.023
- Kara, M., Eren, T. (2023). Hasar tespit çalışmalarında görevlendirilebilecek dronların bulanık karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi* 1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1238267>
- Karaca, Y. (2011). *Çok Kriterli Karar Verme Metotları Ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Matematik Eğitimi Alanında Bir Uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Bozok Üniversitesi.

- Karasan, A., Ilbahar, E., Kahraman, C. (2019). A novel pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem. *Soft Computing*, 23(21), 10953-10968.
- Kaya, A., Çiçekalan, B., Çebi, F. (2020). Location selection for WEEE recycling plant by using Pythagorean fuzzy AHP. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/jifs-179471>
- Kiyak E, Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık mantık ve uçuş kontrol problemine uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 63 - 72.
- Köse, E., Aplak, H. S., Kabak, M. (2013). An Integrated Approach Based on Grey System Theory for Personnel Selection. *Ege Academic Review*, 13(4), 461-472.
- Kuo, M. S., Liang, G.S. (2011). Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.003>
- Lahane, S., Kant, R. (2021). Evaluating the circular supply chain implementation barriers using Pythagorean fuzzy AHP-DEMATEL approach. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100014>
- Lee, S., Kang, D. (2019). Development of interval-valued fuzzy GRA with SERVPERF based on subjective and objective weights for evaluation of airline service quality: A case study of Korea low-cost carriers. *PLoS ONE*. DOAJ. 14(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219739>
- Lezki, S. (2019). Vikor. Durucasu, H. (Ed.), İşletmelerde karar verme teknikleri 139. *Anadolu Üniversitesi Yayınları* Yayın No :3355
- Li, N., Zhao, H. (2016). Performance evaluation of eco-industrial thermal power plants by using fuzzy GRA-VIKOR and combination weighting techniques. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier BV. 135, 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.113>
- Liou, J. J. H., Hsu, C. C., Yeh, W. C., Lin, R. H. (2011). Using a modified grey relation method for improving airline service quality. *Tourism Management*, 32(6), 1381–1388. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.01.013>
- Liu, A., Zhao, Y., Meng, X., Zhang, Y. (2020). A three-phase fuzzy multi-criteria decision model for charging station location of the sharing electric vehicle. *International Journal of Production Economics*. Elsevier BV. (225), 0925-5273. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107572>
- Ma, L. D., Wang, W. X., Xie, J. W., Zhang, N., Hu, N. F., Wang, Z.-A. (2022). Evaluation of product conceptual design based on Pythagorean fuzzy set under big data environment. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26873-w>
- Madenoglu, F. S. (2019). Bulanık çok kriterli karar verme ortamında yeşil tedarikçi seçimi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), 1850–1869. <https://doi.org/10.15295/bmij.v7i4.1155>
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision making techniques and applications, *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>

- MohammedOlabanji, O., Mpofu, K. (2021). Appraisal of conceptual designs: Coalescing fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) and fuzzy grey relational analysis (F-GRA). *Results in Engineering*. Elsevier BV. (9) <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100194>
- Oruç, K. Ş. (2021). *Sıfır Atık Uygulaması, Uygulamada Karşılaşılan Engellerin Pisagor Bulanık Ahp Yöntemi ile Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi.
- Otay, I., Jaller, M. (2020). A novel pythagorean fuzzy AHP and TOPSIS method for the wind power farm location selection problem. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.3233/jifs-189089>
- Özcan, E., (2019). *Aralık Değerli Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Türkiye’de Bir Havayolu Şirketi İçin Yeni Rota Seçimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Özdemir, A. I., Deste, M. (2008). Gri İlişkisel Analiz ile Çok Kriterli Tedarikçi Seçimi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(2), 147-156.
- Özgün, Z. (2021). *Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması* [Doktora Tezi]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Peng, X., Selvachandran, G. (2019). Pythagorean fuzzy set: state of the art and future directions. *Artificial Intelligence Review*, 52(3), 1873–1927. <https://doi.org/10.1007/s10462-017-9596-9>
- Polat, C., (2015). *Akaryakıt İstasyonunun Fizibilite Etüdünde Çok Kriterli Karar Verme ve Simülasyon Yöntemlerinin Kullanılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Gediz Üniversitesi.
- Sancar, S. (2022). *Pisagor Bulanık Ahp ve Pisagor Bulanık Waspas Yöntemleri ile Bakım Stratejisi Seçimi: Gazete Matbaası Örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. İbn Haldun Üniversitesi.
- Sarkar, B., Biswas, A. (2021). Pythagorean fuzzy AHP-TOPSIS integrated approach for transportation management through a new distance measure. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05433-2>
- Sarsour, N., Dağlı, H., Perçin, S. (2020). Financial performance evaluation using fuzzy gra and fuzzy entropy methods: wholesale and retail industry. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* (28), 47-64. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.653144>
- Sarucan, A., Demircan, L. (2018). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık gri ilişkisel analiz yöntemleri ile bir işgören yetkinlikleri analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 5(31), 4698-4708. <https://doi.org/10.26450/jshsr.937>
- Satıcı, S.R. (2023). *Fine-Kinney-Based Occupational Risk Assessment Using Pythagorean Fuzzy Ahp-Copras For The Lifting Equipment in The Energy Distribution And Investment Sector* [Yüksek Lisans Tezi]. Gaziantep Üniversitesi.

- Şenocak, A.A. (2016). *Bulanık Ortamda Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi Problemi İçin Çok Kriterli Karar Verme ve Doğrusal Programlamaya Dayalı Bir Uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi.
- Sumrit, D. (2020). Supplier selection for vendor-managed inventory in healthcare using fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Decision Science Letters*, 9(2), 233–256. doi:10.5267/j.dsl.2019.10.002
- TaskinGumus, A., Yayla, A., Celik, E., Yildiz, A. (2013). A Combined Fuzzy-AHP and Fuzzy-GRA Methodology for Hydrogen Energy Storage Method Selection in Turkey. *Energies*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/en6063017>
- Tepe, S. Coding Program Selection Using Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy and Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Processes, *APJESS*, c. 11, sy. 1, ss. 11–18, 2023, <https://doi.org/10.21541/apjess.1143964>
- Toksoy, M.E., *Çok Nitelikli Karar Verme Yöntemleri ve VIKOR Yöntemi ile Bir Uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Topçu, Y., (2000). *Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Torunlar, M. (2018). Yönetim Eyleminin Bir Parçası Olarak Karar Verme Süreçlerinde Belge/Bilgi Yönetiminin Önemi ve Katkıları. *Bilgi Yönetimi*, 1(1), 32-43. <https://doi.org/10.33721/by.418774>
- Türkbey, O. (2003). Çok Amaçlı Makina Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metod. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 81-98
- Türkoğlu, M., (2016). *Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tedarikçi Seçimi ve Bir Uygulama*, [Yüksek Lisans Tezi]. Bartın Üniversitesi.
- Ulutaş, A., Özkan, A. M., Tağraf, H. (2018). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık gri ilişkisel analizi yöntemleri kullanılarak personel seçimi yapılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(65), 223-232. <https://doi.org/10.17755/esosder.317209>
- Ünal, C., Atılgan, T. (2007). Decision making techniques in apparel industry. *Textile and Apparel*, 17(4), 256-263.
- Utku, S. (2023). *Bir Aydınlatma Firmasında Endüstri 4.0 Uygulamalarında Karşılaşılan Zorlukların Pisagor Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- Mohd, W. R. W. Abdullah, L. “Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to multi-criteria decision making,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 1905, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.5012208>
- Yager, R. R., (2013). Pythagorean Fuzzy Subsets, *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIBS Annual Meeting (IFSA/ NAFIBS)* , 57–61. <https://doi.org/10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375>
- Yazıcı, E., Özcan, E., Alakaş, H. M., Eren, T. (2022). Hidroelektrik Santrallarda Bakım Strateji Optimizasyonu için Hiyerarşik Bir Karar Modeli Önerisi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 933-945. <https://doi.org/10.2339/politeknik.862024>

- Yıldırım, B. F., & Kuzu Yıldırım, S. (2022). Ar-ge proje seçim süreci için yeni bir entegre sezgisel bulanık grup karar verme yaklaşımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 643-653. <https://doi.org/10.21923/jesd.975813>
- Yıldız, A., Ayyıldız, E., Taşkın Gümüş A., Özkan, C. (2019). Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1383-1391. <https://doi.org/10.31590/ejosat.658021>
- Yılmaz, M. , Yıldız, A.. (2022). Prioritization of R&D Project Evaluation Criteria Using Pythagorean Fuzzy AHP Method. *Academic Perspective Procedia*, 5 (3), 443-455. <https://doi.org/10.33793/acperpro.05.03.8294>
- Yucesan, M., Gul, M. (2019). Hospital service quality evaluation: an integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04084-2>
- Zadeh, L.A. (1994). Soft computing and fuzzy logic. *IEEE Software*, 11, 48-56. <https://doi.org/10.1109/52.329401>
- Zegerek, S. (2014). *Acil Servislerde Bulanık Dematel ve Bulanık Gia Yöntemleri ile Çok Kriterli Risk Değerlendirmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Zhang, S., Liu, S. (2011). A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection. *Expert Syst. Appl.*, (38), 11401-11405. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.03.012>
- Zhang, X., Xu, Z., (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets, *International Journal of Intelligent Systems*, 29, 1061–1078. <https://doi.org/10.1002/int.21676>
- Zhui, J., Li, Y., (2018). Pythagorean fuzzy Muirhead mean operators and their application in multiple-criteria group decision-making. *Information*. 9:142. <https://doi.org/10.3390/info9060142>



## **6. EKLER**

### **EK A. Tablolar**



**Tablo A.1.** Ana kriterlerin pisagor bulanık sayılar ile ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | K1    |       |       |       | K2    |       |       |       | K3    |       |       |       | K4    |       |       |       | K5    |       |       |       | K6    |       |       |       | K7    |       |       |       | K8    |       |       |       | K9    |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    | μL    | μU    | vL    | vU    |
| K1        | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,800 | 0,900 | 0,100 | 0,200 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |
| K2        | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |
| K3        | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 |
| K4        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 |
| K5        | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 |
| K6        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 |
| K7        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 |
| K8        | 0,100 | 0,200 | 0,800 | 0,900 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 |
| K9        | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,450 | 0,550 | 0,450 | 0,550 | 0,350 | 0,450 | 0,550 | 0,650 | 0,650 | 0,800 | 0,200 | 0,350 | 0,200 | 0,350 | 0,650 | 0,800 | 0,550 | 0,650 | 0,350 | 0,450 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,197 |

**Tablo A.2.** Değişiklik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | A1      |         |       |       | A2      |         |       |       | A3      |         |       |       | A4      |         |       |       |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|
|           | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  | $\mu L$ | $\mu U$ | $vL$  | $vU$  |
| A1        | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 | 0,650   | 0,800   | 0,200 | 0,350 |
| A2        | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 | 0,550   | 0,650   | 0,350 | 0,450 |
| A3        | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 | 0,650   | 0,800   | 0,200 | 0,350 |
| A4        | 0,200   | 0,350   | 0,650 | 0,800 | 0,350   | 0,450   | 0,550 | 0,650 | 0,200   | 0,350   | 0,650 | 0,800 | 0,197   | 0,197   | 0,197 | 0,197 |

**Tablo A.3.** Güvenilirlik alt kriterleri bulanık sayılar ikili karşılaştırma matrisi.

| Kriterler | B1      |         |         |         | B2      |         |         |         | B3      |         |         |         | B4      |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ | $\mu L$ | $\mu U$ | $\nu L$ | $\nu U$ |
| <b>B1</b> | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,650   | 0,800   | 0,200   | 0,350   | 0,800   | 0,900   | 0,100   | 0,200   | 0,650   | 0,800   | 0,200   | 0,350   |
| <b>B2</b> | 0,200   | 0,350   | 0,650   | 0,800   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,450   | 0,550   | 0,450   | 0,550   | 0,450   | 0,550   | 0,450   | 0,550   |
| <b>B3</b> | 0,100   | 0,200   | 0,800   | 0,900   | 0,450   | 0,550   | 0,450   | 0,550   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,350   | 0,450   | 0,550   | 0,650   |
| <b>B4</b> | 0,200   | 0,350   | 0,650   | 0,800   | 0,450   | 0,550   | 0,450   | 0,550   | 0,550   | 0,650   | 0,350   | 0,450   | 0,197   | 0,197   | 0,197   | 0,197   |

**Tablo A.4.** Bulanık sayılar ile alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi.

|           | Z1                | Z2               | Z3                | Z4               | Z5                | Z6                | Z7                | Z8                | Z9                | Z10              | Z11               | Z12               | Z13              | Z14               | Z15               | Z16               | Z17               |
|-----------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>X1</b> | (0,7 , 1 , 1)     | (0,7 , 1 , 1)    | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0 , 0,25 , 0,5)  | (0,7 , 1 , 1)    | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| <b>X2</b> | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| <b>X3</b> | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,5 , 0,75 , 1) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) |
| <b>X4</b> | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,7 , 1 , 1)    | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,5 , 0,75 , 1)  | (0 , 0,25 , 0,5) | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,5 , 0,75 , 1) | (0 , 0,25 , 0,5)  | (0,3 , 0,5 , 0,7) | (0,7 , 1 , 1)     | (0,5 , 0,75 , 1)  |

**Tablo A.5.** Normalize karar matrisi.

|    | Z1            | Z2           | Z3            | Z4           | Z5            | Z6            | Z7            | Z8            | Z9            | Z10          | Z11           | Z12           | Z13          | Z14           | Z15         | Z16           | Z17           |
|----|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| X1 | (0,7,1,1)     | (0,7,1,1)    | (0,5,0,75,1)  | (0,5,0,75,1) | (0,7,1,1)     | (1,0,6,0,429) | (0,5,0,75,1)  | (0,6,0,4,0,3) | (0,0,25,0,5)  | (0,7,1,1)    | (0,6,0,4,0,3) | (1,0,6,0,4)   | (0,5,0,75,1) | (0,5,0,75,1)  | (1,0,6,0,4) | (1,0,6,0,4)   | (1,0,6,0,4)   |
| X2 | (0,3,0,5,0,7) | (0,5,0,75,1) | (0,5,0,75,1)  | (0,5,0,75,1) | (0,7,1,1)     | (1,0,6,0,429) | (0,5,0,75,1)  | (0,6,0,4,0,3) | (0,3,0,5,0,7) | (0,5,0,75,1) | (0,4,0,3,0,3) | (0,6,0,4,0,3) | (0,5,0,75,1) | (0,5,0,75,1)  | (1,0,6,0,4) | (1,0,6,0,4)   | (1,0,6,0,4)   |
| X3 | (0,3,0,5,0,7) | (0,0,25,0,5) | (0,3,0,5,0,7) | (0,5,0,75,1) | (0,7,1,1)     | (1,0,6,0,429) | (0,3,0,5,0,7) | (1,0,6,0,429) | (0,3,0,5,0,7) | (0,0,25,0,5) | (1,0,6,0,4)   | (0,4,0,3,0,3) | (0,5,0,75,1) | (0,3,0,5,0,7) | (1,0,6,0,4) | (0,6,0,4,0,3) | (1,0,6,0,4)   |
| X4 | (0,3,0,5,0,7) | (0,0,25,0,5) | (0,3,0,5,0,7) | (0,7,1,1)    | (0,3,0,5,0,7) | (1,0,6,0,429) | (0,3,0,5,0,7) | (1,0,6,0,429) | (0,5,0,75,1)  | (0,0,25,0,5) | (1,0,6,0,4)   | (0,4,0,3,0,3) | (0,5,0,75,1) | (0,0,25,0,5)  | (1,0,6,0,4) | (0,4,0,3,0,3) | (0,6,0,4,0,3) |

**Tablo A.6.** Referans Serileri Matrisi.

|   | Z1        | Z2        | Z3           | Z4        | Z5        | Z6          | Z7           | Z8            | Z9           | Z10       | Z11           | Z12           | Z13          | Z14          | Z15         | Z16           | Z17           |
|---|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-------------|--------------|---------------|--------------|-----------|---------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| R | (0,7,1,1) | (0,7,1,1) | (0,5,0,75,1) | (0,7,1,1) | (0,7,1,1) | (1,0,6,0,4) | (0,5,0,75,1) | (0,6,0,4,0,3) | (0,5,0,75,1) | (0,7,1,1) | (0,4,0,3,0,3) | (0,4,0,3,0,3) | (0,5,0,75,1) | (0,5,0,75,1) | (1,0,6,0,4) | (0,4,0,3,0,3) | (0,6,0,4,0,3) |

**Tablo A.7.** Uzaklık Matrisi.

|    | Z1    | Z2    | Z3    | Z4    | Z5    | Z6    | Z7    | Z8    | Z9    | Z10   | Z11   | Z12   | Z13   | Z14   | Z15   | Z16   | Z17   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,115 | 0,380 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,380 | 0,269 |
| X2 | 0,408 | 0,185 | 0,000 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,253 | 0,185 | 0,000 | 0,115 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,380 | 0,269 |
| X3 | 0,408 | 0,659 | 0,253 | 0,185 | 0,000 | 0,000 | 0,253 | 0,269 | 0,253 | 0,659 | 0,380 | 0,000 | 0,000 | 0,253 | 0,000 | 0,115 | 0,269 |
| X4 | 0,408 | 0,659 | 0,253 | 0,000 | 0,408 | 0,000 | 0,253 | 0,269 | 0,000 | 0,659 | 0,380 | 0,000 | 0,000 | 0,500 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

**Tablo A.8.** Gri İlişkisel Katsayılar Matrisi.

|    | Z1    | Z2    | Z3    | Z4    | Z5    | Z6    | Z7    | Z8    | Z9    | Z10   | Z11   | Z12   | Z13   | Z14   | Z15   | Z16   | Z17   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X1 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,397 | 1,000 | 0,742 | 0,464 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,464 | 0,551 |
| X2 | 0,447 | 0,641 | 1,000 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,565 | 0,641 | 1,000 | 0,742 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,464 | 0,551 |
| X3 | 0,447 | 0,333 | 0,565 | 0,641 | 1,000 | 1,000 | 0,565 | 0,551 | 0,565 | 0,333 | 0,464 | 1,000 | 1,000 | 0,565 | 1,000 | 0,742 | 0,551 |
| X4 | 0,447 | 0,333 | 0,565 | 1,000 | 0,447 | 1,000 | 0,565 | 0,551 | 1,000 | 0,333 | 0,464 | 1,000 | 1,000 | 0,397 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nazlı DİLSİZ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022 – Halen, Erasys Mühendislik ve Danışmanlık Şirketi / Endüstri Mühendisi