

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAZILIM SEÇİMİNDE KÜRESEL BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇOK  
KRİTERLİ KARAR VERME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve CANPOLAT**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAZILIM SEÇİMİNDE KÜRESEL BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇOK  
KRİTERLİ KARAR VERME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve CANPOLAT  
(507151113)**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507151113 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Merve CANPOLAT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAZILIM SEÇİMİNDE KÜRESEL BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Sezi ÇEVİK ONAR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Çağrı TOLGA** .....  
Galatasaray Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      : 2 Mayıs 2019  
**Savunma Tarihi**    : 12 Haziran 2019





*Canım Aileme,*



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada bulanık küme açılımlarından biri olan küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi açıklanmış ve bir şirket üzerinde yazılım seçim uygulaması yapılmıştır.

Çalışmam boyunca hiçbir konuda yardım ve desteğini esirgemeyen, tüm sorularına zaman ayırarak cevap veren çok değerli danışmanım Cengiz KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Ve tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bugüne gelmemde en büyük pay sahibi olan, her konuda desteklerini ve sevgilerini hissettiğim anneme, babama ve biricik kardeşim Seda'ya sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Merve Canpolat  
(Endüstri Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET .....	xix
SUMMARY.....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. YAZILIM SEÇİM SÜRECİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Literatür Çalışması .....	3
2.2 Yazılım Seçim Süreci .....	5
<b>3. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER .....</b>	<b>11</b>
3.1 Bulanık Mantık.....	11
3.2 Bulanık Kümeler .....	12
3.2.1 Bulanık küme özellikleri.....	14
3.2.2 Genişleme prensibi .....	16
3.2.3 Bulanık küme işlemleri.....	16
3.3 Dilsel Değişkenler .....	18
3.4 Bulanık Sayılar.....	18
3.5 Durulaştırma.....	20
3.6 Bulanık Küme Uzantıları .....	20
3.6.1 Tip-2 bulanık kümeler .....	21
3.6.2 Aralık değerli bulanık kümeler .....	23
3.6.3 Sezgisel (Intuitionistic) bulanık kümeler .....	24
3.6.4 Bulanık çoklu kümeler (Fuzzy multisets).....	26
3.6.5 Neutrosophic bulanık kümeler .....	27
3.6.6 Durağan olmayan (Nonstationary) bulanık kümeler .....	27
3.6.7 Kararsız (Hesitant) bulanık kümeler .....	28
3.6.8 Küresel bulanık kümeler .....	29
<b>4. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME .....</b>	<b>35</b>
4.1 Çok Kriterli Karar Verme Süreci .....	35
4.2 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri .....	36
4.2.1 Bulanık TOPSIS.....	36
4.2.2 Bulanık VIKOR.....	38
4.2.3 Bulanık AHP .....	39
4.2.4 Bulanık ANP .....	42
4.2.5 Bulanık ELECTRE.....	43
4.2.6 Diğer bulanık yöntemler .....	44
<b>5. METODOLOJİ.....</b>	<b>47</b>

5.1 Küresel Bulanık TOPSIS Yöntemi .....	47
5.2 Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi .....	51
<b>6. UYGULAMA: BİR İŞLETMEDE ÇOK KRİTERLİ YAZILIM SEÇİMİ....</b>	<b>55</b>
6.1 İşletme Tanıtımı .....	55
6.2 Problemin Tanımı .....	56
6.3 Küresel Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması.....	57
6.4 Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırma.....	65
6.5 Duyarlılık Analizi .....	68
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>83</b>



## KISALTMALAR

<b>AHP</b>	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
<b>ALI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Kesinlikle çok kötü
<b>ANP</b>	: Analitik Ağ Prosesi
<b>AMI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Kesinlikle çok iyi
<b>ÇAKV</b>	: Çok Amaçlı Karar Verme
<b>ÇKKV</b>	: Çok Kriterli Karar Verme
<b>ÇNKV</b>	: Çok Nitelikli Karar Verme
<b>EI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi - Ortalama
<b>ERP</b>	: Kurumsal Kaynak Planlaması
<b>HI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Çok iyi
<b>IFS</b>	: Sezgisel Bulanık Kümeler
<b>IFS2</b>	: Tip-2 Sezgisel Bulanık Kümeler
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>LI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Çok kötü
<b>SFS</b>	: Küresel bulanık kümeler
<b>SLI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi - Kötü
<b>SMI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi - İyi
<b>SWAM</b>	: Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama
<b>SWGM</b>	: Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama
<b>VHI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Çok çok iyi
<b>VLI</b>	: Bulanık TOPSIS değer ölçęęi – Çok çok kötü



## SEMBOLLER

$H_A$	: Bulanık kümenin yüksekliği
$C$	: Kriterler matrisi
$M$	: Sözel değişkenler ile ilgili semantik kurallar
$R$	: Reel sayılar kümesi
$T(x)$	: Değişkenleri içeren küme
$U$	: Evrensel küme
$w$	: Ağırlık
$W$	: Ağırlık Matrisi
$x$	: Değişken
$X$	: Alternatifler matrisi
$x_{ij}$	: $i$ . karar vericinin $j$ . kriter için olan dilsel ifadeleri
$\lambda$	: Skaler bir katsayı
$\mu(x)$	: Üyelik fonksiyonu
$\mu_A(x)$	: Üyelik derecesi
$\nu_A(x)$	: Üye olmama derecesi
$\pi_A(x)$	: Kararsızlık derecesi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Yazılım seçim ve değerlendirme kriterleri.....	8
Çizelge 4.1 : Beş skalalı dilsel değişken tablosu.....	37
Çizelge 4.2 : Önem ölçeği tablosu.....	40
Çizelge 5.1 : Küresel bulanık sayılar için önem ölçeği. ....	47
Çizelge 5.2 : Sezgisel bulanık sayılar için önem ölçeği. ....	51
Çizelge 5.3 : Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan dilsel terimler.....	52
Çizelge 6.1 : Karar verici 1 için dilsel terimler.....	58
Çizelge 6.2 : Karar verici 2 için dilsel terimler.....	58
Çizelge 6.3 : Karar verici 3 için dilsel terimler.....	58
Çizelge 6.4 : Kriterlerin önem ağırlıkları. ....	59
Çizelge 6.5 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi. ....	60
Çizelge 6.6 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi. ....	60
Çizelge 6.7 : SWAM operatörü ile birleştirilmiş kriter ağırlık matrisi. ....	60
Çizelge 6.8 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi. ....	61
Çizelge 6.9 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi. ....	61
Çizelge 6.10 : SWAM operatörü ile skor fonksiyon değerleri. ....	62
Çizelge 6.11 : SWGM operatörü ile skor fonksiyon değerleri. ....	62
Çizelge 6.12 : SWAM operatörüne göre pozitif ve negatif ideal çözümler. ....	63
Çizelge 6.13 : SWGM operatörüne göre pozitif ve negatif ideal çözümler. ....	63
Çizelge 6.14 : SWAM operatörüne göre ideal çözümlere olan uzaklıklar. ....	63
Çizelge 6.15 : SWGM operatörüne göre ideal çözümlere olan uzaklıklar. ....	63
Çizelge 6.16 : SWAM operatörüne göre yakınlık oranları. ....	64
Çizelge 6.17 : SWGM operatörüne göre yakınlık oranları. ....	64
Çizelge 6.18 : Sezgisel bulanık TOPSIS için birleştirilmiş karar matrisi.....	65
Çizelge 6.19 : Birleştirilmiş kriter ağırlıkları.....	65
Çizelge 6.20 : Sezgisel bulanık TOPSIS için ağırlıklı karar matrisi. ....	66
Çizelge 6.21 : Sezgisel bulanık TOPSIS için pozitif ve negatif ideal çözümler.....	67
Çizelge 6.22 : Sezgisel bulanık TOPSIS için pozitif ve negatif ideal çözümleri.....	67
Çizelge 6.23 : Sezgisel bulanık TOPSIS için yakınlık oranları. ....	67
Çizelge 6.24 : SWAM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçları.....	69
Çizelge 6.25 : SWGM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçları.....	69
Çizelge A.1 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi. ....	80
Çizelge A.2 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi. ....	80
Çizelge A.3 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi. ....	80
Çizelge A.4 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi. ....	80
Çizelge A.5 : Sezgisel bulanık TOPSIS karar matrisi.....	81
Çizelge A.6 : Sezgisel bulanık TOPSIS ağırlıklı karar matrisi.....	81



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1 : Bulanık system gösterimi. ....	12
Şekil 3.2 : Konveks bulanık küme ve konveks olmayan bulanık küme örneği. ....	14
Şekil 3.3 : Sıcaklık kontrolü çalışmasında kullanılan bulanık küme gösterimi. ....	15
Şekil 3.4 : Üçgen bulanık sayı gösterimi. ....	19
Şekil 3.5 : Bulanık küme uzantılarının tarihsel gelişimi. ....	21
Şekil 3.6 : Tip-1(a), Bulanıklaştırılmış Tip-1(b), Tip-2(c) üyelik fonksiyonları. ....	22
Şekil 3.7 : Aralık değerli bulanık küme. ....	23
Şekil 3.8 : Sezgisel bulanık küme üçgeni. ....	25
Şekil 3.9 : Küresel yüzeyde öklid uzaklığı ve küresel uzaklık. ....	30
Şekil 3.10 : Bulanık küme uzantılarının geometrik gösterim farkı. ....	30
Şekil 3.11 : Küresel bulanık kümelerin geometrik gösterimi. ....	31
Şekil 4.1 : AHP yöntemi gösterimi. ....	40
Şekil 6.1 : SWAM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçlarının grafik gösterimi. ....	69
Şekil 6.2 : SWGM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçlarının grafik gösterimi. ....	70



## YAZILIM SEÇİMİNDE KÜRESEL BULANIK TOPSIS YÖNTEMİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

### ÖZET

Şirketler günümüz rekabet dünyasında yer edinebilmek için yeni yatırımlar yapmaktadır. Özellikle bu noktada dijitalleşme öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda şirketlerin bilişim teknolojileri konusunda alacağı kararlar ve yapacağı yatırımlar kritik olmaktadır. Büyük ölçekli şirketlerde farklı amaçlara hizmet eden yazılımlar mevcuttur ve her geçen gün yenileri eklenmektedir. Bu yazılımların değerlendirilmesi ve seçimleri birden fazla kriteri gözetererek yapılmaktadır. Ayrıca tek bir karar verici olmadığı için görüşlerin karar vericilerin ağırlıkları orantısında birleştirilmesi önemlidir.

Bu çalışmada yazılım seçim süreci bir Çok Kriterli Karar Verme problemi olarak ele alınmıştır. Bu sürecin içerisinde insan faktörü olduğu ve belirsizlik içerdiği için bulanık yöntemler daha uygun bulunmuştur. Yazılım seçiminde kullanılacak yöntem olarak küresel bulanık kümeleri temel alan TOPSIS yöntemi seçilmiştir. Küresel bulanık kümeler literatürde oldukça yeni yer alan bir yöntem olduğu için yazılım seçiminde bu yöntemi uygulamak açısından ilk olacaktır. Bu doğrultuda önce bulanık mantık ve bulanık kümeler ile ilgili kavramlar daha sonra da uygulanacak olan yöntem açıklanmıştır.

Çalışmanın devamında bir şirket uygulaması yer almaktadır. Büyük ölçekli bir firmanın bilişim teknoloji departmanında yapılan bu uygulamada dört alternatifi olan bir yazılım seçimi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Uygulamada ilk olarak, seçimi etkileyecek kriterler belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen kriterler ve alternatifler doğrultusunda karar vericilerin görüşleri alınmıştır. Dilsel terimler temel alınarak alınan görüşler karar matrislerinin oluşturulmasında kullanmıştır. Oluşturulan karar matrislerine ilk olarak önerilen yöntem olan küresel bulanık TOPSIS yöntemi adımları uygulanmıştır. Karar vericilerden alınan kriterlerin önemi ve her alternatif için kriter değerlendirmesi birleştirilmiştir. Daha sonra ağırlıklı karar matrisleri oluşturulup skorları hesaplanmıştır. Ortaya çıkan skorlara göre ideal pozitif ve ideal negatif çözümler bulunmuş ve alternatifler sıralanmıştır.

Daha sonra elde edilen sonuçları küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmak adına sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi aynı veri setine uygulanmıştır. Sezgisel bulanık TOPSIS yönteminde verilen hesaplamalar doğrultusunda ağırlıklı karar matrisleri oluşturulmuştur. Daha sonra ideal çözümlere olan uzaklıklarına göre sıralanmıştır.

Çıkan sonuçlara göre iki yöntem de aynı alternatifi ilk sıraya koymuştur. Son sıradaki alternatifler de aynı çıkmıştır. Küresel bulanık TOPSIS uygulamasında SWAM operatörü ile olan uygulama ile SWGM operatörü ile yapılan uygulamada ikinci ve üçüncü sıradaki alternatiflerin sıralaması farklı çıkmıştır. İki birleştirme operatörünün dayandığı varsayımlar farklı olduğu için bu sonuç normal görülmektedir.



# **MULTI-CRITERIA DECISION MAKING OF SOFTWARE PACKAGES USING SPHERICAL FUZZY TOPSIS**

## **SUMMARY**

Companies are making investments in order to take a place in today's competitive market. With the development of technology, concept of digitalization is becoming increasingly important. As such, companies have to determine their strategies in this direction. New software for different business areas come into the market every day and companies have to select most suitable one from the alternatives. This selection are made with generally more than one people and considering more than one criteria. Because of these reasons, software selection problem was selected for subject of thesis. Generating a methodology that can be applicable in all software selection is one of the output of this study.

At the beginning of the study, literature review was done. Selection criteria and selection methods from literature were investigated. In most researches, the software is related to what area the criteria are also related to that area. Few studies determine selection criteria based on general perspective. According to these studies, a set of criteria was created to be a guide for software evaluation. After criteria determination, approaches in studies are also evaluated. It was seen that there are different approaches to the problem in the literature. However, general opinion is one of Multi Criteria Decision Methods can be used for the software selection problem. Some of these studies used the fuzzy methods. It is thought that fuzzy methods can be more suitable because there is always an uncertainty and indecision in the processes that human beings are involved. For making decision in these processes are difficult and time consuming. Therefore, methods based on fuzzy logic can handle the uncertainty.

Unlike the classical logic system, fuzzy logic is a system based on fuzzy sets that assigns membership degrees to the linguistic terms used in daily life. In ordinary sets, an element is a member of a set or not. However, in fuzzy logic, there is membership degrees. In the fuzzy logic approach, an element belongs to the set or not as much as its membership degree. It have advantages in terms of using linguistic terms, being flexible and including uncertainty. In this study, fuzzy logic and fuzzy sets concept are explained in detail. A fuzzy system consists of input, fuzzier, rules, fuzzy engine, defuzzier and outputs. In this thesis, all these terms are explained. Fuzzy sets continue to evolve since the day it was defined. There are extensions to deal with problem of determining the membership degrees and expressing uncertainty in a better way. The fuzzy extensions developed so far are as follows: Type-2 fuzzy sets, Interval-valued fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, fuzzy multisets, nonstationary fuzzy sets and hesitant fuzzy sets. Finally, spherical fuzzy sets take part in literature as one of the extension of fuzzy set theory. Since it is quite new approach, using spherical fuzzy sets in software selection problem will be first.

While number of fuzzy set extensions has increased, methods have also been developed that use these extensions in fuzzy multi-criteria decision making methods. Spherical Fuzzy TOPSIS method is one of these and it was selected as methodology. Spherical Fuzzy TOPSIS is based on spherical fuzzy distances. All operations and aggregation operations of method were given in the study. First step of Spherical Fuzzy TOPSIS is gathering opinions of decision makers and constructing decision matrices. For doing that, all opinions should be aggregated. In Spherical Fuzzy TOPSIS method, two aggregation method were proposed that are Spherical Weighted Arithmetic Mean (SWAM) and Spherical Weighted Geometric Mean (SWGGM). Based on these two aggregation method, decision matrix should be created at first. After decision matrix, weighted decision matrix should be constructed. For evaluating fuzzy outputs, defuzzification are making with using score functions. Regarding score values, fuzzy positive ideal solution and fuzzy negative ideal solution are obtained. Then, distance of each alternative from the both positive and negative ideal solutions are calculated with based on Euclidean distance formula. Finally, closeness ratios are calculated and all alternatives are ranking in ascending order. Therefore, the alternative that have minimum closeness ratio is the best alternative.

After the literature reviews and methodology explanations, one software selection problem was chosen from a big-size company. In this application, where in the Information Technologies department of the company, a software selection and evaluation process has been examined. In the selected problem, there are four alternative and three decision makers. Weights of each decision makers are different because of their management level and responsible functions. At the beginning, the criteria that will affect the selection was determined with decision makers. Not all criteria in the literature review were used, only criteria that is meaningful in the process of selected software and affect the selection. After that, opinions of decision makes based on linguistic terms are gathering. With using these linguistic terms, decision matrices were constructed. Both SWAM and SWGM aggregation methods were applied on data. Then weighted decision matrices were created. Then score values were calculated and ideal solutions were determined. At the end, alternatives were ranked based on closeness ratios. As a result, first alternative was found as best alternative in both aggregation way.

For comparing the proposed methodology, Intuitionistic Fuzzy TOPSIS method were applied to the same data set. The same linguistic terms and criteria weights were used in this method to the comparison. In this method, IWFA operator is used for aggregation. First, decision matrix was construct based on IFWA operator that is an aggregation way. After that, weighted decision matrix was created. Based on weighted decision matrix, positive ideal and negative solutions are determined. Distances from positive and negative ideal solutions are also calculated with Euclidean distance formula. Lastly, closeness ratios are calculated and alternatives were ranked.

According the results of both method, first alternative was in the first order. In terms of evaluating spherical fuzzy TOPSIS, last alternative is also same for both aggregation operator. The ranking of Spherical Fuzzy TOPSIS with SWAM and ranking with SWGM are different, the place of second and third alternative is in reverse. These results are normal because both aggregation method have use different assumption. On the other hand, although order of first alternative is same in intuitionistic fuzzy TOPSIS, order of other ones is different. It is thought that reason of it is way for determining the ideal solutions. In intuitionistic fuzzy TOPSIS method,

positive and negative ideal solutions are determined based on membership degrees. However, in spherical fuzzy TOPSIS, it is done by score functions and score function considers all parameters. Therefore, non-membership degree and uncertainty degree can affect the result. Therefore, these results are suitable for the study.

To sum up, a software selection problem was investigated in this study. Spherical fuzzy TOPSIS method was used in application. The first output of study is creating a generic criteria list to evaluate software. Then, a software selection problem was solved with spherical fuzzy TOPSIS. This study is important with regard to there is no other study that use this extension method. For further studies, a package program can be created for better and faster evaluation of software. In addition, new methods like spherical fuzzy VIKOR or spherical fuzzy ELECTRE can be developed and used for these problems.





## 1. GİRİŞ

İş hayatında da karar verme işlemleri tek kişi tarafından tek bir ölçüt düşünülerek yapılırken zaman ile bu durum yetersiz kalmıştır. Kararların birden fazla kişi ve durum gözetilerek alınması zorunluluğu ile birlikte bu tip seçim problemlerine çözüm yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. İş hayatında olan karar verme süreçlerinden biri de yazılım seçimidir.

Aynı amaca hizmet eden alternatif yazılımların değerlendirilmesi ve seçim süreci zaman alıcı ve karmaşık bir karar verme sürecidir. Çünkü genellikle alternatif yazılımlardan biri tüm özellikleri ile öne çıkmaz. Bunun yerine her birinin farklı avantajları olabilir. Bu gibi durumlarda birden fazla kriteri aynı anda ele alıp değerlendirmek gerekir. Seçim işlemi, halihazırda bulunan diğer sistemler ile arasındaki bağlantılar, iş ihtiyaçlarını, uygulama süresi, yazılım paketinin ücreti gibi pek çok kriter düşünülerek yapılmaktadır. Bunlar değerlendirilirken zaman kısıtı da olması süreci daha zor bir hale sokmaktadır. Bu durum araştırmacıların, yazılım seçiminin sistematik yollarını araştırmasını sağlamıştır. Genellikle çalışmalarda birçok kriterli karar verme problemi olarak ele alınmıştır. Tez çalışması da bu bakış açısı ile yapılmıştır.

İçinde insan olan süreçlerde genellikle bir belirsizlik söz konusudur. Dolayısıyla çok kriterli karar verme problemlerinde belirsizlik ve eksik bilgiler olması olağandır. Bu nedenle karar verme sürecini bulanık mantık ile birleştiren bulanık karar verme yöntemleri daha uygun olacaktır. Literatürde birçok bulanık karar verme yöntemi yer almaktadır. Bu yöntemlerin bazıları klasik bulanık kümeleri kullanırken bazıları ise bulanık küme açılımlarından birini temel almaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışma için bulanık küme uzantılarından biri olan küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır. Literatüre oldukça yeni giren bir yöntem olduğu için bu tip bir seçimde ilk kez kullanılmıştır.

Bir sonraki bölümde yazılım seçimi süreci ve literatür çalışması yer almaktadır. Literatür çalışması bölümünde yazılım seçiminde daha önce yapılmış çalışmalar ile

birlikte bulanık küme uzantılarının tüm karar verme süreçleri için yapılmış olan çalışmalar da belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, bulanık mantık kavramı, bulanık kümeler ve bulanık mantık uzantıları detaylı olarak açıklanmıştır. Küresel bulanık kümeler de bir bulanık küme uzantısı olduğu için bu bölümde tanımı, temel özellikleri ve işlemleri yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, bulanık ortamda çok kriterli karar verme süreci ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri açıklanmıştır. Literatürde yer alan ve en çok kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışmada kullanılacak olan yöntemler açıklanmıştır. Yazılım seçimi probleminde kullanılacak olan küresel bulanık TOPSIS yöntemi tüm adımları ile belirtilmiştir. Ayrıca karşılaştırma yöntemi olarak seçilen sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi de bu bölümde açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, bir işletme üzerinden yapılan uygulama verilmiştir. İşletmeden alınan veriler ışığında uygulanan yöntemler ve adımları detaylı olarak yer almaktadır.

Son bölümde ise tüm çalışma boyunca elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. YAZILIM SEÇİM SÜRECİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüz dünyasında şirketler rekabette yer almak ya da öne geçmek için sürekli olarak gelişen teknolojileri takip etmek ve ayak uydurmak durumundalar. Bu nedenle şirketlerin Bilişim Teknolojileri ve dijitalleşme stratejileri, başarılarını doğrudan etkileyen faktörlerden biri olmaktadır. Her geçen gün farklı ihtiyaçlara yönelik yeni yazılımlar ortaya çıkmakta ve şirketler en uygun olanı satın almak durumundadırlar. Yazılımlar işlerin daha sistematik şekilde olmasını sağlayan araçlardır. Bu noktada kullanılacak doğru yazılımın ve sağlayıcısının seçimi en önemli faaliyetlerdendir (Koçak, 2003). Birden fazla kriteri göz önüne alarak alternatifler arasında seçim yapmak kişilerin olduğu gibi şirketler için de önemli ve zor bir durumdur. Karar vermeyi yönlendirmek ve önermek için literatürde farklı ‘Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri’ bulunmaktadır. Yazılım seçiminde de hem Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri hem de farklı yaklaşımlar uygulandığı görülmektedir. Bu bölümde yazılım seçim süreci ve kriterleri ile birlikte literatürde daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

### 2.1 Literatür Çalışması

Yazılım paketlerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi problemi, soyut ve somut kriterler barındırdığı için genellikle çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınır. Bu nedenle literatürde yer alan yazılım seçim ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar ve bulanık Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin bulunduğu diğer çalışmalar incelenmiştir.

Yazılım seçimi ilgili olan makalelerde farklı alanlarda uygulamalar mevcuttur. Sahay ve Gupta (2003) tedarik zinciri uygulamalarında kullanılacak yazılım seçimi için kriterleri ve alt kriterleri oluşturmuş, karar destek modeli ile çözümlenmişlerdir. Bu makale uygun tedarik zinciri çözümlerini seçmek için yüzde bazlı ağırlıklı ağaç kullanımını önermektedir.

Dorado ve diğ. (2011) mühendislik öğrencilerini eğitiminde kullanılacak bir yazılım seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini önermişlerdir. Eğitim için

kullanılabilecek kriterleri kendi arasında karşılaştırarak en uygun alternatifini seçme üzerine termal mühendislik alanında bir uygulama yapmıştır.

Farklı bir uygulama alanı olarak Ergu ve Peng (2013) hizmet olarak kullanılan yazılımların (software as a service (SaaS)) değerlendirilmesi ve seçimi için Analitik Ağ Prosesini uygulamışlardır. İki seviyeli olarak gösterilen ANP yapısı önerilmiştir. Üst seviyede stratejik kriterler ve etkileşimleri kontrol etmek için kısaca BOCR ile ifade edilen kontrol seviyesi vardır. BOCR; fayda (benefits), fırsat (opportunities), maliyetler (costs), riskler (risks) olarak tanımlanmıştır. Alt seviye ise, dört kontrol kriteri B, O, C ve R'nin her birinin altındaki öğeler ve kümeler arasındaki etkileşim ağından oluşur.

Pek çok işletmenin temel yazılımı olan ERP paketi seçimi ile ilgili de literatürde çalışmalar mevcuttur. Silva ve diğ. (2013) ve Wei ve diğ. (2005) tarafından ele alınan makalelerde Analitik Hiyerarşi Prosesi temelli yöntemler önermişlerdir.

Buraya kadar olan çalışmalar bulanık olmayan yöntemleri içermektedir. Ancak karar verme süreçlerindeki belirsizlik söz konusu olduğunda bulanık yöntemler bu süreç için daha uygun olacaktır. Bulanık temelli yaklaşımların güçlü yönleri; karar vericilerin alternatifleri kolay ve sezgisel olarak değerlendirmek için dilsel ifadeleri kullanabilirler ve karar verme sürecinde oluşan belirsizliği destekleyerek karar verme prosedürünü destekler. Bunun yanında zayıf yönü olarak da tüm alternatifler için bulanık uygunluk indeks değerlerini ve sıralama değerlerini hesaplamak zor olması gösterilebilir (Jadhav ve Sonar, 2011).

Yazılım seçiminde bulanık yöntemleri uygulayan çalışmalar araştırıldığında daha çok ERP paketi seçimi üzerine uygulamalar olduğu görülmüştür. Büyüközkan ve Ruan (2008) geliştirilmiş bulanık VIKOR yöntemi ile ERP yazılımlarının değerlendirilmesi üzerine çalışma sunmuşlardır.

Onut ve Efendigil (2010) ERP yazılımı seçiminde bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesini önerirken, Efe (2016) bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve bulanık TOPSIS yönteminin birleşmesinden oluşan bir yöntem önermiştir.

ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak Challa ve diğ. (2011) ISO/IEC 9126 modelinde belirtilen kalite faktörleri yardımıyla yazılım kalite faktörlerini hassas bir şekilde ölçmek için bir yöntem önermişlerdir. Yazılım kalitesi özelliklerinin öngörülemeyen

ve belirsizlikler içeren doğası nedeniyle yazılım kalitesini geliştirmek için bulanık çoklu ölçüt yaklaşımını kullanmışlardır.

Huang ve Xi (2012) kararsız bulanık kümeler ile yazılım kalitesini değerlendirme üzerine çalışmışlardır. Her alternatife karşılık gelen kararsız bulanık bilgiyi toplamak için HFWA (kararsız bulanık ağırlıklı ortalama, hesitant fuzzy weighted averaging) operatöründen yararlanarak alternatifler sıralanıp puan fonksiyonuna göre en çok istenilen alternatife seçildiği bir yöntem uygulanmıştır.

Yazılım seçimini içeren çalışmalar dışında bulanık kümelerin farklı uzantılarını kullanan makaleler de literatürde incelenmiştir. TOPSIS yönteminde üç boyutlu bulanık küme uzantılarını kullanan makaleler incelendiğinde sezgisel bulanık kümelerin, aralık değerli sezgisel bulanık kümelerin ağırlıklı olarak kullanıldığı çalışmalar bulunmuştur. Sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi tedarikçi seçimi, personel seçimi, akıllı telefon seçimi, makine seçimi gibi konularda kullanılmıştır (Boran ve diğ., 2009; Boran, 2009; Maldonado-Macías, 2014; Büyüközkan ve Güleryüz, 2016). Aralık değerli sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemini yatırım seçimi, tedarikçi seçimi ve teknoloji seçimi gibi konularda uygulayan çalışmalar vardır (Tan, 2011; İntepe, 2013; Zhang ve Xu, 2015).

Kutlu ve Kahraman (2018) küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemini önermiş ve tedarikçi seçimi ile ilgili bir uygulama üzerinde bu yöntemi uygulamıştır. Bu çalışma literatürde bu yöntemi uygulayan tek çalışmadır. Aynı zamanda küresel bulanık kümelerin önerilmesi, temel işlemlerinin sunulması bu makalede yapılmıştır. Literatür incelendiğinde Ashraf ve diğ. (2018) tarafından da yazılmış olan küresel bulanık küme tanıtımı ve küresel bulanık kümelerin çok nitelikli karar verme problemlerinde kullanımı ile ilgili bir çalışma daha vardır. Küresel bulanık kümelerin tanıtıldığı bu iki makale karşılaştırıldığında ikisinde de küresel bulanık küme tanıtımı olarak adlandırılrsa da içerik ve temel işlemler bakımından farklılıklar mevcuttur. Bu çalışmanın da uygulama yöntemi olan küresel bulanık küme ile TOPSIS yöntemi Kutlu ve Kahraman (2018) tarafından sunulan yapı temel alınarak yapılmıştır.

## **2.2 Yazılım Seçim Süreci**

Yazılım paketlerinin değerlendirilmesi ve seçim süreci karmaşık ve zaman alıcı bir karar verme sürecidir. Çünkü uygun olmayan bir yazılım paketinin seçimi masraflı ve

iş süreçlerini olumsuz etkileyecek şekilde olabilir. Yazılım seçilirken güvenilir olmasının yanında şirketin ihtiyaçlarını karşılayacak bir çözüm olup olmadığı göz önüne alınır. Yazılım firmaları şirketlerin bu ihtiyaçlarını karşılamak için kuruluş bazında özelleştirilebilen çeşitli paketler sunmaktadır. Ancak benzer amaçlara hizmet eden pek çok yazılım ve firması bulunmaktadır.

Seçim işlemi pazarda çok sayıda yazılım paketinin bulunması, halihazırda bulunan diğer sistemler ile arasındaki bağlantı problemleri, iş ihtiyaçlarını kapsamı, uygulama süresi gibi pek çok kriter düşünülerek yapılmaktadır. Ayrıca yazılım seçimleri genellikle belirli bir zaman kısıtı altında yapılır ve bu zaman diliminde karar vericiler yeterli deneyimi ya da bilgisi olmaması durumunda karar vermekte zorlanırlar. Bu durum araştırmacıların bu seçimi sistematik yollar ile yapmanın araştırmasını sağlamıştır. Yazılım paketlerinin seçim metodolojisi, yazılım seçim kararını verirken karar vericinin izleyeceği prosedürleri ve adımları içerir. Yazılım paketlerinin seçiminde kullanılan metodoloji temel olarak aşağıdaki gibi altı aşamadan oluşur (Jadhav ve Sonar, 2011):

- i. **Gereksinimlerin tanımlanması:** Yazılım ile ilgili fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan gereksinimleri belirlendiği ilk ve en önemli adımdır. En uygun alternatifin belirlenmesinde kullanılacağı için doğru, eksiksiz ve ayrıntılı bir şekilde olmalıdır.
- ii. **Olası yazılım paketlerinin ön incelemesi:** Bu aşama, temel özellikleri ve işlevleri ile uygun olabilecek yazılımların ön incelenmesinin yapılmasını içerir. Bu aşamada tedarikçilerin web siteleri, kataloglar ya da araştırma şirketlerinin raporları kullanılabilir. Bu aşamanın çıktısı olarak değerlendirmeye alınacak alternatif yazılımların listesi elde edilir.
- iii. **Yazılım listesinin kısaltılması:** Bir önceki aşamada değerlendirmeye alınacak yazılım paketleri belirlendikten sonra temel fonksiyoneliteleri sağlayamayan, mevcut donanım sistemi, işletim sistemi ya da veri yönetimi ile uyumsuz olan alternatifler elenir. Fiyat da bu eleme nedenlerinden biri olabilir. Böylece detaylı değerlendirmeye alınacak olan alternatifler belirlenmiş olur.

- iv. **Değerleme kriterlerinin belirlenmesi:** Bu aşamada yazılım paketlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler tanımlanmış ve kriterleri oluşturan alt kriterler belirlenir.
- v. **Yazılım paketlerinin değerlendirilmesi:** Her kriter için ağırlıklar hesaplanır. Seçilen bir yöntemle göre her alternatifin toplam puanı bulunur.
- vi. **Uygun yazılımın seçimi:** Son adımda alternatiflerin puanları azalan sıraya göre sıralanır ve en uygun yazılım paketi seçilir. Çıkan skorlar karar vericilere yön gösterici olmak içindir.

Literatür incelendiğinde yazılım seçimi ile ilgili olan makalelerde farklı kriterlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. ERP ya da CRM gibi belirli bir yazılım paket tipine yönelik çalışmalarda çoğunlukla kendi türüne göre kriterler kullanılmıştır. Ancak genel bir metodoloji oluşturmak adına, değerlendirilecek yazılımın tipine göre kriterlerde bazı değişiklikler olabilese de genel yapıyı oluşturmak için kriterler ve alt kriterler oluşturulabilir. Böylece herhangi bir yazılım paketinin değerlendirmesi bu doğrultuda yapılabilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genel bakış açısı ile değerlendirme yapan çalışmalarda ISO / IEC 9126-1 kalite modelinden faydalandığı görülmüştür. ISO / IEC 9126-1 kalite modeli, yazılım değerlendirmesinde kullanılan uluslararası ürün kalite standartlarıdır. Kriterleri ve ona bağlı olan alt kriterleri belirlemede yol gösterici olabilir (Jadhav ve Sonar, 2009; Franch ve Carvallo, 2003; Jadhav ve Sonar, 2011; Challa ve diğ, 2011). Hem ISO standartları hem de diğer olası kriterlere bakılarak literatürde yer alan kriterleri Çizelge 2.1'deki gibi sıralayabiliriz. Uygulama sırasında karar vericiler ile birlikte kriterler belirlenirken bu kriterlerin hepsi yerine bazıları seçilebilir.

**Çizelge 2.1 : Yazılım seçim ve değerlendirme kriterleri.**

<b>Kriter</b>	<b>Tanım</b>	<b>Alt Kriterler</b>
<b>İşlevsellik</b>	Yazılımın sahip olduğu işlevler ve özelliklerini kapsar (Challa ve diğ, 2011).	<b>Uygunluk:</b> Amaca uygunluğu <b>Doğruluk:</b> Hesaplanan değerlerin hassasiyet derecesi <b>Güvenlik:</b> Yetkilendirme yönetimini yapabilmesi <b>Birlikte çalışabilirlik:</b> Belirlenen diğer sistemler ile iletişim kurabilmesi
<b>Verimlilik</b>	Zaman ve kaynak kullanımı açısından performansını tanımlar (Challa ve diğ, 2011).	<b>Zaman Davranışı:</b> Cevap verme süresi <b>Kaynak Davranışı:</b> Kaynak kullanımı <b>Verimlilik Uyumu:</b> Verimlilik standartlarına uyum
<b>Taşınabilirlik</b>	Yazılım uygulamasını bir ortamdan diğerine aktarmanın kolaylığı ile ilgilidir (Challa ve diğ, 2011).	<b>Değiştirilebilirlik:</b> Yazılımın adaptasyon yeteneği <b>Uyarlanabilirlik:</b> Yazılımın belirlenen amaç dışında herhangi bir değişiklik yapmadan farklı ortamlara uyum sağlaması için göreceli kolaylığı <b>Bir arada var olma:</b> Diğer sistemler ile çakışmadan var olabilmesi <b>Kurulum Yeteneği:</b> Yazılımı belirli bir ortamda veya platformda kurmanın kolaylığı
<b>Bakım Kolaylığı</b>	Bir bileşenin değiştirebilme yeteneğini gösterir (Challa ve diğ, 2011).	<b>Analiz edilebilirlik:</b> Eksiklikleri teşhis etmenin, hataların nedenlerinin ve değiştirilecek parçaların tanımlanmasını kolaylığı <b>Değiştirilebilirlik:</b> Hataları gidermek ya da başka nedenler için yapılacak değişikliklerin yapılma kolaylığı <b>Kararlılık:</b> Beklenmeyen değişikliklerin riski <b>Test edilebilirlik:</b> Hataları belirlemek için yazılımı test etmenin kolaylığını

**Çizelge 2.1 (devam) : Yazılım seçim ve değerlendirme kriterleri.**

<b>Kriter</b>	<b>Tanım</b>	<b>Alt Kriterler</b>
<b>Kullanılabilirlik</b>	Kullanım için gereken çabayı ve bu kullanımın kişisel değerlendirmesini belirtir (Challa ve diğ, 2011).	<b>Anlaşılabilirlik:</b> Mantığını ve uygulanabilirliği tanıma kolaylığı <b>Öğrenilebilirlik:</b> Kullanıcıların uygulamayı öğrenmesi için kolaylığı <b>İşlerlik:</b> Yazılımın işlemlerini öğrenmenin kolaylığı <b>Caziplik:</b> Yazılımın çekici hale getirilme derecesi
<b>Güvenilirlik</b>	Bir sistem veya bileşenin belirli bir süre içinde başarısız olma olasılığıdır (Challa ve diğ, 2011).	<b>Olgunluk:</b> Yazılımın hata çıkma sıklığı <b>Hata toleransı:</b> Yazılımın sağlamlığını yani bir hata durumunda belirli bir performans seviyesini koruma yeteneğini ifade eder. <b>Kurtarılabilirlik:</b> Bir arıza durumunda verileri kurtarma ve bunun için gereken zaman ve çaba
<b>Tedarikçi</b>	Yazılımı sağlayan tedarikçi ile ilgili kriterleri barındırır (Jadhav ve Sonar, 2009).	<b>Eğitim ve dokümantasyon:</b> Yazılım ile ilgili vereceği eğitim ve dokümantasyonların sayısı ve içeriği <b>Bakım ve yazılım yükseltme (upgrade):</b> Canlı geçiş sonrası danışmanlığı, iletişim şekli, cevap verme süresi <b>İtibar:</b> Tedarikçinin referansları, geçmiş projeleri, deneyimi

**Çizelge 2.1 (devam) : Yazılım seçim ve değerlendirme kriterleri.**

<b>Kriter</b>	<b>Tanım</b>	<b>Alt Kriterler</b>
<b>Kişiselleştirme</b>	Kullanıcı ihtiyaçlarına göre uyarlanabilme yeteneğini belirtir (Jadhav ve Sonar, 2009).	<b>Uyarlanabilen alanlar:</b> İsteğe göre düzenlenebilen alanlar <b>Dil desteği:</b> Farklı dillerde görünüm elde etme kolaylığı
<b>Maliyet ve Fayda</b>	Yazılım ile ilgili maliyet ve sağlanacak faydaları kapsar (Jadhav ve Sonar, 2009).	<b>Lisans ücreti:</b> Kullanıcı başına düşen lisans ücreti <b>Bakım ve upgrade ücreti:</b> Yeni bir versiyon çıktığında ya da bakım yapılması gerektiğinde oluşacak ücret <b>Direkt faydalar:</b> Personel ya da ekipmandan kazanç <b>Dolaylı faydalar:</b> Müşteri memnuniyeti, daha hızlı sonuç alma
<b>Çıktılar</b>	Yazılımın çıktıları ilgili özellikleri belirtir (Jadhav ve Sonar, 2011).	<b>Raporlar:</b> Yazılım ile birlikte standart gelen ya da geliştirilebilecek raporlar <b>Dışarıya aktarım:</b> Bir dosya formatı olarak ya da başka bir yazılıma bilgi aktarımı

### **3. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER**

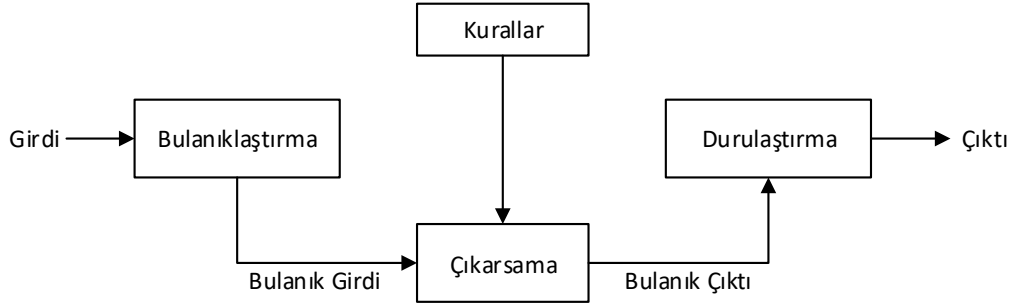
Bu bölümde ilk olarak bulanık mantık konusuna kısa bir giriş yapılacaktır. Devamında bulanık kümelerin tanımı, özellikleri, temel işlemler, ayrıca bulanık problemlerde geçen dilsel değişkenler, bulanık sayılar gibi kavramlar açıklanmıştır. Bölümün sonunda ise literatürde yer alan bulanık küme uzantıları anlatılmıştır. Çalışmanın temel konusunu oluşturan küresel bulanık kümelere bu bölümde detaylı olarak yer verilmiştir.

#### **3.1 Bulanık Mantık**

Bulanık mantık, klasik mantık sisteminden farklı olarak, günlük hayat içerisinde kullanılan sözel ifadelere üyelik dereceleri atayan bir mantık sistemidir. Temeli bulanık kümelere dayanmaktadır. Klasik mantık yaklaşımında, bir element bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Ancak bulanık mantık yaklaşımında belirlenen üyelik derecesi kadar aittir ya da değildir. Böylece bulanık mantık olayların gerçekleşme oranını verdiği söylenebilir. Esnek olması, doğal dil düzeninde kurulu olması ve belirsizliği ifade edebilmesi bakımından klasik mantığa göre avantajlıdır. Dilsel ya da sözel ifadeler bulanık mantık ve uygulamalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

İnsan kararı içeren sistemlerin doğasında bulunan belirsizlik ve kesin olmayan durumlarda karar verme işlemi için bulanık mantığın önerilmesi ilk kez Zadeh tarafında 1965 yılında yazılan bir makale ile literatüre girmiştir. Zadeh'e göre bir elemanın bir kümeye ait olma durumu 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Bu tarihten önce Plato, Hegel, Marx, Lukasiewicz gibi araştırmacılar benzer problemlere çözüm aramış ancak önerilen çözümler bir değişkenin yalnızca 1 ya da 0 olabildiği Boole cebirinin gelişmiş halini içermekteydi. Dolayısıyla bulanık kümelerin başlangıcı Zadeh ile olduğu kabul edilmektedir. İlk sunulan model çok temel olsa da ilerleyen tarihlerde bu mantık üzerine kurulu çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bulanık kümeler, kuralları, girdiler ve çıktılar bütün olarak ele alındığında bulanık sistemleri oluşturur. Şekil 3.1’de gösterimi verilen bulanık sistemler temel olarak alınan girdiyi bulanık veriye dönüştürüp, kendi kurallarına göre işledikten sonra çıkan bulanık çıktıyı kesin çıktıya dönüştürme olarak ifade edilebilir.



**Şekil 3.1 :** Bulanık sistem gösterimi.

Bulanık mantık insanın işin içinde olduğu ya da belirsizlik içeren durumlarda kullanılabildiği için geniş bir uygulama alanı vardır. Literatürde kimya, sağlık, tarım, politika, yöneylem araştırmaları, beyaz eşya ve çevre ile ilişkili sektörlerde bulanık mantık uygulamaları görmek mümkündür (Makkar, 2018).

### 3.2 Bulanık Kümeler

Klasik kümelerde bir elemanın bir kümeye ait olup olmadığı net bir şekilde belirlidir.  $X$  evrensel küme,  $A$  ise  $X$ 'in bir alt kümesi olmak üzere ( $A \subseteq X$ ), aşağıdaki fonksiyon klasik  $A$  kümesinin karakteristik fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Kümeler ve kümeler arası işlemler karakteristik fonksiyonlar ile ifade edilebilir. Örneğin, birleşim işlemlerinde,  $A \cup B = \{x \in X | x \in A \text{ ya da } x \in B\}$  ise karakteristik fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\chi_{A \cup B}(x) = \max\{\chi_A(x), \chi_B(x)\} \quad (3.2)$$

Benzer şekilde kesişim işlemlerinde,  $A \cap B = \{x \in X | x \in A \text{ ve } x \in B\}$  ise karakteristik fonksiyonu da aşağıdaki gibi olur.

$$\chi_{A \cap B}(x) = \min\{\chi_A(x), \chi_B(x)\} \quad (3.3)$$

$X$  evrensel kümesi içinde  $A$ 'nın tümleyeni,  $\bar{A} = \{x \in X | x \notin A\}$  olmak üzere bu işlemin karakteristik fonksiyonu da  $\chi_{\bar{A}}(x) = 1 - \chi_A(x)$  olarak gösterilir. Sonuç olarak klasik kümelerde bir elamanın net bir şekilde kümeye ait olduğu ya da olmadığı belirlidir.

Bulanık kümeler ise, belirsizlik ve kesin olmayan ifadeler içeren ifadelere üyelik derecesi atama esasına dayanır. Bulanık bir küme olan  $A$  aşağıdaki gibi tanımlanır, burada  $A(x)$  bulanık kümenin  $x$  üyelik derecesidir.

$$A: X \rightarrow [0,1] \quad (3.4)$$

Aslında bulanık kümeler, klasik kümelerin karakteristik fonksiyonunun ( $\chi_A(x): X \rightarrow [0,1]$ ) genelleştirilmiş halidir.  $A(x) = 1$  tam üyeliği ifade ederken,  $A(x) = 0$  ise üye olmadığını gösterir. Bulanık kümelerde, klasik yöntemin aksine  $x$ , 0 ile 1 arasında başka değerler de alabilir. Bu değer 1'e yaklaştıkça üyelik derecesi artmaktadır.

Bir bulanık küme üyelik fonksiyonu ile birlikte tanımlanır. Üyelik fonksiyonları kavram olarak bir sınıfı sınırları belirli olmayan kategorilere bölmeyi imkan sağlayan fonksiyonlardır. Bir bulanık kümenin alacağı üyelik değerlerini gösterir. Üyelik fonksiyonlarının birden çok biçimi vardır ve grafik şeklinde gösterilebilirler. Grafik gösterimlerinde  $x$  eksen değeri verirken  $y$  eksen ise 0 ve 1 arasındadır. En çok bilinen üyelik fonksiyonu çeşitleri üçgensel, yamuk, çan, gaussian, s-biçimli ve polinom şeklinde olanlardır, genellikle  $\mu(x)$  ile ifade edilir (Zhao, 2002).

$$\mu_A(x) = A(x) \quad (3.5)$$

$$\mu_A(x): x \rightarrow [0,1] \quad (3.6)$$

Sürekli bir evren kümesi altında  $A$  bulanık kümesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$A = \int_{x \in X} \mu_A(x)/x \quad (3.7)$$

Bulanık kümeler ifadesi aslında klasik kümeleri de kapsar. Yani her klasik küme aynı zamanda bulanık bir kümedir, bir klasik küme bulanık mantıkta aşağıdaki gibi gösterilebilir (Bede, 2013, Bölüm 1).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.8)$$

### 3.2.1 Bulanık küme özellikleri

Bir bulanık kümeyi betimleyen özellikler bu bölümde listelenmiştir.

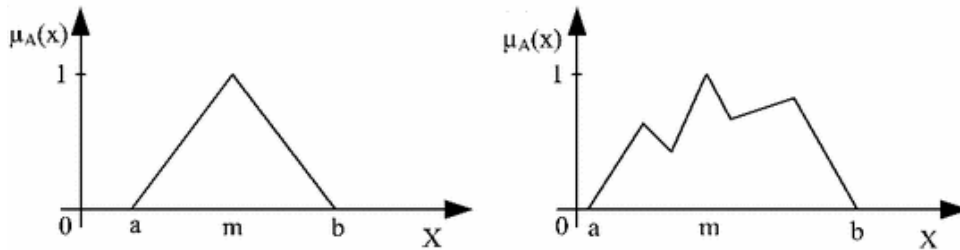
**Yükseklik:** Üyelik fonksiyonunun en yüksek değeri bulanık kümenin yüksekliğidir.

$$H_A = \max_{x \in X} \{\mu_A(x)\} \quad (3.9)$$

**Normallik:** En az bir üyelik derecesi 1'e eşit olan ( $\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1$ ) yani yüksekliği 1 olan bulanık kümeler normaldir. 1'den küçük olan kümeler normal olmayan kümelerdir.

**Konvekslik:** A bulanık kümesi içinden rastgele seçilen  $x_1$  ve  $x_2$  arasındaki tüm noktaların üyelik derecelerinin  $\mu_A(x_1)$  ve  $\mu_A(x_2)$  değerlerinin minimumundan büyük ya da eşit olması durumudur. Bu tip kümeler konveks (dışbükey) kümelerdir ve gösterimi aşağıdaki gibidir (Mendel, 2017). Şekil 3.2'de konveks olan ve olmayan bulanık kümelerin gösterimi verilmiştir.

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)] \quad (3.10)$$



**Şekil 3.2 :** Konveks bulanık küme ve konveks olmayan bulanık küme örneği.

**$\alpha$  – Kesim:**  $\alpha$ -kesim A bulanık kümesinin  $\alpha$  seviyesindeki kesimi, üyelik derecesi  $\alpha$ 'dan büyük ya da eşit elemanlar kümesini verir. Güçlü bir  $\alpha$ -kesim, üyelik derecesi  $\alpha$ 'dan büyük olduğu bir küme iken, zayıf bir  $\alpha$ -kesim üyelik derecesinin  $\alpha$ 'dan büyük ya da eşit olduğu küme olarak tanımlanır. Bu durumda güçlü  $\alpha$ -kesim açık bir küme verirken, zayıf  $\alpha$ -kesim kapalı bir küme verir ve sırasıyla  $]A[_\alpha$  ve  $[A]_\alpha$  şeklinde gösterilir. Ek olarak, bulanık kümeler üzerinde olan birleşim, kesişim gibi temel işlemler  $\alpha$ -kesimler üzerinde de sağlanır. Örneğin;  $]A \cup B[_\alpha = ]A[_\alpha \cup ]B[_\alpha$ ,  $[A \cap B]_\alpha = [A]_\alpha \cap [B]_\alpha$  gibi (Miyamoto, 2005).

**Destek:** Bulanık olan  $A: X \rightarrow [0, 1]$  kümesinin küme seviyelerinden oluşan kesin küme alt kümesi aşağıdaki gibi gösterilir. ( $0 < \alpha \leq 1$ )

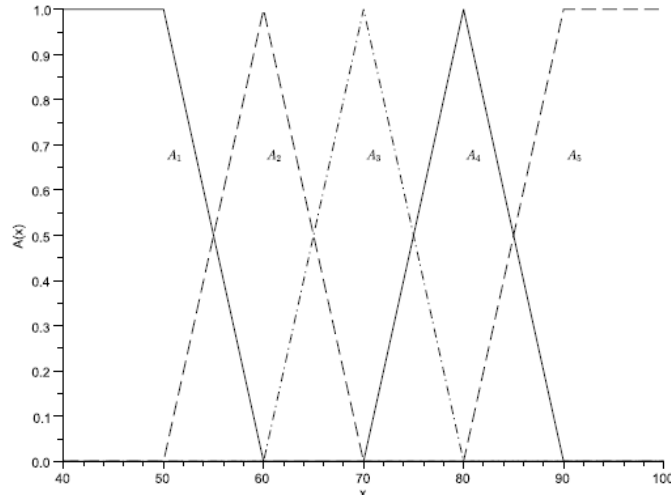
$$A_\alpha = \{x \in X | A(x) \geq \alpha\} \quad (3.11)$$

$\alpha = 1$  olduğu durumda o eleman sadece o alt kümeyle ait olduğu için kümenin öz kısmı, iken diğer kısım ise destek olarak isimlendirilir.

$$A_1 = \{x \in X | A(x) \geq 1\} \quad (3.12)$$

$$\text{supp } A = \{x \in X | A(x) > 0\} \quad (3.13)$$

Örneğin Şekil 3.3'de sıcaklık kontrolü üzerine yapılmış bir bulanık küme grafiği verilmiştir.



**Şekil 3.3 :** Sıcaklık kontrolü çalışmasında kullanılan bulanık küme gösterimi.

Burada  $A_2$  bulanık kümesi ele alınacak olunursa aşağıdaki gibi gösterimi yapılabilir.

$$A_2(x) = \begin{cases} 0, & 40 \leq x < 50 \\ \frac{x - 50}{10}, & 50 \leq x < 60 \\ 1 - \frac{x - 60}{10}, & 60 \leq x < 70 \\ 0, & 70 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (3.14)$$

Bu örnekte  $A_2$  bulanık kümesinin özü  $(A_2)_1 = \{60\}$  iken,  $\frac{1}{2}$  seviye kesim kümesi  $(A_2)_{1/2} = [55, 65]$ 'dir. Destek kısmı ise  $\text{supp } A_2 = [50, 70]$  olarak gösterilebilir (Bede, 2013).

### 3.2.2 Genişleme prensibi

İlk sunulan bulanık küme tanımları daha sonradan geliştirilmiştir. Bu nedenle ilk versiyonu Tip-1 bulanık küme olarak isimlendirilir. Daha sonra Tip-2 bulanık kümeler tanımları ve işlemleri literatüre girmiştir. Bu dönüşüm bulanık kümelerin genişleme prensibine dayandırılmaktadır. Genişleme ilkesi Tip-2 kümeleri arası kesişim, birleşim ve tümleyen işlemlerinde kullanılmak üzere ilk olarak Zadeh tarafından sunulmuştur.  $A_1, A_2, \dots, A_r$  klasik bulanık kümeleri  $X_1, X_2, \dots, X_r$ 'de tanımlı ve  $B = f(A_1, A_2, \dots, A_r)$  olmak üzere, genişleme prensibinin detayları aşağıdaki gibidir:

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, x_2, \dots, x_r) \in f^{-1}(y)} \min\{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)\}, & f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.15)$$

Denklemleri elde etmek için sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılır:

- $y = f(x_1, x_2, \dots, x_r)$  için  $x_1, x_2, \dots, x_r$  değerleri bulunur.
- $\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)$  üyelik dereceleri hesaplanır.
- Hesaplanan üyelik derecelerinden minimum değer bulunur. ( $\min\{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_r}(x_r)\}$ )
- Eğer birden fazla sayıda küme  $(x_1, x_2, \dots, x_r)$ 'den oluşuyor ve  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_r)$  fonksiyonunu sağlıyorsa, bu işlemler diğerleri için de tekrarlanır. Çıkan minimum  $\mu_B(y)$ 'lerin en büyüğü seçilir.

$B = f(A_1, A_2, \dots, A_r)$ 'yi elde etmek için toplama, çıkarma gibi işlemler kullanılamamaktadır. Bunun yerine genişleme prensibini ifade eden (\*) işareti kullanılır (Özek, 2010).

$$f(A_1, A_2, \dots, A_r) = \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_r \in X_r} \mu_{A_1}(x_1) * \dots * \mu_{A_r}(x_r) / f(x_1, x_2, \dots, x_r) \quad (3.16)$$

### 3.2.3 Bulanık küme işlemleri

$A$  ve  $B$ ,  $X$  kümesinin bulanık alt kümeleri olmak üzere,  $\forall x \in X$  için temel küme işlemleri aşağıda listelenmiştir. Denklemlerde  $\vee$  maksimum işlemini,  $\wedge$  ise minimumu temsil etmektedir (Mizumoto ve Tanaka, 1981).

- i. Kesişim işlemi; iki üyelik fonksiyonunun minimumu olarak ifade edilir.

$$A \cap B \Leftrightarrow \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (3.17)$$

- i. Birleşim işlemi; iki üyelik fonksiyonunun maksimumu olarak ifade edilir.

$$A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (3.18)$$

- ii. Tümlenme işlemi; bir kümenin üyelik fonksiyonunun tersini ifade eder.

$$\bar{A}(x) \Leftrightarrow \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.19)$$

- iii. Cebirsel çarpım; aşağıdaki gibi üyelik fonksiyonlarının çarpılması şeklinde gösterilir.

$$A \cdot B \Leftrightarrow \mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x) \quad (3.20)$$

- iv. Cebirsel toplam; iki kümenin üyelik fonksiyonları ile birlikte aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A + B \Leftrightarrow \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x) \quad (3.21)$$

- v. Sınırlı toplam; iki üyelik fonksiyonunun toplamı ile 1 arasında minimum değeri verir.

$$A \oplus B \Leftrightarrow \mu_{A \oplus B}(x) = 1 \wedge (\mu_A(x) + \mu_B(x)) \quad (3.22)$$

- vi. Sınırlı fark; iki üyelik fonksiyonunun farkı ile 0 arasında maksimum değeri verir.

$$A \ominus B \Leftrightarrow \mu_{A \ominus B}(x) = 0 \vee (\mu_A(x) - \mu_B(x)) \quad (3.23)$$

- vii. Sınırlı çarpım; aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A \odot B \Leftrightarrow \mu_{A \odot B}(x) = 0 \vee (\mu_A(x) + \mu_B(x) - 1) \quad (3.24)$$

### 3.3 Dilsel Değişkenler

Bulanık mantık içerisinde çok önemli olan dilsel terimler ya da değişkenler, değişkenlerin kelimeler ya da cümleler ile ifade edildiği durumlar için kullanılır. Örneğin yaşı belirtirken sayısal bir değer söylemek yerine genç, yaşlı gibi ifadeler kullanılması bu duruma bir örnektir. Bu tip ifadelerde netlik yoktur ve bir dilsel değişken aşağıdaki beşli ile tanımlanabilir.

$$Dilsel\ Değişken = (x, T(x), U, G, M)$$

- $x$ : Değişkenin adı
- $T(x)$ : Değişkenleri içeren küme
- $U$ : Evrensel küme
- $G$ :  $T(x)$  terimlerinin sözdizimsel kuralları
- $M$ : Sözel değişkenler ile ilgili semantik kurallar ( $M(x)$ ,  $U$  evrensel kümenin alt kümesi olmak üzere)

Dilsel değişkenleri oluşturan küme sonsuz sayıda elemandan oluşabilir. ‘Yaş’ için oluşturulan örnek yapı denklem 3.25’de verilmiştir. Bu denklemdeki eleman sayıları değişebilmekte birlikte ‘+’ işlemi aritmetik toplamı değil birleşim işlemini ifade etmektedir (Zadeh, 1975).

$$T(Yaş) = genç + genç\ değil + çok\ genç + çok\ genç\ değil + \dots + yaşlı + çok\ yaşlı\ değil + çok\ yaşlı + ne\ yaşlı\ ne\ genç + \dots \quad (3.25)$$

Bulanık yöntemler uygulanırken, değerlendirme dilsel terimler üzerinden yapılır. Daha sonra bulanık kümeler ile bu dilsel terimler sayısal değerlere dönüştürülür.

### 3.4 Bulanık Sayılar

Reel sayılar kümesinin ( $R$ ) bulanık alt kümesi olan  $\tilde{A}$  aşağıdaki özelliklere sahip ise bulanık sayı olarak isimlendirilir (Mondal ve Mandal, 2017). Net olmayan ya da tahmini miktarların olduğu durumlarda kullanılması avantajlıdır. Bulanık yöntemlerde bulanık sayılar kullanılmaktadır.

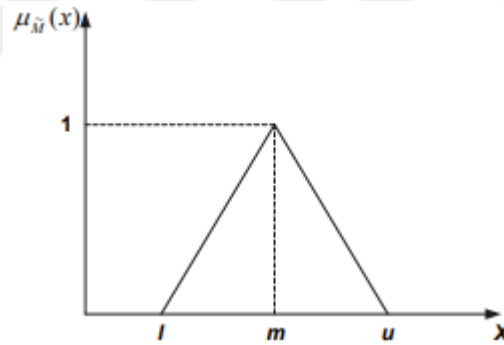
- $\tilde{A}$  dışbükeydir.
- $\tilde{A}$  normaldir. ( $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1, \exists x_0 \in R$ )
- $\mu_{\tilde{A}}$  parçalı sürekli bir fonksiyondur.

- iv.  $A_\alpha$  her  $\alpha \in [0,1]$  aralığı için kapalı aralıktır.
- v. Destek ( $\text{supp } A$ ) sınırlıdır.

Literatürdeki yöntemler incelendiğinde en çok üçgen bulanık sayıların kullanıldığı görüldüğü için bu kısımda sadece üçgen bulanık sayı tanımı verilmiştir. Bunun dışında yamuk, gaussian gibi çeşitleri vardır. Eğer bir bulanık sayı  $M$ 'nin, üyelik fonksiyonu  $\mu_M(x): R \rightarrow [0,1]$  olmak üzere aşağıdaki eşitliği sağlıyorsa, üçgen bulanık sayı olur.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & x \in [m, u] \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.26)$$

Denklemden  $l \leq m \leq u$  olarak sıralı olmak üzere  $l$  ve  $u$  desteğin alt ve üst değerlerini gösterirken,  $m$  öz değerini verir.  $M$  bulanık kümesinin destek kısmı  $\{x \in R \mid l < x < u\}$  elemanlarından oluşur. Şekil 3.4'de grafiksel gösterimi verilen bir üçgen bulanık sayı  $(l, m, u)$  şeklinde ifade edilir.



Şekil 3.4 : Üçgen bulanık sayı gösterimi.

İki üçgen sayı  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  arasındaki işlemler aşağıda listelenmiştir.

- $(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$
- $(l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2)$
- $(l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$
- $(\lambda, \lambda, \lambda) \odot (l_1, m_1, u_1) = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \lambda > 0, \lambda \in R$
- $(l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$

### 3.5 Durulaştırma

Bulanık yöntemler uygulanırken işlemler bulanık sayılar ile yapıldığı için bu sayıların ilerleyen aşamada kesin değerlere dönüşmesi gerekir. Bulanık değerlerin kesin değerlere dönüştürülmesi işlemi durulaştırma olarak isimlendirilir. Durulaştırma işlemi için birden çok yöntem vardır. Bunlardan en sık kullanılanları, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi ve maksimum durulaştırma yöntemidir. Bu yöntemler dışında ortalama maksimum üyelik, toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk (veya son) üyelik derecesi yöntemleri vardır.

- *Ağırlık Merkezi Yöntemi:* En yaygın ve cazip durulaştırma yöntemidir. Cebirsel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \, dz} \quad (3.27)$$

- *Ağırlıklı Ortalama Yöntemi:* Sayısal olarak en etkili yöntemlerden biri olduğu için bulanık uygulamalarında en sık kullanılan yöntemlerdendir. Dezavantaj olarak, simetrik çıktısı olan üyelik fonksiyonlarda kullanımı ile sınırlıdır.  $\bar{z}$  her simetrik üyelik fonksiyonun ağırlık merkezi olmak üzere, aşağıdaki ifade ile gösterilir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{C}}(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_{\tilde{C}}(\bar{z})} \quad (3.28)$$

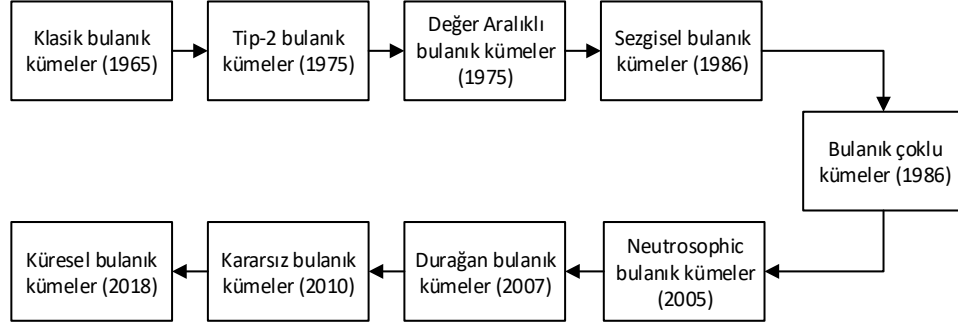
- *Maksimum Üyelik Prensi:* Yükseklik yöntemi olarak da bilinen bu yöntem tepe noktası olan fonksiyonları için uygundur. Gösterimi aşağıdaki gibidir (Ross, 2005):

$$\mu_{\tilde{C}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{C}}(z) \quad (3.29)$$

### 3.6 Bulanık Küme Uzantıları

Bulanık kümeler Zadeh tarafından 1965 yılında sunulan temel kabul edilen küme modelinden sonra yeni uzantılar ile gelişmeye devam etmiştir. Yapılan çalışmalardan bazıları elemanların üyelerin derecelerinin belirlenmesi problemi üzerine iken, bazıları ise belirsizliği farklı yöntemler ile ifade etmeye çalışmışlardır (Bustince ve diğ., 2016). Klasik bulanık kümelerinden sonra literatürde yer alan yeni bulanık küme uzantılarının

tarihsel gelişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. (Kahraman ve diğ., 2016; Kutlu ve Kahraman, 2018).



**Şekil 3.5 :** Bulanık küme uzantılarının tarihsel gelişimi.

Aşağıdaki alt başlıklarda sırasıyla bulanık küme uzantıları değinilmiştir. Özellikle son kısımda bu çalışmanın da temelini oluşturan Küresel bulanık kümeler detayları ile anlatılmıştır.

### 3.6.1 Tip-2 bulanık kümeler

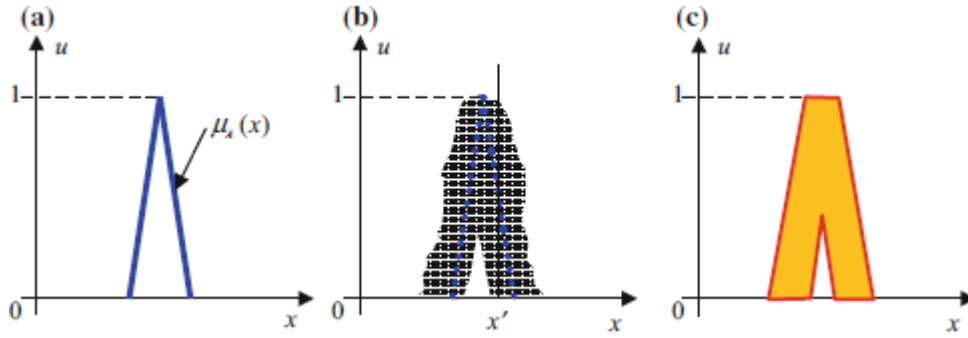
Bulanık klasik kümelerin bir uzantısı olarak 1975 yılında Zadeh tarafından Tip-2 bulanık küme kavramı sunulmuştur. Genişleme prensibini temel alan bu kümeler özellikle üyelik fonksiyonunun tam olarak belirlenemediği durumlar için uygundur. Üyelik fonksiyonunu aralık olarak verdiği için belirsizliklere karşı avantajlıdır yani üyelik fonksiyonları da bulanıktır (Coupland ve John, 2008).

Klasik (Tip-1) bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu  $[0,1]$  aralığında bir değer olarak tek iki boyutlu bir yapıya sahiptir. Tip-1 bulanık kümelerde dilsel değişkenlerin sayısı istenildiği kadar seçilebilir. Ancak bu değişkenler seçildikten sonra üyelik fonksiyonlarının sınırlarının net olarak belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin bir üçgen üyelik fonksiyonunda, her bir üçgenin tepe noktasının nerede olduğu, taban genişlikleri ya da her bir üçgenin birbirinin ne kadar içinde olduğu gibi kararlarının verilmesi gerekmektedir. Bu tip kararların verilmekte zorlanıldığı durumlarda Tip-2 bulanık küme yapısı önerilmektedir. Tip-2 bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu ile birlikte yeni bir serbestlik derecesi getirdiği için üç boyutlu bir yapı ortaya çıkmıştır. Tip-2 bulanık küme üzerindeki belirsizlikler ortadan kalktığında tip-1 bulanık kümeye benzer, yani Tip-2 bulanık küme Tip-1 bulanık küme yapısını da içerir (Özek, 2010).

Belirsizlik durumlarında Tip-1 kümelere göre daha avantajlı olsa da bu yöntemin kullanılmasında bazı zorluklar da vardır.

- Üç boyutlu olması nedeniyle çizilmesi zordur.
- Tanımlanmış, basit ve kesin terimler topluluğu yoktur.
- Birleşim, kesişim, tümleyen gibi işlemler Zadeh'in genişleme ilkesini temel almaktadır. Genişleme ilkesinin de görece karmaşık olduğu düşünüldüğünde Tip-2 bulanık kümelerde de bu işlemler karmaşık gelebilir.
- Tip-2 bulanık kümeler ile matematiksel hesaplamalar yapmak, Tip-1 kümelere göre daha karmaşıktır (Mendel ve John, 2002).

Tip-1 bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun çevresinden noktaları kaydırarak Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bulanıklaştırılmış olsun.  $x$  değerleri arasından rastgele seçilen  $x'$  değerinin üyelik fonksiyonunda alacağı değer tek olmayıp, birden fazla değer olduğu görülmektedir. Buradaki değerlerin ağırlıkları birbirinden farklıdır. Bulanıklaştırılmış gösterimden yola çıkarak belirli bir genlik belirlenerek Tip-2 üyelik fonksiyonu elde edilmiş olur (Mendel, 2017).



Şekil 3.6 : Tip-1(a), Bulanıklaştırılmış Tip-1(b), Tip-2(c) üyelik fonksiyonları.

Tip-2 bulanık kümeler  $\tilde{A}$  notasyonu ile gösterilir. Üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}$ , 0 ile 1 arasında değer alır. ( $\forall u \in J_x$ )

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) | x \in X, u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (3.30)$$

$\tilde{A}$  Tip-2 bulanık kümesinin aşağıdaki gibi farklı bir gösterimi de vardır (Mendel, 2002).

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in [0,1]} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (3.31)$$

Birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri aşağıda ifade edildiği gibidir (Karnik ve Mendel, 2001).

- Birleşim:  $\tilde{A} \cup \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}} = \mu_{\tilde{A}}(x) \sqcup \mu_{\tilde{B}}(x) = \int_u \int_w ((f_x(u) \star g_x(w)) / (u \vee w))$

- Kesişim:  $\tilde{A} \cap \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}} = \mu_{\tilde{A}}(x) \cap \mu_{\tilde{B}}(x) = \int_u \int_w ((f_x(u) \star g_x(w)) / (u \star w))$
- Tümlen:  $\bar{\tilde{A}} = \mu_{\bar{\tilde{A}}}(x) = \neg \mu_{\tilde{A}}(x) = \int_u f_x(u) / (1 - u)$

Literatürde Tip-2 bulanık mantık uygulamaların devamında daha yüksek belirsizlik durumlarında kullanılmak üzere Tip-n uygulamaları da yer almıştır. Rickard ve diğ. (2008) ve Aisbett (2010) bunlara örnektir.

### 3.6.2 Aralık değerli bulanık kümeler

Aralık değerli bulanık kümeler Tip-2 bulanık kümelerin özel bir durumudur, ilk olarak Zadeh (1975) tarafından önerilmiştir. Bulanık mantıkta, bir uzmanın düşüncesini 0 ile 1 aralığında bir değer ile ifade etmesi zordur. Bu nedenle her bir elemanın kümeye üyeliği kapalı bir aralıkta verilir. Uzmanın üyelik derecesi hakkında net bir değeri yoktur ancak alt ve üst sınırları hakkında fikri vardır. Kapalı aralık bu sınırları betimler.  $(-\infty, +\infty)$  aralığında tanımlanan aralık değerli  $A$  bulanık kümesi;

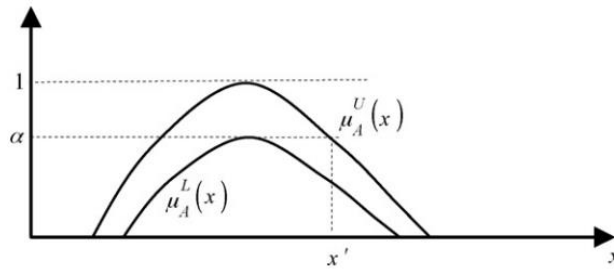
$$A = \{x, [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)]\} \quad (3.32)$$

$$\mu_A^L, \mu_A^U: X \rightarrow [0,1] \quad \forall x \in X, \quad \mu_A^L \leq \mu_A^U \quad (3.33)$$

$$\bar{\mu}_A(x) = [\mu_A^L(x), \mu_A^U(x)] \quad (3.34)$$

$$A = \{x, \bar{\mu}_A(x)\}, \quad x \in (-\infty, \infty) \quad (3.35)$$

$\mu_A^L(x)$  üyelik derecesinin alt sınırı,  $\mu_A^U(x)$  ise üyelik derecesinin üst sınırıdır. Şekil 3.7'de aralık değerli bulanık kümenin  $x'$  noktasındaki üyelik değeri gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Aralık değerli bulanık küme.

İki değer aralıklı bulanık sayılar  $\tilde{N}$  ve  $\tilde{M}$  arasındaki normalize Öklid uzaklığı şu şekilde ifade edilir (Ashtiani ve diğ, 2009). ( $N_x = [N_x^-; N_x^+]; M_y = [M_y^-; M_y^+]$ )

$$D(\tilde{N}, \tilde{M}) = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 [(N_{x_i}^- - M_{y_i}^-)^2 + (N_{x_i}^+ - M_{y_i}^+)^2]} \quad (3.36)$$

Aralık değerli bulanık kümelerin kontrol sistemlerinde, görüntü işleme, akıllı web, karar verme, tıp, mobil ağlar, örüntü tanıma, genetik algoritma gibi alanlarda uygulamaları vardır (Bustince, 2010).

### 3.6.3 Sezgisel (Intuitionistic) bulanık kümeler

İlk olarak Atanassov (1986) tarafından önerilen bir yöntem olan Sezgisel bulanık kümelerde (Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS) bir elemanın üyelik değeri ve üyelik olmayan değerinin toplamının en fazla 1 olabilir. Temel mantığı, bir elemanın üye olmama derecesinin 1 – üyelik derecesine eşit olamayacağı, bir tereddüt derecesinin olabileceğidir. Bu tereddüt durumlarında ve belirsizlik durumlarında sezgisel bulanık kümeler oldukça faydalıdır. Klasik bulanık kümeler aynı zamanda sezgisel bulanık kümelerdir. Bulanık kümelerde geçerli olan işlemleri baz almakla birlikte sadece sezgisel bulanık kümelerde tanımlı olan bazı operatörler de mevcuttur. Ayrıca bu yöntem geometrik olarak yorumlamaya daha açıktır.

Bir sezgisel bulanık küme  $A$ , üyelik derecesi  $\mu_A(x)$ , üye olmama derecesi ise  $\nu_A(x)$  olmak üzere; aşağıdaki ifadeler yazılabilir. ( $\mu_A(x), \nu_A(x) \in [0,1]$ )

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.37)$$

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1], \quad \nu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (3.38)$$

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (3.39)$$

Her sezgisel bulanık küme için kararsızlığın derecesini veren bir sezgisel endeks hesaplanır.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (3.40)$$

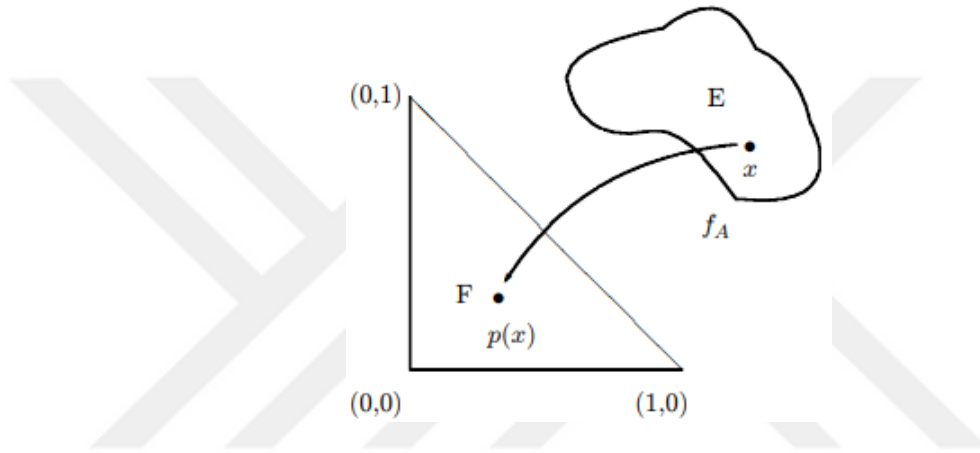
İki sezgisel bulanık küme arasındaki normalize edilmiş Öklid uzaklığı şu şekilde yazılabilir (Szmıdt ve Janusz Kacprzyk, 2010).

$$q_{IFS}^1(A,B) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (v_A(x_i) + v_B(x_i))^2 + (\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2} \quad (3.41)$$

$A \subset E$  olmak üzere,  $E$  evresel kümesinden  $F$  alt kümesine kurulan bir  $f_A$  fonksiyonunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$p(x) = f_A(x) \in F \quad (3.42)$$

$p$  noktasının koordinatları  $a$  ve  $b$  noktaları  $0 \leq a + b \leq 1$  eşitliğini sağlar ve  $a = \mu_A(x)$ ,  $b = v_A(x)$ 'dir. Şekil 3.8'de geometrik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.8 : Sezgisel bulanık küme üçgeni.

Sezgisel kümeler üzerinde olan temel işlemler aşağıdaki gibidir:

- Tümlenme:  $A^c = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x) \rangle\}$
- Birleşim:  $A \cup B = \{\langle x, \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(v_A(x), v_B(x)) \rangle\}$
- Kesişim:  $A \cap B = \{\langle x, \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(v_A(x), v_B(x)) \rangle\}$
- $\oplus$ -birleşim:  $A \oplus B = \{\langle x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x), v_A(x)v_B(x) \rangle\}$
- $\otimes$ -kesişim:  $A \otimes B = \{\langle x, \mu_A(x)\mu_B(x), v_A(x) + v_B(x) - v_A(x)v_B(x) \rangle\}$

Sezgisel bulanık kümelerin genelleştirilmiş bir hali olan İkinci Tip Sezgisel Bulanık kümeleri Atanassov tarafından üyelik derecesinin ve üye olmama derecesinin karelerinin toplamının 1 veya 1'den küçük olabilir şeklinde karakterize edilmiştir.

Atanassov'un ikinci tip sezgisel bulanık kümeleri (IFS2), üye olma derecesi ile üye olmama derecesinin kare toplamının bir veya daha az olması koşulunu sağlayan üyelik dereceleri ile karakterize edilir. Bu yöntemdeki temel motivasyon, karar vericiden

gelen üyelik ve üye olmama dereceleri toplamının 1'i geçebileceği ancak kare toplamlarının küçük ya da eşit olacağı yönünde olmasıdır. Kararsızlık derecesi  $\pi_{\tilde{p}} = (1 - \mu_{\tilde{p}}^2(u) - \nu_{\tilde{p}}^2(u))^{1/2}$  formülü ile hesaplanır. Yager (2013), sezgisel bulanık tip-2 bulanık kümeleri daha sonra Pisagor (Pythagorean) bulanık kümeler olarak isimlendirmiştir. Daha sonraki yıllarda bu yöntem çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır (Kutlu ve Kahraman, 2018).

### 3.6.4 Bulanık çoklu kümeler (Fuzzy multisets)

Çoklu kümeler, aynı elemanın bir küme içinde birden fazla kez bulunmasına izin veren klasik kümelerin genelleştirilmiş bir halidir. Örneğin,  $X = \{a, b, c, d\}$  ise,  $M = \{a, a, b, b, b, c, c\}$  bir çoklu kümedir. Bir *sayma (count)* fonksiyonu referans kümenin elemanları üzerinde tanımlanır, bu fonksiyon ilgili elemanın küme içinde kaç kere yer aldığını ve kaç tane üyelik derecesi olduğunu gösterir. Aynı örnek üzerinden gidilecek olursa,  $count_M(a) = 2, count_M(b) = 3$ 'dür. Bulanık çoklu kümeler aynı zamanda klasik bir bulanık küme olduğu için  $[0,1]$  değer aralığındadır. Aynı örnek için;  $M = \{(a, 0.5), (a, 0.8), (b, 0.2), (b, 0.2), (b, 0.8), (c, 0.9), (c, 0.8)\}$

Çoklu bulanık kümelerde aynı elemanın birden fazla yer alması ile ilgili Yager (1986) ilk olarak sunmuş ve Miyamoto ise temel işlevleri tanımlayarak yöntemi geliştirmişlerdir. Temel işlemlerden bazıları;

- Toplama:  $\oplus$ , tüm elemanları bir araya getirir.  $A$  ve  $B$  iki çoklu küme olmak üzere  $count_{A \oplus B}(a) = count_A(a) + count_B(a)$  ile ifade edilir.
- Birleşim:  $A \cup B$  iki çoklu kümenin birleşimi  $count_{A \cup B}(a) = \max(count_A(a), count_B(b))$  ile gösterilir.
- Kesişim:  $A \cap B$  iki çoklu kümenin kesişimi  $count_{A \cap B}(a) = \min(count_A(a), count_B(b))$  ile gösterilir (Miyamoto, 2005).

$A = \{(a, 0.8), (b, 1)\}$  ve  $B = \{(a, 0.7)\}$  iki bulanık çoklu küme olmak üzere, klasik bulanık kümelerde  $A$  kümesi  $B_2$  kümesini kapsarken, çoklu kümelerde durum böyle değildir. ( $A \cup B \neq A$ ) Dolayısıyla bu tanımların bulanık kümelere genişletilmesi için Miyamoto üyelik sıralı bir tanımlama önermiştir.  $seq_A(a)$ ,  $a$  elemanının üyelik değerlerinin azalan şekilde sıralanması ile oluşur.  $M = \{(a, 0.5), (a, 0.8), (b, 0.2), (b, 0.2), (b, 0.8), (c, 0.9), (c, 0.8)\}$  örneği için  $seq_M(a) =$

$\langle 0.8, 0.5 \rangle$ ,  $seq_M(c) = \langle 0.9, 0.8 \rangle$  şeklinde yazılır. Bu temele dayanarak kesisim ve birleşim işlemleri yeniden tanımlanır.  $s_1 = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$  ve  $s_2 = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle$  şeklinde olan iki dizi için  $s_1 \vee s_2 = \langle x_1 \vee y_1, \dots, x_n \vee y_n \rangle$  şeklinde yazılabilir. Eğer eleman sayıları eşit değilse, sayıca az olan diziye eşitlemek için sıfır eklemesi yapılır. Böylece  $[A \cup B]_\alpha = [A]_\alpha \cup [B]_\alpha$  eşitliği sağlanmış olur (Torra, 2010).

### 3.6.5 Neutrosophic bulanık kümeler

Sezgisel bulanık kümelerin daha genel bir formu olarak 2005 yılında Smarandache tarafından önerilmiştir. Sezgisel bulanık kümelerin kararsızlık elemanının üyelik derecelerine bağımlı olması durumunu ortadan kaldırma esasına dayanmaktadır. T (üyelik), I (belirsizlik) ve F (üye olmama durumu) olma üzere 3 adet Neutrosophic bileşen tanımlanmıştır. Bu üç bileşenin her biri 0 ile 1 arasında bir değer alabilir. Neutrosophic bulanık kümelerde üç bileşenin toplamı aşağıdaki gibi olur.

- Hepsi birbirinden bağımsız ise;  $0 \leq T + I + F \leq 3$
- İki bileşen bağımsız, üçüncü herhangi birine bağımlı ise;  $0 \leq T + I + F \leq 2$
- Hepsi birbirine bağımlı ise;  $0 \leq T + I + F \leq 1$

### 3.6.6 Durağan olmayan (Nonstationary) bulanık kümeler

Tip-2 bulanık kümelerde her ne kadar üyelik fonksiyonuna belirsizlik durumu eklenmiş olsa da, belirsizlik kavramının tam olarak yansıtılmadığı düşünülmüştür. Özellikle karar vericilerin zaman içinde kararlarının aynı değişkenler olduğundan bile kararları değişebilmektedir. Aynı girdiler için her zaman aynı çıktıyı vere Tip-2 bulanık kümelerin bu konuda zayıf olduğu düşünerek bu şartlar altında karar vermeyi kolaylaştırılacak yapı olarak, çalışmalar sonucunda durağan olmayan bulanık küme kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kümelerin temeli, '*Kararsız Mantıksal Akıl Yürütme*' kavramındaki üyelik fonksiyonlarında parametreleri rastgele değiştirerek durağan olmayan bir yapı elde edilmesidir. Daha sonra bu kavram genişletilerek devam etmiştir. Durağan olmayan bulanık kümelerin Tip-2 bulanık kümelerden diğer bir farkı, Tip-2 kümeler bulanık üyelik fonksiyonu olan bulanık kümeler iken, durağan olmayan bulanık kümeler daha çok bulanık kümelerin birleşimi gibidir.

$A, X$  üzerinden tanımlı bir bulanık küme ve  $T$ , sonsuz  $t_i$  zaman noktalarından oluşmak üzere  $f: T \rightarrow R$  pertürbasyon fonksiyonu tanımlı olsun. Bir durağan olmayan bulanık

küme  $\tilde{A}$ , durağan olmayan karakteristik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}$  ile birlikte tanımlanır.  $\mu_{\tilde{A}}: T \times X \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu,  $T \times X$ 'de her  $(t, x)$  elemanı için  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonunun zamana bağlı değişikliğini ilişkilendirir. Durağan olmayan bir bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\tilde{A} = \int_{t \in T} \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(t, x) / x / t \quad (3.43)$$

Tutarlı bir formül elde etmek için  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  fonksiyonuna sınırlama getirilir.  $\mu_A(x)$  fonksiyonu  $\mu_A(x, p_1, \dots, p_m)$  şeklinde yazılırsa aşağıdaki denklem ortaya çıkar. Burada  $p_i(t) = p_i + k_i f_i(t)$  ve  $i = 1, 2, \dots, m$ 'dir.

$$\mu_{\tilde{A}}(t, x) = \mu_A(x, p_1(t), \dots, p_m(t)) \quad (3.44)$$

Bu şekilde, her bir parametre zaman içinde bir sabit ile çarpılan bir pertürbasyon fonksiyonu ile değişkenlik göstermiş olur. Bu tanımlama normal bulanık kümeler ile arasında bir ilişki de kurmuş olur. Bir bulanık küme  $A$  ve zaman noktalarının kümesi  $T$  için, durağan olmayan bir bulanık küme  $\tilde{A}$ ,  $A$  bulanık kümesinin zaman içinde değişkenlik gösteren kopyalar topluluğudur (Garibaldi ve diğ., 2008).

### 3.6.7 Kararsız (Hesitant) bulanık kümeler

Klasik bulanık kümelerde de, daha sonra uzantıları olan kümelerde de bir elemanın üyelik değeri tek olarak ifade edilir. Buna karşın 2010 yılında Torra tarafından sunulan yeni yapıda, üyeliğin değeri tek olarak değil, bir değer kümesi ile ifade edilebilmektedir. Torra tarafından sunulan çalışmada kararsız bulanık kümenin tanımı, temel gösterimleri ve işlemleri yer almıştır. Daha sonraki yıllarda farklı çalışmalar ile kararsız bulanık kümeler genişletilmiştir. Xu ve Xia (2011), bulanık kümeler arasındaki uzaklıklar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre,  $X$  referans küme olmak üzere, kararsız bulanık küme  $h$  fonksiyonu  $X$  üzerine uygulandığında  $[0,1]$  aralığında değerlerden bir alt küme döner, matematiksel gösterimi şu şekildedir.

$$E = \{\langle x, h_E(x) \rangle, x \in X\} \quad (3.45)$$

Denklemden geçen  $h_E(x)$ , 0 ile 1 arasındaki olası üyelik derecelerini veren değerler kümesidir ve kararsız bulanık eleman olarak isimlendirilir. Farklı kararsız bulanık elemanları birbirinden farklı değer sayılarına sahip olabilir.

İki kararsız bulanık küme olan  $M$  ve  $N$  arasındaki uzaklık  $D(M, N)$  ve benzerlik ölçümü  $S(M, N)$  aşağıdaki özellikleri sağlar.

- $0 \leq D(M, N) \leq 1; 0 \leq S(M, N) \leq 1$
- $M = N \Rightarrow D(M, N) = 0; S(M, N) = 1$
- $D(M, N) = D(N, M); S(M, N) = S(N, M)$

### 3.6.8 Küresel bulanık kümeler

Küresel bulanık kümeler (Spherical Fuzzy Sets, SFS) bulanık kümelerin bir uzantısı olarak 2018 yılında Kutlu ve Kahraman tarafından literatüre girmiştir. Küresel bulanık kümelerin açıklamasından önce küresel uzaklık kavramını açıklamak gerekir. Literatürde daha önceki yıllarda sezgisel bulanık kümeler arasındaki uzaklığın geometrik ve sterometrik gösterimi veren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda küresel mesafenin, üyelik dereceleri değiştiği için doğrusal bir yapıda olmadığı için doğrusal mesafelerden daha uygun görüldüğü gösterilmiştir. Ancak bu çalışmalar daha çok sezgisel bulanık kümelerin küre üzerinde kullanımı şeklinde kalmıştır. Bu bağlamda, bir kürenin yüzeyinde,  $\tilde{A} = \{ \langle u, \mu_{\tilde{A}}(u), \nu_{\tilde{A}}(u) \rangle : u \in U \}$  bir sezgisel bulanık küme olmak üzere aşağıdaki ifade sağlanır.

$$\mu_{\tilde{A}} + \nu_{\tilde{A}} + \pi_{\tilde{A}} = 1 \quad (3.46)$$

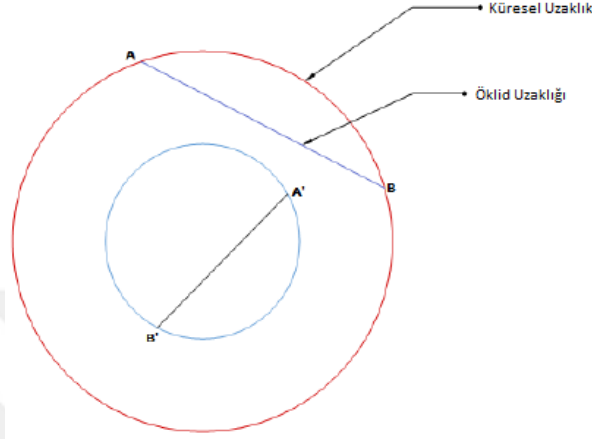
Bu denklem  $x^2 = \mu_{\tilde{A}}(u)$ ,  $y^2 = \nu_{\tilde{A}}(u)$ ,  $z^2 = \pi_{\tilde{A}}(u)$  olmak üzere,  $x^2 + y^2 + z^2 = 1$  eşitliğine dönüştürülebilir. Önerilen küresel bulanık kümelerin temeli karar vericinin kararsızlığının, üyelik derecelerinden bağımsız olarak tanımlanabilmesine dayanır ve aşağıdaki koşul sağlanır.

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}^2 + \nu_{\tilde{A}}^2 + \pi_{\tilde{A}}^2 \leq 1, \quad \forall u \in A \quad (3.47)$$

Bu durumda küre yüzeyinde aşağıdaki eşitlik sağlanır.

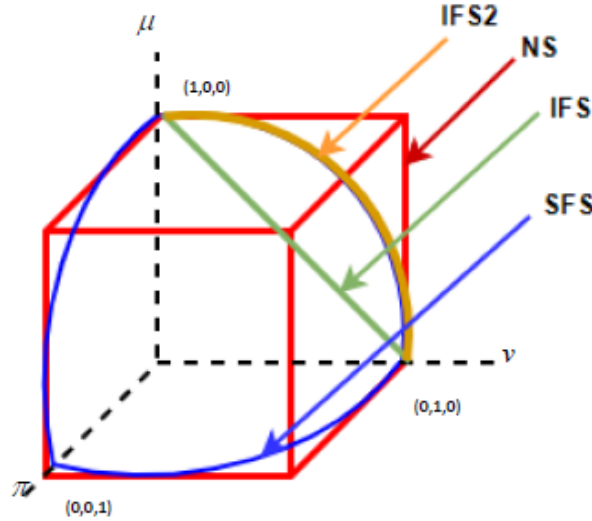
$$\mu_{\tilde{A}}^2 + \nu_{\tilde{A}}^2 + \pi_{\tilde{A}}^2 = 1, \quad \forall u \in A \quad (3.48)$$

Şekil 3.9’da Öklid ve küresel uzaklığın gösterimi verilmiştir. Öklid uzaklığı iki nokta arasındaki en kısa mesafedir. Küresel bulanık kümeler yaklaşımında, küre katı değil, küresel bir hacimdir. Dolayısıyla, öklid mesafe ölçümü anlamlı olmaktadır. Bu aynı zamanda küresel hacim içindeki herhangi iki noktanın da başka bir kürenin yüzeyinde olduğu anlamına da gelir.



**Şekil 3.9 :** Küresel yüzeyde öklid uzaklığı ve küresel uzaklık.

Küresel bulanık kümelerde, üyeliğin, üye olmamanın ve kararsızlık parametrelerinin kareler toplamı 0 ile 1 arasında olabilirken, her biri bağımsız olarak da 0 ile 1 arasında tanımlanabilir. Şekil 3.10’da bulanık küme uzantılarından olan sezgisel bulanık küme (Tip-1 ve Tip-2) ve neutrosophic bulanık kümeler ile küresel bulanık kümelerin geometrik gösterimlerindeki farklılıkları gösterilmiştir.



**Şekil 3.10 :** Bulanık küme uzantılarının geometrik gösterim farkı.

$U$  evren kümesinde küresel bir bulanık küme  $\tilde{A}_s$  aşağıdaki ifade ile tanımlanır.  
 $(\mu_{\tilde{A}_s}: U \rightarrow [0,1], \nu_{\tilde{A}_s}: U \rightarrow [0,1], \pi_{\tilde{A}_s}: U \rightarrow [0,1]$  ve  $0 \leq \mu_{\tilde{A}_s}^2 + \nu_{\tilde{A}_s}^2 + \pi_{\tilde{A}_s}^2 \leq 1$ )

$$\tilde{A}_s = \{ \langle u, (\mu_{\tilde{A}_s}(u), \nu_{\tilde{A}_s}(u), \pi_{\tilde{A}_s}(u)) \rangle \mid u \in U \} \quad (3.49)$$

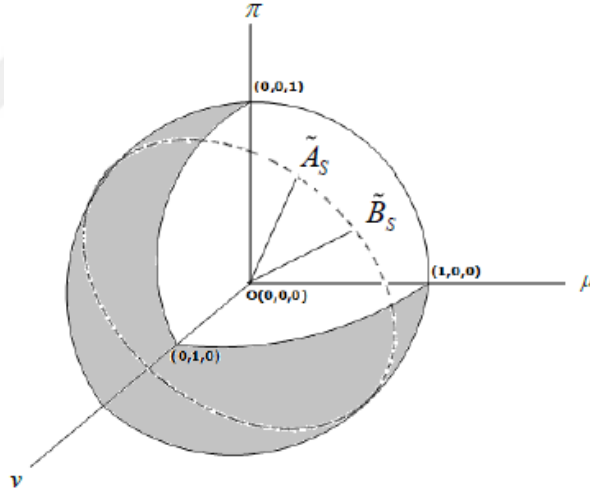
İki Küresel bulanık küme  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  için;

**Uzaklık:** Şekil 3.11’de geometrik olarak gösterilen küre yüzeyinde bulunan iki küresel küme arasındaki küresel uzaklık aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$dis(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \arccos \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( (\mu_{\tilde{A}_s} - \mu_{\tilde{B}_s})^2 + (\nu_{\tilde{A}_s} - \nu_{\tilde{B}_s})^2 + (\pi_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{B}_s})^2 \right) \right\} \quad (3.50)$$

Denklem 3.50’den yola çıkarak iki küresel bulanık küme arasındaki küresel uzaklık aşağıdaki şekilde formülize edilebilir.

$$dis(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \arccos \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( (\mu_{\tilde{A}_s} - \mu_{\tilde{B}_s})^2 + (\nu_{\tilde{A}_s} - \nu_{\tilde{B}_s})^2 + (\pi_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{B}_s})^2 \right) \right\} \quad (3.51)$$



**Şekil 3.11 :** Küresel bulanık kümelerin geometrik gösterimi.

$\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \nu_{\tilde{A}_s}^2 + \pi_{\tilde{A}_s}^2 = 1$  bilgisini kullanarak, denklem  $[0,1]$  aralığında değer kümesi elde etmek için denklem normalize edilirse küre yüzeyinde olan  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  arasındaki normalize küresel uzaklık ifadesi ortaya çıkar.

$$dis_n(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{n\pi} \sum_{i=1}^n \arccos \left( \mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \nu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \nu_{\tilde{B}_s}(u_i) + \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \right) \quad (3.52)$$

Sonuç olarak,  $0 \leq dis(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) \leq n$  ve  $0 \leq dis_n(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) \leq 1$  eşitlikleri sağlanmış olur. Küresel bulanık kümeler ile ilgili temel işlemler aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

**Birleşim:** İki küresel bulanık küme olan  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  arasında birleşim işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{A}_s \cup \tilde{B}_s = \left\{ \max\{\mu_{\tilde{A}_s}, \mu_{\tilde{B}_s}\}, \min\{v_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{B}_s}\}, \max\left\{1 - \left( (\max\{\mu_{\tilde{A}_s}, \mu_{\tilde{B}_s}\})^2 + (\min\{v_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{B}_s}\})^2 \right), \max\{\pi_{\tilde{A}_s}, \pi_{\tilde{B}_s}\} \right\} \right\} \quad (3.53)$$

**Kesişim:** İki küresel bulanık küme olan  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  arasında kesişim işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{A}_s \cap \tilde{B}_s = \left\{ \min\{\mu_{\tilde{A}_s}, \mu_{\tilde{B}_s}\}, \max\{v_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{B}_s}\}, \min\left\{1 - \left( (\min\{\mu_{\tilde{A}_s}, \mu_{\tilde{B}_s}\})^2 + (\max\{v_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{B}_s}\})^2 \right), \min\{\pi_{\tilde{A}_s}, \pi_{\tilde{B}_s}\} \right\} \right\} \quad (3.54)$$

**Toplama:** İki küresel bulanık küme olan  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  arasında toplam işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left\{ (\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, \left( (1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2 \right)^{1/2} \right\} \quad (3.55)$$

**Çarpım:** İki küresel bulanık küme olan  $\tilde{A}_s$  ve  $\tilde{B}_s$  arasında çarpım işlemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bu işlem karar verme yöntem uygulamalarında ağırlıklandırılmış karar matrislerini oluşturulması açısından önemlidir.

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, \left( (1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2 \right)^{1/2} \right\} \quad (3.56)$$

**Bir Skaler ile Çarpım:**  $\lambda > 0$  olan skaler bir sayı olmak üzere çarpım aşağıdaki gibi yapılır.

$$\lambda. \tilde{A}_s = \left\{ \left( 1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right)^{1/2}, v_{\tilde{A}_s}^\lambda, \left( (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right)^{1/2} \right\} \quad (3.57)$$

**$\lambda$  derecesinden üssü:**  $\lambda > 0$  olan skaler bir sayı olmak üzere, bir bulanık kümenin  $\lambda$  dereceden üssü şu şekilde ifade edilir.

$$\tilde{A}_s^\lambda = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, \left( 1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right)^{1/2}, \left( (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right)^{1/2} \right\} \quad (3.58)$$

Temel işlemlere ek olarak  $\tilde{A}_s = (\mu_{\tilde{A}_s}, v_{\tilde{A}_s}, \pi_{\tilde{A}_s})$  ve  $\tilde{B}_s = (\mu_{\tilde{B}_s}, v_{\tilde{B}_s}, \pi_{\tilde{B}_s})$  olmak üzere,  $\lambda, \lambda_1, \lambda_2 > 0$  olduğunda aşağıdaki şartlar da küresel bulanık kümelerde sağlanır.

- i.  $\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \oplus \tilde{A}_s$
- ii.  $\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \tilde{B}_s \otimes \tilde{A}_s$
- iii.  $\lambda(\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s) = \lambda\tilde{A}_s \oplus \lambda\tilde{B}_s$
- iv.  $\lambda_1\tilde{A}_s \oplus \lambda_2\tilde{A}_s = (\lambda_1 + \lambda_2)\tilde{A}_s$
- v.  $(\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s)^\lambda = \tilde{A}_s^\lambda \otimes \tilde{B}_s^\lambda$
- vi.  $\tilde{A}_s^{\lambda_1} \otimes \tilde{A}_s^{\lambda_2} = \tilde{A}_s^{\lambda_1 + \lambda_2}$

**Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (SWAM):**  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n); w_i \in [0,1]; \sum_{i=1}^n w_i = 1$  olmak üzere, küresel ağırlıklı aritmetik ortalama denklem 3.59'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} SWAM_w(A_{S_1}, \dots, A_{S_n}) &= w_1 A_{S_1} + w_2 A_{S_2} + \dots + w_n A_{S_n} \\ &= \left\{ \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \right. \\ &\quad \left. \prod_{i=1}^n v_{A_{S_i}}^{w_i}, \left[ \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2 - \pi_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (3.59)$$

**Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama (SWGGM):**  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n); w_i \in [0,1]; \sum_{i=1}^n w_i = 1$  olmak üzere, küresel ağırlıklı geometrik ortalama denklem 3.60'da verilmiştir.

$$\begin{aligned}
SWGM_w(A_{S_1}, \dots, A_{S_n}) &= A_{S_1}^{w_1} + A_{S_2}^{w_2} + \dots + A_{S_n}^{w_n} \\
&= \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{A_{S_i}}^{w_i}, \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \left[ \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2 - \pi_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (3.60)
\end{aligned}$$

**Skor ve Doğruluk (Accuracy) Fonksiyonları:** Skor ve doğruluk alternatifleri değerlendirmede kullanılabilir. Bu işlem ile bulanık bir sayıdan kesin bir sayı elde edilmiş olur.

$$Score(A_S) = (\mu_{A_S} - \pi_{A_S})^2 - (v_{A_S} - \pi_{A_S})^2 \quad (3.61)$$

$$Accuracy(A_S) = \mu_{A_S}^2 + v_{A_S}^2 + \pi_{A_S}^2 \quad (3.62)$$

Bulanık değerler kesin değerlere dönüştüğü için bulanık sayıların karşılaştırılması yapılabilir.  $A_S < B_S$  olması aşağıdaki şartlar sağlandığında mümkündür.

- i.  $Score(A_S) < Score(B_S)$  veya
- ii.  $Score(A_S) = Score(B_S)$  ve  $Accuracy(A_S) < Accuracy(B_S)$

Bu çalışmada kullanılacak çoklu karar verme yönteminde küresel bulanık kümeler temel alınacaktır.

## 4. BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Günlük hayattaki karar verme problemleri çoğunlukla tek kriteri gözeterek çözülemeyecek yapıdadır. Bu tip seçimleri tek kriteri düşünerek değerlendirme yapmak işin doğası gereği gerçekçi olmayan kararlar alınmasına yol açabilir. Bu nedenle tüm kriterlerin birlikte değerlendirilmesi daha etkili bir yöntemdir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV, Multi Criteria Decision Making (MCDM)) birbiriyle çelişen doğada birden fazla kriter, amaç veya hedef içeren karmaşık karar verme problemlerinin üstesinden gelmek için karar destek araçlarının ve metodolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasını barındıran araştırması alanıdır. Bu bölümde ÇKKV süreci ve yöntemleri detaylandırılacaktır.

### 4.1 Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Birçok olası seçenek arasından en iyi olanı bulma işlemi karar verme olarak tanımlanabilir. Günümüzde artık pek çok karar verme işlemi birden fazla kriter gözetilerek yapılmaktadır. Bu problemler Çok Kriterli Karar Verme süreci olarak isimlendirilmektedir (Chen, 2000). Bir karar verme sürecinde temel olarak aşağıdaki aşamalar bulunmaktadır.

- i. Değerlendirme kriterlerini belirlemek
- ii. Alternatif çözümleri oluşturmak
- iii. Oluşturulan alternatif çözümleri seçilen kriterler bakımından değerlendirmek
- iv. Bir ÇKKV analiz yöntemi uygulamak
- v. Olası çözümlerden birini seçmek (opsiyonel adım)
- vi. Son çözümün kabul edilmemesi durumunda yeni bilgiler sisteme dahil edilerek adımları tekrarlamak

Kriterler analiz edilirken belirli ağırlıklar verilerek olası seçenekler arasından seçim yapılması beklenir. Klasik ÇKKV yöntemlerinde bu ağırlıklar belirli sayılardan oluşmaktadır ve problemin çözümü için en dikkat edilmesi gereken adım budur (Opricovic ve Tzeng, 2004).

Karar vericilerin en uygun olanı seçme ve en iyiden en kötüye doğru sıralama işlemini sonlu alternatif arasından yaptığı problemler kesikli ÇKKV iken, sonsuz alternatif arasından yaptığı ise sürekli ÇKKV problemleri olarak isimlendirilmektedir. Kesikli problemler Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV, Multi Attribute Decision Making (MADM)) yöntemleri ile ele alınırken, sürekli problemler Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV, Multi Objective Decision Making (MODM)) yöntemleri ile ele alınmaktadır (Kahraman ve diğ, 2015). Çalışmada sonlu sayıda alternatif olduğu için ÇAKV yöntemleri hariç tutularak ÇNKV yöntemlerini içeren ÇKKV süreci incelenmiştir.

Bu yöntemlerin klasik versiyonları olduğu gibi belirsizlik teorileri ile birlikte gelişmeye devam etmiştir. Bulanık mantık ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin birleşmesi ile Bulanık ÇKKV yöntemleri oluşturulmaya başlanmış ve günümüz problemlerinde kullanılmaya devam etmektedir (Abdullah, 2013).

## **4.2 Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri**

Belirsizliklerin ya da eksik bilgilerin olduğu durumlarda bulanık karar vermeye başvurulur. Klasik ÇKKV yöntemlerinin bulanık ortamlarda kullanımı ile ilgili oluşturulmuş yöntemler vardır. Bu bölümde literatürde en çok bulunan bulanık ÇKKV yöntemlerinin Tip-1 bulanık kümeler ile olan hali açıklanacaktır. Hepsi birbirinden farklı temele dayanmaktadır. Açıklanacak yöntemlerden TOPSIS ve VIKOR uzaklık temelli, ELECTRE ve PROMETHEE sıralama temelli, AHP ve ANP ise ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır. Sırasıyla bu yöntemlerden bahsedilecektir.

### **4.2.1 Bulanık TOPSIS**

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır. İdeal çözüme olan benzerliğe göre tercihlerin sıralanması yöntemidir. Seçilecek alternatif için pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme ise en uzak olanı önerir. Karar verme durumunda olan belirsizlik durumlarını karşılamak için TOPSIS yönteminin bulanıklaştırılması 1992'de Chen ve Hwang tarafından önerilmiştir. Bulanık TOPSIS'te, tüm dereceler ve ağırlıklar dilsel değişkenler ile tanımlanır, kesin sayılar yerine bulanık sayılar kullanılır (Sun, 2010). Bulanık TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıda açıklanmıştır.

**Adım 1:** Dilsel değişkenleri içeren veriler toplanmalıdır. Verileri doğru ve daha kesin temsil etmek için kullanılacak ölçek önemlidir. Katılımcılara sunulacak ölçekli sorulara verilecek yanıtlar doğrudan çözümü etkileyecektir. Örnek olarak Çizelge 4.1'deki gibi beş skalalı dilsel değişken yapısı kullanılabilir.

**Çizelge 4.1 :** Beş skalalı dilsel değişken tablosu.

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayı
Düşük	(0, 0,1, 0,3)
Biraz düşük	(0,1, 0,3, 0,5)
Orta	(0,3, 0,5, 0,7)
Biraz yüksek	(0,5, 0,7, 0,9)
Yüksek	(0,7, 0,9, 1)

**Adım 2:**  $m$  sayıda alternatif,  $n$  sayıda kriter için bulanık karar matrisi kurulur.  $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$   $i$ . karar vericinin  $j$ . kriter için olan dilsel ifadelerdir.  $x_{ij}$  üçgen bulanık sayılar ile gösterilir.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

**Adım 3:** Bu adımda karar matrisi normalize edilmeye çalışılır. Normalize edilmiş  $R$ 'yi oluşturmak için aşağıdaki denklemden yararlanılır. ( $c_j^* = \max_i c$ )

$$R = [r_{ij}]_{m \times n}, \quad r_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad (4.2)$$

**Adım 4:** Normalize edilmiş karar matrisinden yola çıkarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir.

$$V = [v_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

Ağırlıklandırılmış normalize  $v_{ij}$  değerleri  $v_{ij} = r_{ij} * w_j$  formülünden hesaplanır.

**Adım 5:** Bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözüm hesaplanır.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (4.4)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (4.5)$$

**Adım 6:** Her faktörün pozitif ve negatif ideal çözüme olan toplam uzaklığı hesaplanır.

$$D_j^* = \frac{\sum_{i=1}^m d(v_{ij} - v_i^*)}{m}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

$$D_j^- = \frac{\sum_{i=1}^m d(v_{ij} - v_i^-)}{m}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.7)$$

**Adım 7:** Alternatiflerin sıralamasını yapmak için her bir alternatifin yakınlık katsayıları  $C_j$  hesaplanır. Hesaplama mantığında pozitif ve negatif çözümlere olan uzaklık aynı anda dikkate alınır.

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (4.8)$$

**Adım 8:**  $C_j$  değerlerinin sırasına göre tercih sıraları önceliklendirilir (Agrawal ve diğ, 2016).

Bulanık TOPSIS yönteminin literatürde farklı sektörlerde kullanımları mevcuttur. Mühendislik ve Bilgisayar bilimi başta olmak üzere iş yönetimi, ekonomi, finans, enerji, malzeme bilimi, genetik, biyokimya, kimya mühendisliği gibi alanlarda bulanık TOPSIS ile ilgili çalışmalar vardır (Kahraman ve diğ, 2015).

#### 4.2.2 Bulanık VIKOR

Opricovic tarafından geliştirilen (1998) VIKOR yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Yöntem birbirinden farklı, çelişen yada aynı ölçekte olmayan kriterlerin bulunduğu problemlerde alternatiflerin sıralanmasını sağlar. VIKOR yöntemi, TOPSIS yönteminde olduğu gibi ideal çözüme yakınlığın ölçülmesi temeline dayanır. Ancak farklı olarak ideal çözüme olan yakınlığı baz alarak bir sıralama endeksi sunar ve eliminasyonda lineer normalizasyon kullanılır (Shemshadi ve diğ, 2011). Ancak karar vermenin karmaşık olduğu ve net olarak sayılar ile ifade edilemediği durumlar için yöntem geliştirilerek bulanık VIKOR yöntemi geliştirilmiştir. Bulanık VIKOR'da karar vericilerin alternatifleri değerlendirmesinde dilsel değişkenler kullanılır. Her alternatifin her bir kriter tarafından değerlendirilebilir

prensibine dayanan bu yöntemin uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır (Kaya ve Kahraman, 2010).

**Adım 1:** Karar vericilerden oluşan bir grup değerlendirme kriterlerini tanımlar.

**Adım 2:**  $m$  sayıda alternatif,  $n$  sayıda kriter olmak üzere, her alternatif ve kriterin ağırlığı için uygun dilsel değişkenler tanımlanır.

**Adım 3:** Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve uzmanların dilsel değerlendirmeleri, her ikili karşılaştırma için ortalama bir değer elde etmek üzere toplanır.

**Adım 4:** Boyut analizi yaklaşımı ile her kriterin ağırlığı hesaplanır.

**Adım 5:** VIKOR yönteminin uygulanması için bulanık karar matrisi kurulur.

**Adım 6:** Her bir kriter için bulanık en iyi değer  $\check{f}_i^*$  ve bulanık en kötü değer  $\check{f}_i^-$  hesaplanır.

$$\check{f}_i^* = \max_i \check{x}_{ij} \quad \check{f}_i^- = \min_i \check{x}_{ij} \quad (4.9)$$

**Adım 7:** Ayırma ölçütleri olan,  $A_i$  alternatifinde kriter değerlerinin bulanık en iyi değere olan uzaklıklarının toplamı  $\check{S}_i$  ve  $j$ . kritere göre alternatifinin bulanık en kötü değere olan maksimum uzaklığı  $\check{R}_i$  hesaplanır.

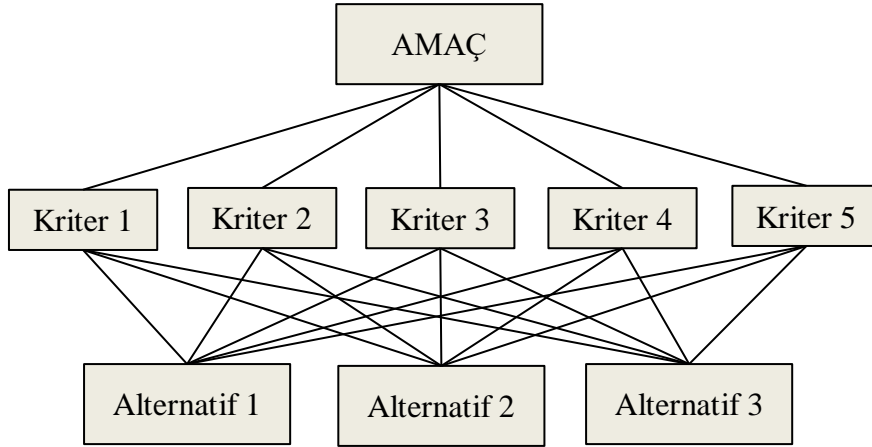
**Adım 8:** Üçgen bulanık sayı olan  $\check{Q}_i$  hesaplanır.

**Adım 9:**  $\check{Q}_i$  değerleri durulaştırılır ve  $\check{Q}_i$  değerleri baz alınarak alternatifler sıralanır.

**Adım 10:** En küçük  $\check{Q}_i$  değerine sahip olan alternatif en iyi alternatiftir.

### 4.2.3 Bulanık AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ilk olarak Saaty tarafından (1980) geliştirilmiş bir yöntemdir. Karmaşık karar verme problemlerinde, karar vericilerin önceliklerini dikkate alarak, nitel ve nicel değişkenleri birlikte değerlendiren bir ÇKKV yöntemidir. AHP yönteminin en güçlü tarafı problemi anlamlı alt parçalara ayırmasıdır. Böylece karar vericilere birden fazla hedef ya da kriter olduğunda en uygun olanı seçme konusunda yardımcı olmaktadır. AHP, problemin asıl amacı, kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri arasında bir ilişki kurarak hiyerarşik yapıda bir model sunar. AHP yönteminin gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir (Gnanavelbabu ve Arunagiri, 2018).



**Şekil 4.1** : AHP yöntemi gösterimi.

AHP'nin uygulama adımları genel olarak 3 adımda özetlenebilir. İlk olarak amacı, kriterleri ve alternatifleri veren hiyerarşik model kurulur. Daha sonra kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırma matrisleri kurularak birbirlerine olan üstünlükleri belirlenir. Bu matrislerde Çizelge 4.2'de verilen önem ölçeği kullanılabilir. Son adım olarak ise karşılaştırma matrislerine göre ağırlıklar hesaplanır ve alternatiflerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi yapılır (Deng ve diğ., 2014).

**Çizelge 4.2** : Önem ölçeği tablosu.

Sayısal Değer	Tanım
1	Eşit önemde
3	Az önem farkı
5	Önem farkı fazla
7	Önem farkı çok fazla
9	Aşırı derecede önem farkı
2, 4, 6, 8	Ara değerler

AHP sayısal olan ve olmayan kriterli dikkate almakta başarılı bir yöntem iken, karar vericilerin sübjektif olması karar verme ortamında bulanıklığa neden olmaktadır. Bu durumlarda Bulanık AHP yöntemi daha uygun olacaktır. Bulanık AHP yöntemi 1996 yılında Chang tarafından ilk kez literatürde yer almıştır (Sirisawat ve Kiatcharoenpol, 2018). Chang'ın önerdiği bulanık boyut analiz yönteminden yola çıkarak, Bulanık AHP yönteminin ana hatları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Problemin hedef kümesi  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  amaç kümesi  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$  olmak üzere, Her hedef için M

boyut analizi ( $g_i$ ) değerleri elde edilir. Burada  $M_{g_i}^j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) parameterleri, üçgen bulanık  $l, m, u$  sayılarını verir.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, \dots, n$$

**Adım 1:**  $i$ . hedefe göre bulanık sentetik boyut değeri tanımlanır.

$$s_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4.10)$$

Denklemden yola çıkarak, önce  $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$  daha sonra  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$  elde edilir. Denklemin tersi alınarak bu adımın sonunda aşağıdaki denklem hesaplanır.

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (4.11)$$

**Adım 2:** Bu aşamada  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'in olasılık derecesi hesaplanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup \{ \min \{ \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) \} \} \quad (4.12)$$

$d$ ,  $\mu_{\tilde{M}_1}$  ile  $\mu_{\tilde{M}_2}$  üyelik fonksiyonlarının kesiştiği en yüksek  $D$  noktasının koordinatları olmak üzere; aşağıdaki eşitlik yazılır.  $M_1$  ve  $M_2$ 'yi karşılaştırmak için  $V(M_2 \geq M_1)$  ve  $V(M_1 \geq M_2)$  ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

$$\begin{aligned} V(M_2 \geq M_1) &= hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \\ &= \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_2 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.13) \end{aligned}$$

**Adım 3:** Konveks bulanık sayı olan  $M$ 'nin, konveks sayı olan  $M_i$ 'den ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) büyük olma olasılığı:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ &= V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i) \end{aligned} \quad (4.14)$$

$k = 1, \dots, n$  ve  $k \neq i$  olmak üzere ağırlık vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W' = \{d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_n)\}^T \quad (4.15)$$

**Adım 4:** Son aşamada ağırlık vektörü normalize edilir.  $W$  bir bulanık sayı değildir.

$$W = \{d(C_1), d(C_2), \dots, d(C_n)\}^T \quad (4.16)$$

Ağırlıklar hesaplandıktan sonra değerlendirme ile süreç tamamlanır (Kumar ve Singh, 2012).

Bulanık AHP yönteminin literatürde en çok mühendislik ve bilgisayar bilimi alanlarında kullanımı mevcuttur. Bu alanların yanında, iş yönetimi, muhasebe, sosyal bilimler, enerji, fizik gibi alanlarda da çalışmalar vardır (Kahraman ve diğ., 2015).

#### 4.2.4 Bulanık ANP

Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process, ANP), AHP'nin genel bir formu şeklinde Saaty (1996) tarafından geliştirilmiş kaliteli bir yöntemdir. AHP tek yönlü ilişkiler için hiyerarşik bir model sunarken, ANP yöntemi birden fazla yönlü olan karmaşık ilişkilerin modellenmesine imkan sunar. Elementlerin birbirleri ile olan bağılılıklarını açıklar ve bu bağılılıkları nicel olarak yansıtır. Böylece bileşenler arasındaki etkileşimler ve geri bildirimler modellenmiş olur. AHP'nin aksine doğrusal olmayan, bileşenlerin birbirleri üzerinde olan etkilerinin yansıtıldığı çok değişkenli bir karar verme yöntemidir (Bhattacharya, 2014). Bir ÇKKV yönteminin ANP yöntemi ile çözüm adımları genel hatlarıyla şu şekildedir.

**Adım 1:** İlk olarak karar vericiler ile birlikte karar verme problemi tanımlanmalı ve ağ şeklinde ayrıştırılmalıdır.

**Adım 2:** Analitik Hiyerarşi Prosesinde olduğu gibi kriterler ikili olarak karşılaştırılır. Bu işlemi karar vericiler seçilen iki kriterin amaca olan katkısına göre yaparlar. Bu şekilde kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş olur. Ağırlıkların belirlenmesinde, AHP yönteminde olduğu gibi Çizelge 4.2'de verilen önem ölçeği kullanılabilir. İkili karşılaştırma matrisi  $A$  olmak üzere yerel öncelik vektörü vektörü aşağıdaki denklemden elde edilir. Burada  $\lambda_{enb}$ , matrisin en büyük özdeğeri,  $w$  ise özvektördür.

$$Aw = \lambda_{enb}w \quad (4.17)$$

Bu adımın sonunda kriterlerin birbirlerine karşı önem dereceleri belirlenmiş olur.

**Adım 3:** Bulunan yerel öncelik vektörleri süper matrislere yazılır. Süper matris, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki tüm etkileşimleri içeren öncelik vektörlerinden oluşan bir matristir ve her biri sistem içindeki iki faktörün ilişkisini verir. Önem ağırlıklarının anlamlı hala gelmesi ve ikili faktörlerin birbiri üzerindeki etkisini açıklayabilmek için matrislerin  $2k + 1$ . Kuvveti alınır. ( $k$ ; rastgele büyük bir sayı)

**Adım 4:** Hesaplamalar sonunda elde edilen en yüksek önem ağırlığı olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilir (Yetiz, 2009).

#### 4.2.5 Bulanık ELECTRE

ÇKKV yöntemlerinden biri olan ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) karar vericilerin maksimum avantaj ve minimum dezavantajı veren seçenekte karar vermesini sağlayan bir yöntemdir. Seçeneklerin birbirlerine olan üstünlüklerine göre bir sıralama yapar. İlk kez Roy tarafından (1968) geliştirilmiştir ve literatürde ELECTRE I olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra literatürde bu yöntem geliştirilerek ELECTRE II, III, IV, TRI gibi versiyonları oluşturulmuştur (Figueira ve diğ, 2005).  $k$  karar vericinin ( $D_k$ ) ve  $n$  kriter ( $C_n$ ) için bulanık ELECTRE yönteminin uygulama adımları kısaca aşağıda özetlenmiştir.

**Adım 1:** İlk adımda her kriter için ağırlıklar bulanık üçgen sayılar ile ifade edilir. ( $\tilde{w}_j = l_j, m_j, u_j$ ) Bulanık ağırlık matrisi hesaplanır ve normalize edilir.

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \quad (4.18)$$

$$w_{j1} = \frac{1/l_j}{\sum_{j=1}^n 1/l_j}, \quad w_{j2} = \frac{1/m_j}{\sum_{j=1}^n 1/m_j}, \quad w_{j3} = \frac{1/u_j}{\sum_{j=1}^n 1/u_j} \quad (4.19)$$

Elde edilen bulanık ağırlık matrisi:

$$W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (4.20)$$

**Adım 2:** Her alternatif ve kriter için karar matrisi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

**Adım 3:** Karar matrisinde bulunan elemanlar normalize edilir ve normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. ( $R = (r_{ij})_{m \times n}$ )

**Adım 4:** Normalize edilmiş ağırlıklar ve karar matrisi kullanılarak normalize edilmiş ağırlıklı karar matrisi elde edilir.

$$\check{V} = [\check{v}_{ij}]_{m \times n} \quad \check{v}_{ij} = r_{ij} \times \check{w}_j \quad (4.22)$$

**Adım 5:** Her kriterin farklı ağırlıkları için ( $w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}$ ) uyumluluk ve uyumsuzluk endeksleri hesaplanır. Uyumluluk endeksi  $C_{pq}$ , iki alternatif olan  $p$  ve  $q$  arasındaki karşılaştırmayı verir.  $p$  alternatifinin  $q$  alternatifine göre ne kadar iyi olduğu hakkında bilgi verir.

**Adım 6:** Benzer şekilde uyumsuzluk endeksi  $D_{pq}$  hesaplanır.  $p$  alternatifinin  $q$  alternatifine göre ne kadar kötü olduğu hakkında bilgi verir.

**Adım 7:** Son aşamada hesaplanan uyumluluk ve uyumsuzluk endekslerinin ortalaması alınır ve her alternatif için ortalama ile karşılaştırılır. İkili karşılaştırmada uyumluluk endeksi ortalamadan büyükse ( $C_{pq} \geq \bar{C}$ ) ve uyumsuzluk endeksi ortalamadan küçük ise ( $D_{pq} \leq \bar{D}$ ),  $p$  alternatifi  $q$ 'dan daha üstündür yorumu yapılır. Bu şekilde yapılan ikili karşılaştırmaların sonucunda uygun bir alternatif seçilir (Sevklı, 2010).

#### 4.2.6 Diğer bulanık yöntemler

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında yukarıdaki bölümlerde açıklanan yöntemlerin dışında kalan bulanık yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemlerden kısaca bahsedilecek olunursa:

- **Bulanık PROMETHEE:** Bir sıralama yöntemi olan PROMETHEE, her kriter için ikili alternatifleri karşılaştırarak, alternatifleri 0 ve 1 arasında değerlendirir. Bunu yaparken temelde iki bilgiye kullanır: kriterlerin göreceli ağırlıkları ve karar vericilerin tercihi. İlk ortaya çıkan PROMETHEE I yöntemi kısmi bir sıralama sunarken, PROMETHEE II tüm olarak sıralama sunar. Bu yöntemin III ve IV olarak genişletilmiş versiyonları da literatürde vardır (Chen ve diğ, 2011).
- **Bulanık DEMATEL:** Karmaşık faktörler arasındaki nedensel ilişkileri içeren yapısal bir model oluşturulması ve analiz edilmesi için kurulan bir yöntemdir.

Temeli kriterleri etki ve neden grubu olarak ikiye ayıran diyagram yapısına dayanmaktadır. Böylece kriterlerin birbirleri ile olan ilişkileri, hangilerinin neden hangilerinin etkilenen tarafta olduğunu ve etkinin şiddetini ortaya koyması özelliğiyle öne çıkmaktadır (Wu ve Lee, 2007).





## 5. METODOLOJİ

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan bulanık TOPSIS yöntemi, literatürde bulanık kümelerin farklı uzantıları ile birlikte geliştirilmiştir. Bu çalışmada metodoloji olarak Kutlu ve Kahraman (2018) tarafından literatüre sunulan küresel bulanık TOPSIS yöntemi seçilmiştir. Bu bölümde açıklanacak olan küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi, seçilen bir şirket üzerinde uygulama yapılarak yorumlanacaktır. Benzer bir yöntem ile karşılaştırmak ve sonuçları yorumlamak adına Sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi de aynı veri setine uygulanacaktır. Bu nedenle bu bölümde ilk olarak küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi, devamında ise Sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemleri açıklanmıştır.

### 5.1 Küresel Bulanık TOPSIS Yöntemi

Bu yöntem küresel bulanık kümeleri temel alan bir ÇKKV yöntemidir. Bulanık TOPSIS yönteminde de anlatılan çok kriterli karar verme problemlerinde alternatiflerin her kriter bakımından değerlendirme değerlerini içeren karar matrisleri küresel bulanık ortamda da oluşturulabilir. Problemden bulunan alternatifler  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m \mid m \geq 2\}$ , kriterler  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  olmak üzere ağırlık vektörü  $w = w_1, w_2, \dots, w_n, 0 \leq w_j \leq 1$  ve  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  eşitliklerini sağlar. Daha önceki bölümde anlatılan bulanık TOPSIS yöntemi ile benzer şekilde, yöntemin adımları aşağıdaki gibidir (Kutlu ve Kahraman, 2018).

**Adım 1:** Karar vericilerin değerlendirmeleri dilsel terimler baz alınarak alınarak listelenir. Bunun için Çizelge 5.1’de verilen ölçek kullanılabilir.

**Çizelge 5.1 :** Küresel bulanık sayılar için önem ölçeği.

Dilsel Terimler	$(\mu, \nu, \pi)$
Kesinlikle yüksek önemli (AMI)	(0.9,0.1,0.1)
Çok yüksek önemli (VHI)	(0.8,0.2,0.2)
Yüksek Önemli (HI)	(0.7,0.3,0.3)
Biraz daha önemli (SMI)	(0.6,0.4,0.4)

**Çizelge 5.1 (devam) :** Küresel bulanık sayılar için önem ölçęi.

Dilsel Terimler	$(\mu, \nu, \pi)$
Eşit önem (EI)	(0.5,0.5,0.5)
Biraz düşük önemli (SLI)	(0.4,0.6,0.4)
Düşük Önemli (LI)	(0.3,0.7,0.3)
Çok düşük önemli (VLI)	(0.2,0.8,0.2)
Kesinlikle düşük önemli (ALI)	(0.1,0.9,0.1)

**Adım 2:** Küresel bulanık kümeler başlığında anlatılan ağırlıklı ortalama (SWAM) ve geometrik ortalama (SWGGM) hesaplamaları kullanılarak karar vericilerin kararları birleştirilir. Bu noktada iki hesaplama mantığından biri seçilerek devam edilebilir.

**Adım 2.1:** Tüm kriterler eşit öneme sahip olmayabileceği için, her bir karar vericinin kriterler ile ilgili önem düşüncesi birleştirilir. Karar vericilerin ağırlıkları da baz alınarak hem kriterlerin ağırlık matrisi oluşturulur.

**Adım 2.2:** Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda küresel bulanık karar matrisi kurulur.  $C_j$ . kriter bakımından  $X_i$ . alternatifin değerlendirmelerine göre  $C_j(X_i) = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$  değerleri matriste doldurulur ve  $D = (C_j(X_i))_{m \times n}$  karar matrisi aşağıdaki gibi kurulmuş olur.

$$D = (C_j(X_i))_{m \times n} = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & \cdots & (\mu_{1n}, \nu_{1n}, \pi_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1}, \nu_{m1}, \pi_{m1}) & \cdots & (\mu_{mn}, \nu_{mn}, \pi_{mn}) \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

**Adım 3:** Her kriterin ağırlığı ve alternatiflerin derecesi belirlendikten sonra, bir önceki adımda oluşturulan matristen yola çıkarak ağırlıklı küresel bulanık matrisi aşağıdaki gibi kurulur.

$$D = (C_j(X_{iw}))_{m \times n} = \begin{bmatrix} (\mu_{11w}, \nu_{11w}, \pi_{11w}) & \cdots & (\mu_{1nw}, \nu_{1nw}, \pi_{1nw}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1w}, \nu_{m1w}, \pi_{m1w}) & \cdots & (\mu_{mnw}, \nu_{mnw}, \pi_{mnw}) \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Ağırlıklı karar matrisini elde etmek için denklem 3.56'da verilen çarpım ifadesinden faydalanılır.

**Adım 4:** Ağırlıklı küresel bulanık matrisi durulaştırılarak her alternatif-kriter ikilisi için skor fonksiyonları yazılır. Bulanık değerlerden kesin değerlere dönüştürülerek hesaplanan skor değerleri kullanılarak ideal çözümler elde edilecektir.

$$Score(C_j(X_{iw})) = (\mu_{ijw} - \pi_{ijw})^2 - (v_{ijw} - \pi_{ijw})^2 \quad (5.3)$$

**Adım 5:** Skor değerleri kullanılarak küresel bulanık pozitif ideal çözüm (SF-PIS) ve küresel bulanık negatif ideal çözüm (SF-NIS) belirlenir.

- Küresel bulanık pozitif ideal çözüm (SF-PIS) için her kriterin en yüksek skor değeri bulunur. Daha sonra en yüksek skor değerini veren kriterin ağırlıklı küresel bulanık değeri yazılır.

$$X^* = \{C_j, \max_i \langle Score(C_j(X_{iw})) \rangle \mid j = 1, 2 \dots n\} \quad (5.4)$$

$$X^* = \{\langle C_1, (\mu_1^* v_1^* \pi_1^*) \rangle, \langle C_2, (\mu_2^* v_2^* \pi_2^*) \rangle \dots \dots \langle C_n, (\mu_n^* v_n^* \pi_n^*) \rangle\} \quad (5.5)$$

- Küresel bulanık negatif ideal çözüm (SF-NIS) için her kriterin en düşük skor değeri bulunur. Daha sonra en düşük skor değerini veren kriterin ağırlıklı küresel bulanık değeri yazılır.

$$X^- = \{C_j, \min_i \langle Score(C_j(X_{iw})) \rangle \mid j = 1, 2 \dots n\} \quad (5.6)$$

$$X^- = \{\langle C_1, (\mu_1^- v_1^- \pi_1^-) \rangle, \langle C_2, (\mu_2^- v_2^- \pi_2^-) \rangle \dots \dots \langle C_n, (\mu_n^- v_n^- \pi_n^-) \rangle\} \quad (5.7)$$

**Adım 6:** Her  $X_i$  alternatifi için SF-PIS'e olan ve SF-NIS'e olan uzaklıkları hesaplanır. Hesaplamalarda Öklid uzaklık formülünden faydalanılır.

Küresel bulanık negatif ideal çözüm (SF-NIS) için aşağıdaki denklemden faydalanılabilir. Böylece her kriterin negatif ideal çözüme olan uzaklığı elde edilmiş olur. Bu uzaklık ne kadar fazla ise, seçim olma olasılığı o kadar yükselir.

$$D(X_i, X^-) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((\mu_{x_i} - \mu_{x^-})^2 + (v_{x_i} - v_{x^-})^2 + (\pi_{x_i} - \pi_{x^-})^2)} \quad (5.8)$$

Küresel bulanık pozitif ideal çözüm (SF-PIS) için aşağıdaki denklemden faydalanabilir. Böylece her kriterin pozitif ideal çözüme olan uzaklığı elde edilmiş olur. Bu uzaklık ne kadar az ise, seçim olma olasılığı o kadar yükselir.

$$D(X_i, X^*) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n ((\mu_{x_i} - \mu_{x^*})^2 + (v_{x_i} - v_{x^*})^2 + (\pi_{x_i} - \pi_{x^*})^2)} \quad (5.9)$$

**Adım 7:** Küresel bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklığın minimumu ve Küresel bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklığın maksimumunu seçilir.

$$D_{max}(X_i, X^-) = \max_{1 \leq i \leq m} D(X_i, X^-) \quad (5.10)$$

$$D_{min}(X_i, X^*) = \max_{1 \leq i \leq m} D(X_i, X^*) \quad (5.11)$$

**Adım 8:** Adım 7’de belirlenen değerler kullanılarak değiştirilmiş yakınlık oranı hesaplanır. Zhang ve Xu tarafından önerilen değiştirilmiş yakınlık oranı formülü denklem 5.12’deki gibidir.

$$\xi(X_i) = \frac{D(X_i, X^-)}{D_{max}(X_i, X^-)} - \frac{D(X_i, X^*)}{D_{min}(X_i, X^*)} \quad (5.12)$$

Bu denklemde ikinci eleman en azından birinciye eşit olacağı için denklem negatif ya da sıfır sonucunu döner. Pozitif ya da sıfır değerler elde etmek için denklem revize edilerek yakınlık oranı hesaplanır.

$$\xi(X_i) = \frac{D(X_i, X^*)}{D_{min}(X_i, X^*)} - \frac{D(X_i, X^-)}{D_{max}(X_i, X^-)} \quad (5.13)$$

**Adım 9:** Alternatifler uygunluk durumuna göre sıralanır ve en uygun alternatif bu sıralamaya göre belirlenir. Adım 8’de verilen iki hesaplamadan biri seçilerek uygulanabilir.

Denklem 5.12 kullanılırsa, seçim yakınlık oranları azalan sıralamada yapılır. En yüksek değere sahip olan alternatif en uygun olarak seçilir. Denklem 5.13 kullanılır ise, seçim yakınlık oranları artan olarak sıralanarak yapılır. En düşük değere sahip olan alternatif en uygundur denilebilir.

## 5.2 Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi

Küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmak adına bulanık küme açılımlarından olan sezgisel bulanık kümelerin kullanıldığı TOPSIS yöntemi karşılaştırma yöntemi olarak seçilmiştir. Bu yöntemin temeli bulanık kümelerin açılımlarında anlatılan sezgisel bulanık kümelerdir.

Alternatifler kümesi  $A = A_1, A_2, \dots, A_m$  ve kriterler kümesi  $X = X_1, X_2, \dots, X_n$  olmak üzere, Sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir (Boran ve diğ., 2009).

**Adım 1:** Karar vericilerin ağırlıkları belirlenir. Karar vericilerin önem dereceleri Çizelge 5.2’de gösterildiği gibi sezgisel bulanık sayılar ile ifade edilen dilsel ifadeler baz alınarak hesaplanır.

**Çizelge 5.2 :** Sezgisel bulanık sayılar için önem ölçeği.

Dilsel Terimler	IFS Sayıları
Çok önemli	(0.90,0.10)
Önemli	(0.75,0.20)
Ortalama	(0.50,0.45)
Önemsiz	(0.35,0.60)
Çok önemsiz	(0.10,0.90)

$D_k = [\mu_k, \nu_k, \pi_k]$  sezgisel bulanık sayı olmak üzere,  $l$  adet karar vericinin olduğu bir problemde,  $k$ . kriterin ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Karar vericinin ağırlıkları toplamı bire eşit olmalıdır. ( $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ )

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)} \quad (5.14)$$

**Adım 2:** Karar vericilerin görüşleri birleştirilerek sezgisel bulanık karar matrisi oluşturulur.  $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$  her karar vericinin sezgisel bulanık karar matrisidir.

**Çizelge 5.3 :** Alternatifleri değerlendirmek için kullanılan dilsel terimler.

Dilsel Terimler	$(\mu, \nu)$
Kesinlikle çok iyi	(0.90,0.10)
Çok iyi	(0.80,0.10)
İyi	(0.70,0.20)
Orta iyi	(0.60,0.30)
Ortalama	(0.50,0.40)
Orta kötü	(0.40,0.50)
Kötü	(0.25,0.60)
Çok kötü	(0.10,0.75)
Kesinlikle çok kötü	(0.10,0.90)

Grup şeklinde olan karar verme problemlerinde tek bir matris oluşturmak için tüm bireysel karar görüşlerinin grup görüşüne birleştirilmesi gerekir. Bunu yapmak için IFWA (Intuitionistic fuzzy weighted averaging, Sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama) operatörü kullanılır. Denklemden  $r_{ij} = (\mu_{A_i}(x_j), \nu_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j))$  ve  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 'dir.

$$\begin{aligned}
 r_{ij} &= IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) = \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)} \\
 &= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right. \\
 &\quad \left. - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (5.15)
 \end{aligned}$$

Böylece aşağıdaki gibi karar matrisi oluşturulur.

$$\begin{aligned}
 R &= (R_{ij})_{m \times n} \\
 &= \begin{bmatrix} (\mu_{A_1}(x_1), \nu_{A_1}(x_1), \pi_{A_1}(x_1)) & \dots & (\mu_{A_1}(x_n), \nu_{A_1}(x_n), \pi_{A_1}(x_n)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_m}(x_1), \nu_{A_m}(x_1), \pi_{A_m}(x_1)) & \dots & (\mu_{A_m}(x_n), \nu_{A_m}(x_n), \pi_{A_m}(x_n)) \end{bmatrix} \quad (5.16)
 \end{aligned}$$

**Adım 3:** Tüm kriterler eşit önemde olmayabilir, bu nedenle karar vericilerden her kriterlerin önemi hakkında görüşleri alınır ve birleştirilir. Bu doğrultuda kriter ağırlıkları belirlenir.  $k$ . karar vericinin  $X_j$  kriterine atanmış sezgisel bulanık sayı

$w_j^{(k)} = [\mu_j^{(k)}, v_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}]$  olmak üzere, kriterlerin ağırlıkları IFWA operatörü kullanılarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}
w_j &= IFWA_\lambda(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)} \\
&= IFWA_\lambda(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) \\
&= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)} \\
&= \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} \right. \\
&\quad \left. - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \right] \tag{5.17}
\end{aligned}$$

Önem dereceleri dizisi  $W$  ile ifade edilir ve  $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j \mid j = 1, 2, \dots, n)$  olarak gösterilir.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \tag{5.18}$$

**Adım 4:** Belirlenen ağırlıklar doğrultusunda ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisi aşağıdaki tanımlar yardımıyla oluşturulur.

$$R \otimes W = \{ \langle x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x), v_{A_i}(x) + v_W(x) - v_{A_i}(x)v_W(x) \rangle \mid x \in X \} \tag{5.19}$$

$$\pi_{A_i \cdot W}(x) = 1 - v_{A_i}(x) - v_W(x) - \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x) + v_{A_i}(x) \cdot v_W(x) \tag{5.20}$$

Oluşturulan ağırlıklı karar matrisi aşağıdaki gibidir.

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu_{A_1 W}(x_1), v_{A_1 W}(x_1), \pi_{A_1 W}(x_1)) & \dots & (\mu_{A_1 W}(x_n), v_{A_1 W}(x_n), \pi_{A_1 W}(x_n)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{A_m W}(x_1), v_{A_m W}(x_1), \pi_{A_m W}(x_1)) & \dots & (\mu_{A_m W}(x_n), v_{A_m W}(x_n), \pi_{A_m W}(x_n)) \end{bmatrix} \tag{5.21}$$

Matris elemanları  $r'_{ij} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) = \mu_{A_i W}(x_j), v_{A_i W}(x_j), \pi_{A_i W}(x_j)$  ile gösterilir.

**Adım 5:** Sezgisel bulanık pozitif ideal çözüm ( $X^*$ ) ve sezgisel bulanık negatif ideal çözüm ( $X^-$ ) elde edilir.

$$X^* = (\mu_{A^* W}(x_j), v_{A^* W}(x_j)) \tag{5.22}$$

$$X^- = (\mu_{A^- w}(x_j), v_{A^- w}(x_j)) \quad (5.23)$$

**Adım 6:** Öklid uzaklığı baz alınarak sezgisel bulanık pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerden her bir alternatifin ayırma ölçütleri,  $D_{i^*}$  ve  $D_{i^-}$  hesaplanır.

$$D^* = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [(\mu_{A_i w}(x_j) - \mu_{A^* w}(x_j))^2 + (v_{A_i w}(x_j) - v_{A^* w}(x_j))^2 + (\pi_{A_i w}(x_j) - \pi_{A^* w}(x_j))^2]} \quad (5.24)$$

$$D^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [(\mu_{A_i w}(x_j) - \mu_{A^- w}(x_j))^2 + (v_{A_i w}(x_j) - v_{A^- w}(x_j))^2 + (\pi_{A_i w}(x_j) - \pi_{A^- w}(x_j))^2]} \quad (5.25)$$

**Adım 7:** Sezgisel ideal çözüme olan göreceli yakınlık katsayısı hesaplanır. Bir  $A_i$  alternatifinin pozitif ideal çözüme yakınlık katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{i^*} = \frac{D_{i^-}}{D_{i^*} + D_{i^-}} \quad (5.26)$$

**Adım 8:** Alternatifler hesaplanan  $C_{i^*}$ 'lere göre azalan şekilde sıralanır. En yüksek  $C_{i^*}$  değerine sahip olan alternatif en uygun alternatiftir.

$$0 \leq C_{i^*} \leq 1 \quad (5.27)$$

Uygulama bölümünde sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi, küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırma yapmak adına uygulanacak ve sonuçları yorumlanacaktır.

## **6. UYGULAMA: BİR İŞLETMEDE ÇOK KRİTERLİ YAZILIM SEÇİMİ**

Bu bölümde yazılım seçimini ve yazılımların değerlendirilmesi için bir şirketin bilişim direktörlüğü departmanında yapılan bir uygulama anlatılmıştır. İlk olarak literatürde verilen kriter listesi baz alınarak karar vericiler ile birlikte seçimi etkileyecek kriterler belirlenmiştir ve her kriter için karar vericilerin görüşleri alınmıştır.

Uygulamanın devamında, küresel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi veri setine uygulanmış ve sonuçları elde edilmiştir. Karşılaştırma yapmak adına aynı veri üzerine sezgisel bulanık kümeler ile TOPSIS yöntemi de uygulanmıştır. İki yöntemin de verdiği alternatif sıralamaları karşılaştırılmıştır.

### **6.1 İşletme Tanıtımı**

Önerilen yöntemi denemek için kendi üretimi ve markaları olan büyük ölçekli bir şirket içinde uygulama yapılmıştır. Kendi sektöründe yurt içinde pazar lideri konumundadır. Şirketin merkezinde bir bilişim teknolojileri departmanı vardır. Bu departman ilgili ihtiyaca yönelik yazılımların gereksinimlerin toplanmasında ve yazılımların seçilmesinden sorumludur. Büyük ölçekli bir şirket olduğu için satış, satın alma, Ar-Ge, üretim gibi birçok alanda kullanılan yazılımları mevcuttur. Bununla birlikte teknolojinin geldiği son nokta itibarıyla rekabette yer almak ve pazar payını korumak için yeni yazılımları değerlendirmeye ve satın almaya devam etmektedir. Bu nedenle bir yazılım seçerken yazılımın işlevleri, gereksinimleri, maliyeti, bakımı gibi birçok faktörü göz önüne almaktadır. Seçim sürecine yazılımın çeşidine göre ilgili yöneticiler, iş birimi yöneticisi ve üst düzey yönetici dahil olabilir. Birden fazla karar vericilerin olduğu büyük ölçekli firma olduğu için karar almak zor ve zaman almaktadır. Aynı zamanda birden fazla alanda yazılımlar değerlendirildiği için genel bir değerlendirme metodolojisi olması zaman ve verimlilik açısından fayda sağlayacaktır. Uygulama olarak mevcutta yazılım alternatiflerin değerlendirildiği bir süreçten alınmıştır.

## 6.2 Problemin Tanımı

Uygulama olarak seçilen problemde bir veri analitiği yazılım seçimi ele alınmıştır. Satın alınacak olan bu paket yazılımın temel olarak büyük veriyi kullanarak iş birimine rapor ve dashboard olarak verebilmesi hedeflenmektedir. Piyasada birbirine benzer birden fazla ürün bulunmaktadır. Her ürünün birbirlerine göre farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Özellikle anlaşılabilirlik, amaca uygunluk, uyarlanabilen alanlar gibi konularda doğrudan bir sayı ile ifade etmek oldukça zor olduğundan dilsel değişkenleri kullanabildiğimiz için bulanık sayılar kullanılmıştır.

Uygulama süresince kriterleri belirlemek, ağırlıklandırmayı yapmak üzere bilişim teknolojilerinden bir üst düzey yönetici, bir fonksiyonel yönetici ve süreç sahibi olmak üzere üç karar verici ile birlikte çalışılmıştır.

Kriterler seçilirken karar vericiler ile birlikte ön analiz süresince belirlenen alternatiflerde hepsinde aynı derecede olduğu bilinen kriterler ya da seçimi etkilemeyecek olan kriterler çıkarılarak, değerlendirmede kullanılacak olan kriterler belirlenmiştir. Örneğin tedarikçi değerlendirme kriterlerinden biri olan referansların incelenmesi, deneyimi gibi detayları içeren itibar alt kriteri alternatifler belirlenirken göz önünde tutularak yapılmıştır. Bu doğrultuda belirlenen kriterler aşağıda sıralanmıştır.

- **Uygunluk:** Bu kriter yazılımın amaca uygunluğunu belirtir. Yazılımın doğrudan fonksiyonelleri ile ilgilidir.
- **Birlikte çalışabilirlik:** Yazılımın belirlenen diğer sistemler ile iletişim kurabilmesini ifade eder. Veri kaynağı farklı sistemler olabileceği için bu sistemler ile iletişim kurabilmesi önemlidir.
- **Zaman Davranışı:** Verilerin çeşitli filtre ve özetlemelerden sonra kullanıcının ekranına yansıma süresi bu kriter altında ele alınmıştır.
- **Değiştirilebilirlik:** Yazılımın adaptasyon yeteneğini temsil eder.
- **Kurulum Yeteneği:** Yazılımı belirli bir ortamda veya platformda kurmanın kolaylığı bu kriter altında ele alınır. Kurulumun kolay olması hem efor hem zaman anlamında avantaj sağlayacaktır.

- **Anlaşılabilirlik:** Yazılımın temel mantığını ve uygulanabilirliği tanıma kolaylığı bu kriterde incelenmiştir. Yazılımın temel kurgusunun anlaşılabilir olması seçim açısından önemli kriterlendendir.
- **Öğrenilebilirlik:** Yazılım doğrudan iş birimine hizmet edeceği için kullanıcıların uygulamayı öğrenmesi açısından kolaylığı seçim kriterleri arasındadır.
- **Bakım ve yazılım yükseltme (upgrade):** Canlı geçiş sonrası danışmanlığı, iletişim şekli, cevap verme süresi pek çok yazılımda olduğu gibi bu seçimde de önemlidir.
- **Uyarlanabilen alanlar:** Satın alınan yazılımların standart paket içinden çıkan özellikleri olduğu gibi isteğe göre düzenlenebilen alanları da vardır. Yazılımların bu açıdan değerlendirmesi bu kriter altında yapılmıştır.
- **Lisans ücreti:** Kullanıcı başına düşen lisans ücreti doğrudan fiyat olarak değil, bütçenin içerisindeki değerlendirilmesi olarak ele alınmıştır. Yani çok iyi seçeneği, yüksek bir ücreti değil çok makul bir ücreti temsil etmektedir.
- **Bakım ve upgrade ücreti:** Yeni bir versiyon çıktığında ya da bakım yapılması gerektiğinde oluşacak ücret kriteri lisans ücretine benzer şekilde ele alınmıştır.
- **Dışarıya aktarım:** Hesaplanan değerlerin ya da elde edilen özet verilerin bir dosya formatı olarak ya da başka bir yazılıma bilgi aktarımı açısından değerlendirmesi burada değerlendirilmiştir.

Seçim yapmak üzere 4 alternatif belirlenmiş ve belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Problemin çözümü için, küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatifler sıralanacaktır.

### 6.3 Küresel Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması

Bu kısımda elde edilen veriler ışığında küresel bulanık TOPSIS uygulaması açıklanacaktır. Problemden belirlenen alternatif sayısı 4 olduğu için alternatifler;  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  olarak, kriterler ise  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{12}\}$  olarak gösterilebilir. Bu durumda oluşturulması gereken karar matrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$D = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, \nu_{11}, \pi_{11}) & \cdots & (\mu_{112}, \nu_{112}, \pi_{112}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{41}, \nu_{41}, \pi_{41}) & \cdots & (\mu_{412}, \nu_{412}, \pi_{412}) \end{bmatrix}$$

Karar matrisini oluşturmak için ilk olarak karar vericilerin değerlendirmeleri, Çizelge 5.1'deki dilsel terimler baz alınarak alınır ve her karar verici için dilsel değişkenler tabloları elde edilir. Oluşturulan tablolar, her karar verici için sırasıyla Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1 :** Karar verici 1 için dilsel terimler.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
X1	HI	VHI	HI	HI	HI	SMI	HI	HI	SMI	SLI	SLI	EI
X2	HI	EI	SMI	SLI	HI	SMI	EI	HI	HI	EI	EI	HI
X3	SMI	SMI	HI	SLI	HI	HI	EI	EI	HI	VHI	SLI	SMI
X4	EI	EI	SMI	LI	EI	HI	EI	SMI	HI	SMI	SMI	SLI

**Çizelge 6.2 :** Karar verici 2 için dilsel terimler.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
X1	VHI	VHI	SMI	VHI	HI	HI	HI	VHI	HI	SLI	EI	EI
X2	VHI	EI	SMI	EI	VHI	HI	SMI	VHI	VHI	EI	EI	HI
X3	HI	SMI	HI	SMI	HI	VHI	EI	SMI	HI	VHI	LI	SMI
X4	EI	EI	SMI	SLI	SMI	VHI	EI	EI	VHI	SMI	SMI	LI

**Çizelge 6.3 :** Karar verici 3 için dilsel terimler.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
X1	SMI	HI	SMI	HI	HI	SMI	VHI	VHI	HI	LI	SLI	EI
X2	HI	HI	SMI	EI	VHI	HI	SMI	VHI	VHI	SMI	EI	VHI
X3	SMI	SMI	VHI	EI	VHI	VHI	SMI	SMI	HI	HI	LI	EI
X4	SMI	EI	HI	SLI	HI	HI	SLI	SLI	VHI	HI	EI	SLI

Kriterlerin ağırlıkları her karar verici için farklı olabilir. Bu durum göz önüne alınarak karar vericilerinden kriterlerin önem derecelerini değerlendirilmesi istenmiş ve elde edilen dilsel ifadeler Çizelge 6.4'de verilmiştir.

**Çizelge 6.4 :** Kriterlerin önem ağırlıkları.

	<b>KV1</b>	<b>KV2</b>	<b>KV3</b>
<b>C1</b>	VHI	AMI	AMI
<b>C2</b>	AMI	VHI	HI
<b>C3</b>	SMI	EI	SMI
<b>C4</b>	VHI	HI	SMI
<b>C5</b>	VHI	VHI	VLİ
<b>C6</b>	HI	HI	VLİ
<b>C7</b>	SMI	HI	AMI
<b>C8</b>	HI	VHI	SMI
<b>C9</b>	SMI	SMI	SMI
<b>C10</b>	AMI	HI	EI
<b>C11</b>	HI	SMI	LI
<b>C12</b>	SMI	SMI	HI

Daha sonra, karar matrisi ve kriter ağırlıkları matrisleri, bir önceki adımda belirlenen dilsel terimlerden oluşan veriler ışığında oluşturulmuştur. Bunun için ilk olarak karar vericilerin ağırlıklarına ihtiyaç vardır. Karar vericilerin ağırlıkları buldukları seviyelere ve yetki alanlarına göre, 0.45, 0.35 ve 0.20 olarak belirlenmiştir. Karar matrisleri denklem 6.1 ve denklem 6.2’de verilen SWAM ve SWGM formüllerinden faydalanılarak oluşturulmuştur.

$$SWAM_w = \left\{ \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \prod_{i=1}^n v_{A_{S_i}}^{w_i}, \left[ \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{A_{S_i}}^2 - \pi_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (6.1)$$

$$SWGM_w = \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{A_{S_i}}^{w_i}, \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \left[ \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - v_{A_{S_i}}^2 - \pi_{A_{S_i}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (6.2)$$

İki birleştirme yönteminin de sonuçlarını yorumlamak adına oluşturulan her iki birleştirme operatörü ile yöntemin adımları uygulanmıştır. SWAM ve SWGM operatörleri ile oluşturulmuş olan karar matrisleri Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da gösterilmiştir. Sayfa boyutlarına sığması adına matris verileri tez içerisinde 2 parça şeklinde gösterilmiştir. Matris şeklinde gösterimleri Ek-A’da verilecektir.

**Çizelge 6.5 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi.**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.73,0.28,0.28)	(0.78,0.22,0.22)	(0.65,0.35,0.35)	(0.74,0.26,0.26)	(0.70,0.30,0.30)	(0.64,0.36,0.36)
<b>X2</b>	(0.74,0.26,0.26)	(0.55,0.45,0.46)	(0.60,0.40,0.40)	(0.46,0.54,0.46)	(0.76,0.24,0.24)	(0.66,0.34,0.34)
<b>X3</b>	(0.64,0.36,0.36)	(0.60,0.40,0.40)	(0.72,0.28,0.28)	(0.50,0.50,0.42)	(0.72,0.28,0.28)	(0.76,0.24,0.24)
<b>X4</b>	(0.52,0.48,0.48)	(0.50,0.50,0.50)	(0.62,0.38,0.38)	(0.36,0.64,0.36)	(0.59,0.42,0.43)	(0.74,0.26,0.26)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.72,0.28,0.28)	(0.76,0.24,0.24)	(0.66,0.34,0.34)	(0.38,0.62,0.55)	(0.44,0.56,0.44)	(0.50,0.50,0.50)
<b>X2</b>	(0.56,0.44,0.45)	(0.76,0.24,0.24)	(0.76,0.24,0.24)	(0.52,0.48,0.48)	(0.50,0.50,0.50)	(0.72,0.28,0.28)
<b>X3</b>	(0.52,0.48,0.48)	(0.56,0.44,0.45)	(0.70,0.30,0.30)	(0.78,0.22,0.22)	(0.35,0.65,0.35)	(0.58,0.42,0.42)
<b>X4</b>	(0.48,0.52,0.49)	(0.53,0.47,0.44)	(0.76,0.24,0.24)	(0.62,0.38,0.38)	(0.58,0.42,0.42)	(0.37,0.63,0.37)

**Çizelge 6.6 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi.**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.71,0.30,0.30)	(0.78,0.22,0.23)	(0.64,0.36,0.36)	(0.73,0.27,0.27)	(0.70,0.30,0.30)	(0.63,0.37,0.37)
<b>X2</b>	(0.73,0.27,0.27)	(0.53,0.47,0.48)	(0.60,0.40,0.40)	(0.45,0.55,0.46)	(0.75,0.25,0.25)	(0.65,0.35,0.35)
<b>X3</b>	(0.63,0.37,0.37)	(0.60,0.40,0.40)	(0.72,0.28,0.28)	(0.48,0.52,0.42)	(0.72,0.28,0.28)	(0.75,0.25,0.25)
<b>X4</b>	(0.52,0.48,0.49)	(0.50,0.50,0.50)	(0.62,0.38,0.38)	(0.35,0.65,0.35)	(0.57,0.43,0.44)	(0.73,0.27,0.27)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.72,0.28,0.28)	(0.75,0.25,0.25)	(0.65,0.35,0.35)	(0.38,0.62,0.63)	(0.43,0.57,0.44)	(0.50,0.50,0.50)
<b>X2</b>	(0.55,0.45,0.45)	(0.75,0.25,0.25)	(0.75,0.25,0.25)	(0.52,0.48,0.49)	(0.50,0.50,0.50)	(0.72,0.28,0.28)
<b>X3</b>	(0.52,0.48,0.49)	(0.55,0.45,0.45)	(0.70,0.30,0.30)	(0.78,0.22,0.23)	(0.34,0.66,0.34)	(0.58,0.42,0.43)
<b>X4</b>	(0.48,0.52,0.48)	(0.52,0.49,0.44)	(0.75,0.25,0.25)	(0.62,0.38,0.38)	(0.58,0.42,0.43)	(0.36,0.64,0.36)

Benzer şekilde kriter ağırlıklarının da birleştirilmesi gerekmektedir. Kriter ağırlıkları SWAM operatörü ile birleştirilmiş ve Çizelge 6.7’de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 6.7 : SWAM operatörü ile birleştirilmiş kriter ağırlık matrisi.**

<b>Kriterler</b>	<b>Kriter Ağırlıkları</b>
<b>C1</b>	(0.86,0.14,0.14)
<b>C2</b>	(0.84,0.16,0.17)
<b>C3</b>	(0.57,0.43,0.44)
<b>C4</b>	(0.74,0.26,0.27)
<b>C5</b>	(0.75,0.26,0.21)
<b>C6</b>	(0.65,0.37,0.30)
<b>C7</b>	(0.73,0.27,0.30)
<b>C8</b>	(0.73,0.28,0.28)

**Çizelge 6.7 (devam) :** SWAM operatörü ile birleştirilmiş kriter ağırlık matrisi.

Kriterler	Kriter Ağırlıkları
<b>C9</b>	(0.60,0.40,0.40)
<b>C10</b>	(0.80,0.20,0.24)
<b>C11</b>	(0.62,0.39,0.34)
<b>C12</b>	(0.62,0.38,0.38)

Oluşturulan karar matrisleri ve kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı karar matrisleri kurulmuştur. Bunu yapmak için 6.3’de verilen denklemden yararlanılmıştır.

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left\{ \mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, \left( (1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2 \right)^{1/2} \right\} \quad (6.3)$$

Elde edilen ağırlıklı karar matrisleri Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’da verilmiştir.

**Çizelge 6.8 :** SWAM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.63,0.31,0.31)	(0.66,0.27,0.27)	(0.37,0.53,0.50)	(0.55,0.36,0.36)	(0.53,0.39,0.35)	(0.42,0.50,0.42)
<b>X2</b>	(0.64,0.29,0.29)	(0.46,0.47,0.47)	(0.34,0.56,0.51)	(0.34,0.58,0.48)	(0.57,0.35,0.30)	(0.43,0.49,0.41)
<b>X3</b>	(0.55,0.38,0.38)	(0.50,0.43,0.42)	(0.41,0.50,0.48)	(0.37,0.55,0.45)	(0.54,0.38,0.33)	(0.49,0.43,0.36)
<b>X4</b>	(0.45,0.50,0.49)	(0.42,0.52,0.51)	(0.35,0.55,0.51)	(0.27,0.67,0.39)	(0.44,0.48,0.45)	(0.48,0.44,0.37)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.53,0.38,0.39)	(0.55,0.36,0.35)	(0.40,0.51,0.47)	(0.30,0.64,0.56)	(0.27,0.65,0.47)	(0.31,0.60,0.53)
<b>X2</b>	(0.41,0.50,0.49)	(0.55,0.36,0.35)	(0.46,0.46,0.44)	(0.42,0.51,0.50)	(0.31,0.60,0.52)	(0.45,0.46,0.43)
<b>X3</b>	(0.38,0.54,0.51)	(0.41,0.51,0.48)	(0.42,0.49,0.45)	(0.62,0.29,0.31)	(0.22,0.71,0.40)	(0.36,0.54,0.49)
<b>X4</b>	(0.35,0.57,0.52)	(0.39,0.53,0.47)	(0.46,0.46,0.44)	(0.50,0.42,0.42)	(0.36,0.55,0.47)	(0.23,0.70,0.43)

**Çizelge 6.9 :** SWGM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.61,0.33,0.32)	(0.66,0.27,0.28)	(0.36,0.54,0.50)	(0.54,0.37,0.36)	(0.53,0.39,0.35)	(0.41,0.51,0.43)
<b>X2</b>	(0.63,0.30,0.30)	(0.45,0.49,0.49)	(0.34,0.56,0.51)	(0.33,0.59,0.48)	(0.56,0.35,0.31)	(0.42,0.49,0.42)
<b>X3</b>	(0.54,0.39,0.39)	(0.50,0.43,0.42)	(0.41,0.50,0.48)	(0.36,0.57,0.45)	(0.54,0.38,0.33)	(0.49,0.44,0.36)
<b>X4</b>	(0.45,0.50,0.50)	(0.42,0.52,0.51)	(0.35,0.55,0.51)	(0.26,0.68,0.38)	(0.43,0.49,0.46)	(0.47,0.45,0.37)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.53,0.38,0.39)	(0.55,0.37,0.36)	(0.39,0.51,0.47)	(0.30,0.64,0.63)	(0.27,0.65,0.47)	(0.31,0.60,0.53)
<b>X2</b>	(0.40,0.51,0.49)	(0.55,0.37,0.36)	(0.45,0.46,0.44)	(0.42,0.51,0.51)	(0.31,0.60,0.52)	(0.45,0.46,0.43)
<b>X3</b>	(0.38,0.54,0.52)	(0.40,0.51,0.48)	(0.42,0.49,0.45)	(0.62,0.29,0.32)	(0.21,0.72,0.39)	(0.36,0.54,0.50)
<b>X4</b>	(0.35,0.57,0.51)	(0.38,0.55,0.47)	(0.45,0.46,0.44)	(0.50,0.42,0.42)	(0.36,0.55,0.48)	(0.22,0.70,0.42)

Ağırlıklı karar matrisleri oluşturulduktan sonra birleştirilmiş ağırlıklı karar matrislerinin durulaştırması yapılmıştır. Daha sonra her bulanık değer skor fonksiyonu kullanılarak kesin sayılara dönüştürülmüştür. Skor fonksiyonu değerleri Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.10 : SWAM operatörü ile skor fonksiyon değerleri.**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
X1	0.102	0.152	0.016	0.036	0.031	-0.006	0.020	0.040	0.003	0.061	0.008	0.044
X2	0.123	0.000	0.026	0.010	0.070	-0.006	0.006	0.040	0.000	0.006	0.038	-0.001
X3	0.029	0.006	0.005	-0.004	0.042	0.012	0.016	0.004	-0.001	0.096	-0.064	0.014
X4	0.002	0.008	0.024	-0.064	-0.001	0.007	0.026	0.003	0.000	0.006	0.006	-0.033

**Çizelge 6.11 : SWGM operatörü ile skor fonksiyon değerleri.**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
X1	0.084	0.144	0.018	0.032	0.031	-0.006	0.020	0.036	0.005	0.109	0.008	0.044
X2	0.109	0.002	0.026	0.010	0.061	-0.005	0.008	0.036	0.000	0.008	0.038	-0.001
X3	0.023	0.006	0.005	-0.006	0.042	0.011	0.019	0.005	-0.001	0.089	-0.077	0.018
X4	0.003	0.008	0.024	-0.076	0.000	0.004	0.022	0.002	0.000	0.006	0.009	-0.038

İdeal pozitif ve ideal negatif çözümler belirlenmiştir. Bunun için her kriter için skor fonksiyonlarının aldığı en düşük en yüksek değerler bulundu. Bulunan değerler skor fonksiyonlarının yer aldığı çizelgelerin üzerinde renklendirilmiştir.

Aşağıdaki formülasyona göre belirlenen en yüksek skorlar yeşil renk ile işaretlenmiştir.

$$X^* = \left\{ C_j, \max_i \langle \text{Score} (C_j(X_{iw})) \rangle \mid j = 1, 2 \dots n \right\} \quad (6.4)$$

Aşağıdaki formülasyona göre belirlenen en düşük skorlar kırmızı renk ile işaretlenmiştir.

$$X^- = \left\{ C_j, \min_i \langle \text{Score} (C_j(X_{iw})) \rangle \mid j = 1, 2 \dots n \right\} \quad (6.5)$$

En yüksek ve en düşük skorlara karşılık gelen Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9’daki değerler pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerdir. Bulunan pozitif ve negatif çözümler Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13’de verilmiştir.

**Çizelge 6.12** : SWAM operatorüne göre pozitif ve negatif ideal çözümler.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X*</b>	(0.64,0.29,0.29)	(0.66,0.27,0.27)	(0.34,0.56,0.51)	(0.55,0.36,0.36)	(0.57,0.35,0.30)	(0.49,0.43,0.36)
<b>X-</b>	(0.45,0.50,0.49)	(0.46,0.47,0.47)	(0.41,0.50,0.48)	(0.27,0.67,0.39)	(0.44,0.48,0.45)	(0.42,0.50,0.42)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X*</b>	(0.35,0.57,0.52)	(0.55,0.36,0.35)	(0.40,0.51,0.47)	(0.62,0.29,0.31)	(0.31,0.60,0.52)	(0.31,0.60,0.53)
<b>X-</b>	(0.41,0.50,0.49)	(0.39,0.53,0.47)	(0.42,0.49,0.45)	(0.42,0.51,0.50)	(0.22,0.71,0.40)	(0.23,0.70,0.43)

**Çizelge 6.13** : SWGM operatorüne göre pozitif ve negatif ideal çözümler.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X*</b>	(0.63,0.30,0.30)	(0.66,0.27,0.28)	(0.34,0.56,0.51)	(0.54,0.37,0.36)	(0.56,0.35,0.31)	(0.49,0.44,0.36)
<b>X-</b>	(0.45,0.50,0.50)	(0.45,0.49,0.49)	(0.41,0.50,0.48)	(0.26,0.68,0.38)	(0.43,0.49,0.46)	(0.41,0.51,0.43)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X*</b>	(0.35,0.57,0.51)	(0.55,0.37,0.36)	(0.39,0.51,0.47)	(0.30,0.64,0.63)	(0.31,0.60,0.52)	(0.31,0.60,0.53)
<b>X-</b>	(0.40,0.51,0.49)	(0.38,0.55,0.47)	(0.42,0.49,0.45)	(0.50,0.42,0.42)	(0.21,0.72,0.39)	(0.22,0.70,0.42)

Her kriterin bulunan pozitif ideal ve pozitif negatif çözümlere olan uzaklıkları Öklid uzaklık formülleri yardımıyla hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.14** : SWAM operatorüne göre ideal çözümlere olan uzaklıklar.

<b>Alternatifler</b>	<b><math>D(X_i, X^*)</math></b>	<b><math>D(X_i, X^-)</math></b>
<b>X1</b>	0.1293	0.1590
<b>X2</b>	0.1333	0.1322
<b>X3</b>	0.1101	0.1104
<b>X4</b>	0.1687	0.0663

**Çizelge 6.15** : SWGM operatorüne göre ideal çözümlere olan uzaklıklar.

<b>Alternatifler</b>	<b><math>D(X_i, X^*)</math></b>	<b><math>D(X_i, X^-)</math></b>
<b>X1</b>	0.0684	0.1746
<b>X2</b>	0.1230	0.1376
<b>X3</b>	0.1602	0.0968
<b>X4</b>	0.1791	0.0605

Hesaplanan uzaklıklardan hem SWAM operatörü ile bulunan hem de SWGM operatörü ile bulunan pozitif çözümden uzaklıkların en büyüğü, negatif çözümden uzaklıkların en küçüğü belirlenmiştir. SWAM için  $D_{min}(X_i, X^*)$  0.1101  $D_{max}(X_i, X^-)$  ise 0.1590 değerini almaktadır. SWGM için ise  $D_{min}(X_i, X^*)$  0.0684,  $D_{max}(X_i, X^-)$  ise 0.1746 değerini almaktadır. Daha sonra yakınlık oranları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\xi(X_i) = \frac{D(X_i, X^*)}{D_{min}(X_i, X^*)} - \frac{D(X_i, X^-)}{D_{max}(X_i, X^-)} \quad (6.6)$$

**Çizelge 6.16 :** SWAM operatörüne göre yakınlık oranları.

Alternatifler	Yakınlık Oranları	Sıralama
<b>X1</b>	0.174	1
<b>X2</b>	0.379	3
<b>X3</b>	0.306	2
<b>X4</b>	1.115	4

**Çizelge 6.17 :** SWGM operatörüne göre yakınlık oranları.

Alternatifler	Yakınlık Oranları	Sıralama
<b>X1</b>	0.000	1
<b>X2</b>	1.009	2
<b>X3</b>	1.787	3
<b>X4</b>	2.270	4

Yakınlık oranları küçükten büyüğe göre sıralandığında her iki operatör için de en uygun alternatif  $X_1$  çıkmıştır. Tüm alternatiflerin sıralaması SWAM operatörü ile yapılan işlemlerde  $X_1 > X_3 > X_2 > X_4$  olarak bulunmuştur. SWGM operatörü ile yapılan işlemler sonucunda ise sıralama  $X_1 > X_2 > X_3 > X_4$  olarak bulunmuştur.

İki operatörün sonuçları karşılaştırıldığında ilk ve son sıradaki alternatifler aynı çıkmıştır. İkinci ve üçüncü alternatiflerin sıralaması arasında farklılık vardır. Sonuç olarak, küresel bulanık TOPSIS yöntemi sonucunda en uygun alternatif  $X_1$  çıktığı için 1. alternatifin seçilmesi önerilmektedir.

#### 6.4 Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırma

Küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen çözümleri literatürde olan başka bir yöntem ile karşılaştırılmak istenmiştir. Bu karşılaştırmayı yapmak için küresel bulanık TOPSIS uygulamasında verilen aynı veriler kullanılmıştır. Karar vericilerin dilsel terimleri, karar vericilerin ağırlıkları aynı şekilde kullanılmıştır.

Sezgisel bulanık TOPSIS'i uygulamak için ilk olarak karar vericilerin ağırlıkları ve karar matrisleri denklem 6.7'de verilen IFWA operatörüne göre birleştirilmiştir.

$$IFWA(r_{ij}) = \left[ 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (6.7)$$

Bu doğrultuda oluşturulan birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 6.18'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.18 :** Sezgisel bulanık TOPSIS için birleştirilmiş karar matrisi.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.72,0.17,0.11)	(0.78,0.11,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.74,0.16,0.10)	(0.70,0.20,0.10)	(0.64,0.26,0.10)
<b>X2</b>	(0.74,0.16,0.10)	(0.55,0.35,0.10)	(0.60,0.30,0.10)	(0.46,0.44,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.66,0.24,0.10)
<b>X3</b>	(0.64,0.26,0.10)	(0.60,0.30,0.10)	(0.72,0.17,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.72,0.17,0.10)	(0.76,0.14,0.10)
<b>X4</b>	(0.52,0.38,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.62,0.28,0.10)	(0.34,0.54,0.12)	(0.58,0.31,0.10)	(0.74,0.16,0.10)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.72,0.17,0.10)	(0.62,0.27,0.10)	(0.66,0.24,0.10)	(0.37,0.52,0.11)	(0.44,0.46,0.10)	(0.72,0.17,0.10)
<b>X2</b>	(0.56,0.34,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.52,0.38,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.50,0.40,0.10)
<b>X3</b>	(0.52,0.38,0.10)	(0.56,0.34,0.10)	(0.70,0.20,0.10)	(0.74,0.16,0.10)	(0.37,0.52,0.11)	(0.58,0.32,0.10)
<b>X4</b>	(0.48,0.42,0.10)	(0.53,0.37,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.62,0.28,0.10)	(0.58,0.32,0.10)	(0.35,0.53,0.12)

Benzer şekilde kriterlerin birleştirilmiş ağırlıkları Çizelge 6.19'da verilmiştir.

**Çizelge 6.19 :** Birleştirilmiş kriter ağırlıkları.

<b>Kriter</b>	<b>Ağırlık</b>
<b>C1</b>	(0.86,0.10,0.04)
<b>C2</b>	(0.84,0.11,0.04)
<b>C3</b>	(0.57,0.33,0.10)
<b>C4</b>	(0.74,0.16,0.11)
<b>C5</b>	(0.73,0.15,0.12)
<b>C6</b>	(0.63,0.26,0.11)

**Çizelge 6.19 (devam) : Birleştirilmiş kriter ağırlıkları.**

Kriter	Ağırlık
<b>C7</b>	(0.73,0.21,0.07)
<b>C8</b>	(0.72,0.17,0.11)
<b>C9</b>	(0.60,0.30,0.10)
<b>C10</b>	(0.80,0.17,0.03)
<b>C11</b>	(0.60,0.29,0.11)
<b>C12</b>	(0.62,0.28,0.10)

Kriter ağırlıkları ve karar matrisi oluşturulduktan sonra iki matrisin çarpımını kullanarak ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuştur. Birleştirme işlemi denklem 6.8 ve 6.9 baz alınarak yapılmıştır.

$$R \otimes W = \{ \langle x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x), v_{A_i}(x) + v_W(x) - v_{A_i}(x)v_W(x) \rangle | x \in X \} \quad (6.8)$$

$$\pi_{A_i.W}(x) = 1 - v_{A_i}(x) - v_W(x) - \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_W(x) + v_{A_i}(x) \cdot v_W(x) \quad (6.9)$$

Oluşturulan birleştirilmiş ağırlıklı karar matrisi Çizelge 6.20'de verilmiştir.

**Çizelge 6.20 : Sezgisel bulanık TOPSIS için ağırlıklı karar matrisi.**

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X1</b>	(0.62,0.25,0.13)	(0.66,0.21,0.14)	(0.37,0.50,0.13)	(0.41,0.44,0.15)	(0.51,0.32,0.17)	(0.40,0.45,0.14)
<b>X2</b>	(0.64,0.24,0.12)	(0.46,0.42,0.12)	(0.40,0.45,0.14)	(0.34,0.53,0.13)	(0.55,0.27,0.18)	(0.42,0.44,0.15)
<b>X3</b>	(0.55,0.33,0.12)	(0.50,0.38,0.12)	(0.41,0.44,0.15)	(0.37,0.50,0.13)	(0.53,0.29,0.18)	(0.55,0.27,0.18)
<b>X4</b>	(0.45,0.44,0.11)	(0.42,0.47,0.11)	(0.35,0.52,0.13)	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.47,0.38,0.16)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X1</b>	(0.55,0.27,0.18)	(0.45,0.39,0.16)	(0.40,0.47,0.14)	(0.55,0.29,0.17)	(0.26,0.62,0.12)	(0.55,0.29,0.17)
<b>X2</b>	(0.41,0.48,0.11)	(0.55,0.29,0.17)	(0.46,0.40,0.15)	(0.42,0.49,0.10)	(0.30,0.57,0.13)	(0.31,0.57,0.12)
<b>X3</b>	(0.38,0.51,0.11)	(0.40,0.45,0.14)	(0.42,0.44,0.14)	(0.30,0.60,0.10)	(0.22,0.66,0.12)	(0.36,0.51,0.13)
<b>X4</b>	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.55,0.29,0.17)	(0.50,0.40,0.10)	(0.55,0.29,0.17)	(0.22,0.66,0.12)

Birleştirilmiş ağırlıklı karar matrisi üzerinde her kriter için aşağıdaki koşulları sağlayan pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir.

i.  $X^* = \left( \max_i \mu_{X_i W}(C_j), \min_i v_{X_i W}(C_j) \right)$

ii.  $X^- = \left( \min_i \mu_{X_i W}(C_j), \max_i v_{X_i W}(C_j) \right)$

Belirlenen pozitif ve negatif ideal çözümler Çizelge 6.21’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.21 :** Sezgisel bulanık TOPSIS için pozitif ve negatif ideal çözümler.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>X*</b>	(0.64,0.24,0.12)	(0.66,0.21,0.14)	(0.41,0.44,0.15)	(0.41,0.44,0.15)	(0.55,0.27,0.18)	(0.55,0.27,0.18)
<b>X<sup>-</sup></b>	(0.45,0.44,0.11)	(0.42,0.47,0.11)	(0.40,0.45,0.14)	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.40,0.45,0.14)
	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>	<b>C12</b>
<b>X*</b>	(0.55,0.27,0.18)	(0.55,0.29,0.17)	(0.55,0.29,0.17)	(0.55,0.29,0.17)	(0.55,0.29,0.17)	(0.55,0.29,0.17)
<b>X<sup>-</sup></b>	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.42,0.44,0.14)	(0.30,0.60,0.10)	(0.22,0.66,0.12)	(0.22,0.66,0.12)

Bu aşamadan sonra küresel bulanık TOPSIS yönteminde olduğu gibi her kriterin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Her kriter için bulunan ideal çözümlere olan uzaklıklar Çizelge 6.22’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.22 :** Sezgisel bulanık TOPSIS için pozitif ve negatif ideal çözümleri.

<b>Alternatifler</b>	<b><math>D(X_i, X^*)</math></b>	<b><math>D(X_i, X^-)</math></b>
<b>X1</b>	0.1187	0.1827
<b>X2</b>	0.1550	0.1099
<b>X3</b>	0.1775	0.0916
<b>X4</b>	0.1795	0.1269

Devamında daha iyi bir karşılaştırma yapmak adına küresel bulanık TOPSIS yönteminde kullanılan ile aynı yakınlık formülleri ile hesaplama yapılmıştır.  $D_{min}(X_i, X^*)$  değeri 0.1187 olarak  $D_{max}(X_i, X^-)$  değeri ise 0.1827 olarak bulunmuştur. Daha sonra yakınlık oranları formülü ile tüm kriterlerin yakınlık oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan yakınlık oranları Çizelge 6.23’de verilmiştir.

**Çizelge 6.23 :** Sezgisel bulanık TOPSIS için yakınlık oranları.

<b>Alternatifler</b>	<b>Yakınlık Oranları</b>	<b>Sıralama</b>
<b>X1</b>	0.000	1
<b>X2</b>	0.704	2
<b>X3</b>	0.993	4
<b>X4</b>	0.817	3

Sezgisel bulanık TOPSIS uygulaması sonrasında yakınlık oranları küçükten büyüğe göre sıralandığında en uygun alternatif  $X_1$  çıkmıştır. İşlemler sonucunda ise tüm alternatiflerin sıralaması  $X_1 > X_2 > X_4 > X_3$  olarak bulunmuştur.

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında, hepsinde en uygun alternatifin birinci alternatif ( $X_1$ ) olduğu görülmüştür. Tüm alternatiflerin sıralamalarında ise SWGM ve SWAM operatörü ile elde edilen sonuçlarda 2. ve 3. alternatifin farklı olduğu, ilk ve son alternatifin ise aynı çıktığı görülmektedir. İki birleştirme operatörü farklı varsayımlara dayandığı için bu farklılık normaldir. Küresel bulanık TOPSIS ile sezgisel bulanık TOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında ise ilk alternatif dışında diğer sıralamalarda farklılıklar vardır. Bunun sebeplerinden biri küresel bulanık TOPSIS daha geniş bir tercih alanı ve bağımsız üyelik fonksiyonlara dayanırken, sezgisel bulanık ise nispeten daha dar bir tercih alanına sahiptir ve kararsızlığı üyelik fonksiyonuna daha bağımlıdır. Küresel bulanık TOPSIS üyelik fonksiyonları daha bağımsız elamanlara sahiptir. İdeal çözümleri belirlerken sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi sadece üyelik derecelerini kullanırken küresel bulanık TOPSIS yönteminde ise skor fonksiyonu ile belirlenmektedir. Skor fonksiyonu üyelik derecesinin yanında üye olmama derecesi ve kararsızlık derecesini de hesaplamaya katmaktadır. Bu nedenler ile diğer alternatiflerde bu tip farklılıkların olmasını normal karşılanmıştır. Sonuç olarak, en uygun alternatifin seçimi noktasında iki yöntemin sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

## 6.5 Duyarlılık Analizi

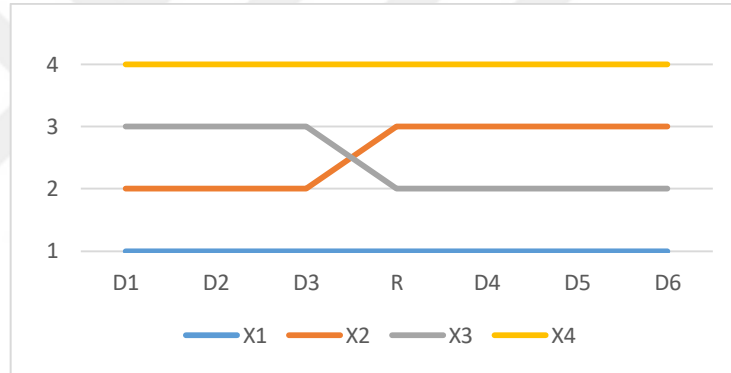
Küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçların karar vericilerin ağırlıklarının değişimi karşısındaki değişimini gözlemlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Analitik olması adına birinci karar vericinin ağırlığı aşağı ve yukarı yönlerde değiştirilirken, diğer karar vericilerin ağırlıkları da toplamları 1 olacak ve kendi aralarındaki oranları aynı kalacak şekilde değiştirilmiştir. Her ağırlıklandırma versiyonu için küresel bulanık TOPSIS yönteminin adımları uygulanmış ve yeni sıralamalar elde edilmiştir. İlk olarak SWAM operatörü kullanılarak 6 farklı karar vericilerin ağırlıklarının dağılımı için alternatiflerin sıralaması Çizelge 6.24'de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 6.24** : SWAM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçları.

Durum	Karar vericilerin ağırlıkları	Alternatiflerin sıralaması
$D_1$	$w_1 = 0.2; w_2 = 0.5; w_3 = 0.3$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_2$	$w_1 = 0.3; w_2 = 0.45; w_3 = 0.25$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_3$	$w_1 = 0.4; w_2 = 0.4; w_3 = 0.2$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_4$	$w_1 = 0.5; w_2 = 0.3; w_3 = 0.2$	$X_1 - X_3 - X_2 - X_4$
$D_5$	$w_1 = 0.6; w_2 = 0.25; w_3 = 0.15$	$X_1 - X_3 - X_2 - X_4$
$D_6$	$w_1 = 0.7; w_2 = 0.2; w_3 = 0.1$	$X_1 - X_3 - X_2 - X_4$

Elde edilen sonuçları daha iyi yorumlamak adına, uygulamadan elde edilen sıralama ile birlikte Şekil 6.1’de gösterildiği gibi grafik haline getirilmiştir. Grafik gösterimde R ile işaretli sonuç uygulamadan elde edilen sıralamayı göstermektedir.

**Şekil 6.1** : SWAM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçlarının grafik gösterimi.



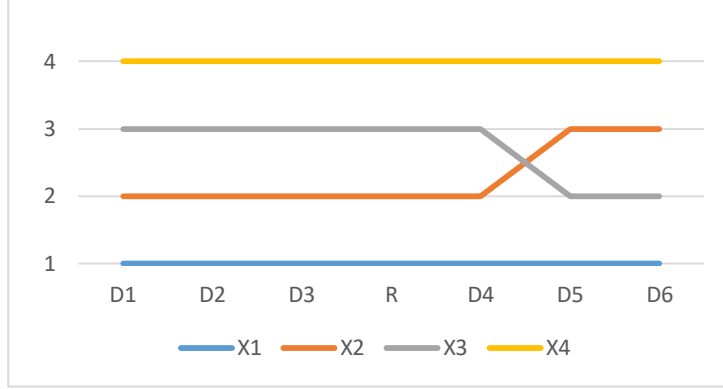
Benzer şekilde aynı karar verici ağırlıkları için SWGM operatörü kullanılarak 6 farklı karar vericilerin ağırlıklarının dağılımı için alternatiflerin sıralaması Çizelge 6.25’de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 6.25** : SWGM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçları.

Durum	Karar vericilerin ağırlıkları	Alternatiflerin sıralaması
$D_1$	$w_1 = 0.2; w_2 = 0.5; w_3 = 0.3$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_2$	$w_1 = 0.3; w_2 = 0.45; w_3 = 0.25$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_3$	$w_1 = 0.4; w_2 = 0.4; w_3 = 0.2$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_4$	$w_1 = 0.5; w_2 = 0.3; w_3 = 0.2$	$X_1 - X_2 - X_3 - X_4$
$D_5$	$w_1 = 0.6; w_2 = 0.25; w_3 = 0.15$	$X_1 - X_3 - X_2 - X_4$
$D_6$	$w_1 = 0.7; w_2 = 0.2; w_3 = 0.1$	$X_1 - X_3 - X_2 - X_4$

SWGM ile elde edilen sıralamaların grafik üzerinde gösterimi Şekil 6.2’de gösterildiği gibidir.

**Şekil 6.2** : SWGM operatörü ile duyarlılık analizi sonuçlarının grafik gösterimi.



Analizin sonuçlarına bakıldığında karar verici ağırlıkları değiştirildiğinde ilk ve son alternatifin sıralamasının hiçbir durumda değişmediği görülmektedir. Bu durum tüm karar vericilerin aynı alternatife yöneldiği şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca karar vericilerin kriter ağırlıkları değiştirilerek ikinci ve üçüncü alternatifin yer değiştirdiği ağırlıklandırma da bulunmuştur. Genel sonuçlara bakıldığında seçilen ağırlıklara yakın değerlerde sıralama değişmediği için uygulama sonucunda seçilen alternatifin  $X_1$  olması uygundur.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada karar verme süreçlerinden biri olan yazılım seçim süreci incelenmiştir. Yazılım seçimi, günümüz dünyasında şirketlerin rekabette yer alması ve dijitalleşme trendine ayak uydurması açısından önemlidir. Özellikle büyük ölçekli şirketlerde bu süreçlerde birden fazla karar verici olduğu ve seçim birden fazla kriter temel alınarak yapıldığı için uygulanacak bir metodolojinin olması zaman ve efor anlamında kazanç sağlayacaktır.

Yazılım değerlendirme ve seçim süreci literatürden de destek alarak bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Yöntem açısından ise sürecin doğası gereği içinde belirsizlik olduğu için bulanık yöntemler daha uygun bulunmuştur. Literatürde bulunan farklı bulanık ÇKKV yöntemlerinden küresel bulanık TOPSIS yöntemi seçilmiştir. Küresel bulanık kümeler, literatüre oldukça yeni giren bulanık küme açılımlarından biridir. Bu nedenle, yazılım seçimi konusunda bu yöntemin uygulanması açısından ilk denemedir. Çalışma boyunca önce bulanık mantık ve bulanık kümeler genel hatları ile açıklanmış daha sonra ise uygulanan yöntemler detayları ile belirtilmiştir.

Küresel bulanık TOPSIS yöntemi seçildikten sonra bir şirket uygulaması ile devam edilmiştir. Şirketten alınan veriler doğrultusunda seçilen 4 alternatif için küresel bulanık TOPSIS adımları sırasıyla uygulanmıştır. Küresel bulanık TOPSIS yönteminde SWAM ve SWGM olmak üzere iki birleştirme operatörü ile sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra karşılaştırma yapmak adına sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi seçilmiş ve aynı veri setine uygulanmıştır.

Sonuçlar irdelendiğinde hem küresel bulanık TOPSIS içerisinde uygulanan iki operatör için hem de sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi için 1. alternatif daha uygun çıkmıştır. Tüm alternatiflerin sıralamalarında ise SWGM ile devam edilen küresel bulanık TOPSIS ile sezgisel bulanık TOPSIS aynı sonucu vermiştir. Farklı varsayımlara dayandırıldıkları için bu sonuç normal kabul edilmiştir. Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile olan farkın ise sezgisel yöntemde ideal çözümleri belirlerken

sadece üyelik derecesini kullanırken küresel TOPSIS’de tüm parametrelerin skor fonksiyonunda değerlendirilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Daha sonra yapılan duyarlılık analizi ile karar vericilerin ağırlıklarının sonuca olan etkisi irdelenmiştir. Bu işlemler SWAM operatörü ile yapılmıştır. Farklı karar verici ağırlıkları veri setine uygulandığında ilk ve son sıradaki alternatifin aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca 2. ve 3. alternatifin yer değiştirdiği kriter ağırlıklarının aralıkları da bulunmuştur. Duyarlılık analizi sonucunda karar vericilerin ağırlıkları değiştirildiğinde ilk alternatif öne çıktığı için hepsinin aynı alternatife olumlu yaklaştığı söylenebilir.

Sonuç olarak, küresel bulanık TOPSIS yöntemi literatüre oldukça yeni girdiği için bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemi olarak kullanılması açısından önemlidir. Gelecek çalışmalarda tüm kriter listesinin dikkate alındığı ve hesaplanabildiği bir model kurulabilir. Eğer bu hesaplamalar otomatik yapılabilirse, seçeneklerin değerlendirmesi ve karar vericileri yönlendirmesi açısından faydalı olacaktır. Ayrıca küresel bulanık kümeler gelişmeye devam edecektir. Bu gelişmeler oldukça yeni karar verme süreçlerinde denenmeye devam edebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdullah, L.** (2013). Fuzzy multi criteria decision making and its applications: A brief review of category. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 97, 131-136.
- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q.** (2016). Prioritizing critical success factors for reverse logistics implementation using fuzzy-TOPSIS methodology. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(1), 15-27.
- Aisbett, J., Rickard, J. T., & Morgenthaler, D.** (2010) Intersection and union of type-n fuzzy sets. In *International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 1-8). Barcelona, July 18-23.
- Ashraf, S., Abdullah, S., Mahmood, T., Ghani, F., & Mahmood, T.** (2018). Spherical fuzzy sets and their applications in multi-attribute decision making problems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-16.
- Ashtiani, B., Haghghirad, F., Makui, A., & ali Montazer, G.** (2009). Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 9(2), 457-461.
- Atanassov, K.T.** (1986) Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*. 87–96.
- Atanassov, K. T.** (1999). Intuitionistic fuzzy sets. In *Intuitionistic fuzzy sets* (pp. 1-137). Physica, Heidelberg.
- Bede B.** (2013). *Mathematics of Fuzzy Sets And Fuzzy Logic*. Springer, Berlin
- Bhattacharya, A., Mohapatra, P., Kumar, V., Dey, P. K., Brady, M., Tiwari, M. K., & Nudurupati, S. S.** (2014). Green supply chain performance measurement using fuzzy ANP-based balanced scorecard: a collaborative decision-making approach. *Production Planning & Control*, 25(8), 698-714.
- Boran, F. E.** (2009). An application of intuitionistic fuzzy set on personnel selection. *Ankara: Gazi University Institute of Science and Technology*.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D.** (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- Bustince, H.** (2010). Interval-valued fuzzy sets in soft computing. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(2), 215-222.
- Bustince, H., Barrenechea, E., Pagola, M., Fernandez, J., Xu, Z., Bedregal, B., Montero, J., Hagrass, H., Herrera, F., De Baets, B.** (2016). A historical account of types of fuzzy sets and their relationships. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 24(1), 179-194.
- Büyüközkan, G., & Güleriyüz, S.** (2016). Multi criteria group decision making approach for smart phone selection using intuitionistic fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4), 709-725.

- Büyüközkan, G., & Ruan, D.** (2008). Evaluation of software development projects using a fuzzy multi-criteria decision approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 77(5-6), 464-475.
- Chen, S. J., & Hwang, C. L.** (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chen, Y. H., Wang, T. C., & Wu, C. Y.** (2011). Strategic decisions using the fuzzy PROMETHEE for IS outsourcing. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13216-13222.
- Chang, D. Y.** (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.
- Coupland S., John R.** (2008) Type-2 Fuzzy Logic and the Modelling of Uncertainty. In: Bustince H., Herrera F., Montero J. (Eds) *Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models. Studies in Fuzziness and Soft Computing* (Vol 220). Springer, Berlin, Heidelberg
- Challa, J. S., Paul, A., Dada, Y., Nerella, V., Srivastava, P. R., & Singh, A. P.** (2011). Integrated software quality evaluation: a fuzzy multi-criteria approach. *Journal of Information Processing Systems*, 7(3), 473-518.
- Chen, C. T.** (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.
- Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., & Mahadevan, S.** (2014). Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 156-167.
- Dorado, R., Gómez-Moreno, A., Torres-Jiménez, E., & López-Alba, E.** (2014). An AHP application to select software for engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(2), 200-208.
- Efe, B.** (2016). An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing*, 38, 106-117.
- Ergu, D., & Peng, Y.** (2014). A framework for SaaS software packages evaluation and selection with virtual team and BOCR of analytic network process. *The Journal of Supercomputing*, 67(1), 219-238.
- Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B.** (2005). ELECTRE methods. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 133-153). Springer, New York, NY.
- Franch, X., & Carvalho, J. P.** (2003). Using quality models in software package selection. *IEEE software*, 20(1), 34-41.
- Garibaldi, J. M., Jaroszewski, M., & Musikaswan, S.** (2008). Nonstationary fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(4), 1072-1086.
- Gnanavelbabu, A., & Arunagiri, P.** (2018). Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13406-13412.
- Huang, X., & Xi, S.** (2012). Study on the Software Quality Evaluation with Hesitant Fuzzy Information. *JDCTA: International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 6(17), 317-322.

- Hwang, C. L., & Yoon, K.** (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Intepe, G., Bozdog, E., & Koc, T.** (2013). The selection of technology forecasting method using a multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making approach. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 277-285.
- Jadhav, A. S., & Sonar, R. M.** (2009). Evaluating and selecting software packages: A review. *Information and software technology*, 51(3), 555-563.
- Jadhav, A. S., & Sonar, R. M.** (2011). Framework for evaluation and selection of the software packages: A hybrid knowledge based system approach. *Journal of Systems and Software*, 84(8), 1394-1407.
- Kahraman, C., Onar, S. C., & Oztaysi, B.** (2015). Fuzzy multicriteria decision-making: a literature review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(4), 637-666.
- Kahraman, C., Öztaysi, B., & Çevik Onar, S.** (2016). A comprehensive literature review of 50 years of fuzzy set theory. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(sup1), 3-24.
- Kaya, T., & Kahraman, C.** (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Koçak, A.** (2003). Yazılım Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı Ve Bir Uygulama. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 3(1), 67-77.
- Kumar, P., & Singh, R. K.** (2012). A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3PL in a supply chain. *Journal of Modelling in Management*, 7(3), 287-303.
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C.** (2018). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 1-16.
- Makkar, R.** (2018). Application of fuzzy logic: A literature review.
- Mendel, J. M.** (2017). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems*. (2nd ed.) Springer, Cham.
- Mendel, J. M., & John, R. B.** (2002). Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 10(2), 117-127.
- Miyamoto, S.** (2005). Remarks on basics of fuzzy sets and fuzzy multisets. *Fuzzy Sets and Systems*, 156(3), 427-431.
- Mizumoto, M., & Tanaka, K.** (1981). Fuzzy sets and their operations. *Information and Control*, 48(1), 30-48.
- Maldonado-Macías, A., Alvarado, A., García, J. L., & Balderrama, C. O.** (2014). Intuitionistic fuzzy TOPSIS for ergonomic compatibility evaluation of advanced manufacturing technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 2283-2292.

- Onut, S., & Efendigil, T.** (2010). A theoretical model design for ERP software selection process under the constraints of cost and quality: A fuzzy approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 21(6), 365-378.
- Opricovic, S.** (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H.** (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- Özek, M. B.** (2010). Bulanık Mantık İçin Yeni Bir Yaklaşım: Tip-2 Bulanık Mantık. *Engineering Sciences*, 5(3), 541-557.
- Mondal, S. P., & Mandal, M.** (2017). Pentagonal fuzzy number, its properties and application in fuzzy equation. *Future Computing and Informatics Journal*, 2(2), 110-117.
- Rickard, J. T., Aisbett, J., Gibbon, G., & Morgenthaler, D.** (2008). Fuzzy subthood for type-n fuzzy sets. In *NAFIPS 2008-2008 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society* (pp. 1-6). IEEE.
- Ross, T. J.** (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. (3rd ed.) John Wiley & Sons.
- Roy, B.** (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8), 57-75.
- Saaty, T. L.** (1980). *Analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill
- Saaty, T. L.** (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process* (Vol. 4922). RWS Publications.
- Sahay, B. S., & Gupta, A. K.** (2003). Development of software selection criteria for supply chain solutions. *Industrial Management & Data Systems*, 103(2), 97-110.
- Smarandache, F.** (2005). Neutrosophic set-a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International journal of pure and applied mathematics*, 24(3), 287.
- Sevкли, M.** (2010). An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection. *International Journal of Production Research*, 48(12), 3393-3405.
- Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., & Tarokh, M. J.** (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12160-12167.
- Silva, J. P., Gonçalves, J. J., Fernandes, J. A., & Cunha, M. M.** (2013). Criteria for ERP selection using an AHP approach. In *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1-6). Portugal, June 8.
- Sirisawat, P., & Kiatcharoenpol, T.** (2018). Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering*, 117, 303-318.
- Sun, C. C.** (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754.
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J.** (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 114(3), 505-518.

- Tan, C.** (2011). A multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making with Choquet integral-based TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3023-3033.
- Torra, V.** (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.
- Wei, C. C., Chien, C. F., & Wang, M. J. J.** (2005). An AHP-based approach to ERP system selection. *International journal of production economics*, 96(1), 47-62.
- Wu, W. W., & Lee, Y. T.** (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert systems with applications*, 32(2), 499-507.
- Xu, Z., & Xia, M.** (2011). Distance and similarity measures for hesitant fuzzy sets. *Information Sciences*, 181(11), 2128-2138.
- Yager, R. R.** (1986). On the theory of bags. *Int. J. Gen. Syst.* 1986, 13, 23–37.
- Yager, R. R.** (2013). Pythagorean fuzzy subsets. In *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)* (pp. 57-61). IEEE.
- Yetiz, E., Alcan, P., Özkır, V., & Başlıgil, H.** (2009). Application of Fuzzy AHP and ANP Methods for Chemical Reactions in Nitrochlorobenzen Formation. *Sigma*, 27, 177-189.
- Zadeh, L. A. (1975).** The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L. A. (1965).** Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zhao, J., & Bose, B. K.** (2002, November). Evaluation of membership functions for fuzzy logic controlled induction motor drive. In *IECON-PROCEEDINGS-* (Vol. 1, pp. 229-234).
- Zhang, X., & Xu, Z.** (2015). Soft computing based on maximizing consensus and fuzzy TOPSIS approach to interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making. *Applied Soft Computing*, 26, 42-56.



## **EKLER**

**EK A:** Uygulamada kullanılan matrisler



## EK A

**Çizelge A.1 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi.**

$$\begin{pmatrix} (0.73,0.28,0.28) & (0.78,0.22,0.22) & (0.65,0.35,0.35) & (0.74,0.26,0.26) & (0.70,0.30,0.30) & (0.64,0.36,0.36) & (0.72,0.28,0.28) & (0.76,0.24,0.24) & (0.66,0.34,0.34) & (0.38,0.62,0.55) & (0.44,0.56,0.44) & (0.50,0.50,0.50) \\ (0.74,0.26,0.26) & (0.55,0.45,0.46) & (0.60,0.40,0.40) & (0.46,0.54,0.46) & (0.76,0.24,0.24) & (0.66,0.34,0.34) & (0.56,0.44,0.45) & (0.76,0.24,0.24) & (0.76,0.24,0.24) & (0.52,0.48,0.48) & (0.50,0.50,0.50) & (0.72,0.28,0.28) \\ (0.64,0.36,0.36) & (0.60,0.40,0.40) & (0.72,0.28,0.28) & (0.50,0.50,0.42) & (0.72,0.28,0.28) & (0.76,0.24,0.24) & (0.52,0.48,0.48) & (0.56,0.44,0.45) & (0.70,0.30,0.30) & (0.78,0.22,0.22) & (0.35,0.65,0.35) & (0.58,0.42,0.42) \\ (0.52,0.48,0.48) & (0.50,0.50,0.50) & (0.62,0.38,0.38) & (0.36,0.64,0.36) & (0.59,0.42,0.43) & (0.74,0.26,0.26) & (0.48,0.52,0.49) & (0.53,0.47,0.44) & (0.76,0.24,0.24) & (0.62,0.38,0.38) & (0.58,0.42,0.42) & (0.37,0.63,0.37) \end{pmatrix}$$

**Çizelge A.2 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş karar matrisi.**

$$\begin{pmatrix} (0.71,0.30,0.30) & (0.78,0.22,0.23) & (0.64,0.36,0.36) & (0.73,0.27,0.27) & (0.70,0.30,0.30) & (0.63,0.37,0.37) & (0.72,0.28,0.28) & (0.75,0.25,0.25) & (0.65,0.35,0.35) & (0.38,0.62,0.63) & (0.43,0.57,0.44) & (0.50,0.50,0.50) \\ (0.73,0.27,0.27) & (0.53,0.47,0.48) & (0.60,0.40,0.40) & (0.45,0.55,0.46) & (0.75,0.25,0.25) & (0.65,0.35,0.35) & (0.55,0.45,0.45) & (0.75,0.25,0.25) & (0.75,0.25,0.25) & (0.52,0.48,0.49) & (0.50,0.50,0.50) & (0.72,0.28,0.28) \\ (0.63,0.37,0.37) & (0.60,0.40,0.40) & (0.72,0.28,0.28) & (0.48,0.52,0.42) & (0.72,0.28,0.28) & (0.75,0.25,0.25) & (0.52,0.48,0.49) & (0.55,0.45,0.45) & (0.70,0.30,0.30) & (0.78,0.22,0.23) & (0.34,0.66,0.34) & (0.58,0.42,0.43) \\ (0.52,0.48,0.49) & (0.50,0.50,0.50) & (0.62,0.38,0.38) & (0.35,0.65,0.35) & (0.57,0.43,0.44) & (0.73,0.27,0.27) & (0.48,0.52,0.48) & (0.52,0.49,0.44) & (0.75,0.25,0.25) & (0.62,0.38,0.38) & (0.58,0.42,0.43) & (0.36,0.64,0.36) \end{pmatrix}$$

**Çizelge A.3 : SWAM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi.**

$$\begin{pmatrix} (0.63,0.31,0.31) & (0.66,0.27,0.27) & (0.37,0.53,0.50) & (0.55,0.36,0.36) & (0.53,0.39,0.35) & (0.42,0.50,0.42) & (0.53,0.38,0.39) & (0.55,0.36,0.35) & (0.40,0.51,0.47) & (0.30,0.64,0.56) & (0.27,0.65,0.47) & (0.31,0.60,0.53) \\ (0.64,0.29,0.29) & (0.46,0.47,0.47) & (0.34,0.56,0.51) & (0.34,0.58,0.48) & (0.57,0.35,0.30) & (0.43,0.49,0.41) & (0.41,0.50,0.49) & (0.55,0.36,0.35) & (0.46,0.46,0.44) & (0.42,0.51,0.50) & (0.31,0.60,0.52) & (0.45,0.46,0.43) \\ (0.55,0.38,0.38) & (0.50,0.43,0.42) & (0.41,0.50,0.48) & (0.37,0.55,0.45) & (0.54,0.38,0.33) & (0.49,0.43,0.36) & (0.38,0.54,0.51) & (0.41,0.51,0.48) & (0.42,0.49,0.45) & (0.62,0.29,0.31) & (0.22,0.71,0.40) & (0.36,0.54,0.49) \\ (0.45,0.50,0.49) & (0.42,0.52,0.51) & (0.35,0.55,0.51) & (0.27,0.67,0.39) & (0.44,0.48,0.45) & (0.48,0.44,0.37) & (0.35,0.57,0.52) & (0.39,0.53,0.47) & (0.46,0.46,0.44) & (0.50,0.42,0.42) & (0.36,0.55,0.47) & (0.23,0.70,0.43) \end{pmatrix}$$

**Çizelge A.4 : SWGM operatörü ile oluşturulmuş ağırlıklı karar matrisi.**

$$\begin{pmatrix} (0.61,0.33,0.32) & (0.66,0.27,0.28) & (0.36,0.54,0.50) & (0.54,0.37,0.36) & (0.53,0.39,0.35) & (0.41,0.51,0.43) & (0.53,0.38,0.39) & (0.55,0.37,0.36) & (0.39,0.51,0.47) & (0.30,0.64,0.63) & (0.27,0.65,0.47) & (0.31,0.60,0.53) \\ (0.63,0.30,0.30) & (0.45,0.49,0.49) & (0.34,0.56,0.51) & (0.33,0.59,0.48) & (0.56,0.35,0.31) & (0.42,0.49,0.42) & (0.40,0.51,0.49) & (0.55,0.37,0.36) & (0.45,0.46,0.44) & (0.42,0.51,0.51) & (0.31,0.60,0.52) & (0.45,0.46,0.43) \\ (0.54,0.39,0.39) & (0.50,0.43,0.42) & (0.41,0.50,0.48) & (0.36,0.57,0.45) & (0.54,0.38,0.33) & (0.49,0.44,0.36) & (0.38,0.54,0.52) & (0.40,0.51,0.48) & (0.42,0.49,0.45) & (0.62,0.29,0.32) & (0.21,0.72,0.39) & (0.36,0.54,0.50) \\ (0.45,0.50,0.50) & (0.42,0.52,0.51) & (0.35,0.55,0.51) & (0.26,0.68,0.38) & (0.43,0.49,0.46) & (0.47,0.45,0.37) & (0.35,0.57,0.51) & (0.38,0.55,0.47) & (0.45,0.46,0.44) & (0.50,0.42,0.42) & (0.36,0.55,0.48) & (0.22,0.70,0.42) \end{pmatrix}$$

**Çizelge A.5 : Sezgisel bulanık TOPSIS karar matrisi.**

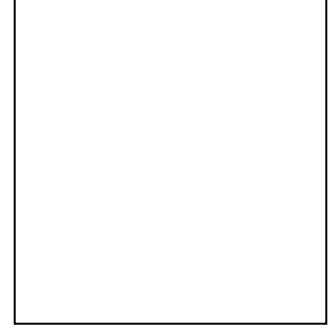
(0.72,0.17,0.11)	(0.78,0.11,0.10)	(0.65,0.25,0.10)	(0.74,0.16,0.10)	(0.70,0.20,0.10)	(0.64,0.26,0.10)	(0.72,0.17,0.10)	(0.62,0.27,0.10)	(0.66,0.24,0.10)	(0.37,0.52,0.11)	(0.44,0.46,0.10)	(0.72,0.17,0.10)
(0.74,0.16,0.10)	(0.55,0.35,0.10)	(0.60,0.30,0.10)	(0.46,0.44,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.66,0.24,0.10)	(0.56,0.34,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.52,0.38,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.50,0.40,0.10)
(0.64,0.26,0.10)	(0.60,0.30,0.10)	(0.72,0.17,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.72,0.17,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.52,0.38,0.10)	(0.56,0.34,0.10)	(0.70,0.20,0.10)	(0.74,0.16,0.10)	(0.37,0.52,0.11)	(0.58,0.32,0.10)
(0.52,0.38,0.10)	(0.50,0.40,0.10)	(0.62,0.28,0.10)	(0.34,0.54,0.12)	(0.58,0.31,0.10)	(0.74,0.16,0.10)	(0.48,0.42,0.10)	(0.53,0.37,0.10)	(0.76,0.14,0.10)	(0.62,0.28,0.10)	(0.58,0.32,0.10)	(0.35,0.53,0.12)

**Çizelge A.6 : Sezgisel bulanık TOPSIS ağırlıklı karar matrisi.**

(0.62,0.25,0.13)	(0.66,0.21,0.14)	(0.37,0.50,0.13)	(0.41,0.44,0.15)	(0.51,0.32,0.17)	(0.40,0.45,0.14)	(0.55,0.27,0.18)	(0.45,0.39,0.16)	(0.40,0.47,0.14)	(0.55,0.29,0.17)	(0.26,0.62,0.12)	(0.55,0.29,0.17)
(0.64,0.24,0.12)	(0.46,0.42,0.12)	(0.40,0.45,0.14)	(0.34,0.53,0.13)	(0.55,0.27,0.18)	(0.42,0.44,0.15)	(0.41,0.48,0.11)	(0.55,0.29,0.17)	(0.46,0.40,0.15)	(0.42,0.49,0.10)	(0.30,0.57,0.13)	(0.31,0.57,0.12)
(0.55,0.33,0.12)	(0.50,0.38,0.12)	(0.41,0.44,0.15)	(0.37,0.50,0.13)	(0.53,0.29,0.18)	(0.55,0.27,0.18)	(0.38,0.51,0.11)	(0.40,0.45,0.14)	(0.42,0.44,0.14)	(0.30,0.60,0.10)	(0.22,0.66,0.12)	(0.36,0.51,0.13)
(0.45,0.44,0.11)	(0.42,0.47,0.11)	(0.35,0.52,0.13)	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.47,0.38,0.16)	(0.35,0.54,0.11)	(0.38,0.48,0.14)	(0.55,0.29,0.17)	(0.50,0.40,0.10)	(0.55,0.29,0.17)	(0.22,0.66,0.12)



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** :Merve CANPOLAT

**Doğum Tarihi ve Yeri** :18.05.1991 / İstanbul

**E-posta** :mervecanpolatt@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği
- **Lisans** :2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

Merve CANPOLAT, 18 Mayıs 1991'de İstanbul'da doğdu. 2009 yılında Eyüp Anadolu Lisesinden mezun oldu. Lisans eğitimine İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliğinde başladı. Daha sonra Endüstri Mühendisliği ile Çift Anadal yaptı. 2014 yılında Kontrol ve Otomasyon Mühendisliğinden, 2015 yılında ise Endüstri Mühendisliğinden mezun olmuştur. Yaklaşık 4 yıldır özel bir şirkette İş Analisti olarak çalışmaktadır.