



**OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK
DÜZEYLERİNİN ARALIK DEĞERLİ
PYTHAGOREAN BULANIK AHS VE BULANIK
TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gönül ÖGEL

Eskişehir, 2019

**OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK DÜZEYLERİNİN ARALIK
DEĞERLİ PYTHAGOREAN BULANIK AHS VE BULANIK TOPSIS
YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Gönül ÖGEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İşletme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Eylül, 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gönül ÖGEL'in "OECD Ülkelerinin Yaşanabilirlik Düzeylerinin Aralık Değerli Pythagorean Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi" başlıklı tezi 24 Eylül 2019 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca toplanan İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Doç.Dr.Namik Kemal ERDOĞAN

Üye : Doç.Dr.Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Şenay LEZKİ

İmza



Prof.Dr.Bülent GÜNSÖY
Anadolu Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü



ÖZET
OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK DÜZEYLERİNİN ARALIK DEĞERLİ
PYTHAGOREAN BULANIK AHS VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Gönül ÖGEL

İşletme Anabilim Dalı

Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eylül 2019

Danışman: Doç. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN

Bireylerin kaliteli bir yaşam sürdürebilmeleri için yaşamlarına devam ettikleri ülkenin; ekonomik ve siyasi yapısı, toplumsal ve çevresel yapısının yaşamını sürdürecekt kişinin hayat koşullarını destekleyecek nitelikte olması gerekir. İşsizlik oranının düşük olması, kişi başı gayri safi milli hasıla (GSMH) ve gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) oranlarının yüksek olması, enflasyon oranının düşük olması, bireylerin yaşadıkları ülkede sosyal olarak toplam yeşil alanın fazla olması, yaşam süresinin uzun olması, okur-yazar oranının fazla olması ve suç oranının düşük olmasını yaşanabilirliği belirleyen etkenler arasında verebiliriz. Çalışmada Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD)'nde yer alan ülkelerden 34'ü dikkate alınarak ülkelerin yaşanabilirlik düzeyleri değerlendirilmiştir. Çalışmada kriter olarak; GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla), Nüfus, Ortalama Yaşam Süresi, İnsani Gelişmişlik Endeksi (İGE), İşsizlik Oranı, Vergi Oranı, Kişi Başına Düşen Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), Yeşil Alan, Enflasyon (TÜFE), Elektrik Tüketimi(Kişi Başı), Doğurganlık Oranı, Kentsel Nüfus ve Yüksek Teknoloji Ürünü İhracatı baz alınmıştır. Birden çok ülkeyi ve kriteri bir arada ele alırken, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında ise elemanın üye olma ve olmama derecelerinin yanında hassasiyetini de dikkate alan pythagorean bulanık küme tabanlı olan aralık değerli AHS (Analytic Hierarchy Process) yönteminden yararlanılmıştır. Ülkelerin yaşanabilirlik düzeylerinin sıralanmasında ise belirsizliği dikkate alan bulanık TOPSIS

(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminden yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşanabilirlik, Çok Kriterli Karar Verme, OECD, Pythagorean Bulanık Kümeler, AHS, TOPSIS.



ABSTRACT

EVALUATION OF THE AVAILABILITY LEVELS OF OECD COUNTRIES WITH PYTHAGOREAN FUZZY AHP AND FUZZY TOPSIS METHODS

Gönül ÖGEL

Department of Business Administration

Department of Numerical Methods

Anadolu University Institute of Social Sciences, September 2019

Adviser: Assoc. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN

In the country where individuals continue to live for a quality life; economic, political, social and social conditions must be suitable for the life of the individual. Unemployment rate is low, GNP (Gross National Product) and GDP (Gross Domestic Product) rates are high, the inflation rate is low, the total number of people in the country as a social total green area, the longer the life expectancy, the ratio of literate the fact that it is too high and the crime rate to be low can be an example of the conditions that should be suitable for the individual's life. In this study, by considering 34 of the countries included in the Economic Cooperation and Development Organization (OECD), the viability levels of the countries were evaluated. As a criterion in the study; GDP (Gross Domestic Product), Population, Average Life Time, Human Development Index, Unemployment Rate, Tax Rate, Per capita GNP (Gross National Product), Tax Rate, Green Area, Inflation (CPI), Electricity Consumption (Per capita, fertility rate, urban population and high technology product exports are discussed. In order to evaluate many countries and many criteria together, multi-criteria decision making (CCMV) methods were used. In the weighting of the criteria, in addition to the degree of being a member and not being the member, the interval-valued AHS (Analytic Hierarchy Process) method, which is based on pythagorean fuzzy cluster, was used. In order to determine the viability of countries, fuzzy TOPSIS (Technique for Order) method was used.

Keywords: Livability, Multi-Criteria Decision Making, OECD, Pythagorean Fuzzy Sets, AHS, TOPSIS.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresi boyunca her daim bana destek olan, kendi bilgi ve tecrübesiyle yardımlarını esirgemeyen saygı değer hocam değerli danışmanım Doç. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN'a bir öğrenci olarak bana ve teze katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezin uygulama aşamasında bana gösterdiği desteklerinden dolayı değerli hocam Arş. Gör. Dr. Çağlar KARAMAŞA'ya sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden bugüne beni manevi olarak yalnız bırakmayan, her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim canım aileme gösterdikleri ilgi ve anlayışlarından dolayı çok teşekkür ederim.

24.08.2019

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.



Gönül ÖGEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Yaşanabilirliğin Anlatıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür	4
2.2. AHS ve Bulanık AHS'nin Sonuçlarının Karşılaştırılmasına Yönelik Literatür	4
2.3. AHS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür	4
2.4. Bulanık Mantığın Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür	5
2.5. Bulanık AHS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür	6
2.6. TOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür	6
2.7. Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatü .	6
3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ	8
3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Özellikleri	10
3.2. Çok Kriterli Karar Verme Problemleri	11

3.3. Çok Kriterli Karar Verme Süreci	11
3.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları	14
4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ	15
4.1. Bulanık Mantık	15
4.1.1. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları	23
4.2. Bulanık Küme Teorisi	24
4.2.1. Bulanık küme ile üyelik fonksiyonu kavramları	25
4.2.2. Bulanık kümelerde yer alan başlıca terimler	27
4.2.3. Temel işlemler ve cebirsel özellikler	33
4.2.3.1. Bulanık kümelerin temel işlemleri ve bazı cebirsel özellikleri	33
4.2.4. Bulanık sayılar	38
4.2.4.1. Üçgensel bulanık sayılar	39
4.2.4.2. Yamuksal bulanık sayılar	41
4.2.5. Üyelik fonksiyonları	42
4.2.5.1. Üyelik fonksiyonu çeşitleri	43
4.2.6. Bulanık kümelerde işlemler	50
4.3. Bulanık Çıkarım Sistemleri	51
4.3.1. Bulanıklaştırma	53
4.3.2. Kurallar	54
4.3.3. Çıkarım	55
4.3.4. Durulaştırma	56
5. YÖNTEM	59
5.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)	59
5.2. Pythagorean Bulanık Kümeler	65
5.2.1. Aralık değerli pythagorean bulanık AHS yöntemi	70
5.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi	72

6. UYGULAMA: OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK	
DÜZEYLERİNİN ARALIK DEĞERLİ PYTHAGOREAN BULANIK AHS	
VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ...	75
6.1. Araştırma Yöntemlerinin Uygulama Adımlarının Örneklendirilmesi	79
SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKÇA	91
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Bulanık mantık uygulamaları	22
Tablo 5.1. Tercih ölçeği	60
Tablo 5.2. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması	60
Tablo 5.3. Rassallık göstergeleri	61
Tablo 5.4. Pythagorean bilgi altında kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan ağırlıklandırma ölçeği	71
Tablo 6. 1. Kriterlerin ağırlığına ilişkin aralık değerli bulanık AHS kapsamında oluşturulan matris	76
Tablo 6. 2. Kriterler için elde edilen ağırlıklar	77
Tablo 6. 3. YK_i değerleri ve OECD ülkelerinin azalan biçimde sıralanması	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3. 1. Çok kriterli karar verme süreci algoritması	12
Şekil 4. 1. Klasik küme	19
Şekil 4. 2. Bulanık küme teorisi	19
Şekil 4. 3. “yaklaşık iki” için üyelik fonksiyonu	29
Şekil 4. 4. Zayıf bir α – kesimi	30
Şekil 4. 5. Üyelik fonksiyonu dışbükey olan bulanık bir küme	32
Şekil 4. 6. Bir bulanık kümenin tümleyeni	35
Şekil 4. 7. İki bulanık kümenin birleşimi	36
Şekil 4. 8. İki bulanık kümenin kesişimi	37
Şekil 4. 9. Üçgensel bulanık sayı	40
Şekil 4. 10. Yamuksal bulanık sayı	41
Şekil 4. 11. Klasik üyelik fonksiyonu	43
Şekil 4. 12. Bulanık üyelik fonksiyonu	43
Şekil 4. 13. Bir üçgensel üyelik fonksiyonu	44
Şekil 4. 14. Üçgensel üyelik fonksiyonu	45
Şekil 4. 15. Bir yamuksal üyelik fonksiyonu	45
Şekil 4. 16. Yamuksal üyelik fonksiyonu	47
Şekil 4. 17. Bir gaussian üyelik fonksiyonu	47
Şekil 4. 18. Bir çan eğrisi üyelik fonksiyonu	48
Şekil 4. 19. Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları	49
Şekil 4. 20. Bulanık kümelerde a) birleşim işlemi b) kesişim işlemi c) tümleyen işlemi	51
Şekil 4. 21. Bir bulanık sistemin genel yapısı	53

Şekil 4. 22.	Durulaştırma yöntemleri a) maksimum değerlerin en düşüğü yöntemi b) ağırlık merkezi yöntemi c) maksimum değerlerin ortalaması yöntemi d) maksimum değerlerin en büyüğü yöntemi	57
Şekil 6.1.	Ağırlıklandırma ölçeği	80
Şekil 6.2.	İkili karşılaştırma matrisi	80
Şekil 6.3.	Geometrik ortalama değerleri	81
Şekil 6.4.	Üye olma ve üye olmamanın alt ve üst sınırları	81
Şekil 6.5.	Aralıklı çarpım matrisi	82
Şekil 6.6.	Belirlilik değeri	83
Şekil 6.7.	Ağırlıklar matrisi	83
Şekil 6.8.	Normalize edilmiş ağırlık değerleri	83
Şekil 6.9.	Veri setinin Excel’de gösterilmesi	84
Şekil 6.10.	Bulanık karar matrisinin normalleştirilmesi	85
Şekil 6.11.	Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi	85
Şekil 6.12.	Bulanık pozitif ideal çözümden uzaklıklar	86
Şekil 6.13.	Bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklar	86
Şekil 6.14.	Her alternatife A^* ve A^- ’ya olan uzaklıkları	87
Şekil 6.15.	YK_i değerleri ve OECD ülkelerinin azalan biçimde sıralanması	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Alfa
$\in$	: Elemanıdır
$\notin$	: Elemanı Değildir
M	: Mü
$\subset$	: Alt Küme
$\Leftrightarrow$	: Sol sağ çift ok
Φ	: Fi
$\wedge$	: Ve
$\vee$	: Veya
σ	: Sigma
$ $	: Hafif Dikey Kutu Çizimleri
$\tilde{A}$	: A bulanık Kümesi
$\geq$	: Büyük Eşit
$\leq$	: Küçük Eşit
$=$	: Eşittir
$\neq$	: Eşit değil
$\not\subset$	: Alt Küme Değil
$\forall$	: Her
μ_A	: Üyelik Fonksiyonu
E	: Evrensel Küme
Σ	: Toplam
$\int$	: İntegral
$\exists$	: Bazı, en az bir ya da vardır
$\cup$	: Birleşim
$\cap$	: Kesişim

$\min.$	: Minimum
$\max.$	: Maksimum
$ A $	: A'nın Mutlak Değeri
$\ \parallel$	: Vektör Normu
$\emptyset$	: Boş Küme
$\leftrightarrow$	: Sol sağ ok
A^c	: A Kümesinin Tümlenyeni
μ_S	: Üye Olma Derecesi
ν_S	: Üye Olmama Derecesi
π_S	: Hassasiyet Derecesi
$f(E)$	: Skor Fonksiyonu
$g(E)$	: Doğruluk Fonksiyonu
B	: Uzlaşık İkili Karşılaştırma Matrisi
H	: Fark Matrisi
P	: Çarpım Matrisi
τ	: Belirlilik Değeri (Tau)
w	: Normalize Ağırlık Matrisi
$\tilde{R}$	: Doğrusal Ölçek Dönüşümü
$(\tilde{V})$	: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi
$\tilde{w}_j$	: Ağırlık
C_j	: Kriter
A^*	: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
A^-	: Bulanık Negatif İdeal Çözüm
d_i^*	: Pozitif İdeal Çözümüne Olan Uzaklık
d_i^-	: Negatif İdeal Çözümüne Olan Uzaklık
(YK_i)	: Yakınlık Katsayısı

GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
TÜFE	: Enflasyon Tüketici Fiyatı Endeksi
İGE	: İnsani Gelişmişlik Endeksi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
TÜİK	: Türk İstatistik Kurumu
BAHS	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
BTOPSIS	: Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
ELECTRE	: Elemination and Choice Translating Reality English
BÇS	:Bulanık Çıkarım Sistemi
PROMETHEE	: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
SAW	: Simple Additive Weighting
MAUT/ UTA	: Multi Attribute Utility Theory / UTilites Additives
COPRAS	: Complex PROportional ASsessment
ARAS	: Additive Ratio Assessment
MOORA	: The Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
MACBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

ELECTRE-Tri	: Elimination Et Choix Traduisant la REalite-Elimination
AAS	: Analitik Ağ Süreci
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BM	: Bulanık Mantık
PİÇ	: Pozitif İdeal Çözüm
NİÇ	: Negatif İdeal Çözüm
BPÇ	: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
BNÇ	: Bulanık Negatif İdeal Çözüm



1. GİRİŞ

Yaşanabilirlik kavramı ve kent (yaşam) kalitesi birbirini çevreleyen kavramlardır. Türk İstatistik Kurumu (TÜİK) yaşam kalitesini şöyle tanımlamaktadır; bireylerin hayat mücadelesi vererek yaşamlarını devam ettirdikleri çevre koşullarının yaşanır hale getirilerek düzgün bir hayat sürdürmelerini sağlaması ve bu doğrultuda hayatlarını sürdüren kişilerin daha huzurlu ve refah içinde yaşamaya çalışmalarıdır. Bireylere yaşadıkları ülke veya şehir tarafından kendilerine sunulan fırsatlar mümkün olduğu müddetçe oralar yaşanabilir hale gelir (Türkiye İstatistik Kurumu Resmi İstatistik Portalı). Özellikle kentlerde yaşayan insanların istek, beklenti ve sosyo-kültürel özellikleri onları birtakım beklentiler içine itmiştir. Kentlilerin yaşadıkları şehri hangi açıdan ‘yaşanabilir’ olarak betimledikleri (tasarladıkları) önemli bir göstergedir. Bu beklentiler, kent yaşamında araştırmaya sebebiyet verecek birtakım kavramların ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. Bu kavramların başında ise yaşanabilirlik gelmektedir. Yaşanabilirlik kavramı; yere, zamana, kişiye, değerlendirme amaç ve kriterlerine göre farklı tanımlar içerebilir. Ancak en yalın haliyle yaşanabilirliği tanımlayacak olursak; yaşama elverişli, yaşama değer, yaşamının mümkün olduğu veya o bölgede yaşayan insanların birtakım isteklerine (yaşanabilirliğin belirlenmesinde etkili olan kriterlerin) cevap verebilmesidir (Organ ve Katrancı, 2016, s. 74). Başka bir ifadeyle yaşanabilirlik; insanların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için ekonomik, sosyal ve siyasi faktörlere ihtiyaç duyarak yaşamlarını daha güvenilir, elverişli ve yaşamaya değer kılan istek ve beklentilerinin cevap bulmasıdır (Aktaş, 2014, s. 24). Yaşanabilirlik terimi 1960 yılından bu yana birçok alanda katkı sağlamış, bu yıllardan sonra ise en çok literatürde yer almaya başlamış ve 1990’lı yıllardan itibaren ise önemli bir kavram haline gelerek günlük yaşantımızda ve medyada çok sık kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yaşanabilirlik kavramı daha çok; ulaşımı sağlama, eğitime katkıda bulunma, güvenliği sağlama, sağlık problemlerine çözüm getirme, çevre kalitesini sağlama gibi kriterlerle ele alınabilmektedir (Keleş, 2010). Yaşanabilirlik düzeyini ise; insanların yaşamlarını devam ettirebilmeleri ve ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için lüzumlu görülen ekonomik, sosyal ve çevresel gibi faktörlerin bir araya gelerek oluşturdukları bir karışım olarak tanımlayabiliriz. Yaşanabilirlik düzeyini etkileyen birtakım etmenler yer almaktadır. Bunların başında; enflasyon oranı, Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), işsizlik oranı, sağlık, eğitim düzeyi, yeşil alan, ortalama yaşam süresi,

siyasi iktidar ve insani gelişmişlik düzeyi gelmektedir. Bu çalışmada OECD ülkelerinin yaşanabilirliği ile ilgili yukarıda belirtilen değişkenler dikkate alınarak yaşanabilirliği en iyi olan ülke belirlenmeye çalışılmıştır. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), 14 Aralık 1960 yılında kurulmuştur. OECD, piyasa ekonomisini ve demokratik yapıları barındıran 36 ülkenin küreselleşme sonucu ortaya çıkan; ekonomik, sosyal ve yönetim sorunlarına çözüm getirmek ve bu sürecin sağladığı imkânlardan yararlanmak amacıyla bir araya gelerek birlikte çalışma imkânı buldukları ve sorunları görüşerek karara bağladıkları genel bir çalışma alanıdır. OECD, ekonomik konulara çözüm bularak alanıyla ilgili kendini geliştirmiş hükümetler arası bir danışma kurumudur. OECD daha çok, kendisine üye durumunda bulunan ülkeler tarafından gündemine sunulan ya da dünya ekonomisindeki gelişmeler dolayısıyla güncel hale gelen konularda, ekonomik hayatın çeşitli boyutlarında, yaptığı analitik incelemelerin sonuçları doğrultusunda üye ülkelere tavsiyelerde bulunarak yardımcı olmaya çalışmaktadır. OECD'nin yapmak istediği birtakım amaçları bulunmaktadır. Bu amaçlar, izleyen şekilde sıralanabilir:

- 1- Ekonomik ve sosyal gelişmeyle çevrenin korunması arasında dengeyi sağlamak,
- 2- Ekonomik büyüme, mali istikrar, ticaret ve yatırım, teknoloji, yenilik, girişimcilik ve kalkınma alanlarında işbirliği yoluyla refahı sağlamak ve yoksullukla mücadele konularında hükümetlere yardımcı olmak,
- 3- Herkes için iş imkânı yaratmak ve sosyal eşitlik ile etkin ve sağlıklı bir yönetim şekli gerçekleştirmek,
- 4- Yeni gelişme ve sorunları anlamak ve bunlara çözüm üretmek konusunda hükümete tavsiyelerde bulunmak.

Çalışma OECD'ye dâhil olan 34 ülkeyi kapsamaktadır. Letonya ve Litvanya ülkelerinin bazı verilerinin elde edilememesinden dolayı çalışmaya dâhil edilmemiş ve diğer 34 ülkenin yaşanabilirlik düzeylerinin incelenmesi için belirlenen kriterler dâhilinde karşılaştırılmasının yapılabilmesi için uzman görüşüne başvurulmuştur. Bu amaçla anket çalışmasına, sosyal bilimler alanındaki öğretim üyeleri ve yardımcılar katılmıştır. Çalışmamızın amacı, birden fazla kriterin göz önünde bulundurulduğu karar verme problemlerinin çözümünde başvurulmuş çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS, Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemleri yardımıyla uygulama yapılarak

OECD’de yer alan ülkelerin yaşanabilirlik düzeylerini incelemek ve sonuçları karşılaştırmaktır. Dolayısıyla OECD’de yer alan ülkeler çalışmamızı kapsamaktadır. Bu sebeple, OECD ülkelerinin yaşanabilirlik düzeylerini inceleyip, bu ülkeler arasından yaşanabilirliği en yüksek olan ülkeyi bulmak ve bir sıralama yöntemiyle sıralamak amaçlarımız arasındadır. Çalışmada; Aralık Değerli Pythagorean Bulanık AHS yöntemiyle önce kriterlerin ağırlık değerleri elde edilecek ve Bulanık TOPSIS yöntemiyle de ülkelerin yaşanabilirlik düzeyleri sıralanacak ve yaşanabilirlik düzeyi en yüksek olan ülke elde edilecektir. Sıralamada ilk sırada yer alan ülke, yaşanabilirlik düzeyi en yüksek olan ülke olarak kabul edilecektir. Çalışma yöntemimiz, belirsizlik bildiren önermelere çözüm getirmesi yönünden önem arz etmektedir.

Bu çalışmada OECD olarak adlandırılan ülkelerin yaşanabilirlik düzeyleri Aralık Değerli Pythagorean Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada karar probleminin alternatifleri olarak OECD’de yer alan; Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Çek Cumhuriyeti, Şili, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, Lüksemburg, Meksika, Birleşik Krallık (İngiltere), Slovak Cumhuriyeti (Slovakya), Slovenya, Amerika Birleşik Devletleri, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, Norveç, Polonya, İzlanda, İrlanda, Japonya, Türkiye, Portekiz, Yeni Zelanda, Hollanda, İsrail, Kore Cumhuriyeti (Kore) olmak üzere toplam 34 ülke alternatif olarak değerlendirilmiştir. Letonya ve Litvanya ülkelerine ait bazı verilere ulaşılamamasından dolayı iki ülke çalışmanın dışında tutulmuştur. Alternatifleri değerlendirmek için kullanılacak olan kriterlerin ise öncelikle yaşanabilirlik düzeyini belirlemede yardımcı olacak olmasına dikkat edilmiştir. Fakat verilerden bazılarını elde edememe nedeniyle; Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), Nüfus, Ortalama Yaşam Süresi, İnsani Gelişmişlik Endeksi, İşsizlik Oranı, Vergi Oranı, Kişi Başına Düşen Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), Yeşil Alan, Enflasyon (TÜFE), Elektrik Tüketimi(Kişi Başı), Doğurganlık Oranı, Kentsel Nüfus ve Yüksek Teknoloji Ürünü İhracatı olmak üzere 13 kriter dikkate alınmıştır. Birçok kriter ve alternatifi dikkate alan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmış, TOPSIS yöntemi ile de ülkeler yaşanabilirlik düzeylerine göre sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, tezin amacına benzerlik sergileyen çalışmalara ve uygulamada kullanılan yöntemlere yönelik gerçekleştirilen literatür taramasına yer verilmiştir.

2.1. Yaşanabilirliğin Anlatıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

Yaşanabilirlik bir bölge ya da ülkede yaşamak için gereklilik arz eden en önemli etmenlerden biridir. Literatürde son zamanlarda yaşanabilirlik ile ilgili yapılan çok sayıda çalışma yer edinmiştir. Çalışmamızda yaşanabilirlik ile ilgili yapılan çalışmaları şöyle sıralayabiliriz:

Organ ve Katrancı (2016), yaşanabilirliğin önemini ortaya koymak ve yaşanabilir ülke sıralaması yapmak için ARAS ve COPRAS yöntemlerini kullanmışlardır ve en iyi ülke sıralaması sonucu, yaşanabilirliğin bireyin yaşamına etki eden ekonomik, sosyal ve toplumsal bir etmen olduğunu da ayrıca ortaya koymuşlardır. Aktaş (2014), yapmış olduğu kentsel dönüşüm projesi kapsamında yaşanabilirliğin önemine değinerek kentlerin artık “yaşanabilir kentler” adı altında yaşamaya elverişli olduğunun altını çizmiştir. Ayrıca ekonomik ve politik özelliklerin de yaşanabilirliği değerli kıldığını belirtmiştir. Keleş (2010), kentleşme politikası isimli kitabında yaşanabilirliğin kentleşme üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiş ve yaşanabilirliği de; bireyin refahına ve yaşadığı o yerleşkenin bir sakini olarak duyduğu tatmin duygusuna etki eden mekânsal, sosyal ve çevresel bir etmen olarak tanımlamıştır.

2.2. AHS ve Bulanık AHS’nin Sonuçlarının Karşılaştırılmasına Yönelik Literatür

Bu çalışmanın amacı, herhangi bir ÇKKV probleminde AHS ve Bulanık AHS’nin kullanımının nihai sonucu değiştirip değiştirmediğini gözlemlemektir. Söz konusu çalışmada OECD ülkelerinin yaşanabilirlik düzeyleri, AHS ve Bulanık AHS yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, alternatifler arasındaki nihai sıralamanın AHS ve Bulanık AHS’ye göre değiştiğini göstermiştir. Ayrıca belirsizlik içeren durumlarda Bulanık AHS’nin, aksi durumlarda AHS’nin kullanımının daha faydalı sonuçlar vereceği de gözlemlenmiştir.

2.3. AHS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

Hem hesaplanabilirlik hem de anlaşılabilirlik açısından kolaylık sağlaması, ayrıca Excel yardımıyla çözümü kolaylaştırması AHS yöntemini literatürde sıkça kullanılan

bir yöntem yapmıştır. Literatürde, AHS yönteminin ÇKKV problemlerine çözüm getirmek amacıyla gerek tek başına gerek ise farklı yöntemler ile birlikte kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

AHS'nin ele alınan problemin çözümü için tek başına kullanıldığı çalışmalardan Ecer ve Küçük (2008) AHS yöntemini tedarikçi seçiminde, Scholl vd. (2005) üniversite belirleme problemini; Chandran vd. (2005) öncelik vektörlerini hesaplamak için; Byun (2001) AHS yöntemi yardımıyla en iyi binek otomobil seçimi problemine çözüm getirmişlerdir. Saaty ve Özdemir (2003) AHS yöntemiyle tutarlılığı ölçmüşlerdir.

AHS'nin farklı yöntemler ile birlikte kullanıldığı bazı çalışmalar ise Soner ve Önüt (2006), AHS ve ELECTRE yöntemlerini tedarikçi seçimi için kullanırken; Çitli (2006), AHS, TOPSIS ve BTOPSIS yöntemlerini birlikte kullanarak Öklid uzaklığını elde etmiştir. Zahedi (1987) AHS ve fayda teorisini kuruluş yer seçimi problemine uygulamış ve en iyi alternatifi elde etmiştir. Scholl vd. (2005) AHS ve birleşik analiz yöntemlerini üniversite tasarlama problemini analiz etmek ve her iki yöntemin sonuçlarında farklılık olup olmadığını ortaya koymuşlardır.

2.4. Bulanık Mantığın Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

Bulanık mantığın ortaya çıkmasıyla birlikte pek çok problem çözüm kazanmıştır. Özellikle sözel olarak ifade edilmesi zor problemlere çözüm getirmesi bulanık mantığı birçok alanda kullanma imkanı doğmuştur.

Uzun (1995), bulanık mantığı lineer programlama problemlerine uygulayarak ne derecede önemli olduğunu ortaya koymuş ve yöneylem araştırmasına da uygulayarak problemlerin çözümünde ne derecede etkili olduğunu gözlemlemiştir. Görgülü (2007), bulanık mantığı farklı tarım alanlarında uygulamış ve uygulanabileceğini de göstermiştir. Yenilmez (2001), bulanık mantığı doğrusal programlamaya uygulayarak duyarlılık analizini yapma imkanını elde etmiş ve optimal çözüm için modelde nasıl bir değişikliğe izin verdiğini veya problemin çözümünün hangi değişiklikler karşısında değişmeyeceğini gözlemlemiştir. Zadeh (1965), bulanık mantıkta her bir bulanık sayıya üyelik derecesi atanarak işlemlerin gerçekleştirildiğinin ve bu değerlerin $[0,1]$ aralığında bir değer aldıklarını ifade etmiştir. Zadeh (1975a), bulanık mantığın sayısal olarak ifade edilemeyen değişkenler söz konusu olduğunda iyi bir çözüm yöntemi olabileceğini dile getirmiştir. Ayrıca bulanık mantığın insan beyninin bir düşünme sistemi sonucu olduğu için daha etkili sonuçlar vereceğini ifade etmiştir. Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan (2007), bulanık mantığı günlük hayatta kullanıyor olduğumuz bulaşık

makinesine uygulamış ve simülasyonunu gerçekleştirerek makinanın kirlilik derecesine göre program ayarladığını ortaya koymuşlardır. Sağlam (2007), bulanık mantık yardımıyla matematiksel modele ihtiyaç duyulmadan kontrol ve yöntem işlemlerinin basit bir şekilde ve akıl yürütme ile gerçekleştirebileceğini gözlemlemiştir.

2.5. Bulanık AHS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

Her ne kadar bulanık AHS'nin kullanım alanı AHS kadar yaygın olmasa da bulanık mantığın insan düşünce sistemi için daha uygun olması bulanık AHS'yi önemli kılmaktadır. Ayrıca AHS'nin avantajları ile bulanık AHS'nin bu özelliği birleştiğinde bulanık AHS daha da önem kazanmaktadır.

İlbahar, Karaşan ve Kahraman (2018), Bulanık AHS yöntemini Türkiye'de İstanbul ili için arazi seçimi problemine uygulayarak elde edilen sonuçlar AHS yöntemi ile karşılaştırılmış ve bulanık AHS yönteminin belirsizliği daha iyi temsil eden tutarlı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

2.6. TOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

TOPSIS yöntemi, sunmuş olduğu avantajlardan dolayı gerek işletme yönetimi gerekse gündelik yaşamla ilgili ÇKKV problemlerinin çözümünde çok sık tercih edilmektedir (Yıldırım ve Önder, 2014, s. 134).

Behzadian, Otaghsara, Yazdani ve Ignatius (2012), TOPSIS yöntemini kullanarak birçok uygulama alanında mesela; lojistik, tasarım ve mühendislik gibi alanlarda etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

2.7. Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalara Yönelik Literatür

Bulanık TOPSIS yöntemi, belirsizliğin yer aldığı ve çok sayıda karar vericinin bulunduğu problemleri çözme konusunda oldukça başarılıdır. Bu yöntemde sayısal değerler yerine sözel (dilsel) ifadeler kullanılmaktadır. Karar verici alternatif ve kriterleri değerlendirirken düşüncelerini sözel olarak ifade eder ve bu sözel ifadeler üçgen sayılara dönüştürülerek her alternatif için yakınlık katsayısı elde edilir ve yakınlık katsayısı değerlerine göre sıralama yapılarak uygun olan alternatif seçilir (Chen, 2000, s. 2).

Cavallaro vd. (2016), bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak beş kombine ısı ve enerji teknolojisini sürdürülebilirlik açısından en uygun olan alternatif seçimi için sıralamasını yapmışlardır. Jahanshahloo vd. (2006), bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözümünden ve negatif ideal çözümünden

uzaklıklarını hesaplamışlardır. Wang ve Chang (2007), bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak hangi uçağın ilk eğitim uçağı olması gerektiği konusunda özellikler dikkate alınarak bir sıralama yapmışlar ve en uygun olan alternatifi gözlemlemişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında pythagorean ile ilgili yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla uygulamanın hem yeni hem de daha önce hiçbir çalışmada kullanılmamış olması çalışmaya özgünlük getirmektedir. Ayrıca, yaşanabilirlik kavramının bu yöntem ile değerlendirilmesi de farklı bir çalışma ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan yöntemin hem yeni olması hem de yeni bir alana uygulanarak daha önce sözel değişkenli problemlere çözüm getirilemeyen çözümün bu yöntem ile getirilmesi sağlanan katkılar arasındadır. Yöntemin diğer yöntemlerden farkı; değişken değerlerine anket yardımıyla ulaşılabilmesi, algoritmasının farklı işlemesi yani, biri üye olma ve üye olmama derecelerini ele alırken bir diğeri belirlilik değerini ele almaktadır. Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemleri belirsizliği daha iyi belirlediği için ve bu yöntemle ilgili daha önce fazla çalışmanın yapılmamış olmasından dolayı çalışmamızda kullanılmıştır.

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV); birden çok kriteri beraber değerlendirerek alternatiflere değerler atama süreci şeklinde tanımlanır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, 1960'lı yıllarda karar verme işlerine yardımcı olmak için bazı araçların gerekli olduğu düşüncesiyle ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. ÇKKV yöntemleri, karar verme kümesi içerisinde yer alan ve karar vericiye en iyi karar vermesini sağlayan ve aynı zamanda uygulanan kriterler ile en iyi tercih yapmasına olanak tanıyan yöntemlerdir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, teorik gelişimiyle ve pratik uygulamalarıyla karar analizlerinde büyük gelişme göstermiştir. Ayrıca sahip olduğu güçlü mantık yapısıyla ve karar tespitlerinde göstermiş olduğu başarısıyla da kendini göstermiş ve geniş bir uygulama alanına yayılmıştır (Güneş ve Umarusman, 2003, s. 243).

Hayatta her an almak zorunda kaldığımız birtakım kararlar olabilir. Bu kararlardan kimilerinin sınırları belli iken, kimilerinin ise belli olmamasıyla birlikte birden fazla alternatif içerisinde en iyi olan alternatifi bulmaya çalışırız. Alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılmasının zor olduğu durumlarda ÇKKV yöntemleri bu durumu ele alarak, ilave yaklaşımlar sunar ve olumsuzlukları ortadan kaldıran çözümler ortaya koyarak karar vericiye sunup daha iyi çözümler elde etmelerine imkân sağlar. Dolayısıyla ÇKKV yöntemleri, bu sorunlara çözüm getirmek için karar vericiye birtakım teknikler sunarak onların alacakları kararları belirlemelerinde yardımcı olmaktadır. Böylesi önemli karar verme durumlarında elde bulunan mevcut seçenekler arasından amaca en uygun olanın seçilmesi durumuna karar verme adı verilir. İster içgüdüsel olsun ister olmasın, sonuçları iyi ya da kötü olsun, hayatın insanlara sunduğu fırsatlar ya da tehditler karşısında, mücadele ve belirsizliklerde karar verme ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Belirlenen amaca ulaşmada en az iki eylem etkili ise bu eylemlerden birinin seçilmesi söz konusu olduğunda karar verici kararını verirken bu karar üzerinde çeşitli koşullar ve ortamlar etkili olabilir. Bu sebepten dolayıdır ki karar vericilerin çözümünü araştırdıkları karar problemine ilişkin kapsam, çevre ve paydaşları çok iyi değerlendirmeleri gerekir. Çoğu zaman yöneticiler bile alternatifler arasından en uygun olanı belirlemekte zorlanmaktadır. Bu gibi durumlarda yöneticilerin yapmaları gereken şey, ÇKKV yöntemlerinden faydalanarak doğru kararı verebilmeye çalışmaktır. Çünkü karar verme teknikleri, karar verme sürecinde doğru kararlar almamıza yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş yöntemlerdir. İşletmelerin başarı elde etmeleri ve

yöneticilerin de daha tutarlı kararlar verebilmeleri için, bu yöntemleri iyi uygulayabilmeleri gerekir (Soner ve Önüt, 2006, s. 111). ÇKKV yöntemlerinin birçok tanımı bulunmaktadır. Mesela Görener (2009)'a göre, "ÇKKV yöntemleri, ölçümü yapılabilen ve ölçümü yapılamayan izlemsel ve operasyonel etmenleri aynı anda değerlendirme olanağı tanıyan, karar verme sürecine çok sayıda kişiyi dâhil edebilen analitik tekniklerdir." Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri, karar vericiler tarafından belirlenen birden çok ölçüte göre seçeneklerin değerlendirilmesine, sıralanmasına ve seçimine olanak tanıyan yöntemlerdir. (Çitli, 2006, s. 49). ÇKKV yöntemleri, son yıllarda yöneylem araştırmasının en hızlı gelişen bir dalı olarak görülmekte ve yöneylem araştırmasının özünü oluşturan problem çözme işlemlerinde sistem düşüncüsü, çok disiplinlilik ve bilimsel yaklaşım öz yapılarını yenileyen ve canlılık katan bir alanı temsil eder hale gelmiş bulunmaktadır (Çınar, 2004, s. 17-18). ÇKKV yöntemleri; insan kaynakları yönetimi, pazarlama, lojistik, enerji, üretim planlama, yatırım planlama ve finansal yönetim gibi birçok alanda kullanılarak bilime katkısı sağlanmaktadır (Organ, 2013, s. 253).

ÇKKV yöntemleri problemlerin çözümünde klasik ya da bulanık mantık temelli birçok yöntemde, araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Seçim problemlerinde; Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Analitik Ağ Süreci (AAS), MAUT, UTA, MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) , PROMETHEE, ELECTRE I, TOPSIS, Amaç Programlama, Veri Zarflama Analizi yöntemleri, Sınıflama problemlerinde; AHS, AAS, MAUT, UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE III, TOPSIS yöntemleri, Sıralama problemlerinde ise; AHSsort, UTADIS, TOPSIS, FlowSort, ELECTRE-Tri yöntemleri kullanılmaktadır. AHS, karmaşık olan ÇKKV problemlerine çözüm getirmek amacıyla 1970 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHS, karar alternatiflerinin değerlendirilmesinde ve kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. AHS, birçok alternatif arasından en uygun olan alternatifi seçmede yardımcı olan ve birçok karar vericinin de bu süreçte yer alabildiği çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. AHS, var olan kriterleri küçük parçalara ayırarak ikili karşılaştırmalara tabii tutar, her hiyerarşi için önemli olan öncelikleri belirler ve böylece belli bir mantıksal süreci düzenlemiş olur. Bilimsel bir karar verme sürecinde, kriterlerin ve amaca uygun karar verme yöntemlerinin seçilmesi söz konusu olmaktadır.

AHS'nin diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığı çalışmalardaki temel görevi, ana ve alt kriter ağırlıklarını hesaplayarak seçim yapmaktır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS); hesaplanabilirlik ve anlaşılabilirlik açısından kolaylık sağladığı ve Excel (q boyutlu matris, öz vektör hesaplama) programlarında çözüm olanağı sunduğu için ve ayrıca karar verme teknikleri arasında sunduğu avantajlardan dolayı literatürde en sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. AHS, ayrıca matematiksel işlemlerde de kolaylık sağlaması açısından ÇKKV yöntemlerinden en fazla tercih edilen yöntemlerden birisi olmuştur. AHS, hem sayısal hem de sayısal olmayan kriterleri aynı anda değerlendirme imkanı verdiği için bu yönü onu güçlü kılmaktadır. AHS, karar problemlerinin çözümünde tek başına kullanılabildiği gibi farklı yöntemlerle birlikte de kullanılabilmektedir.

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. TOPSIS yöntemi, yoğun rekabet ortamında işletmelerin performanslarını değerlendirmede ve karşılaştırmada, çoklu finansal oranlarını göz önünde bulundurarak çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. TOPSIS yönteminde mantık şudur, pozitif ideal çözüme yakınlığı ve negatif ideal çözüme uzaklığı ideal olan alternatifi seçmek. Bu uzaklıklar karşılaştırılarak uygun seçeneğin elde edilmesi için tercih sıralaması yapılır. Pozitif ideal çözümde; fayda kriterini maksimize, maliyet kriterini minimize eden bir çözüm söz konusu iken; negatif ideal çözümde ise; fayda kriterini minimize, maliyet kriterini ise maksimize eden bir çözüm söz konusudur. Mesela; bir işletmenin amacı kar etmek ise, o zaman minimum maliyetle maksimum fayda sağlaması gerekmektedir. Ama amacı çalışanların memnuniyetini sağlamak ise o zaman da maliyeti minimum kılıp faydayı maksimize etmesi gerekmektedir (Chen, 2000, s. 2). TOPSIS yöntemi, sunduğu avantajlardan dolayı işletme yönetimi ve gündelik yaşamla ilgili ÇKKV problemlerine çözüm getirme açısından araştırmacılar tarafından sıkça kullanılan bir yöntem olmaktadır (Yıldırım ve Önder, 2014, s. 134).

3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Özellikleri

Birden çok alternatif ile kriterin yer aldığı durumlar söz konusu olduğunda en uygun olan alternatifi belirlememize yardımcı olan ÇKKV yöntemlerinin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz (Cengiz, 2012, s. 11):

- ÇKKV yöntemlerinde karar problemlerine çözüm getirmek için belirlenen birçok alternatif arasından yalnızca sınırlı sayıda alternatif seçimi yapılır.
- Bireylere özgü yönetsel bir görev olan ÇKKV yöntemlerinin sadece araçlar, teknikler ve algoritmalar ile yürütülmesi söz konusu değildir.
- Bu yöntemler karar verme problemleri ile ilgili kriterlere sahiptir ve bu kriterlerin önem ağırlıklarını bulabilmek için belli bilgilere ihtiyaç duymaktadır.
- Kriterlerin ağırlıkları karar vericiler tarafından belirlenebildiği gibi, çeşitli yöntemlerle de kriter ağırlıkları belirlenebilir.
- Karar matrisi adı verilen, satırlarında alternatiflerin sütunlarında kriterlerin bulunduğu matriste yöntem kolaylıkla ifade edilebilir.

3.2. Çok Kriterli Karar Verme Problemleri

ÇKKV problemlerini; seçim problemleri, sınıflama problemleri ve sıralama problemleri olarak üç gruba ayırabiliriz (Yıldırım ve Önder, 2014, s. 19).

Seçim Problemleri: Amaç, alternatifler arasından en iyi olanı belirlemek veya birden çok alternatifin bulunduğu birbirleriyle kıyaslanmalarının zor olduğu veya eşit ağırlıklara sahip kümeler içerisinde en uygun olan seçimin yapılmasıdır. Seçim problemlerinde; AHS, AAS, PROMETHEE, ELECTRE I, MAUT/ UTA, VIKOR, MACBETH, TOPSIS ve Hedef Programlama yöntemleri kullanılmaktadır.

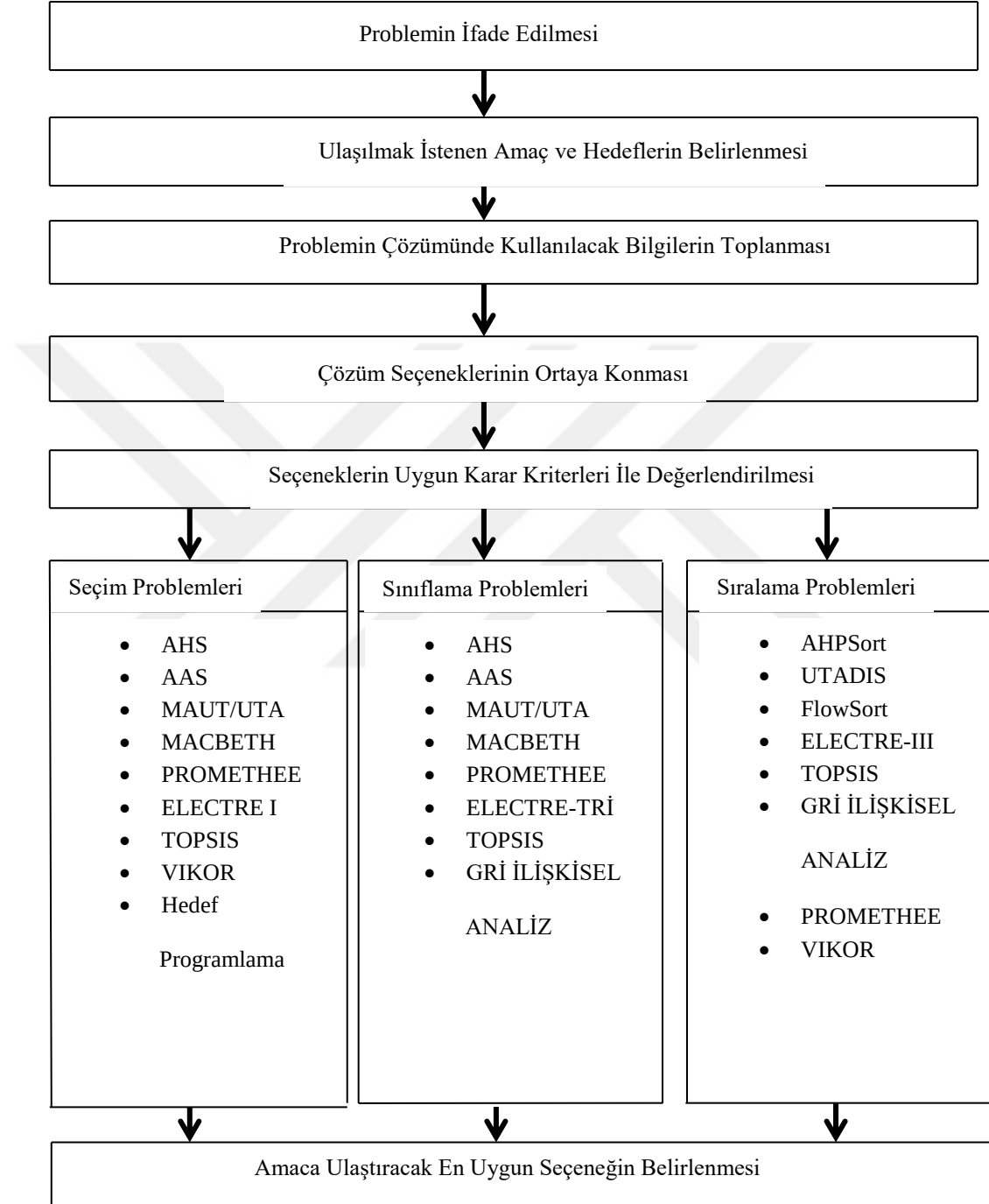
Sınıflama Problemleri: Bu gibi problemlerde alternatifler, belli bir kriter veya tercihe göre sınıflanırlar. Amaç belli davranışlara ve özelliklere sahip alternatiflerin yeniden bir araya getirilmesidir. Sınıflama problemlerinde; AHS, AAS, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE-TRİ, GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ, MAUT/ UTA VE MACBETH yöntemleri kullanılmaktadır.

Sıralama Problemleri: Sıralama problemleri alternatifleri, iyiden kötüye doğru tanımlayabilen veya ölçebilen problemler olarak bilinir. Sıralama problemlerinde; FlowSort, AHPSort, UTADIS, TOPSIS, PROMETHEE, GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ, VIKOR ve ELECTRE-III yöntemleri kullanılmaktadır.

3.3. Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Çok Kriterli Karar Verme sürecinin algoritmik adımları Şekil 3.1’de verilmiştir. Önce problem tanımlanır, daha sonra ulaşılmak istenen amaç ve hedef belirlenir,

problemle ilgili bilgiler toplandıktan sonra çözüm seçeneklerini ortaya koymak için de uygun kriterlere karar verilir (Özdemir, 2016, s. 11-12).



Şekil 3. 1. Çok kriterli karar verme süreci algoritması

Problemın İfade Edilmesi

Karar verme sürecinin ilk adımıdır. Bu adımda, çözölmesi gereken bir problem söz konusu olduğunda problemi tanımlamayı sağlayacak bütün bilgiler toplanarak bir araya getirilir ve problem daha net bir şekilde tanımlanır. Problemın doğru olarak tanımlanması en önemli adımdır. Çünkü diğer adımlar ne kadar kusursuz bir şekilde uygulanırsa uygulansın, eğer problem doğru tanımlanmamış ise elde edilecek sonuç da gerçek problemi ortadan kaldırmayacaktır.

Ulaşılmak İstenen Amaç ve Hedeflerin Belirlenmesi

Karar problemi tanımlandıktan sonra amaç ve hedeflerin de açık ve net bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Amaç belirlenirken “ problemın çözölümüyle ulaşılmaq istenilenin ne olduğu” sorusuna cevap aranır. Hedef belirlenirken de “amaca ulaşmaq için nelerin yapılması gerektiğı” sorusuna cevap aranır. Amacı gerçekleştirebilmek için birçok hedefin de gerçekleştirilmiş olması durumu söz konusu olabilir. Amaç uzun vadede gerçekleştirilirken, hedef daha kısa bir dönemde (vadede) gerçekleştirilmektedir.

Problemın Çözölümünde Kullanılacak Bilgilerin Toplanması

Problemın çözölümü için gerekli olan bilgilerin tam olacak şekilde zamanında, doğru ve yeterli düzeyde elde edilmesi gerekir ki bu da problemın çözölümü için büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten, karar verilirken hangi faktörlerin etkili olduğu, bu faktörlerden hangilerinin kontrol edilip edilemeyeceğı incelenir. Bu işlem yapıldıktan sonra karar verici çözölüme ulaşır ve nasıl bir yöntem izlemesi gerektiğıne de karar verir.

Çözölüm Seçeneklerinin Ortaya Konması

Bu adımda problemın potansiyel çözölümü için gerekli olan bütün alternatif (seçenek veya strateji) hareket biçimleri belirlenir. Alternatiflerin uygulanabilir olması gerekir. Seçenekler, ifade edilen amaca ulaşmaq için ya da bulunan problemın çözölümü için kaynakların nasıl kullanılması gerektiğini gösterir. Kararın verilmesini sağlayacak seçimin, bu aşamada belirlenecek seçenekler arasından yapılması söz konusu olduğu için olası tüm sonuçların ortaya konması önem arz etmektedir.

Seçeneklerin Uygun Karar Kriterleri İle Değerlendirilmesi

Seçenekler, nceki adımlarda belirlenen uygun karar modeli ve tekniklerin kullanılması ile amaç, hedef ve kriterler açısından değerlendirmeye alınır.

Amaca Ulaştıracak En Uygun Seçeneğin Belirlenmesi

Her bir seçenek uygun karar kriterleri dikkate alınarak ve belirlenen bir karar modeli kullanılarak değerlendirmeye tabii tutulur ve daha sonra ise, elde edilen sonuçlar neticesinde en iyi zm veren seçenek belirlenir.

3.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

ÇKKV yöntemlerinin karar vericiye fayda sağladığı birtakım avantaj ve dezavantajları yer almaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir (Cengiz, 2012, s. 12):

Avantajları:

- Birden çok kriterin yer aldığı ve bu kriterlerin birbirleriyle çelişmesi durumunda karar verme sürecini başlatır.
- Karmaşık, zm üretilmesi zor konuları kolaylaştırarak karar verme sürecinin sistematik bir şekilde işlemesine yardımcı olur.
- Nitel, nicel ve çok büyük sayıdaki veri setlerine değer kazandırabilirler.

Dezavantajları:

- Sorunların matematiksel olarak net bir şekilde tanımlanamaması durumunda çözümler sadece uzlaşık olarak elde edilebilir. Elde edilen uzlaşık çözümlerin en iyi çözümü olabilmesi için karar vericinin ve öznel bir yargının söz konusu olması gerekir.
- Alternatifler arasından bir alternatif bir kritere göre diğerlerinden daha üstün çıkıyor ise ve diğer kriterlerde tam tersi bir durum söz konusu olduğunda bu sorunun giderilebilmesi için ek bir modellemeye ihtiyaç duyulabilir.

4. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜME TEORİSİ

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık teori, dilsel (sözel) terimlerden kaynaklanan belirsizlikleri modellemek amacıyla 1980'li yıllarda ortaya atılan matematiksel bir disiplin olmakla birlikte; sözel algı ve yorumları içeren sistemleri modellemek amacıyla kullanılmıştır (Marler vd. , 2004). Dilsel değişkenler (terimler), açıklanmasının tam olarak yapılamadığı kavramların yaklaşık bir değer almalarına yardımcı olurlar. Böylelikle dilsel değişkenler, dilsel ifadelerin matematiksel olarak açıklanabilmesi için bulanık kümelerin kullanılması gerektiğini öngören bazı sorumluluklar da almış olurlar (Türkbey, 2003, s. 87). 1980'li yıllarından bu yana bulanık teori, birtakım etkenlerle mücadele ede ede yoluna devam etmiş ve ilerleme sarf etmiştir. Fakat bulanık teoriye ilk zamanlarda daha çok şüphe ile yaklaşmış ve hatta bazı kesimlerde ise açıkçası düşmanlıkla karşılanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde etkili birkaç bilim adamı, teorinin daha ilk gelişme evresinde çok tepki göstermiş ve teoriyi kabullenmemek ve kabul ettirmemek için birtakım sorunlar yaratmaya başlamışlardır. Ancak bu yaşanan tatsız olaylara karşılık tanınmış çok sayıda Japon akademisyen bu teoriyi desteklemiş ve bununla birlikte çok sayıda başarılı uygulama ve teoride gelişmeler ortaya koymuşlardır (Gençer, 1991, s. 239).

4.1. Bulanık Mantık

Günlük yaşantımızda karşı karşıya kaldığımız birçok sorun ya da olayı kendi kişisel değer yargılarımız doğrultusunda düşüncelerimizi inceleyebilir ve yorumlayabiliriz. Mesela “hava soğuk” denildiğinde birçok kişi kesinlikle hava sözcüğünün günlük yaşamda karşılık gelen kullanımını algılayabilmektedir fakat “soğuk” sözcüğünün taşıdığı anlam göreceli olarak birbirinden farklılık gösterebilmektedir. İzmir’de yaşayan bir kişinin soğuk kelimesi için 7°C ‘yi algılıyor olmasına karşın Erzurum’daki bir kişi için bu algı -10°C olabilir. Bu iki değer arasında yer alıp da değer verecek birçok kişinin görüşü ise başka derecelerde olduğu söylenebilir. Dolayısıyla soğuk kelimesinin altında insanların anlam yüklediği sayısal zihniyetin bir sonucu olarak belirsiz bir durumun kendini göstermesi söz konusu olabilmektedir. Bu durum rastgele olan bir durum değildir ancak belirsiz bir durumdur. Kelimelerin böyle bir şekilde ima ettikleri belirsizliklere bulanıklık (fuzzy) adı verilir (Şen, 2002a, s. 10). İnsan beyninin çalışma sisteminin benzetimi çalışmaları sonucunda ortaya çıkan ve yapay zekânın alt dallarından biri olan Bulanık Mantık (BM), bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir sistemdir. Bulanık mantık, bulanık küme

teorisinden türetilmiş ve birçok problemdeki belirsizliği matematiksel olarak modellemek ve çözmek için geliştirilmiştir. Bulanık mantık, ilk defa 1965 yılında Azeri asıllı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından Aristo mantığının savunduğu “Bir nesne kümeye ya aittir ya da ait değildir” şeklindeki ikili mantık sisteminin sahip olduğu mantığın tersini savunan bir mantığı savunmak amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Bulanık mantıkta kullanılan kontrol sistemlerinin temelinde, mantıksal ifadeler ile bu anlatımlar arasındaki bağlantılar değerlendirilmektedir. Bulanık mantıkta, sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmadan, sözel değişkenler kullanılarak kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir.

Bulanık mantık; doğrusal olmayan, açıklanması ve modellemesi güç ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz ya da kesin olmadığı durumlarda proses kontrolünde oldukça başarılı bir metottur. Yani bulanık mantık, belirsizlik içeren ve çok fazla sayıda değişkene bağlı karmaşık problemlere, gerçeğe en yakın çözümler bulmada kolaylık sağlayan esnek bir yöntem olarak bilinir. Karar verme süreçlerini modelleyerek belirsizlik içeren sözel ifadeleri sayısallaştırması özelliğine sahip olması, bulanık mantığın en önemli avantajlarındanıdır. Bulanık mantık, insan mantığında olduğu gibi çok geniş- geniş-orta-dar -çok çok dar gibi ara değerlerle de çalışabilir.

Günlük hayatta karşımıza çıkan ve çözülmeyi bekleyen birçok sorunda, nesnel ve öznel olmak üzere iki türlü bilgi yer almaktadır. Bu bilgilerden nesnel bilgi, matematiksel modeller gibi mühendislik sorunlarında daima ele alınırken; öznel bilgi ise, kurallar, uzman bilgisi ya da tasarım gereklilikleri gibi klasik matematiğin yetersiz veya ifade edilmesinin imkânsız olduğu durumlarda ele alınmaktadır. Ayrıca, yaşanan çevredeki karmaşıklığın nedeni, genel olarak ya belirsizlik ya da mutlak kararların verilememesinden kaynaklanır ve pek çok konuda elde edilen bilginin tam olmayışından kaynaklanan belirsizlikler ile daima karşılaşılabilir. Bir olayın gerçekliğinin insan beyni ile tam olarak kavranmasının mümkün olmadığı durumlarda böylesi durumlar, yaklaşık ifadelerle düşünülerek yorumlanır (Şen, 2004, s. 7).

Bahsi geçen ve kaçınılmaz olarak adlandırılan belirsizlik, günümüz piyasalarında yer alan işletmeler için de bir sorun teşkil etmektedir. İşletmelerin piyasalarda yer edinebilmesi; yüksek kaliteli, düşük maliyetli ürünlerin ya da hizmetlerin gerçekleştirilebilmesine bağlıdır ve bu durum, işletme stratejisi açısından araştırma mevzusu durumuna gelebilmektedir. Aynı zamanda, günlük hayatta karşılaşılan

karmaşık ve belirsiz sistem problemlerinin çözümünde kullanılan klasik yöntemler, işletmelerinin başarısını artırma konusunda tek başlarına yeterli olamamaktadırlar. Bu yöntemlerin tek başlarına yeterli olamamalarının nedenlerini ise şöyle sıralayabiliriz (Meziane vd. , 2000, s. 218):

- Süreçlerin doğasında yer alan ve engellenmesi zor değişkenlik,
- Tam olmayan veya gerekenden fazla bilgi,
- Eksik tanımlanmış süreçler,
- Müşteri ihtiyaçlarına veya teknolojik gelişmelere bağlı olarak devamlı değişen prosesler ve günlük problemlerdir.

Klasik yöntemler aynı zamanda, sözel bilgiye ihtiyaç duyulan, kişilerin yargılarından ve algılarından etkilenen sistemler için de yetersiz gelmektedir (Jang vd. , 1997, s. 54). Bundan sebeple, sistemlerdeki belirsizlik ve karmaşıklıktan dolayı matematiksel olarak formüle edilemeyen ya da çözülmesine imkân olmayan karmaşık sorunlar, sezgisel yöntemler ile bilgisayarlardan da faydalanılarak çözülebilir. Bilgisayarların bu özellikte olmalarını sağlayan ve bu yetenekleri kazandırarak gelişmelerini sağlayan çalışmalara yapay zekâ denir. Yapay zekâ; insan zekâsını anlama, yorumlama ve çıkarımda bulunma gibi özellikleri içeren makineler yaratmayı hedefleyen, zeki davranışların otomasyonunu inceleyen bilgisayar biliminin bir dalı olmaktadır. Yapay zekânın; uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, zeki birimler, robotikler, bilgisayarlı görme, doğal dil işleyicileri ve bulanık mantık olmak üzere birçok yöntemi bulunmakla birlikte aynı zamanda günlük hayatta da çok sık yararlanılmaktadır. Bulanık mantık, bu yöntemler arasından endüstri tarafından kabul edilen ve çok fazla uygulama alanına sahip bir metot şeklinde düşünülebilir (Öztemel, 2003, s. 13).

Bulanık mantığın sahip olduğu birtakım genel özellikler yer almaktadır. Bu genel özellikleri Zadeh şu şekilde tanımlamıştır (Elmas, 2007, s. 186-187):

- Bulanık mantık, kesin olan değerleri düşünmeyi kullanmaktan ziyade, ortak bir düşünmeyi tercih eder.
- Bulanık mantıkta bilgiler sözel (büyük, küçük, çok, az, çok az vb.) olarak ifade edilir.
- Bulanık mantıkta $[0,1]$ kapalı aralığında her şey belirli bir derecede gösterilir.

- Bulanık çıkarım işlemi, çeşitli sözel ifadelerin birbirleri arasındaki tanımlanan kurallara göre yerine getirilir.
- Mantıksal olarak kabul gören bütün sistemler bulanık şeklinde tanımlanabilir.
- Elde edilecek matematiksel modelin çok da kolay olmadığı sistemlerde bulanık mantık devreye girmektedir.
- Bulanık mantık kesin olarak bilinmeyen ya da bir bilgi eksik girildiğinde bile işlem yapabilmektedir.

Klasik mantık, “doğru” veya “yanlış” olabilen, anlamı açık olan önermelerle işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bir ifadenin, klasik mantıksal işlem süreçlerinde dikkate alınabilmesi için onun kesin bir yargı bildirmesi gerekir. Bu yargılar doğru veya yanlış olabilir. Önerme demek, yanlış ya da doğru olabilen bir ifade demektir. Klasik mantıkta bir önermenin doğruluk değeri için başka bir ara değere gerek yoktur. Doğru önermeler “1” ile, yanlış önermeler ise “0” ile temsil edilmektedir. Klasik mantıkta yapılan sınıflandırmalar kesindir, şöyle ki; bir eleman bir kümeye ya aittir ya da ait değildir, kısmi üyelik söz konusu değildir. Kısaca ifade edilecek olursa, klasik kümelerde (0, 1) mantığı yer almaktadır. Bulanık mantıkta ise, Aristo mantığının farklı bir şekli olan insan mantığının taklit edilerek belirsiz ve yaklaşık durumlarda işlem yapması söz konusudur. Bulanık mantıkta bir eleman birden fazla kümenin elemanı olabilir.

Bulanık kümelerde bir nesne bir grubun kısmi olarak üyesi olabilir. Üyelik derecesi, üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan genelleştirilmiş bir karakteristik fonksiyon sayesinde tanımlanır.

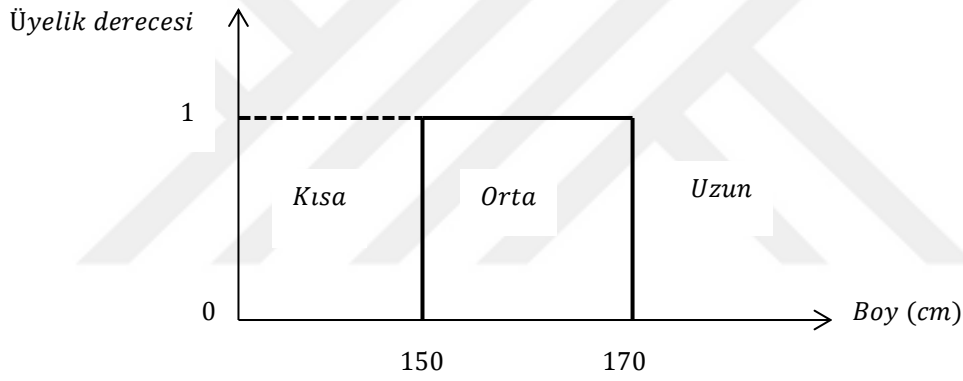
$$\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1] \quad (4.1)$$

X genel bir küme olmak üzere, $\tilde{A}$ bulanık kümesi X 'in bir bulanık alt kümesidir.

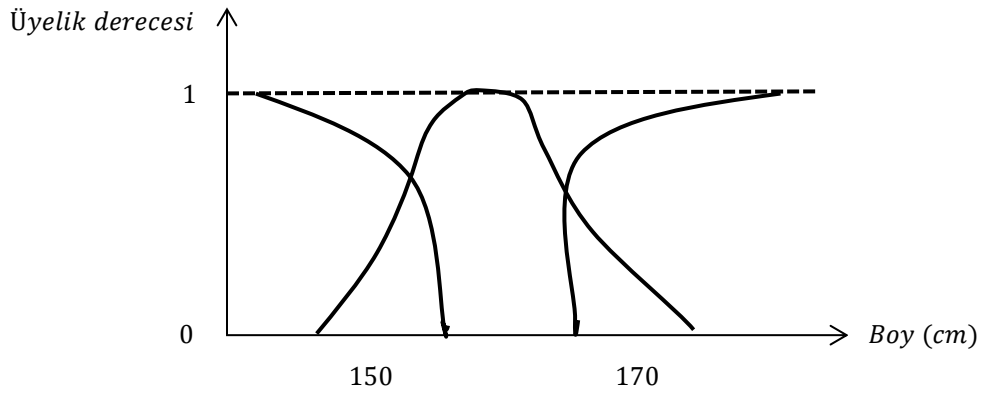
Burada, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ değeri bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir. Üyelik fonksiyonu, $\tilde{A}$ bulanık kümesine ait elemanların bulunmak istenilen özelliğe ne kadar uygun olup olmadığını ifade etmektedir.

Örneklendirmek gerekirse;

Türk İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre (<http://tuik.gov.tr>) ülkemizde bir bayanın ortalama boy ölçüleri; 0-150 cm arası kısa, 150-170 cm arası orta ve 170 cm ve üzeri ise uzun olarak verilmiştir. Şekil 4. 1’de görüldüğü gibi klasik küme yaklaşımı; 0 – 150 cm’yi kısa boylu, 150 – 170 cm’yi orta boylu ve 170 cm üzerini ise uzun boylu sınıfına dâhil etmektedir. Bu durumda klasik küme yaklaşımına göre, 169 cm uzunluğundaki birisi orta boylu sayılırken; 171 cm uzunluğundaki birisi ise uzun boylu varsayılmaktadır. Bu durumu Şekil 4. 2’de görünen bulanık küme teorisine göre inceleyecek olursak, boyu 170 cm olan birisi hem belli oranda orta hem de belli ölçüde uzun boylu varsayılmaktadır. Bu demek oluyor ki bulanık mantıkta daha esnek bir yaklaşım ve kısmi üyelik söz konusudur.



Şekil 4. 1. Klasik küme teorisi



Şekil 4. 2. Bulanık küme teorisi

Bulanık mantık, anlaşılması kolay ve arka plandaki teorileri basit olan bir yaklaşımdır:

“Esnek olup da kesinliği tam olarak belli olmayan verileri, belirsizlik ve olasılık gibi durumları, karmaşık yapıdaki ve lineer (doğrusal) olmayan fonksiyonları uzman kişi görüşüne dayandırarak modelleyebilen ve uzman sistemlerin yeteneğini arttırma özelliğine sahip bir yaklaşımdır. Aynı zamanda bulanık mantığın doğal konuşma diliyle modelleme imkânı sağlayan bir yönü de bulunmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004a, s. 41-42).”

Bulanık mantık, günümüzde karşımıza çıkan olaylara üyelik dereceleri atayarak olayların hangi oranlarda gerçekleşebileceğini belirlememize yardımcı olan ve bize daha doğru sonuçlar elde etmemizi sağlayan bir mantık sistemidir. Şöyle bir örnek vererek konuya açıklık getirebiliriz; diyelim ki bir ülkenin farklı şehirlerindeki meydana gelen hava kirliliğini ölçüp sonrasında ise ölçümlerini modelleyerek problemi oluşturmaya çalışalım. Havanın kirli ya da kirli olmayışı biçiminde bir modelleme yapmak yerine havanın ne derecede kirli olduğuna dair bir model oluşturmak bizi daha doğru sonuçlar elde etme yoluna götürecektir.

Bulanık mantık, belirsiz durumlarla ilgilenen bir sistemdir. Bulanık mantık, insan doğasından yola çıkarak, insana ait dilsel değişkenler yardımıyla belirsizlikleri ifade etmeye çalışır. Bulanık mantıkta amaç, belirli bir problemde kesin ve tam olmayan bilgiler söz konusu olduğunda insanlara tutarlı ve doğru bilgi sağlayabilmek ve insanlara karar destek sistemi sağlayabilmektir (Türkbey, 2003, s. 82). Bu da şu demek oluyor bulanık mantık, önermelerin doğruluk derecelerini belirlemektedir. Yani bir önermenin doğruluğu, doğru olan önermenin kesinlik derecesine bağlıdır.

Temelinde bulanık mantığın yattığı bulanık sistemler, bulanık mantık yaklaşımını ele alan proseslerin oluşturulması, performanslarının değerlendirilmesi ve gözlemlenerek değerlendirilmesi için geliştirilen sistemler olup, “eğer-o halde” şeklindeki bulanık kurallardan oluşan bilgi tabanlı ya da kural tabanlı sistem olarak adlandırılabilir (Pillay ve Wang, 2003, s. 75).

Bulanık mantık, birçok karmaşık problemin ya da sistemin çözümünde kullanılmıştır ve bu kullanılışının sebebi ise birkaç madde ile şöyle sıralanabilir (Yılmaz ve Arslan, 2005, s. 515):

- Hem anlaşılması kolay hem de matematiksel teorisi basittir.
- Doğal olduğu gibi aynı zamanda işlemler sırasında insanların günlük hayattaki dilini kullanmaktadır.
- Yeterli olmayan ya da eksik olan bilgilerle işlemler yapabilmektedir.
- Hem doğrusal olmayan hem de karmaşık fonksiyonları modelleyebilmekte; hem de farklı yöntemler ile birlikte kullanılarak bulanık modeller oluşturulmasına yardımcı olabilmektedir.
- Uzman kişilerin tecrübe ile görüşlerini model içine alabildiğine yardımcı olabildiği gibi bu sözel bilgilerle işlem yapabilmelerine de yardımcı olabilmektedir.

Bulanık sistemler, endüstriyel proses kontrol sistemleri ve buna benzer uygulamalarla birlikte; tahmin etmede, karar vermede, iklimlendirmede, otomobil kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, görüntülü tanımlama, biyoinformatik, veri madenciliği, jeoloji, işletme, yöneylem araştırması gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bulanık sistemlere birkaç örnek verecek olursak; Matsushito'nun bulanık elektrikli süpürgesi ve çamaşır makinesinin pek çok Japon evinde kullanılıyor olması. Çamaşır makinesi yıkanacak çamaşırları değerlendirerek lüzum gördüğü kadar deterjanı alır, su sıcaklığını ayarlar ve daha sonra ise yıkama biçimini seçerek hangi program olması gerektiğini seçer. Bir başka örnek ise; yine Matsushito'nun video kamerasının kamerayı tutan elin titremesini ve merceklere otomatik olarak ayarlayıp görüntünün netliğini sağlamasıdır. Bulanık mantığın birçok uygulama alanı bulunmaktadır. İlk uygulama Mamdani tarafından 1974'te bir buhar makinasına uygulanmış ve ticaret hayatında ise ilk kez Danimarka'da bulunan bir çimento fabrikasında kullanılmıştır. Dünyanın en gelişmiş metrosu olarak bilinen Sendai metrosu da bu sistemle çalışmaktadır. Bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden ayrılan özelliği, dilsel bir şekilde ifade edilen değişkenleri kullanmasına olanak veriyor olmasıdır. Günün her anı evde kullanmakta olduğumuz ev eşyalarına bulanık mantık uygulanarak büyük ölçüde zaman ve enerji tasarrufu kazandırılmıştır.

Tablo 4. 1. *Bulanık mantık uygulamaları (Kaynak ve Armağan, 1992)*

	Kullanan	Kullanım Amacı
Asansör Denetimi	Fujitec/Toshiba Mitsubishi Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirerek bekleme zamanını azaltır.
SLR Fotoğraf Makinası	Sanyo-Fisher, Canon, Minolta	Ekranda birkaç obje oluşturarak en iyi odağı ve aydınlatmayı belirler.
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulmasından kaynaklanan titreşimin çekim sırasında oluşmasını engeller.
Çamaşır Makinası	Matsushito	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş türünü algılar ve o doğrultuda yıkama programını belirler.
Elektrikli Süpürge	Matsushito	Yerin durumuna ve kirliliğine göre motor gücünü kullanarak uygun bir şekilde ayarlama yapar.
Su Isısını Ayarlayıcı	Matsushito	Kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ısıyı ayarlar.
Klima Aygıtı	Mitsubishi	Ortam koşullarını hissederek daha iyi bir çalışma durumu belirler, odaya birisinin girmesi durumunda hemen soğutmayı artırır.
Otomobil Aktarma Organı	Subaru, Nissan	Araba kullanım sitalini ve motor yükünü hissederek en iyi dişliyi seçer.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmesine engel olarak frenlenmesini sağlar.
Polat Sanayisi	Nippon Steel	Tradisyonel kontrolörlerin yerine geçer.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Rahat bir yolculuk sağlamak için hızlanma ve yavaşlamayı ve durma pozisyonunu iyi ayarlayarak, güçten tasarruf etmeyi sağlar.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chemicals	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Tansiyon Aleti	Omron	Kan basıncını ölçmeye yardımcı olur.
Isı Denetleyicisi	Omron	Bir PID denetleyici ile hibrid çalışır, ansızın meydana gelebilecek değişikliklerde PID denetleyicinin vazifesini devir alır.
PCC	Omron	Fabrikalarda süreci denetlemek için kullanılır.
Televizyon	Sony	Görüntülüğün kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar.
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı yardımıyla veri ve komut girişine yardımcı olur.
Hisse Senedi Alış Satış İzlencesi	Yamachi Securities	Hisse senedi portföyünü idare eder.
Yanlış Diyagnozu	Goongzhou	Süreci neresinde hata olduğunu tespit eder.
Üretimi Tasarlama	Türkşen	Üretimi tasarlamada bulanık mantık kullanılmaktadır.

4.1.1. Bulanık mantığın avantaj ve dezavantajları

Avantajları:

- ❖ Çok sayıda değer, kural ve kararlara gerek olmaması.
- ❖ Gözlemlenen değişkenlerden çok sayıda değişkenin değerlendirilebilmesi.
- ❖ Daha çok; dilsel ve nümerik olmayan değişkenler kullanılmakta ve bu da insanın düşünce yapısına benzetilmektedir.
- ❖ Karmaşık durumlar için daha az kuralın yer alıyor olması.
- ❖ Bulanık mantığın yapısı gereği daha güçlü olması.
- ❖ Bulanık mantığın tasarımı kolay olduğu için geleneksel kontrol sistemlerinden daha ucuza mal edilebilmesi.
- ❖ Daha kolay bilgi kazanımı ve gösterimi sağlayabilmesi.
- ❖ Basit olmasından dolayı bulanık mantığın, daha önce çözülmemiş problemlerin çözülmesine imkân tanınması.
- ❖ Sistemi tasarlayanın, çalışmaya başlamadan önce sistem ile ilgili her şeyi öğrenmesinin gerekli olmamasından dolayı ön model (ilk örnek) oluşturmayı hızlandırabilmesi.
- ❖ Girdi ile çıktı arasında, değişkenlerin hepsinin anlaşılmasına gerek duymadan bağlantının kurulmasını sağlaması, geleneksel kontrol sistemlerine göre daha hassas ve değişmeyen (sabit) sistemlerin tasarımına imkân vermesi.

Dezavantajları:

- ❖ Bulanık bir sistemden model geliştirmenin zor olması.
- ❖ Geleneksel sistemlere göre daha kolay ve hızlı ön model oluşturulur, fakat bulanık yöntemleri ele almadan önce ince ayarları ile benzetimlerini yapmak gerekmektedir.
- ❖ Bulanık mantığın belki de en büyük zorluğu, Amerika'da kültürel temayüllerin kontrol sistemi için matematiksel hassasiyet ya da kesin sistemler ve lineer sistemler olmasıdır.

4.2. Bulanık Küme Teorisi

Az, orta, çok, daha çok, düşük, daha düşük, sık gibi dilsel terimlerin kullanılarak verileri dereceli olarak modellemeye yarayan ve böylelikle de olaylarda meydana gelen belirsizliklerin modellenebilmesinde daha gerçek ve doğala daha yakın sonuçların elde edilmesini sağlayan teoriye bulanık küme teorisi adı verilir (Nabiyev, 2005, s. 668). Bulanık küme kavramı, günümüzde karşımıza çıkan belirsizliklerin matematiksel bir şekilde açıklanmasını ve bir fonksiyon yardımıyla anlatımının sağlanmasını öngörür. Dolayısıyla sayısal değişkenler yerine dilsel değişkenleri ele alarak çözüm üretmeye çalışması yönüyle bulanık küme teorisi klasik küme teorisinden ayrılan en önemli özellik olma eğilimine sahiptir (Atacak ve Bay, 2004, s. 206). Dilsel değişkenler, değer olarak sözcükleri ya da cümleleri dikkate alan değişkenler iken; sayısal değişkenler değer olarak sayıları dikkate almaktadır. Bu farklılık iki değişkeni birbirinden ayıran önemli bir özellik olma eğilimindedir (Türkbey, 2003, s. 87). Sözel değişkenlerin, sayısal değişkenlerden daha az belirli olmasından dolayı sözel değişkenler kullanılmak istenmektedir. Mesela, ‘‘Ahmet, yaşıdır’’ cümlesi, ‘‘Ahmet, 65 yaşındadır.’’ cümlesinden daha az belirlidir (Zadeh, 1975a, s. 201).

Klasik matematikte karşılaşılan bir küme $A = \{ x | x = 2y, y \text{ doğal sayı} \}$ olsun. Görüldüğü üzere, A kümesi bütün çift doğal sayıları içine alan kümedir. Böylece, herhangi bir x doğal sayısı eğer çift bir sayı ise o zaman o sayı A kümesinin bir elemanı olacaktır. Tersine bir durum söz konusu olduğunda ise o zaman sayı A kümesinin bir elemanı olmayacaktır. Bu durumu aşağıdaki gibi birinci elemanı üyelik derecesini, ikinci elemanı ise sayıyı ifade eden sıralı bir çift ile şöyle gösterebiliriz:

$$A = \{ (0,1), (1,2), (0,3), (1,4), \dots \}$$

Açıkça görülmektedir ki, klasik kümelerde bir eleman o kümeye ya aittir ya da ait değildir. Yani kısmi üyelik söz konusu değildir. Oysaki bulanık bir kümede, aidiyetin bir derecesi söz konusu olmaktadır. Bu dereceye üyelik derecesi denir ve bu derece $[0,1]$ kapalı aralığında süreklilik gösterir.

Bulanık kümeleri klasik kümelerden ayıran temel farkı şöyle ifade edebiliriz; klasik kümede bir elemanın kümeye ait olması ‘‘evet (1)’’, kümeye ait olmaması ise ‘‘hayır (0)’’ şeklinde ifade edilirken; bulanık kümede böyle kesin bir cevap söz konusu

olmamakla birlikte cevaplar $[0, 1]$ aralığında herhangi bir değer alabilmekte ve sürekli bir fonksiyon olarak ifade edilebilmektedir (Yılmaz ve Arslan, 2005, s. 514).

Günümüzde, sınırları kesin belli olmayan kümeler ile karşılaşırız. Kümede yer alan elemanların verilen kümeye kısmen ait olmasını kabul eden bulanık kümeler, bu özelliğiyle klasik kümelerden daha avantajlı bir durumdadır.

4.2.1. Bulanık küme ile üyelik fonksiyonu kavramları

Bulanık mantığın temelini bulanık kümeler oluşturmaktadır. Bulanık küme yaklaşımı, belirsizlik ortamlarında ortaya çıkan problemlere çözüm getirilmek ve karar verme uygulamalarında kullanılmak amacıyla Azeri asıllı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Zadeh şöyle demiştir; eğer bir sistemdeki karmaşıklık artıyorsa sistemi betimleyen ifadelerin anlamı hem azalır hem de anlamlı olan ifadeler belirsizliğe doğru gider. Zadeh, sistemdeki karmaşıklığın sebep olduğu belirsizliğe ilk defa 1965 yılında yayımlanmış olduğu ‘‘Bulanık Kümeler’’ isimli makalesinde yer vermiştir. Makalenin içeriğinde; bulanık kümelerin tanımından, temel işlemlerinden, kavramlarından ve özelliklerinden söz edilmiştir (Baykal ve Beyan, 2004a, s. 18). Bulanık küme teorisi, hayatta karşılaşılan belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilmesini ve bir işlev yardımıyla ifade edilmesini öngörmektedir. Bulanık küme teorisinde esas amaç, belirsizlik ifade eden, tarif edilmesi ya da anlamının anlaşılması zor terimlere üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik kazandırmaktır. Bulanık küme teorisi, karmaşık sistemlerin çözülmesi için ortaya atılmıştır. Bulanık küme teorisi, hem yeni alternatiflerin geliştirilmesine hem de karar vericiye kısıtlar altında alternatifleri değerlendirmeleri için karar verme imkânı sunmaktadır.

Bir x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesi ile olan ilişkisinin klasik mantıkta karşılık gelen karakteristik fonksiyonu:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & , x \in A \text{ ise} \\ 0 & , x \notin A \text{ ise} \end{cases} \quad (4.2)$$

şeklinde tanımlanır. Bunun da fonksiyon değer ‘kümesi’ $\{0,1\}$ ’dir. Bulanık mantıkta ise karakteristik fonksiyonun değer kümesi $[0,1]$ aralığındadır. Bu durumda bir elemanın $\tilde{A}$ bulanık kümesine ait olup olmaması değil, belli bir oranda ait olup olmaması söz konusu olacaktır.

Bulanık kümelerde ara değerler de yer alabilir. Mesela su ya sıcaktır ya da değildir demek yerine orta derecede sıcaktır gibi ifadeler de söz konusu olabilmektedir. Belirsizlik ve dereceleme olasılık teorisi ile modellenemediği için bulanık küme teorisi geliştirilmiştir (Tatlı ve Şen, 2001, s. 2).

Bulanık küme yaklaşımı, önceleri yapay zekâ alanında; sonraları ise yönetim bilimi, sayısal yöntemler, kontrol teorisi, uzman sistemler, sinir ağları, bulanık kontrol ve istatistik gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık küme yaklaşımı yöneylem araştırması alanında; karar vermede çok sık ele alınan lineer (doğrusal) programlama ve lineer olmayan programlama, dinamik programlama, tamsayılı programlama, çok amaçlı karar verme, kuyruk modelleri, oyun teorisi, şebeke analizi ve ulaştırma modelleri gibi problemlere çözüm getirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bulanık kümede üyelik fonksiyonu; $\mu_{\tilde{A}} \rightarrow [0,1]$ şeklinde tanımlanır (Özkan, 2003, s. 6). Matematiksel olarak ise şöyle ifade edilmektedir:

$$\forall x \in E: \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (4.3)$$

$$A = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x) | x \in E\} \quad (4.4)$$

Tanıma bakıldığında anlaşılan şu ki bulanık küme, olası kısmi üyelere izin veren kümedir. Burada, $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x 'in $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik derecesini ve E 'deki $\tilde{A}$ bulanık kümesi ise $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in E\}$ sıralı ikililerinin bir alt kümesini ifade etmektedir (Tomsovic, 1992, s. 288). $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 'in değeri, 1'e doğru yaklaştıkça x 'in $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyeliği de artmaktadır (Bojadziev ve Bojadziev 1995, s. 114). Üyelik fonksiyonları farklı şekillerde gösterilebilmektedir. Bunları şöyle sıralayabiliriz (Mendel, 2001, s. 21):

- E evrensel kümesi $E = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ şeklinde sonlu (kesikli) bir küme olsun. E 'deki bir bulanık küme şöyle tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} \forall x \in E \text{ için } A &= \mu_{\tilde{A}}(x_1) / x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2) / x_2 + \dots + \mu_{\tilde{A}}(x_n) / x_n \\ &= \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) / x_i \end{aligned} \quad (4.5)$$

E evrensel kümesi sonsuz yani sürekli ise, bulanık küme şöyle ifade edilebilir:

$$A = \int_E \mu_{\tilde{A}}(x) / x \quad (4.6)$$

4.2.2. Bulanık kümelerde yer alan başlıca terimler

Bu kısımda bulanık kümeleri ifade eden başlıca terimlerden bahsedilecektir.

Yükseklik

Bulanık bir kümede üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesine sahip olması, bu kümenin yüksekliği hakkında bize bilgi verir. Bu bir bulanık kümede herhangi bir noktada ulaşılan en büyük üyelik değerini ifade etmektedir. Bulanık bir kümenin yüksekliği 1'e eşit ise, bu bulanık küme normal bir bulanık kümedir denir.

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin yüksekliği;

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup(\mu_{\tilde{A}}(x)); \quad \forall x \in E \quad (4.7)$$

Şeklinde tanımlanmaktadır. Burada ‘sup’ en yüksek anlamında kullanılmaktadır. Eğer $\tilde{A}$ bulanık kümesi sonlu/kesikli bir evrensel kümenin içinde tanımlanıyorsa en küçük üst sınırını gösteren sup teriminin (supremum) yerine maksimum terimi kullanılır (Özkan, 2003, s. 39).

Normallik (normalizasyon)

Üyelik fonksiyonunun yeniden ölçeklendirilmesine normallik denir. Normal bulanık kümelerde, üyelik derecesi 1'e eşit en az bir tane üye söz konusu olmaktadır. Bu demek oluyor ki bir bulanık $\tilde{A}$ kümesi, ancak ve ancak $\text{Des}\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olursa normal kabul edilir. Aksi takdirde küme normal olmayan (normalaltı) olarak ifade edilir. Bu özelliği matematiksel olarak şöyle ifade edebiliriz (Tuncel, 1997, s. 9):

$$\text{Yükseklik}(\tilde{A}) = \sup(\mu_{\tilde{A}}(x)) = 1; \quad \exists x \in E \quad (4.8)$$

$A \subset R$ bulanık alt kümesi sadece ve sadece $\forall x \in R$ için $\forall_n \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ ise normal demektir. Başka bir ifadeyle, $\mu_A(x)$ 'in en büyük değeri 1'e eşit ise $\tilde{A}$ bulanık kümesine normal bulanık alt küme denir (Uzun, 1995, s. 2-3).

Şayet bulanık bir kümenin yüksekliğinin aldığı değer 1'den küçükse böyle kümelere normalaltı (subnormal) bulanık kümeler adı verilir (Özkan, 2003, s. 39). Eğer bir normalaltı bulanık küme boş değil ise, üyelik derecelerinin her biri en büyük üyelik derecesine bölünerek normalleştirilir (Bojadziev ve Bojadziev, 1995, s. 114). Bunu aşağıdaki formül yardımıyla yapabiliriz:

$$\text{NORM}(\tilde{A}) = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{\text{Yükseklik}(\tilde{A})} ; \forall x \in E \quad (4.9)$$

Destek kümesi

E evrensel kümesinde yer alan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ noktalarının oluşturmuş olduğu kümeye $\tilde{A}$ bulanık kümesinin desteği denir (Uzun, 1995, s. 2). Yani destek kümesi, üyelik derecesi 0'dan büyük değer alan elemanların meydana getirdiği kümedir. Bu küme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Destek}(\tilde{A}) = \text{Supp}(\tilde{A}) = \{x \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0 \text{ ve } x \in E\} \quad (4.10)$$

Kernel (Çekirdek) küme

Çekirdek küme, bulanık küme olan $\tilde{A}$ bulanık kümesine bütünüyle üye olan ya da bulanık $\tilde{A}$ kümesinin üyelik fonksiyonunda üyelik derecesi 1'e eşit olan elemanların bir araya getirilerek oluşturulan küme olarak bilinmektedir. Çekirdek küme de destek kümesinin olmadığı gibi bulanık olmayan bir küme özelliğine sahiptir. Çekirdek küme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Çekirdek}(\tilde{A}) = \{x \in E \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (4.11)$$

Sınır kümesi

Sınır kümesi, $\tilde{A}$ bulanık kümesinde yalnızca kısmi üyelik gösteren elemanların birleştirilmesiyle oluşturulan bir küme olarak bilinir. Başka bir deyişle sınır kümesi, evrensel küme olan E 'de tanımlı $\tilde{A}$ bulanık kümesine kısmi üyeliği olan elemanların bulunduğu klasik bir küme olma özelliğine sahip kümedir. Sınır kümesi, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Sınır}(\tilde{A}) = \{x \in E \mid 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1\} \quad (4.12)$$

Merkez

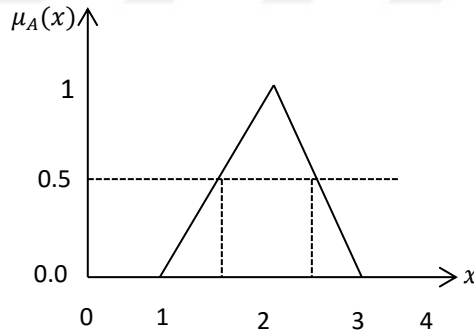
Bulanık bir küme olan $\tilde{A}$ bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunun maksimum değeri sonlu bir sayı olduğunda, bu kümenin içinde bulunan elemanların yaklaşık değeri bize, bulanık küme olan $\tilde{A}$ bulanık kümesinin merkezini vermektedir. Yaklaşık değer negatif ya da pozitif sonsuza eşitse üyelik fonksiyonunun maksimum değerine ulaştığı sınırlar arasında en büyük ya da en küçük olan noktaya merkez adı verilmektedir.

α – kesimi

Alfa (α) kesimler, bulanık kümelerden klasik kümeler üreten dilimlerdir. $\tilde{A}$ bulanık kümesinden üyelik dereceleri α 'ya eşit ya da α 'dan daha büyük olan elemanlardan oluşturulan klasik kümeye α – kesim kümesi denmektedir (Özkan, 2003, s. 40-42). Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin α – kesimi şöyle ifade edilebilir (Tomsovic, 1992, s. 288):

$$\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \text{ ve } x \in E\} \quad (4.13)$$

α , $\mu(x)$ üyelik fonksiyonunun bir değeridir. Bir üyelik fonksiyonu, bir kısıt değeri veya bir amaç değeri gibi, bir işlev değerini, bir kümede üyelik derecesine işaretlerken; bir α – kesimi, üyelik derecesini, işlev değerlerinin gerçek bir aralığına işaretler. Bir α – kesimi, ters bir üyelik işlevidir. Şekil 4.3, ‘yaklaşık iki’, $0.5_{(\text{yaklaşık iki})}=[1.5, 2.5]$ gibi bir bulanık sayı için genel bir üyelik fonksiyonu gösterir. $[1.5, 2.5]$, üyelik fonksiyonunun 0.5'e eşit veya daha büyük olduğu x değerlerinin aralığıdır (Marler vd. , 2004).



Şekil 4.3. ‘yaklaşık iki’ için üyelik fonksiyonu

α – kesimi, bulanık bir kümenin desteğinin genelleştirilmiş şeklidir ve görüldüğü gibi $\alpha = 0$ değeri için $\tilde{A}_\alpha = \text{Supp}(\tilde{A})$ ifadesi elde edilir (Uzun, 1995, s. 2).

$\tilde{A}_\alpha$ kümesi, $\alpha = 0$ için evrensel kümeye denk iken, $\alpha = 1$ için ise çekirdek kümeye denktir. Bu durumu matematiksel olarak şöyle ifadelendirebiliriz; sırasıyla $\tilde{A}_0 = E$ ve $\tilde{A}_1 = \text{kernel}(\tilde{A})$ 'dır. α – kesim kümelerinin sağlaması gereken birtakım özellikler bulunmaktadır. Bu özellikleri şöyle ifade edebiliriz (Özkan, 2003, s. 42):

$$(A \cup B)_\alpha = A_\alpha \cup B_\alpha \quad (4.14a)$$

$$(A \cap B)_\alpha = A_\alpha \cap B_\alpha \quad (4.14b)$$

$$(\bar{A})_\alpha \neq (\bar{A}_\alpha); \text{ eğer } \alpha \neq 0.5 \text{ ise} \quad (4.14c)$$

α – kesimi, zayıf ve kuvvetli α – kesimi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, zayıf α – kesimi;

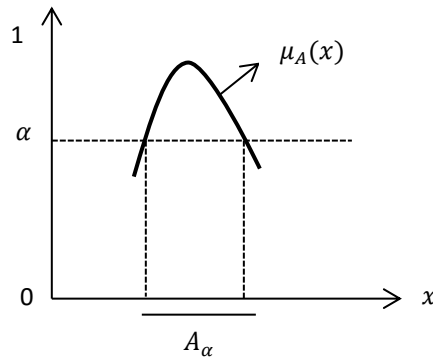
$$A_\alpha = \{x | \mu_A(x) > \alpha\}; \alpha \in [0,1) \quad (4.15)$$

ve kuvvetli α – kesimi ise;

$$A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}; \alpha \in (0,1] \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eğer $\tilde{A}$ bulanık kümesi, normallik özelliği gösteriyor ise $\alpha \in [0,1]$ olmaktadır.

Zayıf α – kesimi ile kuvvetli α – kesimi arasındaki temel fark; eşitlik işaretinin varlığından veya yokluğundan kaynaklanmaktadır. Eğer kümedeki üyelik işlevi süreklilik gösterirse zayıf α – kesimiyle kuvvetli α – kesimi arasındaki fark da kalkmış olur. Hesaplama yapılırken zayıf α – kesimi daha çok kolaylık sağlamaktadır. Şayet destek kümesi gerçel sayılardan meydana geliyor ise ve üyelik fonksiyonu da süreklilik gösteriyor ise dışbükey (konveks) bulanık bir kümenin zayıf α – kesimi şekil 4. 4'teki gibi kapalılığı olan bir aralık olmaktadır (Terano vd. , 1991, s. 29-30).



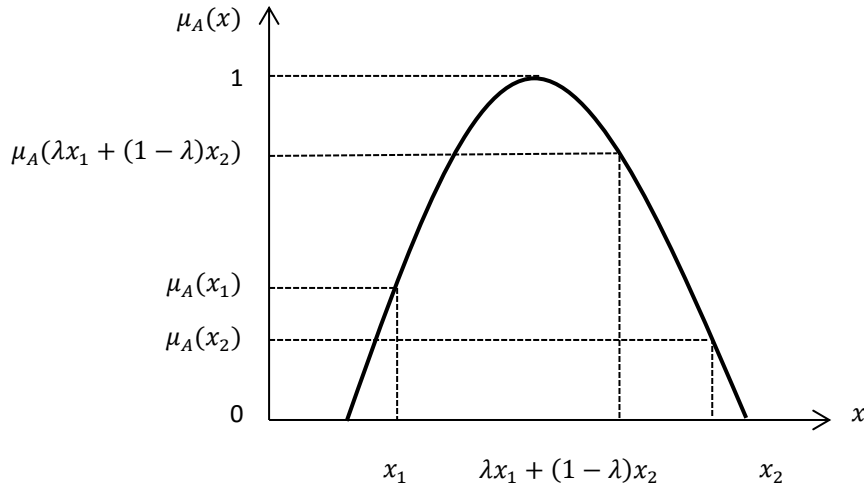
Şekil 4. 4. Zayıf bir α – kesimi

Dışbükeylik (konvekslik)

Dışbükeylik, üyelik fonksiyonunun sürekli artıyor, sürekli azalıyor ya da üçgen gibi olması durumudur. Bir kümede yer alan herhangi iki noktayı birleştirerek çizgide meydana gelen her nokta yani $x_1, x_2 \in E$ bu kümeye ait bir elemansa ve $\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2 \in E$ ise o zaman bu küme konvektir. Dışbükey özelliğine sahip bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde, ya sürekli artıyor ya da sürekli azalıyor ya da üçgen üyelik fonksiyonunda olduğu gibi önce sürekli olarak üyelik derecesi bir elemanda 1'e eşit oluncaya kadar artıyor ondan sonraki dayanağa düşen elemanlar için sürekli azalıyordur. Bu durumun tersi de söz konusu olabilir. Ancak bunlar bulanık kümeler için üyelik fonksiyonu olamaz. Dışbükeylik, klasik kümeler için taşıması gerektiği özelliklerin birden fazlasını muhafaza edecek biçimde bulanık kümelerle genişletilebilir. Bu durumun gerçekleştirilebilmesi için de, evrensel kümenin n-boyutlu öklitsel uzay R^n 'de tanımlı olması gerekir. Dışbükeylik, bulanık kümelerde özellikle optimizasyonla ilgili uygulamalarda oldukça yararlı olabilmekte, α -kesimlerine ya da üyelik fonksiyonlarına göre tanımlanabilmektedir. α – kesimlerine dışbükeylik, eğer α – kesim kümelerinin her biri konveks kümeysen bulanık küme $\tilde{A}$ da konveks bir kümedir. Üyelik fonksiyonlarına göre ise dışbükeylik, $x_1, x_2 \in E$ ve $\lambda \in [0,1]$ koşulları ile $\forall x_1, x_2 \in R$ ve $\forall \lambda \in [0,1]$ için $A \subset R$ kümesi aşağıdaki eşitliği sağlıyor ise dışbükeydir denir (Zimmermann, 1991, s. 15):

$$\mu_A[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad (4.17)$$

Yukarıda verilmiş olan dışbükey tanımının grafiksel gösterimi şekil 4. 5'te gösterilmiştir (Çelik, 2000, s. 13).



Şekil 4. 5. Üyelik fonksiyonunun dışbükey olduğu bir bulanık küme

Eğer $\forall \lambda \in [0,1]$ için α – kesimlerinin tamamı dışbükeyse bulanık kümede dışbükeydir denir. $\tilde{A}$ bulanık kümesi bir dışbükeyse bu kümenin tümleyeni olan bulanık küme ise içbükey (konkav) dir. Dışbükey bulanık kümelerin kesişimi de dışbükeydir (Yılmaz, 1998, s. 14-15).

Nicellik (kardinalite)

Kardinalite kavramı klasik kümelerde, bir kümenin içinde bulunan eleman sayısını ifade eder. Klasik kümelerin içinde bulunan iki kümenin birbirine denk olabilmesi için, bu iki küme arasında birebir örten bir f fonksiyonunun tanımlı olması gerekmektedir. Bu durumda, eleman sayılarının da birbirine eşit olması gerektiği söz konusu olabilmektedir. Belirsizlikten arınmasını sağlayarak, alt küme olma derecesi gibi diğer bazı özellik ve kuralları tanımlayabilmek için kardinalite kavramına ihtiyaç duyulur. Kardinalite, bulanık kümelerde ortalamanın altında bulanık kümeler için bir normalleştirme faktörü gibi de kullanılabilir (Özkan, 2003, s. 41).

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin kardinali, $\tilde{A}$ bulanık kümesinin özelliklerini barındıran E evrensel kümesinde yer alan elemanların miktarını ifade etmektedir. Nicelliği şöyle tanımlayabiliriz:

Eğer X sonlu ise;

$$|\tilde{A}| = \sum_x \mu_{\tilde{A}}(x), \quad x \in E \quad (4.18)$$

Eğer X sonlu değil ise (sonsuz ise);

$$|\tilde{A}| = \int_x \mu_{\tilde{A}}(x) dx \quad (4.19)$$

$\tilde{A}$ bulanık kümesinin görelî (bağıl) kardinalitesini ise şöyle ifade edebiliriz (Zimmermann, 1991, s. 16):

$$\| \tilde{A} \| = \frac{|\tilde{A}|}{|X|} \quad (4.20)$$

m. kuvvet

Zadeh, bulanık kümelerin m. kuvvetini aşağıdaki gibi tanımlamıştır (Uzun, 1995, s. 3):

$$\mu_{\tilde{A}}^m(x) = [\mu_{\tilde{A}}]^m \quad (4.21)$$

Geçiş (köprü) noktası

$\tilde{A}$ bulanık kümesinde yer alıp üyelik derecesi 0.5'e eşit bir nokta var ise bu noktaya geçiş noktası adı verilmektedir.

Boş küme

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi, ancak ve ancak, $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ olması durumunda boş küme olarak ifade edilebilir (Paksoy, 2002, s. 1-16). Matematiksel gösterimi ise şöyledir:

$$\tilde{A} = \emptyset \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = 0, \forall x \in E \quad (4.22)$$

4.2.3. Temel işlemler ve cebirsel özellikler

Bu kısımda bulanık kümelerle ait temel işlemler ile bazı cebirsel özellikler üzerinde durulacaktır.

4.2.3.1. Bulanık kümelerin temel işlemleri ve bazı cebirsel özellikleri

Bulanık kümelerdeki işlemler üyelik fonksiyonları yardımıyla ifade edilmiştir (Yapıcı, 2000, s. 10). A ve B, E kümesinin birbirinden farklı bulanık alt kümeleri olsun. Bulanık kümeler üzerinde geçerliliği olan birtakım temel işlemler A ve B bulanık kümeleri üzerinde incelenecek olursa:

Alt küme

A ve B bulanık iki küme olsun. Bu iki bulanık kümenin üyelik fonksiyonları arasında,

$$A \subset B = \{\forall x \in E | \mu_A(x) \leq \mu_B(x)\} \quad (4.23)$$

gibi bir ilişki var ise evrensel kümede yer alan elemanlardan her birinin $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik dereceleri ile B bulanık kümesindeki üyelik dereceleri birbirine eşit bir durum söz konusu ise veya küçük ise A, B 'nin alt kümesidir denir. Başka bir ifadeyle şöyle açıklayabiliriz; B, A 'yı kapsar (Görgülü, 2007, s. 20).

Eşitlik

A bulanık kümesi ile B bulanık kümesine ilişkin üyelik fonksiyonları, evrensel kümede bulunan her bir eleman için aynı üyelik derecesine sahip ise bu iki küme birbirine eşittir denir. Başka bir ifadeyle, iki bulanık küme eğer aynı evrensel kümede yer alıyor ise ve her ikisinin de üyelik fonksiyonları aynı ise bu iki küme birbirine eşittir denir. İki bulanık kümenin eşitliği, matematiksel olarak şöyle tanımlanabilir:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in E \leftrightarrow A = B \quad (4.24)$$

Bu ifadeye şöyle bir örnek verilebilir;

$$A = 0.3/1 + 0.5/2 + 1/3$$

$$B = 0.3/1 + 0.5/2 + 1/3$$

ise, o zaman $A = B$ olur.

İki bulanık kümenin üyelik fonksiyonları arasında,

$$\mu_A(x) \neq \mu_B(x), \exists x \in E \leftrightarrow A \neq B \quad (4.25)$$

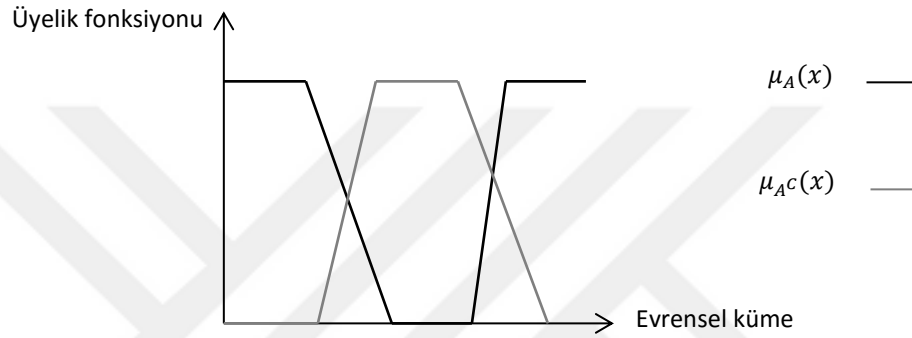
ilişkisi var ise bu iki küme birbirine eşit değildir denir.

Tümleyen (değilleme)

$\forall x \in E$ için, $\mu_A(x) = 1 - \mu_B(x)$ şartı sağlanıyor ise A ve B birbirinin tümleyenidir denilir. $\tilde{A}$ bulanık kümesinin E evrensel kümesine göre tümleyeni (Tomsovic, 1992, s. 288),

$$\forall x \in E \text{ için, } \mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4.26)$$

şeklinde tanımlanır. Tümleyen ‘değil’ bağlacına denk gelmektedir.



Şekil 4. 6. Bir bulanık kümenin tümleyeni

Bulanık birleşim (veya'lama)

Mantıkta yer alan bağlaçlardan biri olan ‘veya’lama, özellikleri birbirinden farklı olan iki bulanık kümenin arasında yapılmaktadır. Bu şu anlama gelmektedir, iki kümenin de içerdiği dayanak noktası değişkeninin değerlerinin tümünün çıkarımında bulunmasıdır.

A bulanık kümesi ile B bulanık kümesini ifade eden üyelik fonksiyonlarını sırasıyla $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ şeklinde tanımlayabiliriz. İki bulanık kümenin birleşiminin üyelik fonksiyonu, bireysel üyelik fonksiyonlarının maksimumu şeklinde ifade edilir ve veya'lama olarak geçer. Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$A \cup B = \int_x \mu_A(x) \vee \mu_B(x) / x \quad (4.27)$$

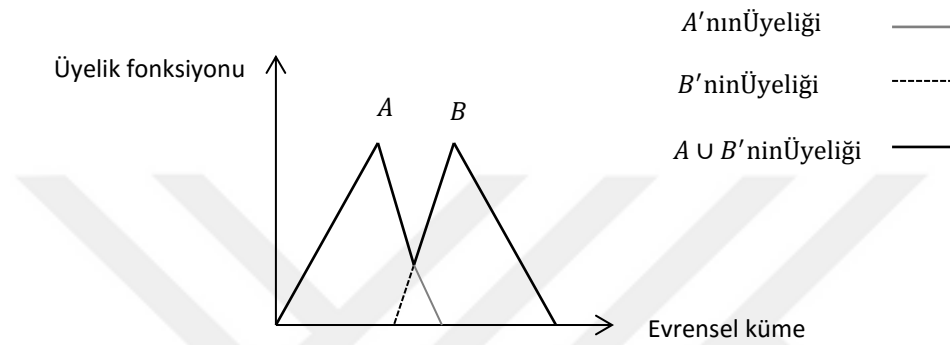
şeklinde ifade edilir ve $A \cup B$ ile gösterilir (Uzun, 1995, s. 4). Burada yer alan $\vee$ işareti bir maksimum işaretidir ve ‘veya’ anlamında kullanılır.

Maksimum işlemcisi: A ve B bulanık kümeleri için $\{(x, \mu_{A \cup B})\}$ şeklindeki bir bulanık kümeyi tanımlamaktadır.

$A, B \subset E$ olmak üzere;

$$\forall x \in E \text{ için, } \mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (4.28)$$

şeklinde gösterilir (Tomsovic, 1992, s. 288).



Şekil 4. 7. Bulanık iki kümenin birleşimi

Bulanık kesişim (ve'leme)

Daha önce iki bulanık kümenin birleşimi işleminde ifade edilen A bulanık sayısı ile B bulanık sayısının kesişimi, bireysel üyelik fonksiyonlarının minimumu şeklinde ifade edilir ve 've'leme olarak da ifade edilir. Burada dikkat çekilmesi gereken nokta, çıkarım kümelerinin normal olmasının gerekli olmadığıdır. Yani çıkarım kümesinin en az bir elemanının üyelik derecesinin 1'e eşit olması gerektiği koşulu yoktur.

$\tilde{A}$ bulanık kümesi ile B bulanık kümesini ifade eden üyelik fonksiyonlarını sırasıyla $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ şeklinde tanımlayabiliriz. İki bulanık kümenin kesişiminin üyelik fonksiyonu, bireysel üyelik fonksiyonlarının minimumu şeklinde ifade edilir ve 've'leme olarak geçer. Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$A \cap B = \int_x \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) / x \quad (4.29)$$

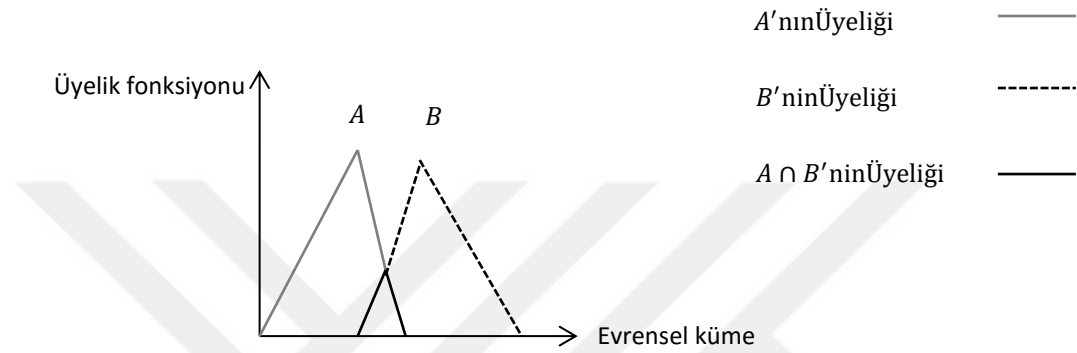
şeklinde ifade edilir ve $A \cap B$ ile gösterilir. Burada yer alan $\wedge$ işareti bir minimum işaretidir ve 've' anlamında kullanılır (Uzun, 1995, s. 5).

Minimum işlemcisi: A ve B bulanık kümeleri için $\{(x, \mu_{A \cap B})\}$ şeklinde bir bulanık kümeyi tanımlamaktadır.

$A, B \subset E$ olmak üzere;

$$\forall x \in E \text{ için, } \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (4.30)$$

şeklinde gösterilir (Tomsovic, 1992, s. 288).



Şekil 4.8. Bulanık iki kümenin kesişimi

Matematiksel çarpım

$\tilde{A}$ bulanık kümesi ile B bulanık kümesinin matematiksel olarak çarpımının üyelik fonksiyonunu ifade eden matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\forall x \in E \text{ için, } \mu_{A \cdot B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (4.31)$$

Matematiksel toplam

$\tilde{A}$ bulanık kümesi ile B bulanık kümesinin matematiksel olarak toplamalarının üyelik fonksiyonunu ifade eden matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\forall x \in E \text{ için, } \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (4.32)$$

Matematiksel kuvvet

$\tilde{A}$ bulanık kümesi herhangi bir bulanık küme, α pozitif bir sayı olmak üzere $\tilde{A}^\alpha$,

$$\mu_{A^\alpha}(x) = [\mu_A(x)]^\alpha \quad (4.33)$$

şeklinde ifade edilir. Herhangi bir bulanık kümenin α katı,

$$\mu_{\alpha A}(x) = \alpha \mu_A(x) \quad (4.34)$$

şeklinde ifade edilir.

Matematiksel fark

$\tilde{A}$ bulanık kümesi ile B bulanık kümesinin $A - B$ arasındaki farkın üyelik fonksiyonu,

$\forall x \in E$ için, $\mu_{A \cap B^c}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_{B^c}(x))$ şeklinde ifade edilir. Buradaki B^c , B bulanık kümesinin tümleyenidir (Tuncel, 1997, s. 16).

4.2.4. Bulanık sayılar

Bulanık kümelerde kullanılan birleşim, kesişim ve α – kesimi gibi küme-teorik işlemler bulanık sayılar üzerinde de kolay bir şekilde uygulanabilir. Gerçel sayı doğrusu üzerinde ifade edilen ve bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olan bulanık sayılar, α – kesim yöntemiyle aralık analizi arasındaki ilişkiye bağlı olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Bulanık sayılarla hesaplamanın temelini aralık analizine dayanmaktadır. Aralık analizi, bulanık sayılarda bir tür tolerans ya da güven aralığı olarak tanımlanır (Özkan, 2003, s. 59-61).

Bulanık bir sayının üyelik fonksiyonu eğer süreklilik gösteriyorsa zayıf α – kesimi açık olmayan bir aralığı gösterir. Fakat açık olmayan bir aralığı elde edebilmek için üyelik fonksiyonunun kesinlikle sürekli olması koşulu yoktur (Terano vd. , 1991, s. 33).

Gerçel sayılar kümesi üzerinde tanımlı bir $\tilde{A}$ bulanık kümesinin bir bulanık sayı belirtebilmesi amacıyla bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu özellikler şöyle sıralanabilir:

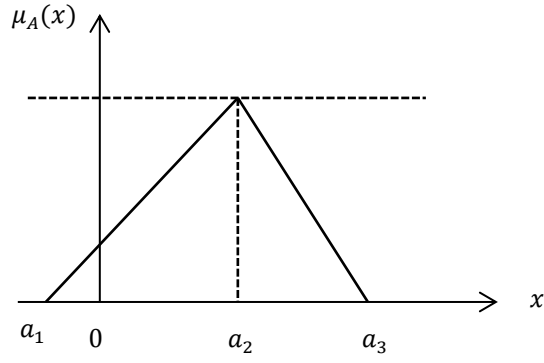
1. **Özellik:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin normal bir bulanık küme olması gerekir.
2. **Özellik:** $\forall \alpha \in (0,1]$ için, $\alpha +_A$ kapalı bir aralıkta yer alması gerekir.
3. **Özellik:** $\tilde{A}$ bulanık kümesinin sahip olduğu destek kümesinin sınırlı bir küme olması gerekir.

İkinci özelliğe bakıldığında her bir bulanık sayının aslında dışbükey bir bulanık küme olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu durumun tersini ifade eden bir durum da her zaman doğru değildir. Şu yüzden ki; bazı dışbükey bulanık kümelerin α - kesimleri açık ya da yarı açık aralık olabilmektedir. Kapalı aralıkların standart aritmetik işlemlerine nazaran bulanık sayılar üzerinde anlamlı aritmetik işlemlerin ifade edilebilmesi için birinci ile ikinci özelliklerin uygulanması zorunluluğu söz konusu olabilir (Öğütü, 2002, s. 25). Bu özellikleri bir araya getirip şöyle bir bulanık sayı tanımı yapabiliriz; normal bir bulanık küme ile dışbükey bir bulanık kümenin zayıf α – kesimi açık olmayan bir kümeysen bu bulanık kümeye bulanık sayı denir (Yenilmez, 2001, s. 21). Bulanık sayı ne olursa olsun kesinlikle rastgele değişken olarak algılanmamalıdır. Çünkü rastgele değişken olasılıkta söz konusu olmaktadır ve objektiftir. Ancak bulanık sayı sübjektiftir (Uzun, 1995, s. 3). Sıradan bir sayı, sadece bir noktada tanımlanmakta ve üyelik derecesi 0 veya 1 olmaktadır. Ancak bulanık sayılarda bir sayı en az bir aralıkta tanımlıdır ve üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında rastgele bir değer alabilir.

Her bulanık sayı bulanık bir kümeyi ifade edebilir ancak her bulanık küme bulanık bir sayıyı ifade edemez. Bulanık sayılar; tam olarak ifade edilmeyen veya yaklaşık sayısal miktarların modellenmesinde oldukça faydalıdır. Bulanık sayılar; bulanık regresyon, bulanık programlama ve bulanık karar verme gibi alanlarda kullanılmaktadır (Özkan, 2003, s. 59-60). Bulanık kümeler üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildikleri için bulanık sayıların üyelik fonksiyonları ile aynı anlamı ifade ederler ve bu yüzden üyelik fonksiyonu çeşidi kadar bulanık sayı çeşidi yer almaktadır (Baykal ve Beyan, 2004a, s. 234). Bulanık sayılar kümesinin eleman sayısı sonsuzdur. Bulanık sayı biçimleri arasında üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar en önemli olanlarıdır.

4.2.4.1. Üçgensel bulanık sayılar

Üçgensel bulanık sayılar özellikle sistemlerin modellenmesinde çok sık kullanılmakta ve belirsizliklerin giderilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 4. 9. Üçgensel bir bulanık sayı

Üçgensel bulanık özelliğine sahip bir sayı (a_1, a_2, a_3) şeklindeki üçlüyle ifade edilebilir. Üyelik fonksiyonu ise,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise} \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \text{ ise} \\ 0, & x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise} \end{cases}$$

(4.35)

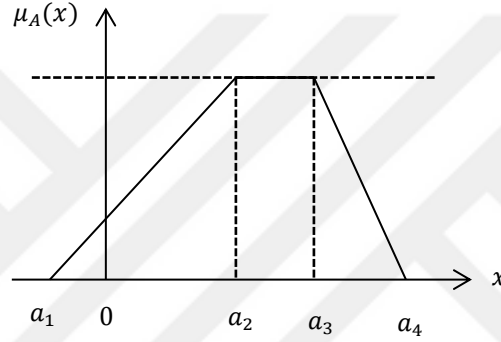
şeklinde ifade edilir. Burada $\mu_A(x)$ söz konusu kümenin üyelik fonksiyonunu tanımlarken; a_1, a_2, a_3 değerleri sırasıyla üçgen bulanık kümenin sol, orta ve sağ değerlerini temsil etmektedir.

Üçgensel bulanık sayıların sahip olduğu bazı cebirsel (matematiksel) özellikler bulunmaktadır. Bunlar:

- İki üçgensel bulanık sayı toplandığında veya çıkarıldığında bu işlemler sonucunda tekrar üçgensel bulanık bir sayı elde edilir.
- Üçgensel bulanık sayılar çarpıldığında, bölündüğünde veya tersi alındığında bu işlemler sonucunda daima üçgensel bulanık bir sayı elde edilecek diye bir şey söz konusu değildir.
- Üçgensel bulanık sayıların maksimum veya minimum işlemleri sonucunda daima üçgensel bulanık bir sayı elde edilecek diye bir şey söz konusu değildir.

4.2.4.2. Yamuksal bulanık sayılar

Üçgensel bulanık sayılar sahip oldukları özellikleri gereği, yamuksal bulanık sayıların özel bir tipi sayılmaktadırlar. Şekil 1.12’de de görüldüğü gibi $\alpha = 1$ olduğu durumda sadece bir nokta değil, (a_2, a_3) değerleri arasında tanımlı bir doğru söz konusu olmaktadır. Üçgensel bulanık bir sayı, yamuksal bulanık bir sayının $a_2 = a_3$ olan şeklinin özel bir durumu olmakta. Yamuksal bulanık sayıların sahip oldukları özellikler ile üçgensel bulanık sayıların sahip oldukları özellikler aynı matematiksel özelliklerdir.



Şekil 4. 10. Yamuksal bir bulanık sayı

Yamuksal bulanık özelliğine sahip bir sayı (a_1, a_2, a_3, a_4) şeklindeki dörtlüyle ifade edilebilir. Üyelik fonksiyonu ise,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise} \\ 1, & a_2 < x \leq a_3 \text{ ise} \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 < x \leq a_4 \text{ ise} \\ 0, & x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise} \end{cases}$$

(4.36)

şeklinde ifade edilir (Kaufmann ve Gupta, 1988, s. 26-28-31-32).

4.2.5. Üyelik fonksiyonları

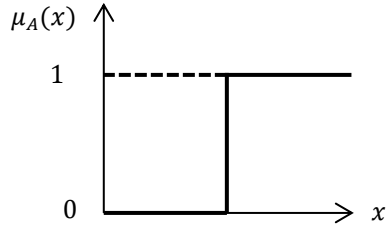
Üyelik fonksiyonları, hem bulanık kümelerin hem de klasik kümelerin temelini teşkil eder. Bir üyelik fonksiyonunun sahip olduğu aşama, verilen toleranslar içinde memnuniyetin öznel bir aşamasını ifade eder. Öte yandan olabilirliğin derecesi, bir olayın meydana çıkmasının öznel ya da nesnel derecesini ifade etmektedir. Matematiksel programlama problemlerinde bulanıklığı/kesin olmamayı modellerken bu farkı görebilmek önemlidir (Atin, 1999, s. 2).

Üyelik fonksiyonu, E evrensel kümesine ait bir x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesinin alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksiyondur. Klasik ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının matematiksel gösterimi sırasıyla,

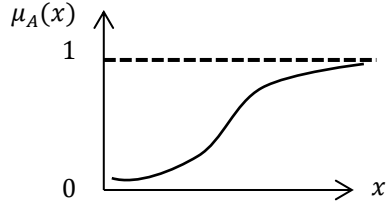
$$\begin{aligned}\forall x \in E: \mu_A(x) &\in \{0,1\} \\ \forall x \in E: \mu_A(x) &\in [0,1]\end{aligned}\tag{4.37}$$

şeklinde ifade edilir. Görüleceği gibi klasik kümelerle bulanık kümeler arasındaki en temel ve önemli fark, üyelik fonksiyonlarının almış olduğu değerlerdir (Özkan, 2002-2003, s. 266).

Üyelik fonksiyonları, karakteristik fonksiyonların uzantısı iken, bulanık kümeler de klasik kümelerin uzantısı olmaktadır. Bulanık kümeler, klasik kümelerin uzantısı olduğundan bu kümeler için yapılan tanımlamalar aynı zamanda bulanık kümeler için de yapılabilir. Yapılan bütün tanımlamalarda üyelik fonksiyonu $(0,1)$ ikili değerleri dolayısıyla klasik kümelerin tanımlarıyla birebir örtüşmektedir (Yılmaz, 1998, s. 8). Zadeh (1965)'e göre, bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonları doğrulayıcı ve yoklayıcı olgular değil derece veren olgulardır (Çelik, 2000, s. 6).



Şekil 4. 11. Klasik üyelik fonksiyonu



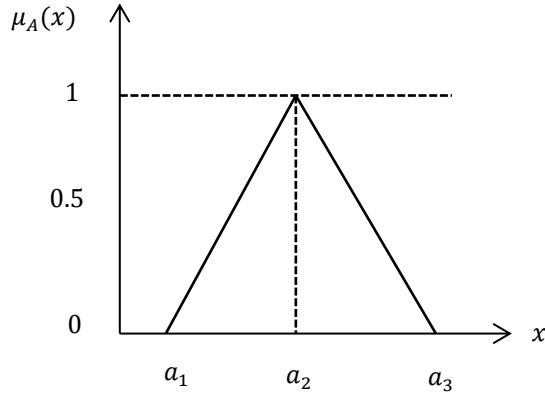
Şekil 4. 12. Bulanık üyelik fonksiyonu

4.2.5.1. Üyelik fonksiyonu çeşitleri

Üyelik fonksiyonlarının doğru ve uygulama ile örtüşen bir şekilde belirlenmesi, bulanık küme teorisinde önemli bir yere sahiptir. Bulanık bir kümeye ait üyelik fonksiyonunun tanımlanması, rastgele bir değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenmesine benzetilebilir. Bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonunu belirleme prosesi, kavramların uygulamadaki anlamına dayanarak sezgisel bir şekilde yapılabilir.

Literatürde üçgensel, yamuksal, gaussian, çan eğrisi, sigmodal, S, π gibi farklı üyelik fonksiyonları üzerinde durulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarından; üçgensel, yamuksal, gaussian ve çan eğrisi uygulamalarda hesaplama kolaylığı sağladığı için daha çok tercih edilmektedir. Uygulamalarda hangi fonksiyonun elverişli olup olmayacağı ya da hangisinin değerlendirilmesi gerektiği konusunda, üstünde çalışılan uygulama alanından elde edilen veriler doğrultusunda kararlaştırılmaktadır. Literatürde sık sık rastlanan üyelik fonksiyonlarının değişkenleri ile denklemleri şu şekilde ifade edilebilmektedir(Yen ve Langari, 1999, s. 62-64; Baykal ve Beyan, 2004a, s. 78-80):

Üçgensel üyelik fonksiyonu



Şekil 4. 13. Üçgensel bir üyelik fonksiyonu

Bir üçgenin üyelik fonksiyonunu a_1 , a_2 ve a_3 gibi üçlü parametrelerle ifade edebiliriz. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise} \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \text{ ise} \\ 0, & x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.38)$$

Minimum ve maksimum ifadeler kullanılarak yukarıdaki denklem şu şekilde de yazılabilir ve üyelik dereceleri bulunabilir (Jang vd. , 1997, s. 25):

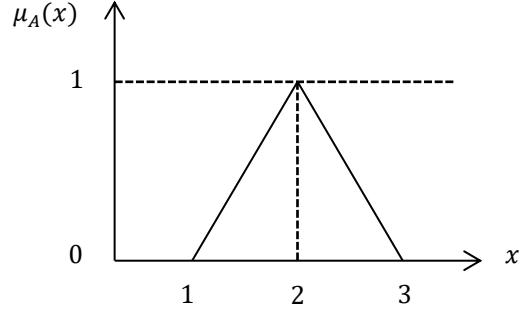
$$\text{Üçgensel}(x; a_1, a_2, a_3) = \max\left(\min\left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}, \frac{a_3-x}{a_3-a_2}\right), 0\right) \quad (4.39)$$

$a_1 = 1$, $a_2 = 2$ ve $a_3 = 3$ kabul edersek, üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-1}{2-1}, & 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{3-2}, & 2 < x \leq 3 \\ 0, & x > 3 \text{ veya } x < 1 \end{cases} \quad (4.40)$$

şeklinde ifade edilir. Üçgensel üyelik fonksiyonu grafiği ise;

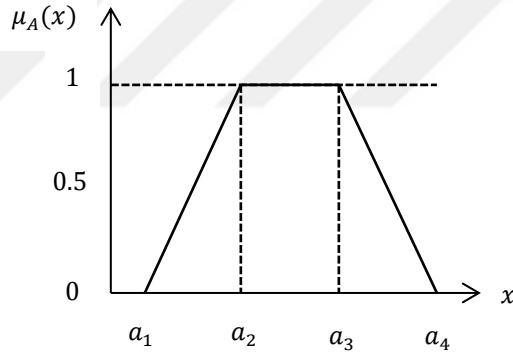
$$\begin{aligned}\mu_A(0) &= 0 \\ \mu_A\left(\frac{1}{2}\right) &= 0 \\ \mu_A(1) &= 0 \\ \mu_A(2) &= 1 \\ \mu_A(3) &= 0 \\ \mu_A\left(\frac{3}{2}\right) &= 0.5\end{aligned}$$



Şekil 4. 14. Üçgensel üyelik fonksiyonu

şeklinde gösterilebilir.

Yamuksal üyelik fonksiyonu



Şekil 4. 15. Bir yamuksal üyelik fonksiyonu

Bir yamuğun üyelik fonksiyonunu a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 gibi dörtlü parametrelerle tanımlayabiliriz. Üçgen üyelik fonksiyonunun sahip olduğu özellikler gereği, yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir biçimi haline gelebilmektedir. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise} \\ 1, & a_2 < x \leq a_3 \text{ ise} \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 < x \leq a_4 \text{ ise} \\ 0, & x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.41)$$

Yamuksal üyelik fonksiyonunda ikinci parametre ile üçüncü parametrenin birbirlerine eşit olduğu durumda ($a_2 = a_3$), yamuksal üyelik fonksiyonu, üçgensel üyelik fonksiyonuna dönüşmektedir. Minimum ile maksimum ifadeler ele alınarak yukarıda gösterilen denklem şu şekilde de ifade edilebilir (Jang vd. , 1997, s. 25):

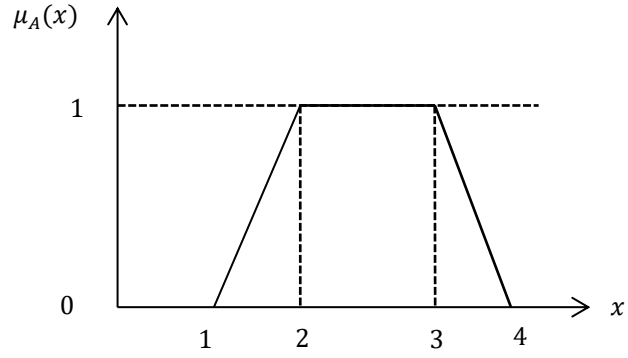
$$\text{Yamuksal } (x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \max(\min\left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1}, 1, \frac{a_4-x}{a_4-a_3}\right), 0) \quad (4.42)$$

$a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 3$ ve $a_4 = 4$ kabul edersek, üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-1}{2-1}, & 1 \leq x \leq 2 \\ 1, & 2 < x \leq 3 \\ \frac{4-x}{4-3}, & 3 < x \leq 4 \\ 0, & x > 4 \text{ veya } x < 1 \end{cases} \quad (4.43)$$

şeklinde ifade edilir. Yamuk üyelik fonksiyonu grafiği ise;

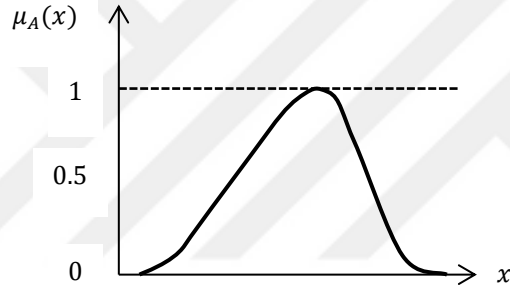
$$\begin{aligned}\mu_A(0) &= 0 \\ \mu_A(4) &= 0 \\ \mu_A\left(\frac{5}{2}\right) &= 1 \\ \mu_A(2) &= 1 \\ \mu_A\left(\frac{3}{2}\right) &= 0.5\end{aligned}$$



Şekil 4. 16. Yamuksal üyelik fonksiyonu

şeklinde gösterilebilir.

Gaussian üyelik fonksiyonu



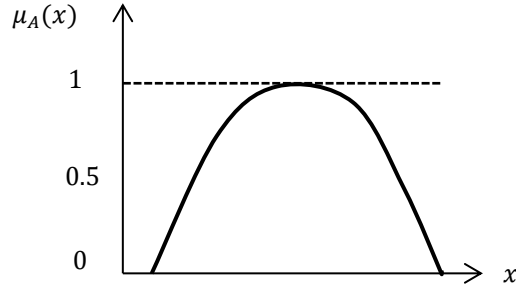
Şekil 4. 17. Bir gaussian üyelik fonksiyonu

Bu üyelik fonksiyonu $\{m, \sigma\}$ gibi parametrelerle ifade edilmektedir. m parametresi, fonksiyonun odak noktasını belirtirken; σ 'ysa, fonksiyonun genişliğini belirtmektedir. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_A(x; m, \sigma) = e^{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}} \quad (4.44)$$

σ değerinde değişiklik yapılarak, fonksiyonun biçiminde de değişikliğe gidilebilir. Eğer σ 'nın aldığı küçük bir değerse üyelik fonksiyonu git gide inceleyecek, ama bu değerde büyüme olursa o zaman da üyelik fonksiyonu git gide yayvan bir hal alacaktır.

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu



Şekil 4. 18. Bir çan eğrisinin üyelik fonksiyonu

Çan eğrisi üyelik fonksiyonunu a_1 , a_2 ve a_3 gibi üçlü parametrelerle ifade edebiliriz. a_1 parametresi ile a_3 parametresi, fonksiyonun odak noktasını ile genişliğini değiştirmek için kullanılırken; a_2 ise, geçiş noktalarındaki eğimi ayarlamak için kullanılmaktadır. Fonksiyon, şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x - a_3}{a_1} \right|^{2a_2}} \right\} \quad (4.45)$$

Yapılan çalışmalarda çok sık bir şekilde ele alınan bu üyelik fonksiyonlarının grafiksel gösterimi, Şekil 4. 19'da gösterilmiştir. Şekillerdeki bulanık kümeler; sürekli, normal ve konvektir.

Üyelik Fonksiyonunun		
Adı	Matematiksel İfadesi	Grafiksel Şekli
Üçgensel Üyelik fonksiyonu	$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Yamuksal Üyelik fonksiyonu	$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 < x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 < x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \end{cases}$	
Gaussian Üyelik fonksiyonu	$\mu_A(x; m, \sigma) = e^{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}}$	
Çan eğrisi Üyelik fonksiyonu	$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left \frac{x - a_3}{a_1} \right ^2 a_2} \right\}$	

Şekil 4. 19. Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları

4.2.6. Bulanık kümelerde işlemler

Klasik kümelerde ifade edilen birçok işlem, bulanık kümelerde de ifade edilmektedir. E , evrensel kümeyi belirtmek üzere bulanık kümelerdeki temel işlemler şu şekilde sıralanabilir (Zadeh, 1965, s. 340-341):

- Bir bulanık kümede bulunan bütün elemanların üyelik fonksiyonları 0'a eşit ise, bu bulanık küme, boş küme olarak ifade edilir.
- İki bulanık küme eğer $A = B$ şeklinde yazılıyor ise, $\forall x \in E$ için $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ 'tir. Böyle bir durumda iki bulanık küme, birbirine eşit olacaktır.
- Bir A bulanık kümesinin tümleyeni, $\tilde{A}$ şeklinde ifade edilmekte ve $\forall x \in E$ için $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ şeklinde gösterilmektedir. Tümleyen ile ilgili işlemler, klasik küme tümleyen işlemlerinden farklı bir hal almaktadır. Bu farklılıkların nasıl ifade edilmesi gerektiğini şöyle belirtebiliriz (Nabiyev, 2005, s. 673):
 - $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyeni ile birleşimi evrensel küme değildir.
 - $\tilde{A}$ bulanık kümesinin tümleyeni ile kesişimi boş küme değildir.
- Eğer $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ ise, B kümesi, A kümesini (ya da A kümesi, B kümesinin alt kümesiye, ya da A kümesi, B kümesine eşit ise veya B kümesinden küçük ise) içine almaktadır.

Cebirsel şekliyle şöyle ifade edilebilir,

$$A \subset B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \quad \forall x \in E \quad (4.46)$$

- A ve B kümelerinin $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonları ile birleşimi, C kümesini oluşturmaktadır. $C = A \cup B$ şeklinde ifade edilebilmekte ve yeni kümenin üyelik fonksiyonu, A ve B kümelerine bağlı olarak şöyle tanımlanabilmektedir:

$$\mu_C(x) = \mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)], x \in E$$

Daha kısa bir şekilde ifade edilecek olursa,

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (4.47)$$

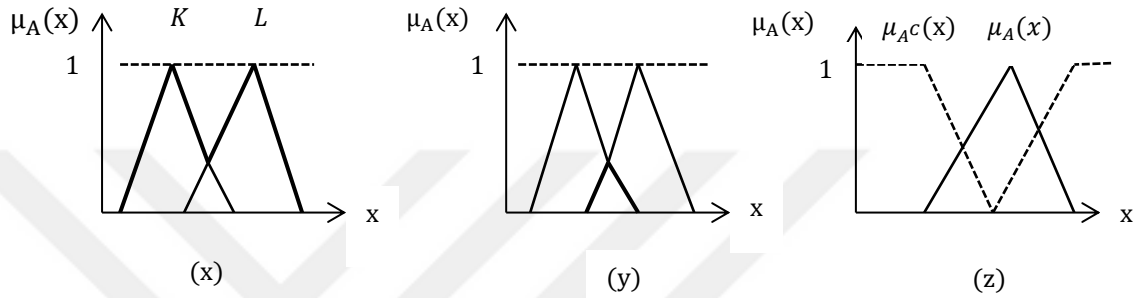
- A ve B kümelerinin $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonları kesişimi, yeni bir C kümesini oluşturmaktadır. $C = A \cap B$ şeklinde yazılabilmekte ve yeni

kümenin üyelik fonksiyonu, A ve B kümelerine bağlı olarak şöyle yazılabilmektedir:

$$\mu_C(x) = \mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)], x \in E$$

Daha kısa bir şekilde ifade edilecek olursa,

$$\mu_C(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (4.48)$$



Şekil 4. 20. Bulanık kümelerde x) birleşme işlemini y) kesişme işlemini z) tümleyen işlemini

Şekil 4. 20’de iki bulanık kümenin birleşimi, kesişimi ve tümleyen işlemleri grafiksel olarak gösterilmektedir.

4.3. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Endüstride bulanık mantık yöntemleri, daha çok kontrol alanına odaklanmaktadır (Türkbey, 2003, s. 83). Bulanık çıkarım sistemi; bulanık kontrol, bulanık kontrolörler ve bulanık mantık denetleyici isimleriyle de bilinmektedir. Bulanık çıkarım sistemi yani bulanık kontrol, doğrusal olmayan ve güvenilebilir analitik modelin kurulmasının zor olduğu yöntemler için çok uygun bir yaklaşım olabilmektedir. Dolayısıyla çıkarım, bulanık kontrole dayanıyor ise bunu insan düşüncesinin bir benzetimi olarak düşünebiliriz (Pappis ve Siettos, 2005, s. 438).

Klasik kontrol sistemlerinde, sistemin matematiksel modelinin oluşturulması söz konusu iken; bulanık kontrol sistemlerinde, modelin tam olarak bilinmesinin gerekliliği yoktur. Sistemin oluşturulabilmesi için, karar vericilerin ya da uzmanların deneyimlerinden ve sözel kurallarından yararlanılmaktadır (Demirel, 1999, s. 80). Bu tarz kurallarla yapılan kontroller ‘‘Kural Tabanlı Denetim’’ ya da ‘‘Akıllı Denetim’’ ismini almaktadır (Çiftçi, 2001, s. 3). Bulanık mantık kontrollü sistemlerin

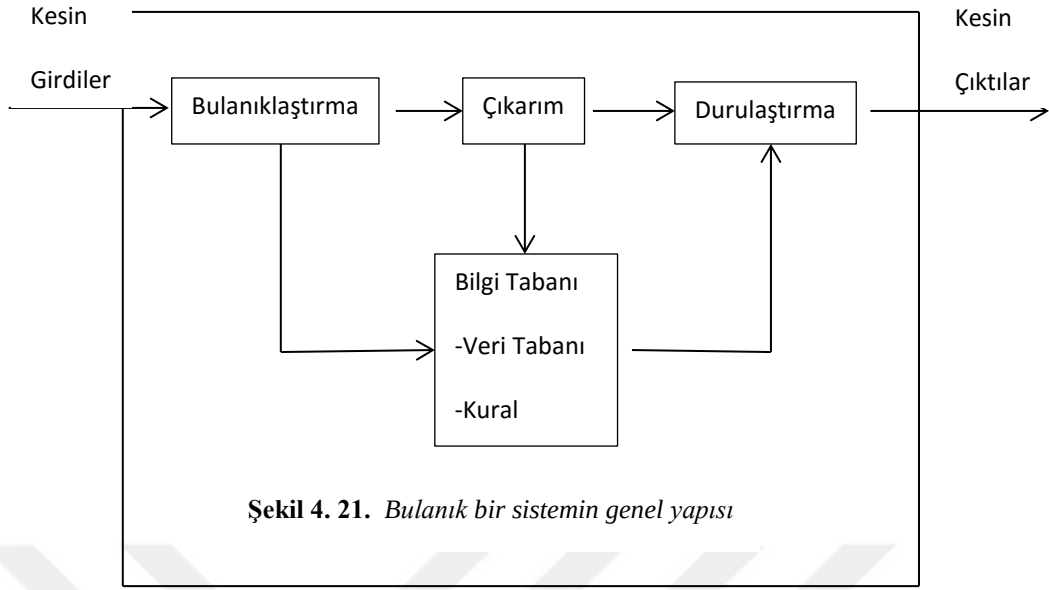
tasarımında, operatörün davranışlarına (hareketlerine) göre “eğer-o halde” kuralları elde edilmektedir (Tanaka, 1997, s. 122). Kural tabanlı yöntemlerin sahip olduğu birtakım avantaj ve dezavantajlar yer almaktadır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

Avantajları

- Doğrusal olmayan, iyi tanımlanmamış ve zamanla içinde değişiklik arz eden sistemlere kolayca işlenebilmesi (Bolat, 2006, s. 23),
- Kuralların kolayca oluşturulabilmesi ve yorumlanabilmesi,
- Sistemin kolayca esnetilebilmesi ve düzenlenebilmesi,
- Kolay bir çıkarım tekniği olması (Perfileieva, 2007, s. 174).

Dezavantajları

- Farklı kurallar arasındaki ilişkinin net bir şekilde açık olmaması,
- Verilerin işlenmesi ve çıkarımı sırasında esnekliğin düşük olması (Perfileieva, 2007, s. 174),
- Uzmanların kişisel bilgilerini ve deneyimlerini bulanık yöntemin veri tabanına ve kural tabanına aktarabilecekleri standart bir yöntemle sahip olmamaları,
- Oluşturulan bulanık çıkarım sonucunda elde edilen çıktının, hata ölçümlerini en aza indirebilecek ve etkinliği arttırabilecek üyelik fonksiyonlarının eksiksiz olarak ne olduklarına dair yöntemin bilinmemesi (Efendigil, 2008, s. 55),
- Oluşturulan sistemde birden çok giriş değişkeni yer alıyorsa gerçekleştirilecek çıkarımın giderek zorlaşması (Çiftçi, 2001, s. 3).



Şekil 4. 21’de bulanık bir sistemin sahip olduğu genel yapısı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bulanık sistem; bulanıklaştırma, çıkarım ve durulaştırma birimlerinden oluşuyor diyebiliriz. Girdiye gelen veriler birtakım aşamalardan geçerek daha sonra çıktı verileri haline dönüşmektedir. Sistemin yaptığı ilk işlem girdi verilerini bulanıklaştırmaktır. Bu aşamada bulanık küme ve üyelik fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri en çok kullanılan işlemlerdendir. Üyelik fonksiyonlarından ise en çok; yamuksal ve üçgensel fonksiyonları kullanılarak üyelik dereceleri belirlenmektedir. Girdi verileri bulanıklaştırıldıktan sonra çıkarım aşamasına gönderilmektedir. Çıkarım (çıkarsama) aşaması, uzman görüşleri alındıktan sonra oluşturulan kural tabanına dayalı bir aşamadır. Bulanık çıkarım aşamasından sonra elde edilen veriler son aşama olan durulaştırma aşamasına girmektedir. Veriler bu aşamada, sayısal çıktı değerine dönüştürülmekte ve çıktı için gerekli olan veriler elde edilmektedir (Balbal, 2016, s. 20)

4.3.1. Bulanıklaştırma

Sistemin yapısından alınan kesin giriş bilgilerinin, dilsel değişkenlere çevirme işlemine bulanıklaştırma denir. Bulanıklaştırma aşamasında, belirlenen üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak giriş verileri, ait olduğu bulanık küme/kümeler ile eşleştirilerek ve üyelik derecesi belirlenerek dilsel değişkenler saptanmaktadır (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007, s. 5). Başka bir ifadeyle bulanıklaştırma

aşamasında, giriş değerlerinin daha evvelden saptanan üyelik fonksiyonlarından hangisine ne derecede (üyelik derecesi) ait olduğu saptanmaktadır (Efendigil, 2008, s. 56). Bulanıklaştırma sürecinde gerçekleştirilmesi gereken işlemler şöyle sıralanabilir (Bolat, 2006, s. 18):

- ❖ Giriş değişkenlerinin ölçüsü yani, değişkenlerin alabileceği değer aralığı belirlenmelidir.
- ❖ Sözü edilen uzaya karşılık gelen ve giriş değişkenlerinin oranına dönüştüren performans ölçeklemesi yapılmalıdır.
- ❖ Belirlenen üyelik fonksiyonları ile giriş bilgileri ölçek değişikliğine yani, elverişli dilsel değişkenlere dönüştürülür ve diğer aşamalara transfer edilmesi için bulanık bilgiler hazırlanmalıdır.

4.3.2. Kurallar

Girişteki veriler bulanıklaştırıldıktan sonra, yöntemin yapısına göre kural tabanı saptanmaktadır. Kural tabanında yer alan bulanık ‘*eğer-o halde*’ kuralı, ‘*eğer-o halde*’ ifadeleri ile verilen ve ifadelerde kullanılan sözcüklerin sürekli bir üyelik fonksiyonu tarafından nitelendirildiği cümlelerdir (Pillay ve Wang, 2003, s. 75). Bulanık ‘*eğer-o halde*’ kuralları bazen bulanık kural, bulanık düşünce öne sürmek ya da bulanık durum cümleleri şeklinde de ifade edilebilmektedir. Günlük hayatta kullanılan ‘*eğer-o halde*’ kurallarına şöyle örnek verebiliriz (Jang vd. , 1997, s. 59):

- Eğer şiddetli yağmur yağıyor ise, o halde sel, meydana gelir.
- Eğer bir insan çok alkollü ise, o halde insan, tehlikelidir.

Bulanık ‘*eğer-o halde*’ kuralları, daha çok belirsiz ortamlarda karar vermede kişisel kararları yansıtmaktadır (Efendigil, 2008, s. 55), kesin giriş değerlerini bulanık yapıya aktarmakta ve bunları, kontrol sisteminin bir parçası haline getirmektedir (Sağlam, 2007, 5). Bir modeldeki girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki, ‘*eğer-o halde*’ kuralları ile sağlanmaktadır (Yadav vd. , 2008, s. 750).

Bir bulanık kural,

Eğer $x, \dots, X_1$ ise, o halde $Y, \dots, G$ ’dir şeklinde ifade edilir.

Sonucun elde edilmesini sağlayan giriş değişkenleri, gözlemler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler öncül kısmında yer alırken, giriş değişkenlerine bağlı

olarak ortaya çıkan sonuç ya da harekete neden olan değişkenler ise, soncul kısımda yer almaktadır (Acar vd. , 2008, s. 30). Kuralları altı grup halinde inceleyebiliriz. Bunlar; eksik ya da tamamlanmamış kurallar, karma kurallar, bulanık cümle şeklindeki kurallar, karşılaştırmalı kurallar, şartlı kurallar ve niceleyici kurallardır (Mendel, 2001, s. 133-134).

Kurallar x ve y gibi değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yani, bulanık ‘‘eğer-o halde’’ kuralları, ikili bulanık ilişki olarak da ifade edilebilmektedir (Jang vd. , 1997, s. 60). Verilen bir kuralın öncül kısmı, eğer birden fazla bölüme sahip ise yani, karma bir kural söz konusu ise, bu kuraldan tek bir sayı elde etmek için bulanık operatörler kullanılmaktadır. Bu operatörler sonucu elde edilen sayı, daha sonra çıkış fonksiyonunda kullanılmaktadır. Dolayısıyla bulanık operatörün girişi, bulanıklaştırılmış giriş değişkenlerinden elde edilen iki ya da daha fazla üyelik değeri olurken; kurallardan belirlenen çıkış değerlerinin toplamı, bulanık küme olmaktadır (Efendigil, 2008, s. 56). Bulanık kural tabanı oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken özellikler şunlardır (Sağlam, 2007, s. 5-6):

- Kuralların tam olması gerekir başka bir ifadeyle, olası koşulların atlanmaması gerekir.
- Kuralların tutarlı olması gerekir yani, çelişkili sonuçlar içeren ifadelerin barındırılmaması gerekir.
- Kuralların ne çok ne de az olmaması gerekir.

4.3.3. Çıkarım

Bulanık çıkarım kimi zaman bulanık çıkarım motoru, bulanık kural tabanlı sistem, bulanık uzman sistem, bulanık model, bulanık ilişkiyel hafıza, bulanık denetleyici ya da bulanık sistem olarak ele alınmaktadır (Jang vd. , 1997, s. 73). Çıkarım ya da yaklaşık çıkarım olarak ifade edilen bu proses, girdilerle çıktıların eşleştirildiği yani, bilginin işlendiği bir prosestir (Yadav vd. , 2008, s. 750).

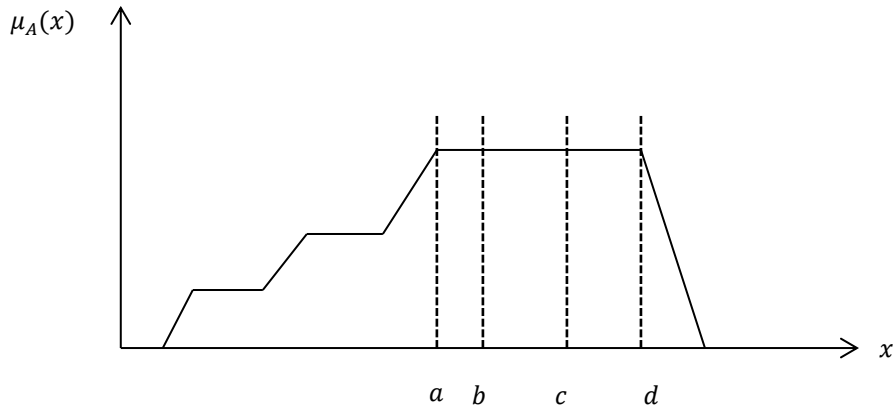
Bulanık çıkarım sisteminde uzmanların verileri, bulanık kurallardan oluşan kural tabanı ile ifade edilmektedir (Tay ve Lim, 2006, s. 1050). Literatürde Mamdani ile Takagi ve Sugeno çıkarımları en çok kullanılan çıkarım sistemleridir.

4.3.4. Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırma yapabilmek için sayısal değerleri kesinlik ifade eden bilgilere ihtiyaç vardır. Yapay zeka çalışmalarında yer alan bulanık değişken, küme, mantık ve yöntemlerin olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline getirilmesi gerekmektedir. İşte bu işlemler yardımıyla bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesine durulaştırma denmektedir. Durulaştırma işlemleri bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007, s. 5). Durulaştırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için literatürde birden fazla yöntem yer almaktadır. Uygulamalarda elverişli durulaştırma yöntemi seçilirken bazı kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu kriterleri şöyle sıralayabiliriz (Sharma vd. , 2005, s. 996):

- Ulaşılmak istenen sonuç belirsiz olmamalıdır (tek bir değer vermelidir).
- Ulaşılmak istenen sonuç elverişli olmalıdır (belli bir alanın yaklaşık ortasında bulunması gerekir).
- Seçilecek yöntemin hesaplama yönünden kolaylık sağlaması gerekir.

Bulanık kontrol alanında birçok durulaştırma yöntemi yer almaktadır. Bunların başında; en büyük üyelik derecesi, en büyüklerin ortalaması yöntemi, iki bölge yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, yükseklik yöntemi, düzenlenmiş yükseklik yöntemi ve kümelerin merkezi yöntemi gelmektedir. şekil 4. 22’de farklı durulaştırma yöntemlerine göre elde edilecek değerler görülmektedir. Bu yöntemler arasında ağırlık merkezi yöntemi ve en büyüklerin ortalaması yöntemi literatürde en çok kullanılanlarıdır.



Şekil 4. 22. Durulaştırma metotları a) maksimal değerlerin en düşüğü metodu b) ağırlık merkezi metodu c) maksimal değerlerin ortalaması metodu d) maksimal değerlerin en büyüğü metodu

En büyüklerin ortalaması yöntemi

En büyüklerin ortalaması yöntemi, bulanık kontrolde tanımlanan üyelik fonksiyonlarının ulaştığı en büyük değerlerin ortalamasını bize vermektedir (Baykal ve Beyan, 2004b, s. 223). Yöntemin formülü şöyledir:

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n (z_j)}{n} \quad (4.49)$$

Burada yer alan z_j , üyelik fonksiyonlarının aldığı en yüksek üyelik derecesine denk gelen değerleri ifade ederken; n , en yüksek değer sayısını ifade etmektedir.

Ağırlık merkezi yöntemi

Bu yöntem, bulanık kontrol uygulamalarında çok sık ele alınan yöntemlerden biridir. Bu yöntemle elde edilmiş bir sonuç bize, bulanık bir küme olan $\tilde{A}$ bulanık kümesinin olasılık dağılımının çekim noktasını verecektir (Baykal ve Beyan, 2004b, s. 223). Yani, yöntemle elde edilen sonuç, tüm olasılık dağılımını dikkate almaktadır. Yöntemin birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar; yöntemde gerçekleştirilen hesaplamaların yoğunluğu ve zorluğudur. Yöntemin formülü şöyledir:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(Y_i) \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(Y_i)} \quad (4.50)$$

Burada Y_i , i . kuraldan çıkan bulanık çıktı kümesinin fonksiyon değerini ifade ederken; $\mu_i(Y_i)$ ise, i . kuraldan çıkan üyelik derecesini ifade etmektedir.



5. YÖNTEM

5.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), 1970 yılında Thomas L. Saaty tarafından karmaşık olan ÇKKV problemlerine çözüm getirmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. AHS, birden çok alternatif arasından en uygun alternatifin seçiminde başvuru ve birden fazla karar vericinin süreçte yer almasına imkân sunan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Seçim sürecinde yer alan kriterler nitel veya nicel özellikte olabilir. AHS, hem sayısal hem de sayısal olmayan kriterleri aynı anda değerlendirme imkanı sunmaktadır. AHS ilk önce problemi parçalara ayırır, daha sonra kriterleri karşılaştırarak ağırlık değerlerini elde eder ve elde ettiği ağırlık değerlerine göre en uygun olan alternatifi seçer (Ecer ve Küçük, 2008, s. 358). AHS'nin uygulama adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: AHS'de karar vericinin amacı doğrultusunda kriterlerin ve bu kriterlere ilişkin alt kriterlerin belirlenip hiyerarşik yapının oluşturulması ilk adımı oluşturmaktadır. Diğer bir ifade ile AHS'de öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda her bir kriter ortaya konulur. Daha sonra her bir kriter için alternatifler belirlenir. Sonuçta karar için hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş olur (Scholl vd. , 2005, s. 763).

Adım 2: AHS'nin ikinci temel adımını ikili karşılaştırmalar oluşturmaktadır. İkili karşılaştırma terimi iki faktörün/ kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin kişisel yargısına dayanır. Daha açık bir ifade ile ikili karşılaştırmalar hiyerarşideki elemanların bir üst bir üst kademedeki elemana göre göreceli önemlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilmektedir (Chandran vd. , 2005, s. 2235). Bu aşamada kriterler kendi aralarında birbirleriyle karşılaştırılırken aynı zamanda kriterlere göre alternatifler de kendi aralarında karşılaştırılır. Amaç için n tane kriter (faktör) olduğunda $(n \times n)$ boyutlu bir A matrisi oluşturulur. Bu matriste, i . Sıra elemanının j . sütun elemanına göre ne kadar önemli olduğunu gösteren değerler yer alır. Bu değerler Tablo 5.1'de verilen 1-9 arasındaki tek sayılardan oluşan önem ölçeği değerleridir. Tablo 5.2'de gösterildiği gibi ikili karşılaştırmaları yapılarak bir matris oluşturulur. Eğer hiyerarşinin belirlenen düzeyi, karşılaştırılacak n eleman içeriyorsa toplam $\frac{n(n-1)}{2}$ adet ikili karşılaştırma yapılması gerekir. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir (Byun, 2001, s. 290).

Tablo 5.1. Tercih ölçeği (Saaty, 1990, s.15)

Önem Derecesi	Açıklama
1	İki nitelik eşit öneme sahiptir.
3	Bir nitelik diğerinden kısmen (az derecede) daha önemlidir.
5	Bir nitelik diğerinden orta derecede daha önemlidir.
7	Bir nitelik diğerinden çok daha önemlidir.
9	Bir nitelik diğerinden aşırı derecede daha önemlidir.
2,4,6,8	Ara değerler

Tablo 5.2'deki matriste w_i/w_j terimi, amaca ulaşmak için i . kriterin j . kriterden ne kadar daha önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu değerlendirmede Tablo 5.1'de gösterilen ölçek kullanılmaktadır. Örneğin bu değer 5 ise, i kriterin j kriterine göre kuvvetli derecede önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda benzer şekilde j kriter de i kriterine göre 1/5 düzeyinde önemli olmaktadır (Vargas, 1990, s. 2).

Tablo 5.2. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması (Saaty, 1990, s. 4)

i	j			
	Kriter 1	Kriter 2	...	Kriter n
Kriter 1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
Kriter 2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Kriter n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

Adım 3: Öncelik Vektörlerinin Bulunması

Karşılaştırma matrisleri ile ağırlıkların vektörü (w) bulunur. İlk olarak ikili karşılaştırma matrisi, $A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$ normalize hale getirilir. Sonra ağırlıklar bulunur. Normalizasyon, a_{ij} 'nin bütün elemanlarının sütun toplamına bölünmesiyle bulunur. Kriterlerin göreceli önemleri bulunarak matrisin tutarlılığı hesaplanır. Bir karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için, en büyük öz değerinin matris boyutuna eşit olması gerekmektedir. Yani $\lambda_{max} = n$ olmalıdır. Kriterlerin göreceli önemlerini hesaplamak için, her bir satırın geometrik ortalaması alınarak " w_i " sütun vektörü oluşturulur. Oluşturulan sütun vektörü normalize edilerek, göreceli önemler vektörü " W_i " hesaplanır. Matristeki her bir satır göreceli önemler vektörü ile çarpılarak V_2 sütun vektörü elde edilir. Daha sonra bu vektörün her elemanı, göreceli önemler vektöründe karşı gelen elemana bölünerek V_3 vektörü hesaplanmakta, V_3 sütun vektörünün aritmetik ortalaması ise en büyük öz değer olan λ_{max} 'ı vermektedir (Arslan ve Khisty, 2005, s. 422).

$$\text{Ağırlık hesaplanması; } w_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n}$$

Adım 4: Tutarlılık oranının hesaplanması (CR)

Tutarlılık analizinde amaç sadece ‘‘A, B’den daha önemli; B de C’den daha önemli ise, A, C’den de önemlidir’’ şeklinde bir tutarlılığı değil aynı zamanda ‘‘A, B’den 2 kat, B de C’den 3 kat önemli ise A, C’den 6 kat önemlidir’’ şeklinde oransal bir tutarlılığı da sağlamaktır. Tutarlılık oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır (Saaty ve Özdemir, 2003, s. 239).

Tutarlılık göstergesi (CI)

Rassallık göstergesi (RI)

Tutarlılık oranı (CR)

$$CI \text{ hesaplanması; } CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Formülde CI, Tutarlılık İndeksini, λ_{max} matristeki en büyük özdeğeri, n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir.

Tutarlılık oranı (CR) ise tutarlılık indeksinin aynı boyuttaki matrise karşılık gelen rastgele indekse (RI) oranlanmasıyla elde edilir;

$$CR \text{ değerinin hesaplanması; } CR = \frac{CI}{RI}$$

Tutarlılık oranının 0.1’den küçük çıkması halinde matrisin tutarlı olduğu kabul edilir yani karar vericilerin yargılarının tutarlı olduğu kabul edilir. Eldeki değerler tutarlı ise değeri en yüksek olan en iyi alternatif seçilir. Tutarlılık oranının 0.1’den büyük çıkması matrisin tutarlı olmadığını gösterir ve bu durumda matris değerleri kontrol edilmelidir. Yapılan bir çalışma sonucu 1-15 boyutundaki matrisler için rasgele tutarlılık göstergeleri Tablo 5.3’teki gibi bulunmuştur. Tablo 5.3’te görüldüğü gibi rasgele tutarlılık en çok 15 boyutlu matrisler için hesaplanabilmektedir. Tutarlılık analizinde tablodan RI indisine bakılır. Ele alınan problemlerde kriter sayısının çokluğu kriterlerin tümü birlikte değerlendirildiğinde tutarlı sonuç elde etme ihtimalini de zayıflatmaktadır (Kwiesielewicz ve Uden, 2004, s.713-714).

Tablo 5.3. Rassallık göstergeleri (Kwiesielewicz ve Uden, 2004, s.31)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

Adım 5: Karar probleminin çözülmesi

Bu aşamada, problemin ana hedefinin gerçekleştirilmesinde karar alternatiflerinin sıralaması olacak bir karma (composite) öncelikler vektörü oluşturulur. Bu vektörü oluşturmak için her değişkene uygun belirlenen öncelik vektörlerinin

ağırlıklı ortalaması alınır (Zahedi, 1987, s. 391). Elde edilen nihai öncelikler karar alternatif puanları olarak da adlandırılabilir ve karar vericinin alternatif tercihlerine ilişkin yargısal algılamalarının yoğunluğunu temsil eder.

Adım 6: Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, kriter ağırlıklarını değiştirmemiz durumunda sonucun nasıl değiştiğini gözlemlememize yardımcı olan bir analizdir. Ayrıca bu analizde var olan bir düşüncenin zamanla değişebileceği varsayımı da söz konusudur.

OECD ülkelerinin yaşanabilirliklerinin incelenmesinde ele alınan 13 kriterin ağırlıklarında meydana gelebilecek herhangi bir değişikliğin verilecek karar üzerinde olası etkisinin belirlenmesi için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Excel programı kullanılarak her kriterin ağırlığının toplam önem ağırlığı içerisindeki yüzdesi değiştirilmiş ve ortaya çıkan etki incelenmiştir.

Çalışmada ele alınan 13 kriterin duyarlılık analizi sonuçları aşağıda ifade edildiği gibidir. Analiz sonuçlarının gösterildiği ve Ek de yer verilen grafiklerde; x ekseni kriter ağırlığını, y ekseni ise ideal çözüme yakınlık değerini ifade etmektedir.

GSYİH için duyarlılık analiz sonucu;

GSYİH kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.07'den 0.1 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri Finlandiya için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.07 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi çıkmıştır. Bu da verilen kararın GSYİH kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. GSYİH kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 1'de yer verilmiştir.

Nüfus için duyarlılık analiz sonucu;

Nüfus kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.1'den 0.2 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri İtalya için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.1 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi çıkmıştır. Bu da verilen kararın Nüfus kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Nüfus kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 2'de yer verilmiştir.

Ortalama yaşam süresi ve insani gelişmişlik endeksi kriteri için duyarlılık analiz sonucu;

Ortalama yaşam süresi ve insani gelişmişlik endeksi kriterleri açısından 0 ile 1 arasında alınan herhangi bir ağırlık değeri ideal çözüme yakınlık değeri sıralamasını değiştirmeyecek ve ABD ilk sırada yer alacaktır. Bu durum da verilen kararın ortalama yaşam süresi ve insani gelişmişlik endeksi kriter ağırlıklarından bağımsız olduğunu göstermektedir. Ortalama yaşam süresi ve insani gelişmişlik endeksi kriterlerinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe sırasıyla Ek 3 ve Ek 4’de yer verilmiştir.

İşsizlik oranı için duyarlılık analizi sonucu;

İşsizlik oranı kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.2’den 0.3 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri İspanya için en iyi olurken; diğer durumlarda ilk sıra ABD’nin olmaktadır. Benzer şekilde kriter ağırlığı 0.1’den 0.2’ye çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri Kore Cumhuriyeti için en kötü olurken; diğer durumlarda son sıra Polonya’nın olmaktadır. Buna göre verilecek kararın işsizlik oranı kriter ağırlığına bağımlı olduğu söylenebilir. İşsizlik oranı kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 5’te yer verilmiştir.

Kişi başı GSMH için duyarlılık analizi sonucu;

Kişi başı GSMH kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.1’den 0.2 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değerleri İsviçre ve Norveç için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.1 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi çıkmıştır. Bu da verilen kararın kişi başı GSMH kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Kişi başı GSMH kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 6’da yer verilmiştir.

Vergi oranı için duyarlılık analizi sonucu;

Vergi oranı kriteri için ağırlığın 0 ile 1 arasında değişmesi durumunda ideal çözüme yakınlık değeri açısından ilk sıra ABD, Finlandiya ve Lüksemburg arasında değişirken; kriter ağırlığının 0.2’den 0.3’e ve daha yüksek değerlere çıkması halinde ideal çözüme yakınlık açısından son sıra Meksika’dan Şili’ye geçmektedir. Buna göre

verilen karar vergi oranı kriteri ağırlığındaki değişime duyarlıdır diyebiliriz. Vergi oranı kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 7’de yer verilmiştir.

Yeşil alan için duyarlılık analizi sonucu;

Yeşil alan kriteri açısından ağırlığın 0 ile 1 arasında değişmesi durumunda ideal çözüme yakınlık açısından ilk sıra ABD, Kanada ve Yeni Zelanda arasında değişirken; son sıra Polonya ve Türkiye arasında değişiklik göstermektedir. Bu durum verilen kararın yeşil alan kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Yeşil alan kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 8’de yer verilmiştir.

Elektrik tüketimi için duyarlılık analizi sonucu;

Elektrik tüketimi kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.1’den 0.2 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri İzlanda için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.1 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi çıkmıştır. Bu da verilen kararın elektrik tüketimi kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Elektrik tüketimi kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 9’da yer verilmiştir.

Doğurganlık oranı için duyarlılık analizi sonucu;

Doğurganlık oranı kriteri açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.3’den 0.4 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri İsrail için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.3 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi çıkmıştır. Bu da verilen kararın doğurganlık oranı kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Doğurganlık oranı kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 10’da yer verilmiştir.

Kentsel nüfus için duyarlılık analizi sonucu;

Kentsel nüfus kriteri açısından ağırlığın 0 ile 1 arasında değişmesi durumunda ideal çözüme yakınlık açısından ilk sıra ABD ve Lüksemburg arasında değişirken; son sıra Slovenya, Polonya ve Türkiye arasında değişiklik göstermektedir. Bu durum verilen kararın kentsel nüfus kriter ağırlığına bağımlı olduğunu göstermektedir. Kentsel nüfus kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 11’de yer verilmiştir.

Enflasyon tüketici fiyatları için duyarlılık analizi sonucu;

Enflasyon tüketici fiyatları açısından bakıldığında kriter ağırlığı 0.2'den 0.3 ve daha yüksek değerlere çıktığında ideal çözüme yakınlık değeri Lüksemburg için en iyi olurken; ağırlık değerinin 0.2 ile 0 arasında olması halinde ideal çözüme yakınlık değeri ABD için en iyi olmuştur. Benzer şekilde ağırlık değerinin 0.08 ve daha yüksek değerlere çıkması halinde ideal çözüme yakınlık açısından son sıra Polonya'nın olurken; diğer durumlarda bu durum Meksika için geçerlidir. Böylece verilen kararın enflasyon tüketici fiyatları kriter ağırlığına bağımlı olduğu söylenebilir. Enflasyon tüketici fiyatları kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 12'de yer verilmiştir.

Yüksek teknoloji ürünü ihracatı için duyarlılık analizi sonucu;

Yüksek teknoloji ürünü ihracatı kriteri açısından ele alındığında ağırlığın 0 ile 1 arasında değişmesi durumunda ideal çözüme yakınlık açısından ABD, Lüksemburg ve Yeni Zelanda ilk sıralarda yer alırken; Polonya, Türkiye ve Meksika son sıralarda bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle verilen karar yüksek teknoloji ürünü ihracatı kriter ağırlığındaki değişime bağımlıdır diyebiliriz. Yüksek teknoloji ürünü ihracatı kriterinin duyarlılık analizi sonuçlarını gösteren grafiğe Ek 13'te yer verilmiştir.

5.2. Pythagorean Bulanık Kümeler

Bu bölümde, pythagorean bulanık kümeleri ele alınacaktır. Daha sonra aralık değerli pythagorean bulanık AHP yönteminin uygulama aşamaları ayrıntılı olarak incelenecektir. Pythagorean bulanık kümeler Yager (2013) tarafından belirsiz ve tutarsız durumu modellemek için geliştirilmiştir. Pythagorean bulanık kümelerde üç farklı terim oluşturulur. Bunlar; bir elemanın üyelik fonksiyonu, üyelik olmama fonksiyonu ve duyarlılık derecesi ile ifade edilir. Sezgisel bulanık kümeleri de kapsayan bu kümeler karar vericilerin belirsiz ve kesin olmayan yargılarını daha iyi ve verimli modellemektedir. Pythagorean bulanık kümelerde, sezgisel bulanık kümelerin aksine üye ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'i geçebilir olması fakat kareleri toplamının 1'i geçmemesi durumu söz konusu olmaktadır.

Tanım1: X bir küme olsun. Bir S pythagorean bulanık kümesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

Her $x \in X$ için üye olma fonksiyonu $\mu_S(x): X \rightarrow [0,1]$ ile, üye olmama fonksiyonu $v_S(x): X \rightarrow [0,1]$ olmak üzere S pythagorean bulanık kümesi,

$$S: \{ \langle x \in X | \langle \mu_S(x), v_S(x) \rangle \} \quad (5.1)$$

Şeklinde tanımlanır. Burada,

$$0 \leq (\mu_S(x))^2 + (v_S(x))^2 \leq 1 \quad (5.2)$$

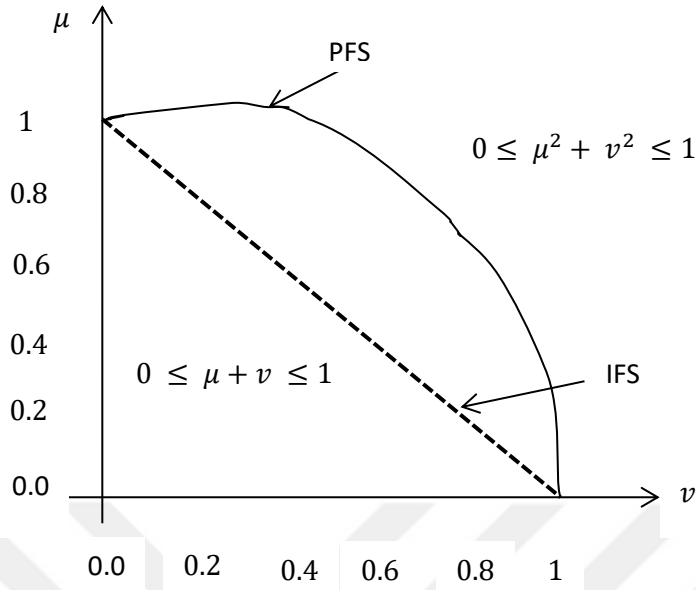
eşitliği sağlanır.

Pythagorean bulanık kümeler üye olma ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamının bire eşit ya da birden küçük olması gerektiği ile ifade edilir. Örneğin; bir x elemanın üyelik derecesi $\frac{1}{2}$, üyelik olmama derecesi ise $\frac{1}{3}$ olsun. Buna göre,

$$\begin{aligned} 0 \leq (\mu_S(x))^2 + (v_S(x))^2 \leq 1 \text{ için, } 0 \leq \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 \leq 1 \\ = 0 \leq 0.36 \leq 1 \end{aligned}$$

olur.

Grafiksel gösterimi ise aşağıdaki gibidir.



$\mu = \frac{6}{10}$ ve $v = \frac{4}{10}$ olsun. Bu durumda,

$0 \leq \mu^2 + v^2 \leq 1$ için;

$$0 \leq \left(\frac{6}{10}\right)^2 + \left(\frac{4}{10}\right)^2 \leq 1 \rightarrow 0 \leq 0.52 \leq 1 \text{ ve}$$

$$0 \leq \mu + v \leq 1 \rightarrow 0 \leq \frac{6}{10} + \frac{4}{10} \leq 1$$

$$=1$$

olur.

$\mu = \frac{1}{4}$ ve $v = \frac{8}{9}$ için;

$$0 \leq \mu^2 + v^2 \leq 1 \rightarrow 0 \leq \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{8}{9}\right)^2 \leq 1$$

$$= 0.852$$

olur.

$x \in X$ için hassasiyet derecesi $(\pi_S(x))$ ile gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\pi_S(x) = \sqrt{1 - (\mu_S(x))^2 - (v_S(x))^2} \quad (5.3)$$

Üye olma derecesi $(\mu_S(x)) = \frac{1}{5}$, üye olmama derecesi $(v_S(x)) = \frac{1}{4}$ olsun. Bu değerlerin hassasiyet dereceleri;

$$\pi_S(x) = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{5}\right)^2 - \left(\frac{1}{4}\right)^2} = 0.9473$$

olarak bulunur.

Tanım 2: $D_1 = S(\mu_{D_1}, v_{D_1})$ ve $D_2 = S(\mu_{D_2}, v_{D_2})$ iki pythagorean bulanık sayı olsun ve $\lambda > 0$ için bu sayılar ile yapılan işlemler aşağıda verilmiştir:

$$D_1 \oplus D_2 = S(\sqrt{\mu_{D_1}^2 + \mu_{D_2}^2 - \mu_{D_1}^2 \mu_{D_2}^2}, v_{D_1} v_{D_2}) \quad (5.4)$$

$$D_1 \otimes D_2 = S(\mu_{D_1} \mu_{D_2}, \sqrt{v_{D_1}^2 + v_{D_2}^2 - v_{D_1}^2 v_{D_2}^2}) \quad (5.5)$$

$$\lambda D_1 = S\left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{D_1}^2)^\lambda}, (v_{D_1})^\lambda\right), \quad \lambda > 0 \quad (5.6)$$

$$D_1^\lambda = S\left(\mu_{D_1}^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{D_1}^2)^\lambda}\right), \quad \lambda > 0 \quad (5.7)$$

Tanım 2'deki işlemleri örneklendirecek olursak;

$D_1 = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right)$, $D_2 = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{4}\right)$ ve $\lambda = \frac{1}{5}$ olsun.

$$D_1 \oplus D_2 = S\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{3}\right)^2}, \left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{1}{4}\right)\right) = S\left(\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{9} - \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{9}\right)}, \left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{1}{4}\right)\right) = S\left(\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{9} - \frac{1}{36}}, \frac{1}{12}\right) \\ = (0.577, 0.083)$$

olur.

$$D_1 \otimes D_2 = S\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}, \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{4}\right)^2}\right) = S\left(\frac{1}{6}, \sqrt{\left(\frac{1}{9}\right) + \left(\frac{1}{16}\right) - \left(\frac{1}{9}\right)\left(\frac{1}{16}\right)}\right) = S\left(\frac{1}{6}, \sqrt{\left(\frac{1}{9}\right) + \left(\frac{1}{16}\right) - \left(\frac{1}{144}\right)}\right) = \\ (0.167, 0.408)$$

olur.

$$\lambda D_1 = S\left(\sqrt{1 - \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2\right)^{1/5}}, \left(\frac{1}{3}\right)^{1/5}\right) \rightarrow \frac{1}{30} = S\left(\sqrt{1 - \left(\left(\frac{3}{4}\right)\right)^{1/5}}, \left(\frac{1}{3}\right)^{1/5}\right) = (0.236, 0.80)$$

olur.

$$D_1^\lambda = S\left(\left(\frac{1}{2}\right)^{1/5}, \sqrt{1 - \left(1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2\right)^{1/5}}\right) = S\left(\left(\frac{1}{2}\right)^{1/5}, \sqrt{1 - \left(\frac{8}{9}\right)^{1/5}}\right) = (0.87, 0.155)$$

olur.

Tanım 3: $D_1 = S(\mu_{D_1}, v_{D_1})$ ve $D_2 = S(\mu_{D_2}, v_{D_2})$ gibi iki Pisagor bulanık sayısı, Pisagor bulanık sayıları üzerinde yarı sıralı bir şekilde aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$D_1 \geq D_2 \text{ ancak ve ancak } \mu_{D_1} \geq \mu_{D_2} \text{ ve } v_{D_1} \leq v_{D_2}$$

Bu iki Pisagor bulanık sayı için Öklid uzaklığı Eşitlik 8'deki gibi hesaplanır:

$$u(D_1, D_2) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left((\mu_{D_1})^2 - (\mu_{D_2})^2 \right)^2 + \left((v_{D_1})^2 - (v_{D_2})^2 \right)^2 + \left((\pi_{D_1})^2 - (\pi_{D_2})^2 \right)^2 \right]} \quad (5.8)$$

$D_1 = S(\mu_{D_1}, v_{D_1})$ ve $D_2 = S(\mu_{D_2}, v_{D_2})$ gibi iki pythagorean bulanık küme olsun.

$$D_1 = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right), D_2 = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{4}\right) \text{ için,}$$

$$\pi_{D_1}(x) = \sqrt{1 - (\mu_S(x))^2 - (v_S(x))^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = 0.80$$

$$\pi_{D_2}(x) = \sqrt{1 - (\mu_S(x))^2 - (v_S(x))^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2 - \left(\frac{1}{4}\right)^2} = 0.91$$

olur.

Öklid uzaklık değeri;

$$\begin{aligned} u(D_1, D_2) &= \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left((\mu_{D_1})^2 - (\mu_{D_2})^2 \right)^2 + \left((v_{D_1})^2 - (v_{D_2})^2 \right)^2 + \left((\pi_{D_1})^2 - (\pi_{D_2})^2 \right)^2 \right]} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\left(\frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right)^2 \right)^2 + \left(\left(\frac{1}{3}\right)^2 - \left(\frac{1}{4}\right)^2 \right)^2 + \left(\left(\frac{80}{100}\right)^2 - \left(\frac{91}{100}\right)^2 \right)^2 \right]} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{5}{36}\right)^2 + \left(\frac{7}{144}\right)^2 + \left(-\frac{1861}{10000}\right)^2 \right]} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2} [0.019321 + 0.002363029321 + 0.03538161]} = 0.169 \end{aligned}$$

olur.

$E = S(\mu_E, v_E)$ bir pythagorean bulanık sayı olsun ve E sayısına yönelik skor ve doğruluk fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f(E) = (\mu_E)^2 - (v_E)^2 \quad (5.9)$$

$$g(E) = (\mu_E)^2 + (v_E)^2 \quad (5.10)$$

$E = S\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}\right)$ için;

$$f(E) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \left(\frac{1}{4}\right) - \left(\frac{1}{9}\right) = \frac{5}{36} = 0.14$$

$$g(E) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \left(\frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{9}\right) = \frac{13}{36} = 0.36$$

Büyük skor $f(E)$ ve doğruluk $g(E)$ fonksiyonları E sayısı için daha iyi ve doğru sonuçlar verecektir.

Böyle olmak üzere pythagorean bulanık sayılarının önerilen puanlama fonksiyonlarına bağlı olarak, iki pythagorean bulanık sayının karşılaştırılması aşağıdaki gibi yapılabilir.

Tanım 4: D_1 ve D_2 iki pythagorean sayı olmak üzere sıralamadaki iki bulanık sayının karşılaştırılması,

i) Eğer $s(D_1) < s(D_2)$, ise $D_1 < D_2$

ii) Eğer $s(D_1) > s(D_2)$, ise $D_1 > D_2$

iii) Eğer $s(D_1) = s(D_2)$, ise $D_1 \sim D_2$

şeklindedir (Karaşan, İlbahar, Çebi & Kahraman, 2018, pp.178-179; Gül, 2018, p.4; Gül & Ak, 2018, p.656; Zeng, 2017, pp.1138-1139; Zeng, Chen & Li, 2016, p.406).

5.2.1. Aralık değerli pythagorean bulanık AHS yöntemi

Kriter ve alternatifler Tablo 5.1'de gösterilen pythagorean bilgi altındaki ağırlıklandırma ölçeğini dikkate alarak değerlendirilir. Aralık değerli pythagorean

bulanık AHS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (İlbahar, Karaşan, Çebi & Kahraman, 2018, s.127; Gül & Ak, 2018, s.656-657):

1. Adım: Uzlaşık ikili karşılaştırma matrisi $B = (b_{ij})_{n \times n}$ Tablo 5.4'te verilen ağırlıklandırma ölçeği aracılığıyla karar vericilerin görüşlerini dikkate alarak elde edilir.

Tablo 5.4. *Pythagorean bilgi altında kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılan ağırlıklandırma ölçeği (Gül ve Ak, 2018, s. 656).*

Dilsel ifadeler	Aralık değerli pythagorean bulanık sayılar			
	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Kesinlikle düşük derecede önemli	0	0	0.9	1
Çok düşük derecede önemli	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük derecede önemli	0.2	0.35	0.65	0.8
Ortalama altı derecede önemli	0.35	0.45	0.55	0.65
Ortalama derecede önemli	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalama üstü derecede önemli	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek derecede önemli	0.65	0.8	0.2	0.35
Çok yüksek derecede önemli	0.8	0.9	0.1	0.2
Kesinlikle yüksek derecede önemli	0.9	1	0	0
Eşit derecede önemli	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

2. Adım: Eşitlik (5.11) ve (5.12)'deki gibi üye olma ve olmama fonksiyonlarının alt ve üst değerlerini kullanarak fark matrisi $H = (h_{ij})_{n \times n}$ oluşturulur:

$$h_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - v_{ijU}^2 \quad (5.11)$$

$$h_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - v_{ijL}^2 \quad (5.12)$$

3. Adım: Eşitlik (5.13) ve (5.14) kullanılarak aralıklı çarpım matrisi olan $P = (p_{ij})_{n \times n}$ elde edilir.

$$p_{ijL} = \sqrt{1000^{h_{ijL}}} \quad (5.13)$$

$$p_{ijU} = \sqrt{1000^{h_{ijU}}} \quad (5.14)$$

4. Adım: Uzlaşık ikili karşılaştırma matrisinin elemanları b_{ij} için belirlilik değeri τ_{ij} Eşitlik (5.15)'e göre hesaplanır:

$$\tau_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (v_{ijU}^2 - v_{ijL}^2) \quad (5.15)$$

5. Adım: Ağırlıkların matrisi olan $Z = (z_{ij})_{n \times n}$ belirlilik değerleri ile aralıklı çarpım matrisinin $P = (p_{ij})_{n \times n}$ çarpılmasıyla Eşitlik (5.16)'daki gibi oluşturulur:

$$z_{ij} = \left(\frac{p_{ijL} + p_{ijU}}{2} \right) \tau_{ij} \quad (5.16)$$

6. Adım: Son olarak normalize edilmiş ağırlıklar Eşitlik (5.17)'deki gibi hesaplanır:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n z_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (5.17)$$

5.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında karı minimize maliyeti maksimize eden negatif ideal çözüme (NİÇ) en uzak, karı maksimize maliyeti minimize eden pozitif ideal çözüme (PİÇ) en yakın Öklid uzaklığına sahip alternatif seçmeyi amaçlayacak şekilde geliştirilmiştir (Behzadian, Otaghsara, Yazdani & Ignatius, 2012).

Gerçek hayattaki uygulamalarda tam olmayan, belirsiz ve kesin olmayan bilgidен dolayı en yakın ve en uzak uzaklıklar bağlamında TOPSIS yöntemi kriter ve alternatifleri değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bulanık TOPSIS geliştirilmiş ve bu problemin çözümü için çok sayıda araştırmacı tarafından uygulanmıştır. Bu yöntem niteliksel ve niceliksel veriyi ele alabilen kolay anlaşılır ve şeffaf bir algoritma uygulamaktadır (Cavallaro, Zavadskas & Raslanas, 2016, s.8).

Bulanık TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir (Wang & Chang, 2007; Jahanshahloo, Hosseinzadeh & Izadikhah, 2006):

1. Adım: Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

m alternatif $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ ve n değerlendirme kriterinden $(K_1, K_2, \dots, K_n)$ oluşan bulanık karar matrisi $\tilde{A}$ normalleştirme süreci öncesinde oluşturulur. Matriste yer alan $\tilde{x}_{ij}$ bulanık değerleri A_i alternatifinin C_j kriterine göre değerlendirilmesini göstermektedir. Karar matrisi oluşturulurken söz konusu ülkelerin 2011-2015 yıllarına ait değerler Dünya Bankasının resmi internet sitesinden (<http://www.worldbank.org/>),

İnsani Gelişme Raporları resmi internet adresinden (<http://hdr.undp.org/en/data>) ve OECD'nin resmi internet sitesinden (<http://stats.oecd.org>) elde edilmiştir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.18)$$

2. Adım: Bulanık Karar Matrisinin Normalleştirilmesi

Normalleştirilmiş bulanık karar matrisi $\tilde{R}$ doğrusal ölçek dönüşümünden yararlanarak elde edilir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \cdots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.19)$$

Normalleştirilmiş bulanık karar matrisinin elemanları $\tilde{r}_{ij}$ fayda kriteri (F) için Eşitlik (5.20), maliyet kriteri (M) için ise Eşitlik (5.21) kullanılarak elde edilir.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad j \in F \quad (5.20)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad j \in M \quad (5.21)$$

3. Adım: Ağırlıklı Normalize Bulanık Karar Matrisinin Elde Edilmesi

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi ($\tilde{V}$) Eşitlik (5.22)'ye göre elde edilir:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \cdots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \cdots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \cdots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.22)$$

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin elemanları olan $\tilde{v}_{ij}$ ise Eşitlik (5.23)'ten yararlanılarak hesaplanır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j \quad (5.23)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan $\tilde{w}_j$, C_j kriterinin ağırlığını göstermektedir.

4. Adım: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm ($BPIÇ, A^*$) Ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm ($BNİÇ, A^-$) Değerlerinin Elde Edilmesi

Bulanık pozitif ideal çözüm ($BPIÇ, A^*$) ve bulanık negatif ideal çözüm ($BNİÇ, A^-$) aşağıdaki gibi elde edilir:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) = \left\{ \left(\max_i \tilde{v}_{ij} | j \in J \right), \left(\min_i \tilde{v}_{ij} | j \in J' \right) \right\} \quad (5.24)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) = \left\{ \left(\min_i \tilde{v}_{ij} | j \in J \right), \left(\max_i \tilde{v}_{ij} | j \in J' \right) \right\} \quad (5.25)$$

$$\tilde{v}_j^* = (1,1,1), \tilde{v}_j^- = (0,0,0), j = 1,2, \dots, n \quad (5.26)$$

5. Adım: Her Alternatifin A^* Ve A^- ’ye Olan Uzaklıklarının Hesaplanması

Her alternatifin A^* ve A^- ’ya olan uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), i = 1,2, \dots, m \quad (5.27)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1,2, \dots, m \quad (5.28)$$

6. Adım: Her Alternatifin Yakınlık Katsayısının (YK_i) Hesaplanması Ve Azalan Sıraya Göre Sıralanması

Her alternatifin yakınlık katsayısı (YK_i) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$YK_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, i = 1,2, \dots, m \quad (5.29)$$

Alternatifler YK_i değerleri dikkate alınarak azalan sıraya göre sıralanır. YK_i değeri 1’e yaklaştıkça bu değere sahip olan A_i alternatifi de $BPIÇ$ ’ye yaklaşır. Aynı zamanda YK_i değeri 0’a yaklaştıkça ise bu değere sahip olan A_i alternatifi $BNİÇ$ ’e yaklaşır.

6. UYGULAMA: OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK DÜZEYLERİNİN ARALIK DEĞERLİ PYTHAGOREAN BULANIK AHS VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada OECD ülkelerinin sürdürülebilirlik açısından incelenmesinde 13 kriter dikkate alınmıştır. Bu kriterler ilgili literatür taraması ve OECD veritabanları ele alınarak oluşturulmuştur. Kriterler sırasıyla GSYİH, nüfus, ortalama yaşam süresi, insani gelişmişlik endeksi, işsizlik oranı, kişi başı GSMH, vergi oranı, yeşil alan, elektrik tüketimi, doğurganlık oranı, kentsel nüfus, enflasyon tüketici fiyatları ve yüksek teknoloji ürünü ihracatıdır. Alternatif olarak 34 OECD ülkesi çalışmaya dahil edilmiştir.

Araştırmada eğitim kriteri, değişkenlerine ait verilerin eksikliği nedeni ile; Letonya ve Litvanya ülkeleri de tüm yıllara ait verilerin elde edilememesi nedeniyle analiz dışı bırakılmıştır.

Kriterler aralık değerli pythagorean bulanık AHS yöntemi kullanılarak 40 karar vericinin görüşleri doğrultusunda incelenmiştir. Ankette karar vericiye, belirtilen kriterler doğrultusunda şu soru soruldu ve cevap arandı; yaşanabilirlik açısından bakıldığında bir kriter diğerine göre sizce ne derecede (1: eşit derecede önemli, 3: kısmen daha önemli, 5: orta derecede önemli, 7: çok daha önemli ve 9: aşırı derecede önemli) önemlidir. Ankette yukarıda belirtilen 13 kriter yer almaktadır. Bu kriterlerin ağırlıklandırılmasının yapılabilmesi için 40 karar vericinin görüşleri dikkate alındı ve bu görüşler doğrultusunda elde edilen değerler önce bulanık sayıya çevrildi daha sonra ise ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirildi. Karar vericiler eşit ağırlığa sahip olarak dikkate alınmıştır. Anket örneğine Ek 14’de yer verilmiştir. Pythagorean bulanık sayılar çeşitli faktörler altında kriterlerin iyi ve kötü özelliklerini göstermek ve alternatifleri değerlendirmek için tercih edilmiştir. Sonrasında ise karar matrisi karar vericilerin kriter ve alternatiflerle ilgili görüşlerinin geometrik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada oran söz konusu olduğu için geometrik ortalama kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklarına ilişkin matris Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6. 1. Kriterlerin ağırlığına ilişkin aralık değerli bulanık AHS kapsamında oluşturulan matris

Kriterler	GSYİH	Nüfus	Ortalama yaşam süresi	İnsani gelişmişlik endeksi	İşsizlik oranı	Kişi başı GSMH	Vergi oranı	Yeşil alan	Elektrik tüketimi	Doğurganlık oranı	Kentsel nüfus	Enflasyon tüketici fiyatları	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
GSYİH	1	1,95	0,87	0,58	0,68	0,53	0,68	0,74	1,15	1,26	1,17	0,57	0,55
Nüfus	0,38	1	0,48	0,29	0,32	0,36	0,49	0,47	0,72	0,81	0,85	0,51	0,38
Ortalama yaşam süresi	0,86	1,5	1	0,62	0,65	0,56	0,98	0,77	1,07	1,06	1,19	0,67	0,81
İnsani gelişmişlik endeksi	1,32	2,43	1,16	1	1,01	0,93	0,95	0,96	1,54	1,56	1,45	1,08	0,99
İşsizlik oranı	1,08	2,23	1,13	0,77	1	0,9	0,98	1,2	1,34	1,46	1,35	0,89	0,93
Kişi başı GSMH	1,52	2,01	1,28	0,85	0,86	1	1,25	1,3	1,65	1,44	1,61	0,99	0,98
Vergi oranı	1,12	1,46	0,75	0,82	0,77	0,59	1	1,03	1,23	1,26	1,27	0,8	0,85
Yeşil alan	1,03	1,48	1,01	0,85	0,62	0,59	0,73	1	1,14	0,96	1,16	0,67	0,63
Elektrik tüketimi	0,64	1,02	0,69	0,48	0,56	0,46	0,61	0,69	1	0,89	0,97	0,54	0,58
Doğurganlık oranı	0,59	0,99	0,72	0,47	0,49	0,51	0,63	0,8	0,87	1	1,05	0,64	0,58
Kentsel nüfus	0,66	0,92	0,67	0,49	0,53	0,46	0,62	0,68	0,82	0,81	1	0,53	0,53
Enflasyon tüketici fiyatları	1,29	1,4	1,08	0,7	0,9	0,8	0,99	1,07	1,38	1,14	1,39	1	0,95
Yüksek teknoloji ürünü ihracatı	1,33	1,98	0,91	0,75	0,81	0,77	0,9	1,18	1,35	1,34	1,45	0,82	1

Tablo 6.1'deki hücreler Eşitlik (5.17)'deki normalleştirme işlemi aracılığıyla kriterler için ağırlıkların belirlenmesinde kullanılır. Aralık değerli pythagorean bulanık AHS yönteminin uygulanmasından sonra kriterler için elde edilen ağırlıklar Tablo 6.2'de gösterildiği gibidir:

Tablo 6. 2. *Kriterler için elde edilen ağırlıklar*

Kriterler	Ağırlıklar
GSYİH	0,073539
Nüfus	0,044406
Ortalama yaşam süresi	0,073505
İnsani gelişmişlik endeksi	0,102385
İşsizlik oranı	0,095496
Kişi başı GSMH	0,104748
Vergi oranı	0,081102
Yeşil alan	0,07447
Elektrik tüketimi	0,057391
Doğurganlık oranı	0,058618
Kentsel nüfus	0,054634
Enflasyon tüketici fiyatları	0,088333
Yüksek teknoloji ürünü ihracatı	0,091375

Tablo 6.2'ye göre kişi başı GSMH 0,104748 değeriyle en önemli kriter olarak bulunurken nüfus ise 0,044406 değeriyle en önemsiz kriter olarak elde edilmiştir. Kriterlerin ağırlıkları bulunduktan sonra OECD ülkeleri bulanık TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır. Hesaplama Excel yazılımından yararlanılmıştır. Kriterlerle ilgili veriler kesin sayı şeklinde olduğu için önce üçgensel bulanık sayıya dönüştürülmüştür. Wang (2014) tarafından geliştirilen Eşitlik (6.1) kullanılarak üçgensel bulanık sayılardan oluşan karar matrisinin oluşturulduğu matrise Ek 15'te yer verilmiştir.

$y_{ij}(d)$ d döneminde i alternatifi için j kriteri ile ilişkili değeri gösterebilir ve V_{ij} ise j kriteri üzerinde i alternatifinin performans değeri olsun $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; d = 1, 2, \dots, t$.

$V_{ij} = (v_{1ij}, v_{2ij}, v_{3ij})$ ve bunun bileşenleri ise

$$v_{1ij} = \min_{1 \leq d \leq t} \{y_{ij}(d)\}, \quad v_{2ij} = \frac{1}{t} \sum_{d=1}^t y_{ij}(d), \quad v_{3ij} = \max_{1 \leq d \leq t} \{y_{ij}(d)\} \quad (6.1)$$

$[V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}]$ değerleri tüm kriterler için A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) alternatifinin performans matrisini göstermektedir. Bu bağlamda normalize edilmiş bulanık karar matrisine Ek 16'da yer verilmiştir.

Sonrasında ise kriterlerin ağırlıklarından yararlanılarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulur.

Her alternatifin A^* ve A^- 'ya olan uzaklıkları bulunur ve bu değerleri gösteren tabloya Ek 17'de yer verilmiştir.

Son olarak her alternatifin YK_i değerleri bulunur ve azalan şekilde sıralanır. Bu durum Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6. 3. YK_i değerleri ve OECD ülkelerinin azalan biçimde sıralanması

Ülkeler	YK_i	Sıra
Avustralya	0,251898	8
Avusturya	0,247114	22
Belçika	0,250955	12
Kanada	0,255589	4
Şili	0,246163	26
Çek Cumhuriyeti	0,245006	31
Danimarka	0,250801	13
Estonya	0,245097	30
Finlandiya	0,256224	3
Fransa	0,250568	14
Almanya	0,24987	16
Yunanistan	0,246784	23
Macaristan	0,245249	29
İzlanda	0,25385	6
İrlanda	0,249345	17
İsrail	0,248857	18
İtalya	0,25129	11
Japonya	0,247409	21

Kore Cumhuriyeti	0,242939	32
Lüksemburg	0,256501	2
Meksika	0,242111	33
Hollanda	0,250205	15
Yeni Zelanda	0,254217	5
Norveç	0,25193	7
Polonya	0,242025	34
Portekiz	0,246199	25
Slovak Cumhuriyeti	0,245264	28
Slovenya	0,24629	24
İspanya	0,25184	9
İsveç	0,251723	10
İsviçre	0,24859	19
Türkiye	0,245316	27
Birleşik Krallık	0,248427	20
Amerika Birleşik Devletleri	0,256605	1

OECD ülkelerinin YK_i değerlerine göre sıralanması sonucunda Amerika Birleşik Devletleri 0,256605 değeri ile ilk sırada yer alırken Polonya ise 0,242025 değeri ile son sırada yer almıştır.

6.1. Araştırma Yöntemlerinin Uygulama Adımlarının Örneklendirilmesi

Yöntemlerin uygulama adımları incelenirken seçilen ülkeler; Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Şili, kriterler ise; “ GSYİH (Fayda), İşsizlik Oranı (Maliyet), Doğurganlık Oranı (Fayda), Vergi Oranı (Maliyet) ve Ortalama Yaşam Süresi (Fayda)” olarak belirlenmiştir. Daha sonra aralık değerli pythagorean bulanık AHS metodu ile bu beş kriterin önem derecelerinin (ağırlıklarının) bulunuşu ve bu beş ülkenin bulanık TOPSIS derece değerlerine göre sıralanması gösterilmiştir.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS'nin ilk adımında, ifade edilen uzlaşık ikili karşılaştırma matrisi Şekil 1'de yer alan ağırlıklandırma ölçeği yardımıyla karar vericilerin görüşleri dikkate alınarak elde edilmiş ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Excel

tablosu Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

107	Dilsel ifadeler	Aralık değerli pythagorean bulanık sayılar			
108		μ_L	μ_U	v_L	v_U
109	Kesinlikle düşük derecede önemli	0	0	0.9	1
110	Çok düşük derecede önemli	0.1	0.2	0.8	0.9
111	Düşük derecede önemli	0.2	0.35	0.65	0.8
112	Ortalama altı derecede önemli	0.35	0.45	0.55	0.65
113	Ortalama derecede önemli	0.45	0.55	0.45	0.55
114	Ortalama üstü derecede önemli	0.55	0.65	0.35	0.45
115	Yüksek derecede önemli	0.65	0.8	0.2	0.35
116	Çok yüksek derecede önemli	0.8	0.9	0.1	0.2
117	Kesinlikle yüksek derecede önemli	0.9	1	0	0
118	Eşit derecede önemli	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

Şekil 6.1. Ağırlıklandırma ölçeği

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		GSYİH (TL)	İşsizlik Oranı (%)	Doğurganlık Oranı (%)	Vergi Oranı (%)	Ortalama Yaşam Süresi (%)		Elde Edilen AHS Ağırlıkları
2	GSYİH (TL)	1	0,686067	1,267,132	0,687249	0,871771	1267135	0,171487351
3	İşsizlik Oranı (%)	1,082,454	1	1,467,812	0,985113	113,439	2,663,707	0,360491949
4	Doğurganlık Oranı (%)	0,59299	0,49597	1	0,634341	0,728606	3,451907	4,67163E-07
5	Vergi Oranı (%)	1,129,331	0,774793	1,261,101	1	0,753507	2,390,435	0,323508706
6	Ortalama Yaşam Süresi (%)	0,860389	0,654276	1,067,805	0,980058	1	1067808	0,144511527
7							7,389,089	

Şekil 6.2. İkili karşılaştırma matrisi

Excel tablosu üzerinde G2 hücresine;

=TOPLA(B2:F2)

formülü yazılmış, G2 hücresi G6 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve böylece her kriter (değişken) için toplam değer elde edilmiştir. Ardından G7 hücresine;

=TOPLA(G2:G6)

formülü yazılarak, kriterler toplamı elde edilmiştir.

Daha sonra H2 hücresine;

=H2/\$H\$7

formülü yazılmış, H2 hücresi H6 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş, böylece her bir kriter için ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS’nin ikinci adımında, üye olma ve üye olmamanın alt ve üst sınırları sırasıyla Eşitlik (5.11) ve Eşitlik (5.12) yardımıyla elde

edilmiştir. Excel tablosu Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
10	GSYİH-İşsizlik Oranı						
11	0,45		0,55		0,45		0,55
12	0,197		0,197		0,197		0,197
13	0,197		0,197		0,197		0,197
14	0,197		0,197		0,197		0,197
15	0,65		0,8		0,2		0,35
16	0,1		0,2		0,8		0,9
17	0,2		0,35		0,65		0,8
18	0,35		0,45		0,55		0,65
19	0,55		0,65		0,35		0,45
20	0,2		0,35		0,65		0,8
21	0,35		0,45		0,55		0,65
22	0,55		0,65		0,35		0,45
23	0,8		0,9		0,1		0,2
24	0,2		0,35		0,65		0,8
25	0,55		0,65		0,35		0,45
26	0,35		0,45		0,55		0,65
27	0,1		0,2		0,8		0,9
28	0,45		0,55		0,45		0,55
29	0,45		0,55		0,45		0,55
30	0,2		0,35		0,65		0,8
31	0,45		0,55		0,45		0,55
32	0,45		0,55		0,45		0,55

	A	B	C	D	E	F	G
33	0,2		0,35		0,65		0,8
34	0,45		0,55		0,45		0,55
35	0,2		0,35		0,65		0,8
36	0,45		0,55		0,45		0,55
37	0,65		0,8		0,2		0,35
38	0,55		0,65		0,35		0,45
39	0,326390166		0,435946132		0,409360516		0,510913
40	0,106530541		0,19004903		0,167576032		0,261032

Şekil 6.3. Geometrik ortalama değerleri

Burada A39 hücresine;

=GEOORT(A11:A38)

formülü yazılmıştır. Daha sonra A40 hücresine;

=A39*A39

formülü yazılarak alt ve üst sınırları belirleme işlemine geçilmiştir.

	C	D	E	F	G	H	I	J
41								
42						μ_L		μ_U
43						-0,154501723		0,022472999
44								
45					1000	0,343949618		1,167935868
46								
47					V_L	0,58647218	V_U	1,080710816

Şekil 6.4. Üye olma ve üye olmamanın alt ve üst sınırları

Üye olmanın alt sınırı olan μ_L ’yi hesaplamak için H43 hücresine;

=A40-G40

formülü yazılmıştır. Üye olmanın üst sınırı olan μ_U 'yu hesaplamak için J43 hücresine;

=C40-E40

formülü yazılmıştır.

Üye olmamanın alt sınırı olan V_L 'yi hesaplamak için H47 hücresine;

=KAREKÖK(H45)

formülü yazılmıştır. Üye olmamanın üst sınırı olan V_U 'yu hesaplamak için ise J47 hücresine;

=KAREKÖK(J45)

formülü yazılmıştır.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS'nin üçüncü adımında, sırasıyla Eşitlik (5.13) ve Eşitlik (5.14) yardımıyla aralıklı çarpım matrisi elde edilmiştir. Excel tablosu Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

	C	D	E	F	G	H	I	J
41								
42						μ_L		μ_U
43						-0,154501723		0,022472999
44								
45					1000	0,343949618		1,167935868
46								
47					V_L	0,58647218	V_U	1,080710816

Şekil 6.5. Aralıklı çarpım matrisi

H45 hücresine;

=KUVVET(G45;H43) ve

J45 hücresine;

=KUVVET(G45;J43)

formülleri yazılarak aralıklı çarpım matrisi elde edilmiştir.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS'nin dördüncü adımında, belirlilik değeri Eşitlik (5.15) ile hesaplanmış, Excel tablosu Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
37	0,65		0,8		0,2		0,35
38	0,55		0,65		0,35		0,45
39	0,326390166		0,435946132		0,409360516		0,510913167
40	0,106530541		0,19004903		0,167576032		0,261032264
41							
42					belirlilik değeri	0,823025278	

Şekil 6.6. Belirlilik değeri

F42 hücresine;

$$=1-(C40-A40)-(G40-E40)$$

formülü yazılarak belirlilik değeri elde edilmiştir.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS'nin beşinci adımında, ağırlıklar matrisi (Z_{ij}) Eşitlik (5.16) yardımıyla oluşturulmuş ve Excel tablosu Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

	D	E	F	G	H	I	J
40		0,167576032		0,261032264			
41							
42							
43					μ_L		μ_U
44					-0,154501723		0,022472999
45							
46				1000	0,343949618		1,167935868
47							
48				V_L	0,58647218	V_U	1,080710816
49							
50				belirlilik değeri	0,823025278	Z_{ij}	0,686066875

Şekil 6.7. Ağırlıklar matrisi

J50 hücresine;

$$=((H48+J48)/2)*H50$$

formülü yazılmıştır ve bu şekilde ağırlıklar matrisi elde edilmiştir.

Aralık değerli pythagorean bulanık AHS'nin son adımında, normalize edilmiş ağırlıklar Eşitlik (5.17) yardımıyla hesaplanmıştır. Excel tablosu Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		GSYİH (TL)	İşsizlik Oranı (%)	Doğurganlık Oranı (%)	Vergi Oranı (%)	Ortalama Yaşam Süresi (%)		Elde Edilen AHS Ağırlıkları
2	GSYİH (TL)	1	0,686067	1.267.132	0,687249	0,871771	1267135	0,171487351
3	İşsizlik Oranı (%)	1.082.454	1	1.467.812	0,985113	113.439	2.663.707	0,360491949
4	Doğurganlık Oranı (%)	0,59299	0,49597	1	0,634341	0,728606	3,451907	4,67163E-07
5	Vergi Oranı (%)	1.129.331	0,774793	1.261.101	1	0,753507	2.390.435	0,323508706
6	Ortalama Yaşam Süresi (%)	0,860389	0,654276	1.067.805	0,980058	1	1067808	0,144511527
7							7.389.089	

Şekil 6.8. Normalize edilmiş ağırlık değerleri

Normalize edilmiş ağırlıkları bulmak için G sütununda gösterildiği gibi her bir kritere yönelik değerler elde edilir. Örneğin GSYİH kriterini gösteren G2 hücresine;

=TOPLA(B2:F2)

formülü yazılmış, G2 hücresi G6 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve böylece tüm kriterler için aynı işlem uygulanmış olur. Daha sonra ise kriterlerin ağırlıklarını bulmaya yönelik normalizasyon işlemi için bu değerler toplanarak G7 hücresine yazılmıştır. G7 hücresine;

=TOPLA(G2:G6)

formülü yazılmıştır. Sonrasında ise kriterler için normalize edilmiş ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Yine GSYİH kriteri için yapacak olursak, H2 hücresine;

=G2/\$G\$7

formülü yazılarak, H2 hücresi H6 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve tüm kriterlerin normalize edilmiş ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Gösterge setinden seçilmiş olan beş adet kriterin ağırlıkları bulunduğundan sonra, belirlenen ülkelerin bulanık TOPSIS derece değerlerine göre sıralanması adımları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Bulanık TOPSIS yönteminin birinci adımında, belirtilen veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
2			Fayda	Maliyet	Fayda	Maliyet	Fayda
3			GSYİH (TL)	İşsizlik Oranı (%)	Doğurganlık Oranı (%)	Vergi Oranı (%)	Ortalama Yaşam Süresi (%)
4		Avustralya	1349	5,081	1,81	22,3	81,895
5		Avusturya	431,12	4,564	1,43	33,6	80,937
6		Belçika	527,008	7,14	1,7	42	80,385
7		Kanada	1560	6,91	1,582	22,5	81,45
8		Şili	252,252	6,21	1,785	7	78,599

Şekil 6.9. Veri setinin Excel'de gösterilmesi

Bulanık TOPSIS yönteminin ikinci adımında, bulanık karar matrisinin normalleştirilmesi işlemi fayda kriteri (max) için Eşitlik (5.20), maliyet kriteri (min) için Eşitlik (5.21) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık karar matrisinin normalleştirilmesinin Excel tablosu Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
10			GSYİH (TL)	İşsizlik Oranı (%)	Doğurganlık Oranı (%)	Vergi Oranı (%)	Ortalama Yaşam Süresi (%)
11		Avustralya	0,7319588	0,750657895	0,939771547	0,290456432	0,993871359
12		Avusturya	0,233923	0,797902098	0,742471443	0,2	0,982245146
13		Belçika	0,2859512	0,535680751	0,882658359	0,163551402	0,975546117
14		Kanada	0,846446	0,607723036	0,821391485	0,299145299	0,988470874
15		Şili	0,1368703	0,621798365	0,926791277	1	0,953871359

Şekil 6.10. Bulanık karar matrisinin normalleştirilmesi

Excel tablosu üzerinde normalleştirme işlemi gerçekleştirilirken, C11 ve D11 hücrelerine sırasıyla;

$$=B74/ \$D\$79$$

ve

$$= \$B\$86/ D81$$

formülü yazılmış, C11 hücresi C15 hücresine; D11 hücresi de D15 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve diğer sütunlara da aynı işlem uygulanarak tüm hücreler için normalize edilmiş verilere ulaşılmıştır.

Bulanık TOPSIS yönteminin üçüncü adımında, ağırlıklı normalize karar matrisinin elde edilmesi için Eşitlik (5.22) ve elemanların değeri ise Eşitlik (5.23) yardımıyla hesaplanmıştır. Excel tablosu Şekil 6.11’de gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G
17			GSYİH (TL)	İşsizlik Oranı (%)	Doğurganlık Oranı (%)	Vergi Oranı (%)	Ortalama Yaşam Süresi (%)
18		Avustralya	0,1255217	0,270606127	4,39026E-07	0,093965184	0,143625868
19		Avusturya	0,0401148	0,287637282	3,46855E-07	0,064701741	0,141945746
20		Belçika	0,049037	0,193108598	4,12345E-07	0,052910302	0,140977659
21		Kanada	0,1451548	0,219079261	3,83724E-07	0,096776109	0,142845436
22		Şili	0,0234715	0,224153304	4,32962E-07	0,323508706	0,137845407

Şekil 6.11. Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi

Excel tablosu üzerinde ağırlıklı normalize işlemi gerçekleştirilirken, C18 hücresine;

$$=F74* \$I\$2$$

formülü yazılmış, C18 hücresi G22 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve ağırlıklı normalize bulanık değerleri elde edilmiştir.

Bulanık TOPSIS yönteminin dördüncü adımında, bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm değerleri sırasıyla Eşitlik (5.24) ve Eşitlik (5.25) yardımıyla hesaplanmış, ayrıca $\tilde{v}_j^*$ değeri de Eşitlik (5.26) ile elde edilmiştir. Excel tablosu Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’de gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E
24			bulanık pozitif ideal çözümden uzaklıklar		
25		Avustralya	4,3267186		
26		Avusturya	85,165189		
27		Belçika	4,5464534		
28		Kanada	4,3684547		
29		Şili	4,2695572		

Şekil 6.12. Bulanık pozitif ideal çözümden uzaklıklar

Excel tablosu üzerinde C25 hücresine;

$$=V74+V81+V88+V95+V102$$

formülü yazılmış, C25 hücresi C29 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve bulanık pozitif ideal çözüme uzaklıklar hesaplanmıştır.

	A	B	C	D	E
31			Bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklar		
32		Avustralya	0,6747892		
33		Avusturya	82,594749		
34		Belçika	0,4542799		
35		Kanada	0,6321893		
36		Şili	0,7311945		

Şekil 6.13. Bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklar

Excel tablosu üzerinde C32 hücresine;

$$=AH74+AH81+AH88+AH95+AH102$$

formülü yazılmış, C32 hücresi C36 hücresine kadar çekilerek genişletilmiş ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklıklar hesaplanmıştır.

Bulanık TOPSIS yönteminin beşinci adımında her alternatifin d_i^* 'ya olan uzaklığı Eşitlik (5.27) ve d_i^- 'ye olan uzaklığı ise Eşitlik (5.28) yardımıyla hesaplanmış ve Excel tablosu Şekil 6.14'de gösterilmiştir.

	Ülkeler	d_i^*	d_i^-
136			
137	Avustralya	4,3267186	0,67478921
138	Avusturya	85,16518888	82,59474896
139	Belçika	4,546453429	0,454279915
140	Kanada	4,368454693	0,632189281
141	Şili	4,269557219	0,731194498

Şekil 6.14. Her alternatifin A^* ve A^- 'ya olan uzaklıkları

Bulanık TOPSIS yönteminin son adımında, yakınlık katsayısı (YK_i) Eşitlik (5.29) ile hesaplanmış ve azalan sıraya göre sıralanmıştır. Excel tablosu Şekil 6.15'te gösterilmiştir.

	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
108															
109		Bulanık pozitif ideal çözümden uzaklıklar					Bulanık negatif ideal çözümden uzaklıklar						Yakınlık katsayısı		Sıra
110		Avustralya	4,326719				Avustralya	0,6747892				Avustralya	0,134917		4
111		Avusturya	85,16519				Avusturya	82,594749				Avusturya	0,492339		1
112		Belçika	4,546453				Belçika	0,4542799				Belçika	0,090843		2
113		Kanada	4,368455				Kanada	0,6321893				Kanada	0,126422		3
114		Şili	4,269557				Şili	0,7311945				Şili	0,146217		5

Şekil 6.15. YK_i değerleri ve OECD ülkelerinin azalan biçimde sıralanması

Yakınlık katsayısını hesaplamak için Excel tablosu üzerinde AI109 hücresine;

$$=AL74/(AL74+Y74)$$

formülü yazılmış, AI109 hücresi AI113 hücresine kadar çekilerek genişletilmiştir. Bu sayede tüm hücreler için YK_i değerleri bulunmuş ve azalan sıraya göre sıralama yapılmıştır.

Bu aşama gerçekleştirildikten sonra yöntemlerin uygulama adımlarına geçilir, oluşturulan gösterge setindeki 13 değişken ve OECD'deki 34 ülke için ele alınmış, 2011-2015 yılları arası bulgular değerlendirilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

OECD ülkelerinin yaşanabilirlik düzeylerinin karşılaştırılıp değerlendirildiği bu çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan bulanık AHS ve bulanık TOPSIS yöntemleri ele alınmıştır. Uygulamada 34 OECD ülkesi değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada ülkelerin yaşanabilirlik düzeyleri değerlendirilirken; gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, ortalama yaşam süresi, insani gelişmişlik endeksi, işsizlik oranı, kişi başı gayri safi milli hasıla, vergi oranı, yeşil alan, elektrik tüketimi, doğurganlık oranı, kentsel nüfus, enflasyon tüketici fiyatları ve yüksek teknoloji ürünü ihracatı kriter olarak belirlenmiştir. Uygulama için; dünya bankası, OECD ve insani gelişme raporları verileri kullanılmıştır. OECD ülkelerinin yaşanabilirlik açısından incelenmesinde aralık değerli Pythagorean bulanık AHS ile bulanık TOPSIS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kriterler literatür taraması sonucu belirlenmiş olup ağırlıklandırılmasında aralık değerli Pythagorean bulanık AHS yönteminden yararlanılmıştır. Bunun sonucunda kriterler arasından kişi başı GSMH 0,104748 ağırlık değeriyle en önemli kriter olarak bulunurken, nüfus ise 0,044406 ağırlık değeriyle en önemsiz kriter olarak bulunmuştur. İnsani gelişmişlik endeksi 0,102385 değeriyle ikinci, işsizlik oranı 0,095496 değeriyle üçüncü, yüksek teknoloji ürünü ihracatı 0,091375 değeriyle dördüncü, enflasyon tüketici fiyatları 0,088333 değeriyle beşinci, vergi oranı 0,081102 değeriyle altıncı, yeşil alan 0,07447 değeriyle yedinci, GSYİH 0,073539 değeriyle sekizinci, ortalama yaşam süresi 0,073505 değeriyle dokuzuncu, doğurganlık oranı 0,058618 değeriyle onuncu, elektrik tüketimi 0,057391 değeriyle on birinci sırada yer alırken; kentsel nüfus da 0,054634 değeriyle on ikinci sırada yer almıştır. Alternatif olarak gösterilen OECD ülkelerinin sıralanmasında ise gerçek durumu daha iyi modelleyebilen bulanık TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin uygulanması sonucunda Amerika Birleşik Devletleri yakınlık katsayısı değerlerine göre 0,256605 değeriyle ilk sırayı alırken; Polonya ise 0,242025 değeriyle son sırada yer almıştır. Lüksemburg 0,256501 değeriyle ikinci, Finlandiya 0,256224 değeriyle üçüncü, Kanada 0,255589 değeriyle dördüncü, Yeni Zelanda 0,254217 değeriyle beşinci, İzlanda 0,25385 değeriyle altıncı, Norveç 0,25193 değeriyle yedinci, Avustralya 0,251898 değeriyle sekizinci, İspanya 0,25184 değeriyle dokuzuncu, İsveç 0,251723 değeriyle onuncu, İtalya 0,25129 değeriyle on birinci, Belçika 0,250955 değeriyle on ikinci, Danimarka 0,250801 değeriyle on üçüncü, Fransa 0,250568 değeriyle on dördüncü, Hollanda 0,250205 değeriyle on beşinci, Almanya 0,24987 değeriyle on altıncı, İrlanda 0,249345 değeriyle on yedinci,

İsrail 0,248857 değeriyle on sekizinci, İsviçre 0,24859 değeriyle on dokuzuncu, Birleşik Krallık 0,248427 değeriyle yirminci, Japonya 0,247409 değeriyle yirmi birinci, Avusturya 0,247114 değeriyle yirmi ikinci, Yunanistan 0, 246784 değeriyle yirmi üçüncü, Slovenya 0,24629 değeriyle yirmi dördüncü, Portekiz 0,246199 değeriyle yirmi beşinci, Şili 0,246163 değeriyle yirmi altıncı, Türkiye 0,245316 değeriyle yirmi yedinci, Slovak Cumhuriyeti 0,245264 değeriyle yirmi sekizinci, Macaristan 0,245249 değeriyle yirmi dokuzuncu, Estonya 0,245097 değeriyle otuzuncu, Çek Cumhuriyeti 0,245006 değeriyle otuz birinci, Kore Cumhuriyeti 0,242939 değeriyle otuz ikinci sırada yer alırken; Meksika da 0,242111 değeriyle otuz üçüncü sırada yer almıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin uygulama sonrasında ilk sırada yer almasının etmenleri arasında; işsizlik oranının ve enflasyon tüketici fiyatının düşük; GSYİH, kişi başı GSMH, insani gelişmişlik endeksinin ve kentsel nüfusun yüksek değerler almaları gösterilebilir. Polonya'nın son sırada yer almasında ise; ortalama yaşam süresinin, kişi başı GSMH'nin, kentsel nüfusun ve yüksek teknoloji ürünü ihracatının düşük; vergi oranının ise yüksek değerler almaları gösterilebilir. Lüksemburg, Finlandiya, Kanada, Yeni Zelanda ve İzlanda ülkeleri sıralamanın üst kısmında yer alırken; Macaristan, Estonya, Çek Cumhuriyeti, Kore Cumhuriyeti ve Meksika ise sıralamanın alt kısmında yer almışlardır. Lüksemburg, Finlandiya, Kanada, Yeni Zelanda ve İzlanda'nın sıralamanın üst kısımlarında yer almalarında; işsizlik oranının düşük ve ortalama yaşam süresi, insani gelişmişlik endeksi, elektrik tüketimi ile kentsel nüfusun yüksek değerler almaları gösterilebilir. Macaristan, Estonya, Çek Cumhuriyeti, Kore Cumhuriyeti ve Meksika'nın sıralamanın alt kısmında yer almalarında; enflasyon oranının yüksek ve ortalama yaşam süresi, insani gelişmişlik endeksi ile kişi başı GSMH'nin düşük değer almaları gösterilebilir. Yapılan bu çalışmaya karar vericinin kriter olarak belirlemiş olduğu; gayri safi yurtiçi hasıla, nüfus, ortalama yaşam süresi, insani gelişmişlik endeksi, işsizlik oranı, kişi başı gayri safi milli hasıla, vergi oranı, yeşil alan, elektrik tüketimi, doğurganlık oranı, kentsel nüfus, enflasyon tüketici fiyatları ve yüksek teknoloji ürünü ihracatı kriterlerine daha farklı kriterler dahil edilerek, kriterlere daha farklı ağırlıklar verilerek ya da farklı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak sonuçlar yeniden değerlendirilebilir. Çalışma sonucunda AHS ile Bulanık AHS yöntemlerinin sonuçlarında farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak da sonuçlar gözlemlenebilir. Çalışma sonunda kriterler arasında bir ilişki olduğu ve bu ilişkinin diğer bir kriteri etkilediği sonucunda varılmıştır.

Kriterler arasındaki ilişki göz önünde bulundurulduğunda yani bir kriterin diğer kriterlere bağlı olarak değişkenlik göstermesi ileriki çalışmalarda Analitik Ağ Süreci (ANP) ile ilgili bir çalışma yapılabilir. Çalışmamızda sayısal kriterlere yer verilmiştir. Çünkü sayısal kriterlerin verilerine ulaşmak daha kolaydır. Ama ileriki çalışmalarda sözel kriterlere de yer verilerek çalışma farklı bir açıdan değerlendirilebilir.



KAYNAKÇA

- Acar, M., Weber, M. ve Ayan, T. (2008). “Bulanık Çıkarım Sistemleri ile Heyelan Bloklarının Belirlenmesi: Gürpınar Örneği”. HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, (98), 28-35.
- Aktaş, A. (2014). ‘Avrupa Kentsel Şartı Bağlamında Yaşam Kalite Arayışları: Tozkoparan Örneği’. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Araştırma Yönetimi.
- Arslan, T. ve Khısty C. J. (2005). “A Rational Reasoning Method From Fuzzy Perceptions In Route Choise”. Fuzzy Sets And Systems, 150(3), 419-435.
- Atacak, İ. ve Bay, Ö. F. (2004). “Bulanık Mantık Denetimli Seri Aktif Güç Filtresi Kullanarak Harmonik Gerilimlerin Bastırılması”. Ankara: Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2), 205-215.
- Atin, M. H. (1999). Bulanık Lineer Programlama. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balbal, K. F. (2016). Honey & Mumford ve Mccarthy öğrenme stili modellerinin bulanık Mantık tabanlı gerçekleştirimi ve performans analizi / Implementation and performance evaluation of fuzzy Logic based Honey & mumford and McCarthy learning style inference system.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004a). Bulanık Mantık, İlke ve Temelleri. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004b). Bulanık Mantık, Uzman Sistemler ve Denetleyiciler. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M. , Ignatius, J. (2012). A State of Art Survey of TOPSIS Applications, Expert Systems with Applications, 39(17), 13051-13069.
- Bojadziev, G. and Bojadziev, M. (1995). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications. London: World Scientific.

Bolat, Y. (2006). Matlab-Simulink + Pıç Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Sıcaklık Kontrolü Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Byun, D.H. (2001). “The AHP Approach For Selecting An Otomobile Purchase Model”. Information & Management, 38(5), 289-297.

Cavallaro, F., Zavadskas, E.K. and Raslanas, S. (2016). Evaluation of Combined Heat and Power (CHP) Systems Using Fuzzy Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS. Sustainability, 8, 556-577.

Cengiz, D. (2012). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Analiz. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chandran, B. vd. (2005). “Linear Programming Models For Estimating Weights In The Analytic Hierarchy Process”. Computers & Operations Research, 32(9), 2235-2254.

Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 114, 1-9.

Çelik, S.H. (2000). Bulanık Rastgele Doğrusal Programlama. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çınar, Y. (2004). Çok Nitelikli Karar Verme Ve Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi Örneği. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. 17-18.

Çiftçi, T. (2001). “Otomasyon, Otomatik Kontrol, Akıllı Kontrol, Bilimsel Tanımlamaları ve Uygulama Sınırlamaları”. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, (410), 1-4.

Çitli, N. (2006). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirel, O. (1999). “Bulanık Mantık”. Bilim ve Teknik, (385), 78-80.

Ecer, F. ve Küçük, O. (2008). Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(1), 355-369.

Efendigil, T. (2008). Müşteri Odaklı Sistemler İçin Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Çıkarım Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi Yaklaşımı. Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eğrisöğüt Tiryaki, A. ve Kazan, R. (2007). “Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi”. Mühendis ve Makine, 48(565), 3-8.

Elmas, Ç. (2007). Yapay Zeka Uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, 186-187.

Gençer, M. (1991). Bulanık Kuram ve Uygulamalarında Gelişmeler. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 239-242.

Görener, A. (2009). Kesici Takım Tedarikçisi Seçiminde Analitik Ağ Sürecinin Kullanımı. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(1), 99-110.

Görgülü, Ö. (2007). Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Teorisi ve Tarımda Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Yayınlanmış Doktora Tezi. Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gül, M. and Ak, M.F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. Journal of Cleaner Production, 196, 653-664.

Güneş, M. ve Umarusman, N. (2003). “ Bir Karar Destek Aracı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetimlerde Vergi Optimizasyonu Uygulaması”. Review of Social Economic & Business Studies, 2, 242-255.

İlbahar, E. , Karaşan, A. , Çebi, S. and Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Safety Science, 103, 124-136.

Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh L.F. and Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data. Appl. Math. Comput. 181(2), 1544–1551.

Jang, J. S. R., Sun, C. T. and Mizutani, E. (1997) Neuro-Fuzzy and Soft Computing. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.

Kaufmann, A. and Gupta, M. M. (1988). Fuzzy Mathemetical Models in Engineering and Management Science. North Holland: Elsevier Science Publishers B.V. , 20.

Kaynak, O. ve Armağan, G. (1992). Bulanık Denetim ve Endüstriyel Uygulamaları. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 35-55.

Keleş, R. (2010). Kentleşme Politikası. İstanbul: İmage Yayınevi.

Kwiesielewicz, M.ve Uden, E. V. (2004). “Inconsistent and Contradictory Judgements In Pairwise Comparison Method In The AHP”. Computers & Operations Research, 31(5), 713-719.

Marler, R. T. et al, (2004). A Fuzzy Approach for Determining a Feasible Point in a Contrained Problem, 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference, July, San Diego, CA, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY.

Mendel, J. M. (2001) Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems, Introductions and New Directions, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.

Meziane, F. Vadera, S. Kobbacy, K. Proudlove, N. (2000) “Intelligent Systems in Manufacturing: Current Developments and Future Prospects”, Integrated Manufacturing Systems, 11(4), 218-238.

Nabiyev, V. V. (2005). Yapay Zeka, Problemler-Yöntemler-Algoritma (2. Basım). Ankara: Seçkin Kitabevi.

Organ, A. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden Bulanık Promethee Yönteminin Konteynır Seçiminde Uygulanması. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 12 (45), 252-269.

Organ, A. ve Katrancı, A., (2016, Aralık). “Kırılgan Sekizli Olarak Adlandırılan Ülkelerin Yaşanabilirlik Düzeyinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi”. Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, 73-90.

Öğütlü, A.S. (2002). Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Yem Karışım Problemine Uygulanması. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özdemir, A. (2016). Karar Verme Süreci. ISBN, Karar Modelleri İçinde (s. 10-12). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını.

Özkan, M. M. (2003). Bulanık Hedef Programlama. Bursa: Ekin Kitabevi.

Özkan, M. M. (Fall 2002-2003). Bulanık Hedef Programlama Modeli ve Bir Uygulama Denemesi. Review of Social, Economic and Business Studies, (2), 265-301.

Öztemel, E. (2003). Yapay Sinir Ağları. (1. Basım). İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Paksoy, T. (2002). Bulanık Küme Teorisi ve Doğrusal Programlamada Kullanımı: Karşılaştırmalı Bir Analiz. Konya: Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(1), 1-16.

Pappis, C. P. and Siettos, C. I. (2005). “Fuzzy Reasoning”, Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques, Derl: E.K. Burke ve G. Kendall (Springer: New York), 437-474.

Perfileieva, I. (2007). “Analytical Theory of Fuzzy IF-THEN Rules with Compositional Rule of Inference”, Fuzzy Logic, A Spectrum of Theoretical & Practical Issues, Derl.: P.P. Wang, D. Ruan ve E.E. Kerre (Springer Verlag: Berlin- Heidelberg), 173-191.

Pillay, A. and Wang, J. (2003) “Modified Failure Mode and Effects Analysis using Approximate Reasoning”. Reliability Engineering and System Safety, 79(1), 69–85.

Saaty, T. L. (1986). “Axiomatic Foundation Of The Analytic Hierarchy Process”. Management Science, 32(7), 841-855.

Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, 48, 9-26.

Saaty, T. L. ve Özdemir M. S. (2003). “Why The Magic Number Seven Plus or Minus Two”. Mathematical and Computer Modelling, 38(3-4), 233-244.

Sağlam, G. (2007). Hiyerarşik Bulanık Mantık PID Kontrolörleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Scholl A. vd. (2005). "Solving Multiattribute Design Problems With Analytic Hierarchy Process and Conjoint Analysis: An Empirical Comparison". *European Journal of Operational Research*, 164(3), 760-777.
- Sharma, R. K., Kumar, D. and Kumar, P. (2005). "Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling". *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22(9), 986-1004.
- Soner, S. ve Öñüt, S. (2006). "Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application". *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 110-120.
- Şen, Z. (2002b). *Modern Mantık*. İstanbul: Bilge Kültür Sanat yayınları, 163.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri*. (2. Basım). İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Tanaka, K. (1997). *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. Springer Verlag: New York.
- Tatlı, H. ve Şen, Z. (2001). *Günlük En Büyük Sıcaklıkların Bulanık Kümeler ile Kestirimi*. *Turk J Engin Environ Sci*, Tübitak, 25, 1-9.
- Tay, K. M. and Lim, C. P. (2006). "Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures". *International Journal of Quality and Reliability Management*, 23(8), 1047-1066.
- Terano, T. et al, (1991). *Fuzzy Systems Theory and its Applications*. San Diego: Academic Press Inc.
- Tomovic, K. (1992). *A Fuzzy Linear Programming Approach to the Reactive Power/Voltage Control Problem*. *Transactions Power Systems*, 7(1), 288.
- Tuncel, S. Ö. (1997). *Bulanık Doğrusal Programlama*. Basılmamış Bilim Uzmanlığı Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkbey, O. (2003). "Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi için Bir Bulanık Güçlü Metod". İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(3), 81-98.

Uzun, Ç. H. (1995). Bulanık Lineer Programlama ve Bir Uygulama. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vargas, L.G. (1990). “An Overview of The Analytic Hierarchy Process and Its Applications”. European Journal Of Operational Research 48(1). 2-8.

Wang, T. C. and Chang, T. H. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 33(4), 870–880.

Wang, Y.J. (2014). The evaluation of financial performance for Taiwan container shipping companies by fuzzy TOPSIS. Applied Soft Computing, 22, 28-35.

Yadav, O. M., Choudhary, N. and Bilen, C. (2008) “Complex System Reliability Estimation Methodology in the Absence of Failure Data”. Quality and Reliability Engineering International, 24(7), 745-764.

Yapıcı, N. (2000). Bulanık Doğrusal Programlamaya Sinir Ağları Yaklaşımı. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1(3), 5.

Yen, J. and Langari, R., (1999). Fuzzy Logic. Intelligence, Control and Information, NJ: Prentice Hall.

Yenilmez, K. (2001). Bulanık Doğrusal Programlama Problemleri için Yeni Çözüm Yaklaşımları ve Duyarlılık Analizi. Basılmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldırım B. F ve Önder E. (2014). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Bursa: Dora Yayıncılık, 134.

Yılmaz, M. ve Arslan, E. (2005). “ Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”. 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım, İstanbul, 512-522.

Yılmaz, Ö. F. (1998). Bulanık Doğrusal Programlama ile Asgari Ücretin Belirlenmesi. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-15.

Zadeh, L. A. (1965). “Fuzzy Sets”. Information and Control, 8(3), 338-353.

Zadeh, L. A. (1975a). “The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I”. Information Sciences, 8(3), 199-249.

Zahedi, F. (1987). “A Utility Approach To The With Analytic Hierarchy Process”. Mathematical Modelling, 9(3-5), 387-395.

Zimmermann, H. J. (1991). Fuzzy Sets Theory and Its Applications. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 15-16.

http-1: <http://tuik.gov.tr> (Son Erişim Tarihi: 01.05.2019).

http-2: <https://www.worldbank.org> (Son Erişim Tarihi: 24.04.2019).

http-3: <http://hdr.undp.org/en/data> (Son Erişim Tarihi: 28.04.2019).

http-4: <https://stats.oecd.org> (Son Erişim Tar

EKLER

Ek 1. GSYİH Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 2. Nüfus Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 3. Ortalama Yaşam Süresi Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 4. İnsani Gelişmişlik Endeksi Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 5. İşsizlik Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 6. Kişi Başı GSMH Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 7. Vergi Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 8. Yeşil Alan Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 9. Elektrik Tüketimi Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 10. Doğurganlık Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 11. Kentsel Nüfus Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 12. Enflasyon Tüketici Fiyatları Duyarlılık Analizi Sonuçları

Ek 13. Yüksek Teknoloji Ürünü İhracatı Duyarlılık Analizi Sonuçları

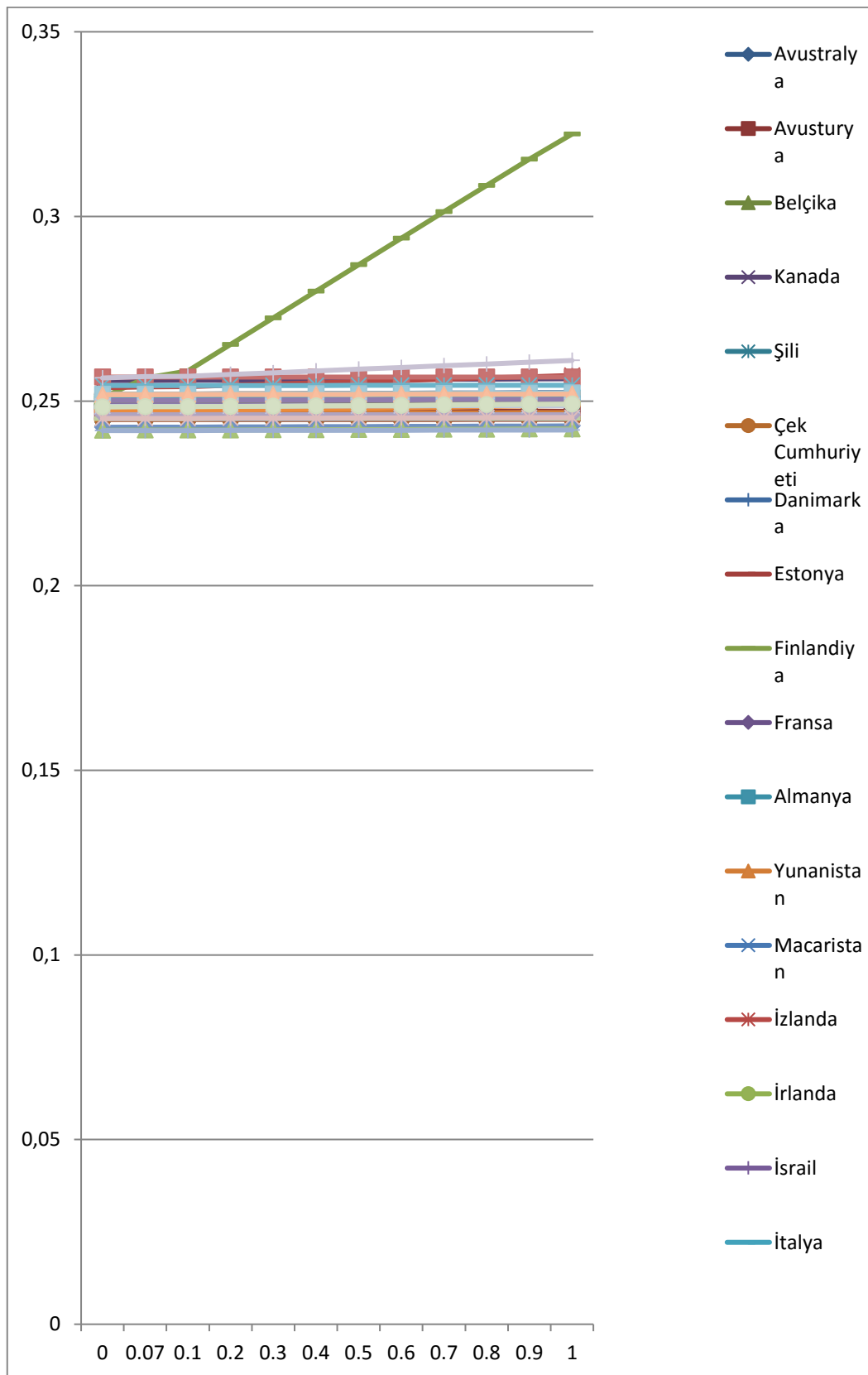
Ek 14. Anket Örneği

Ek 15. Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması

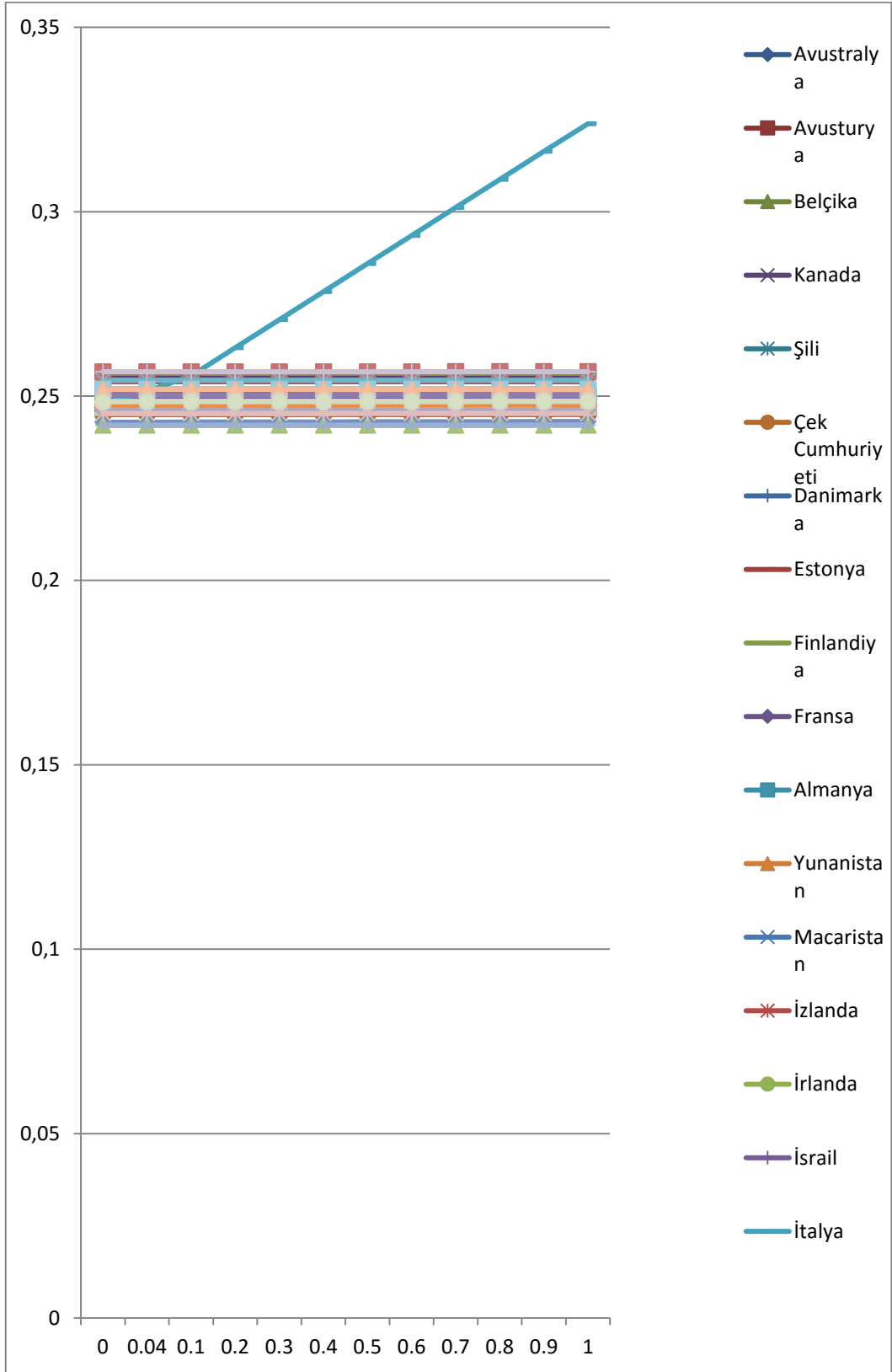
Ek 16. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

Ek 17. Her Alternatifin A^* ve A^- 'ya Olan Uzaklıkları

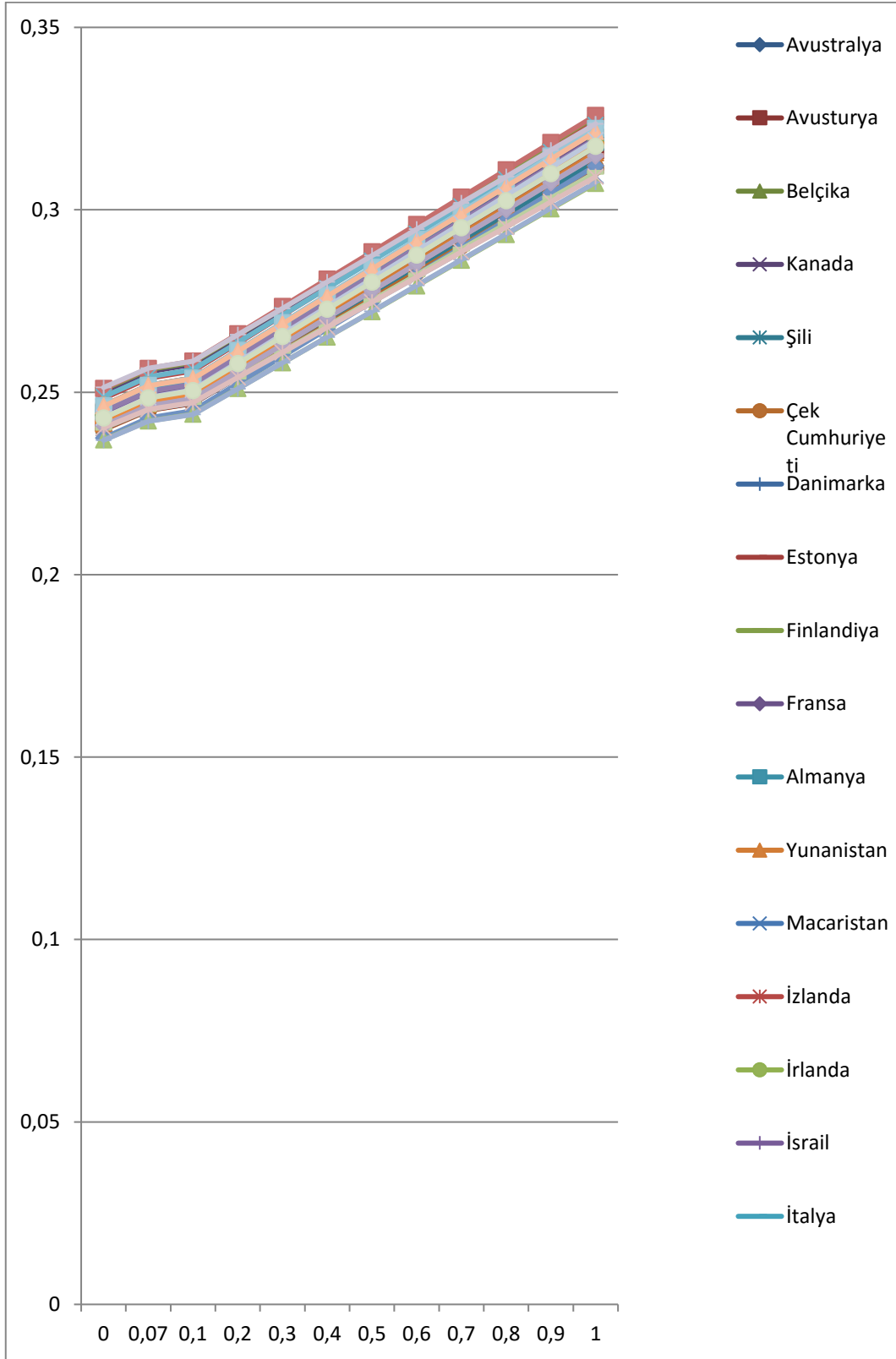
Ek 1. GSYİH Duyarlılık Analizi Sonuçları



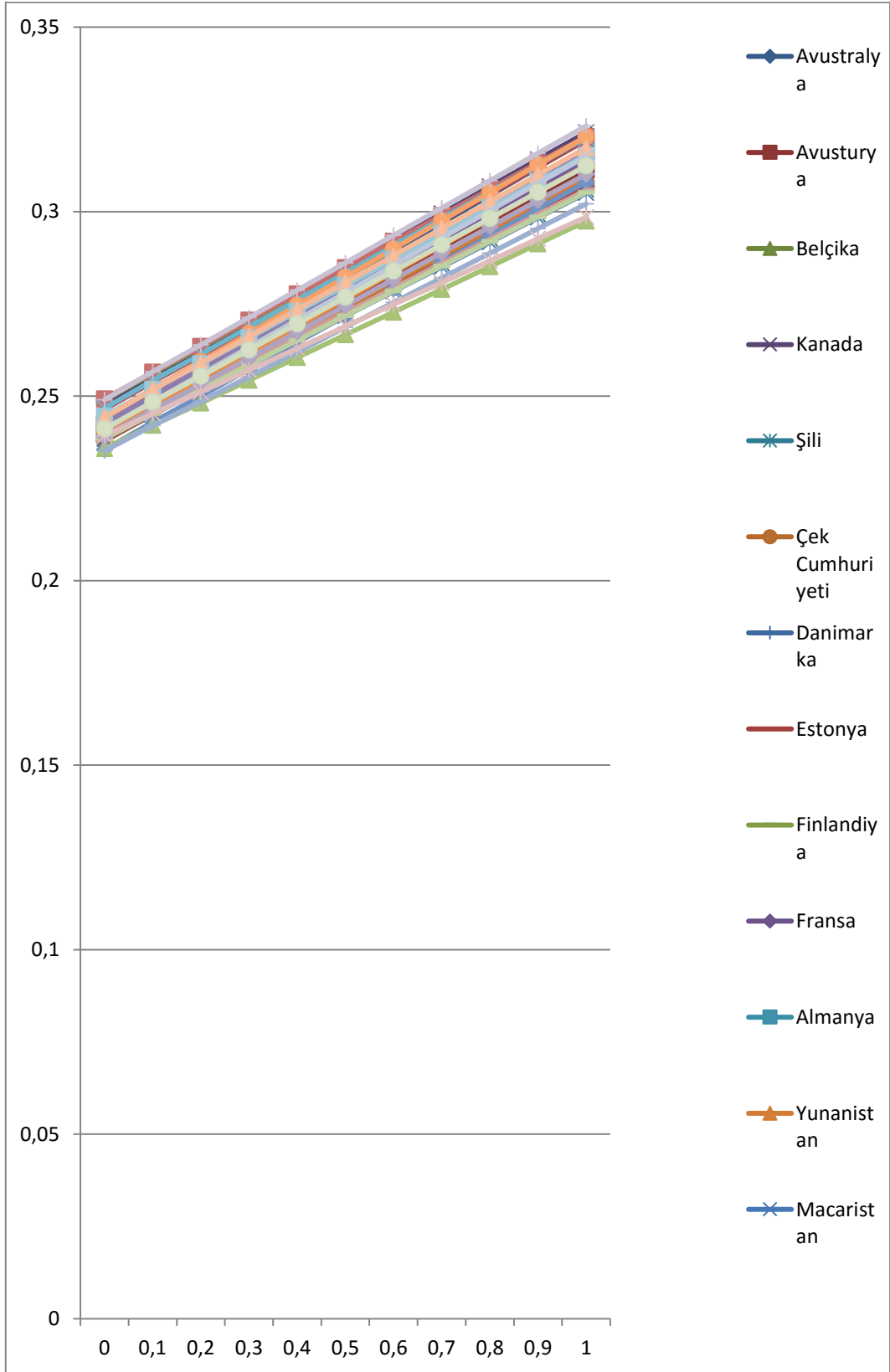
Ek 2. Nüfus Duyarlılık Analizi Sonuçları



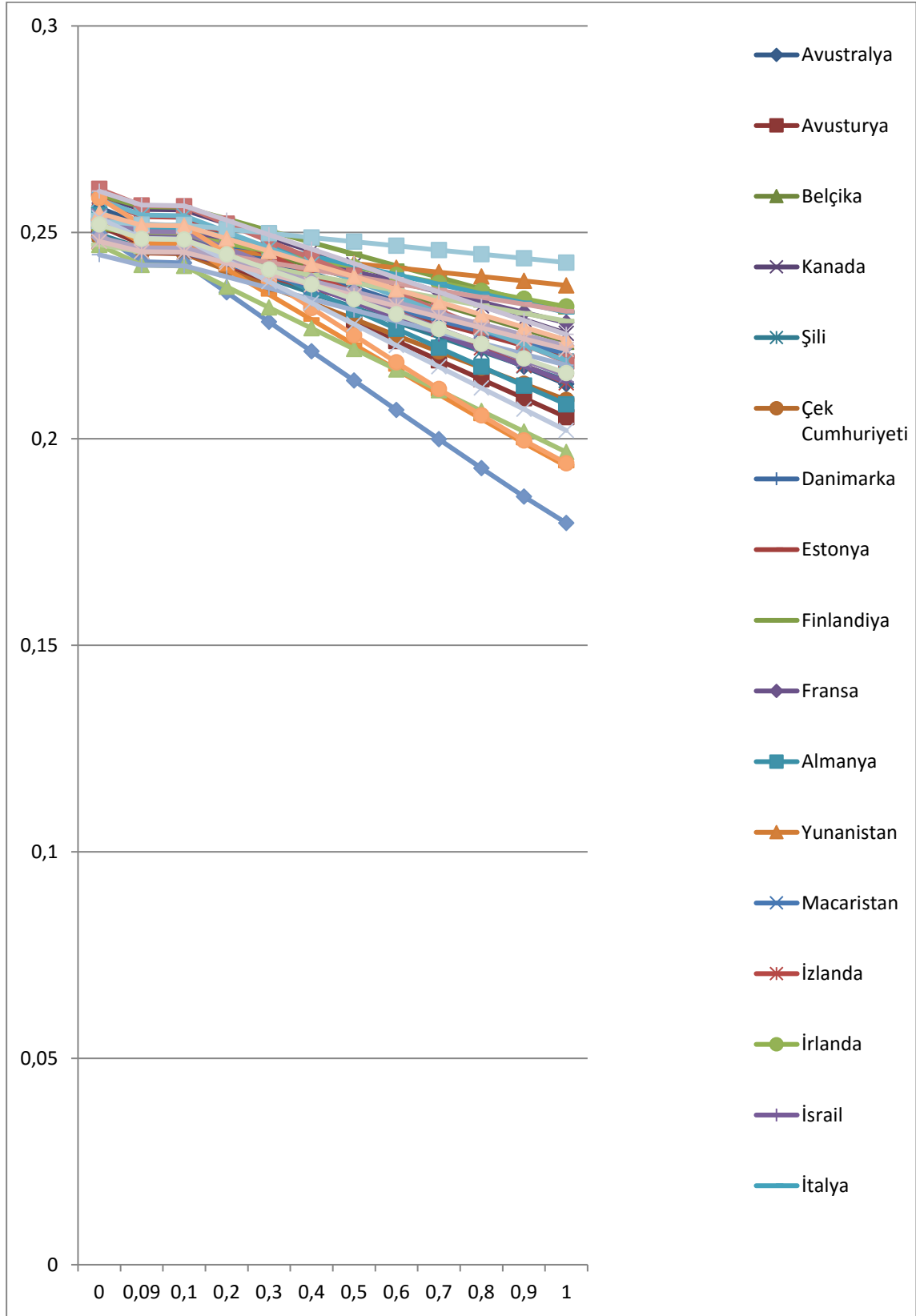
Ek 3. Ortalama Yaşam Süresi Duyarlılık Analizi Sonuçları



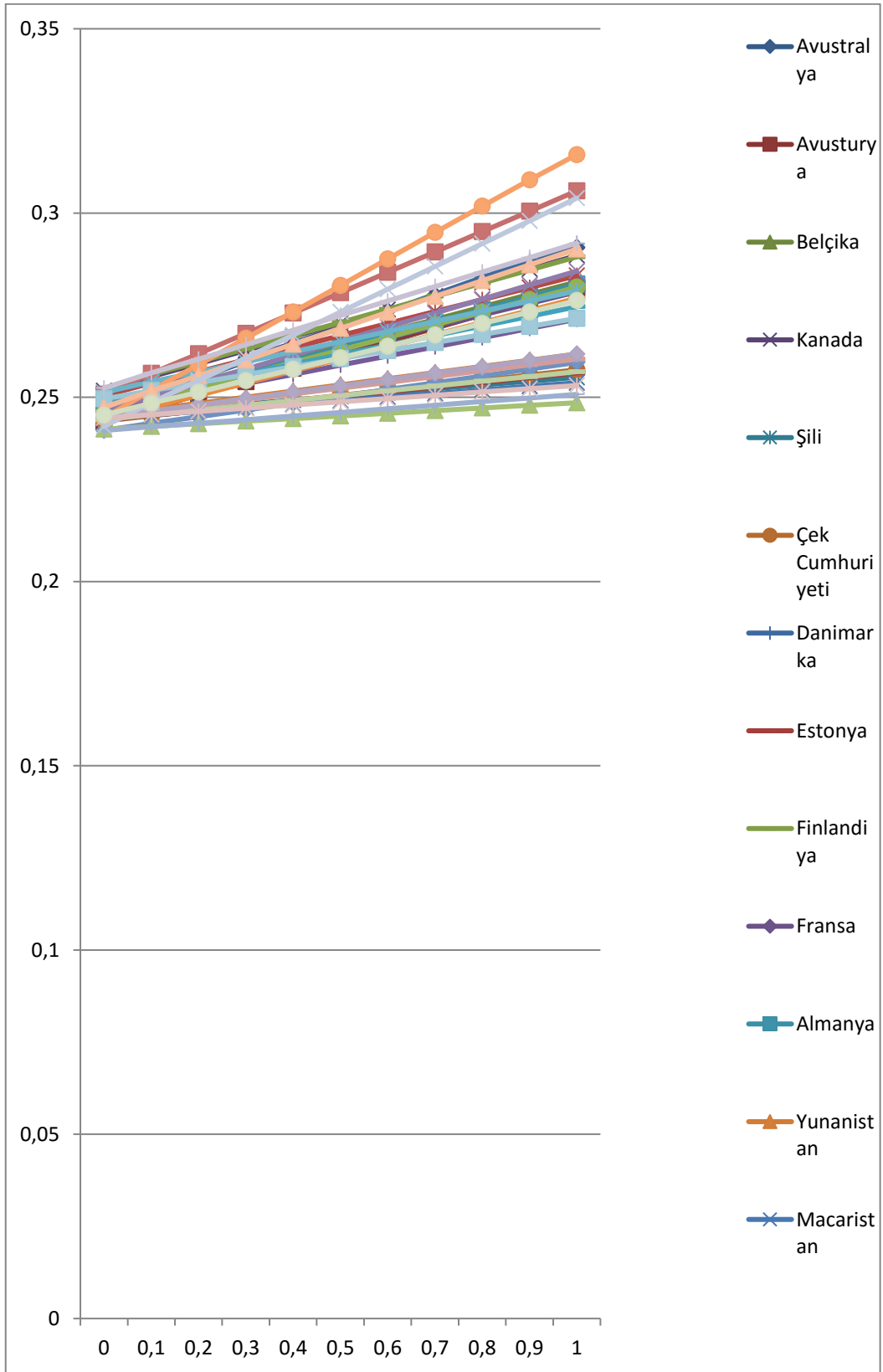
Ek 4. İnsani Gelişmişlik Endeksi Duyarlılık Analizi Sonuçları



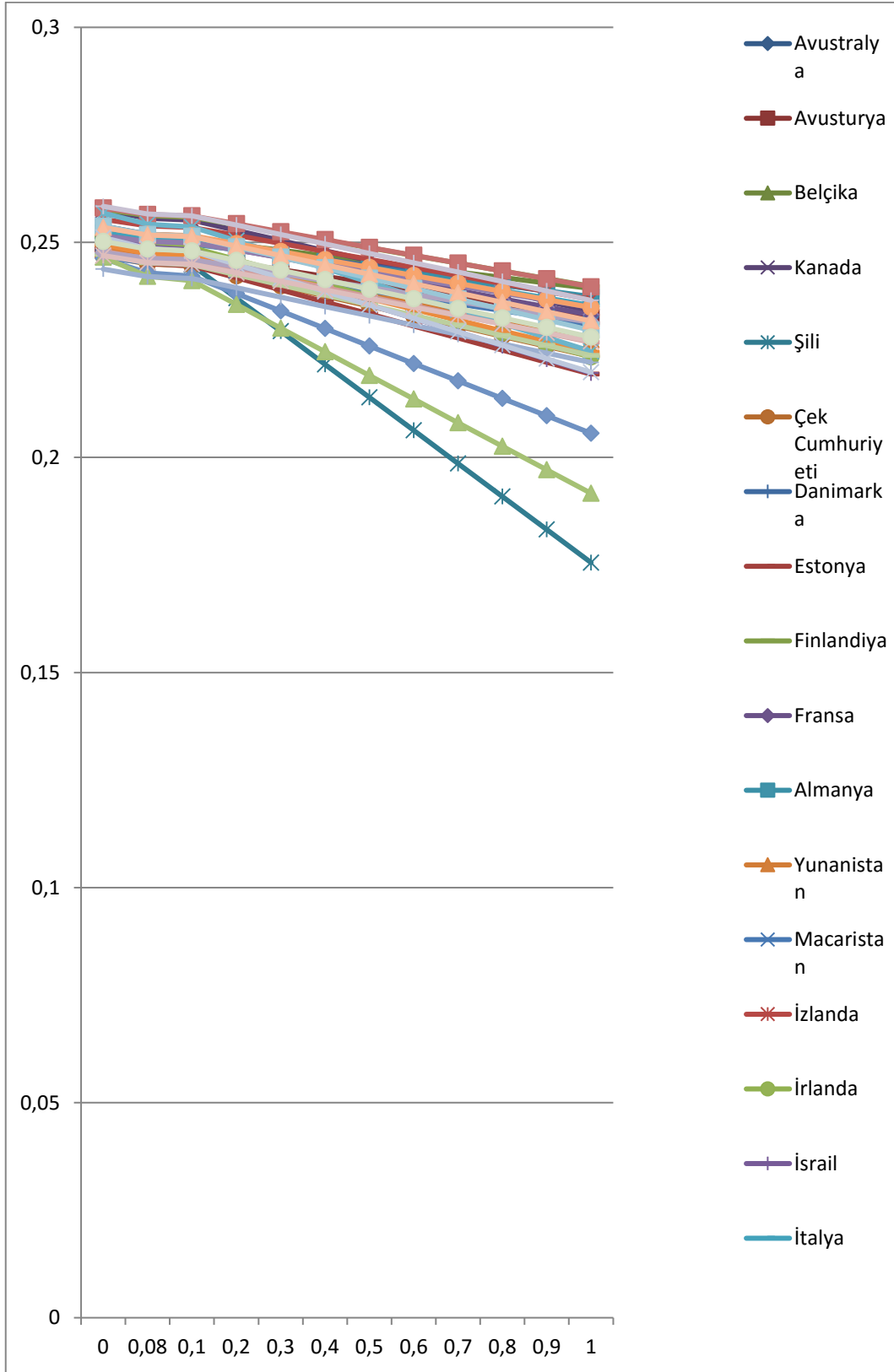
Ek 5. İşsizlik Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları



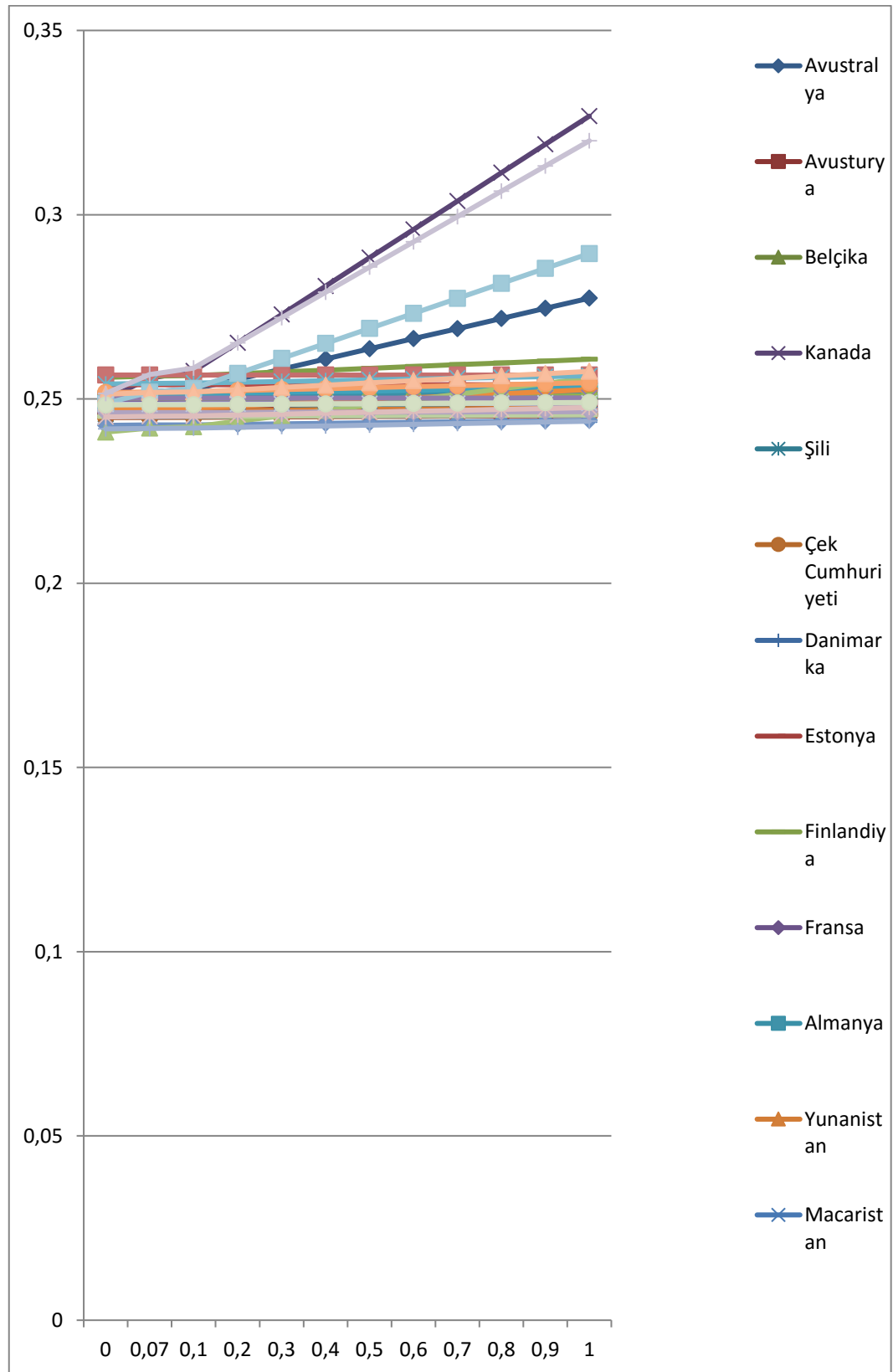
Ek 6. Kişi Başı GSMH Duyarlılık Analizi Sonuçları



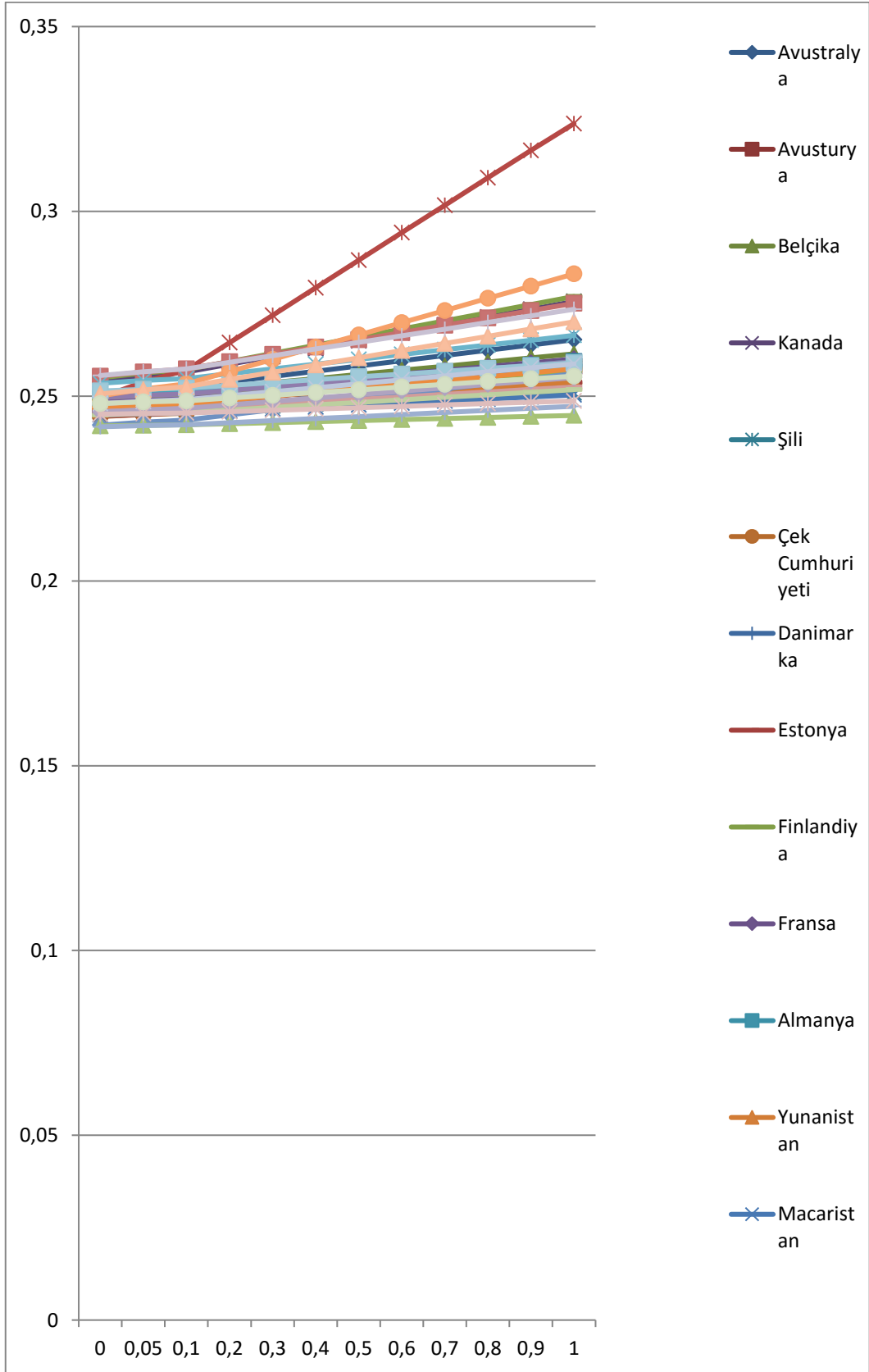
Ek 7. Vergi Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları



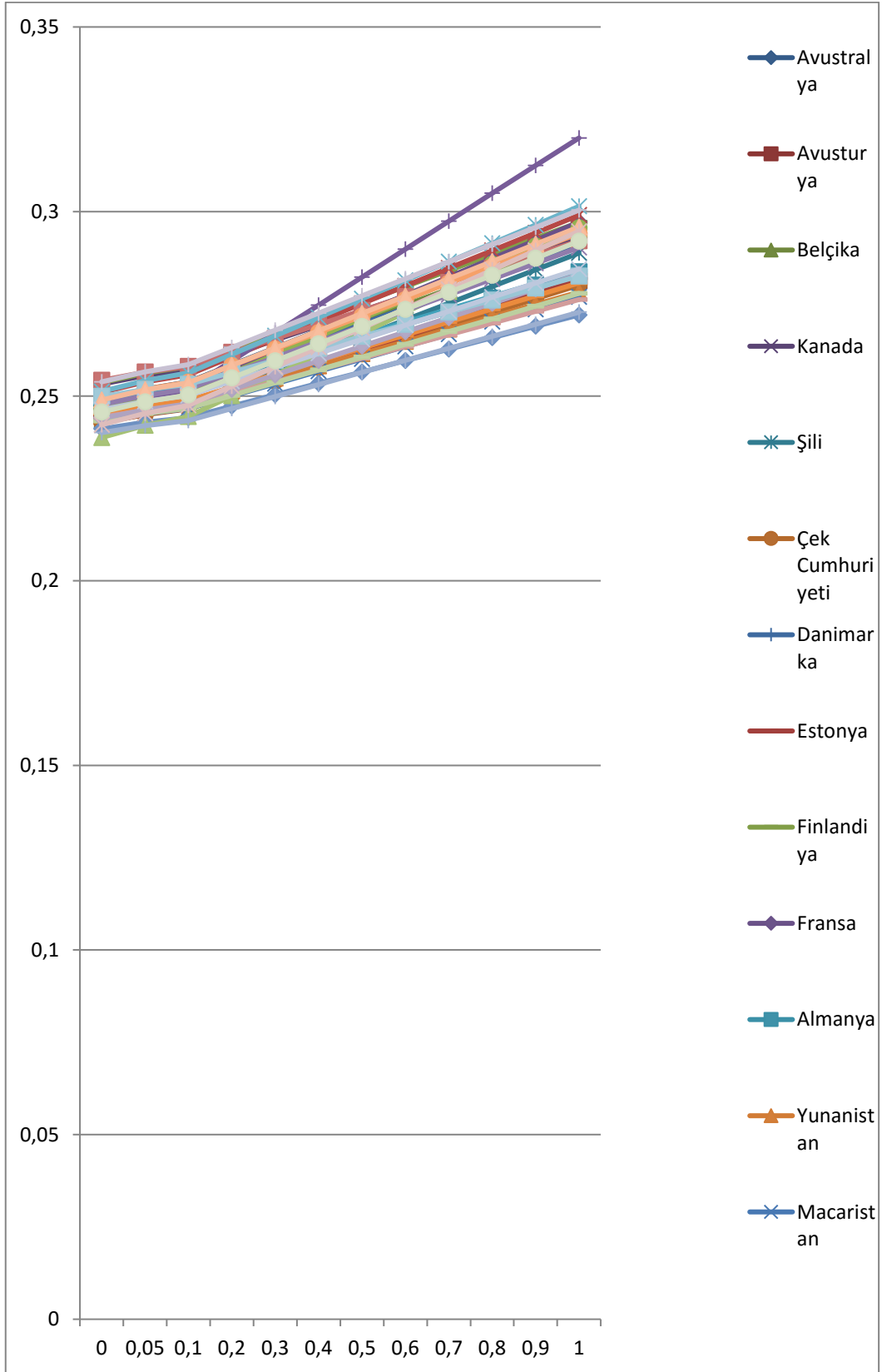
Ek 8. Yeşil Alan Duyarlılık Analizi Sonuçları



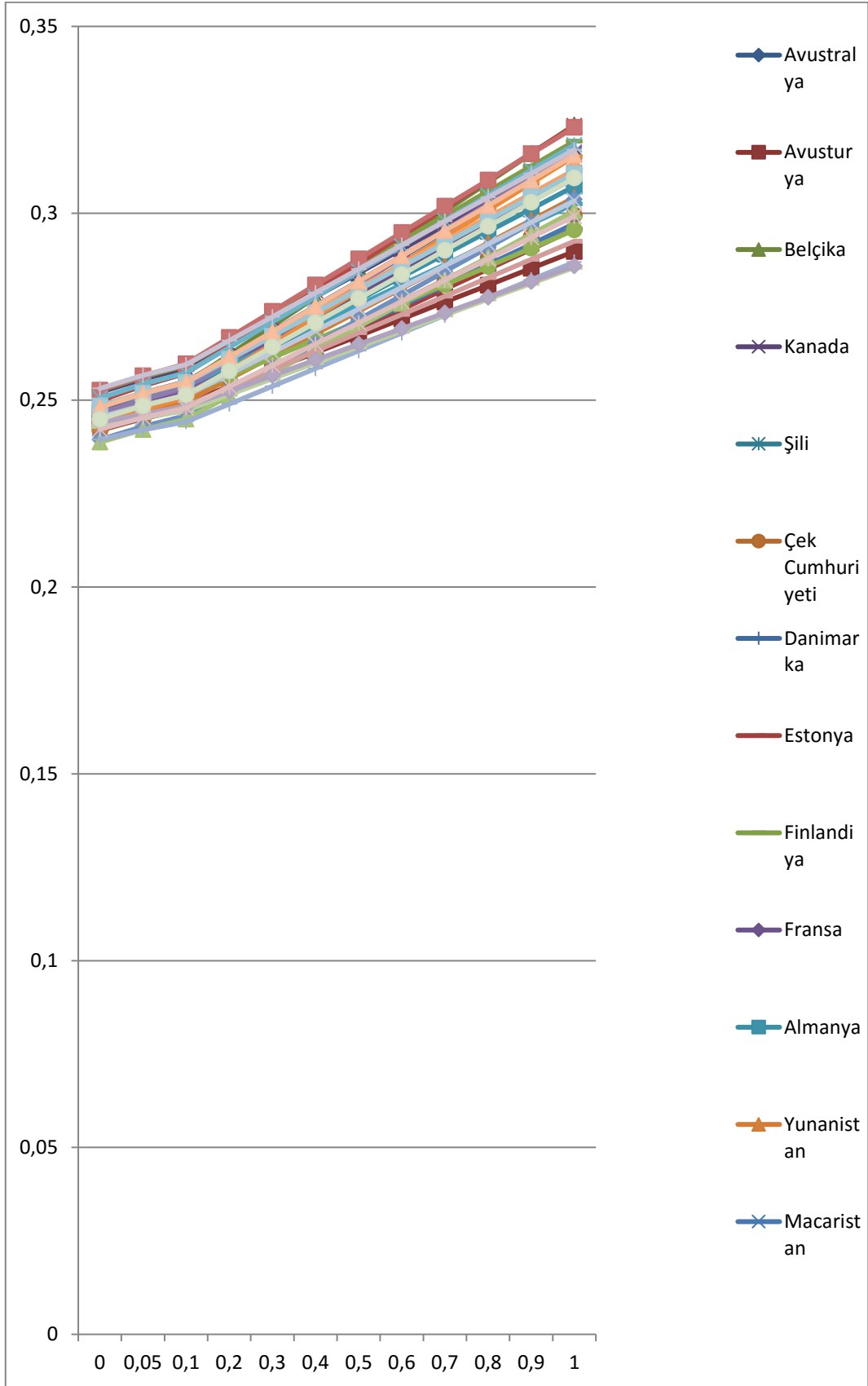
Ek 9. Elektrik Tüketimi Duyarlılık Analizi Sonuçları



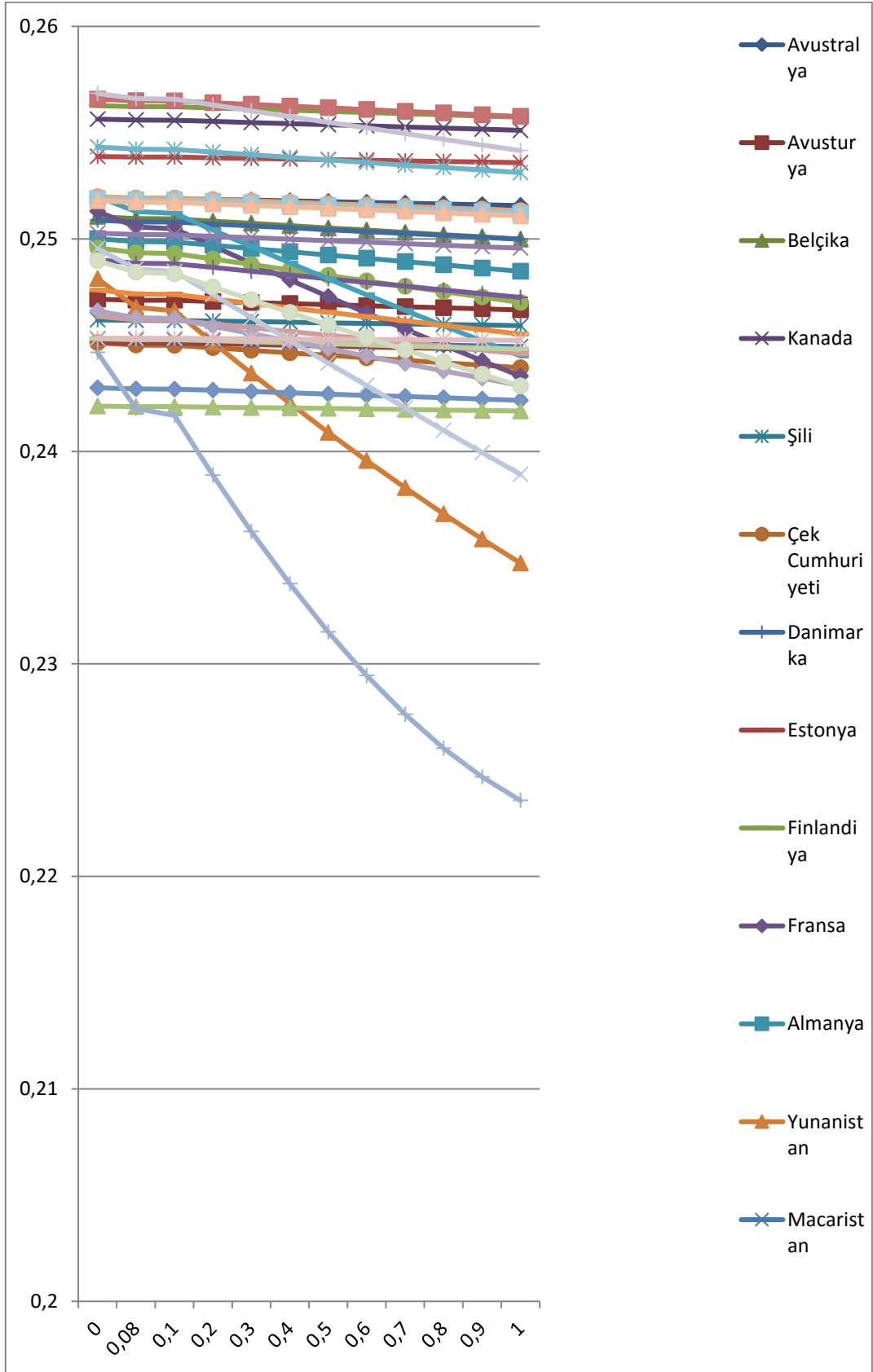
Ek 10. Doğurganlık Oranı Duyarlılık Analizi Sonuçları



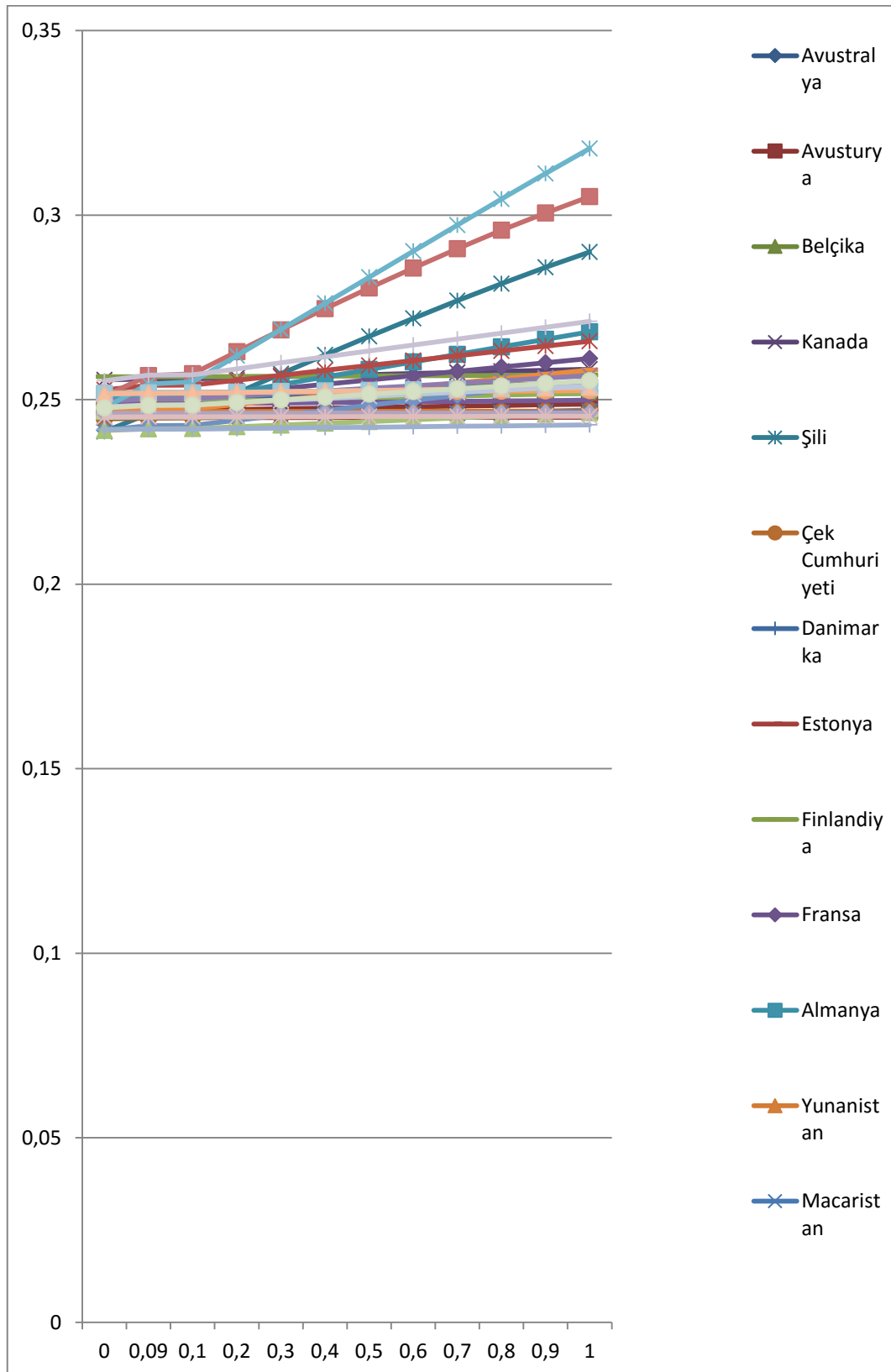
Ek 11. Kentsel Nüfus Duyarlılık Analizi Sonuçları



Ek 12. Enflasyon Tüketici Fiyatları Duyarlılık Analizi Sonuçları



Ek 13. Yüksek Teknoloji Ürünü İhracatı Duyarlılık Analizi Sonuçları



Ek 14. Anket Örneği

OECD ÜLKELERİNİN YAŞANABİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ

Bu anketin amacı OECD ülkelerinin yaşanabilirlik açısından incelenerek değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Değerlendirilmede ise Aralık Değerli Pythagorean Bulanık AHS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu anketi tamamlamak için lütfen aşağıdaki yönergeyi izleyiniz. Toplanan bilgiler yalnızca akademik amaçlar doğrultusunda kullanılacak olup, bilgileriniz gizli tutulacaktır. Çalışmamıza göstermiş olduğunuz ilgi ve destekten dolayı teşekkür ederiz.

Gönül ÖGEL Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü YL Öğrencisi

Doç. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN/ Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi

Karşılaştırmada kullanılacak olan önem ölçeği aşağıdaki gibidir:

Önem Derecesi	Açıklama
1	İki nitelik eşit öneme sahiptir.
3	Bir nitelik diğerinden kısmen (az derecede) daha önemlidir.
5	Bir nitelik diğerinden orta derecede daha önemlidir.
7	Bir nitelik diğerinden çok daha önemlidir.
9	Bir nitelik diğerinden aşırı derecede daha önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Kaynak: Saaty (1990)

OECD Ülkelerinin Yaşanabilirliğinin İncelenmesinde Kullanılacak Kriterler

- GSYİH
- Nüfus
- Ortalama yaşam süresi
- İnsani gelişmişlik endeksi
- İşsizlik oranı
- Kişi başı GSMH
- Vergi oranı
- Yeşil alan
- Elektrik tüketimi
- Doğurganlık oranı
- Kentsel nüfus
- Enflasyon tüketici fiyatları
- Yüksek teknoloji ürünü ihracatı

Lütfen deneyim ve bilgilerinize dayanarak OECD ülkelerinin yaşanabilirlik açısından incelenmesinde kullanılacak olan kriterleri bir kriter değerine göre sizce ne derecede önemli oranlayınız.

Aşırı derecede önemli	Çok daha önemli	Orta derecede önemli	Kısmen daha önemli	Eşit derecede önemli	Kısmen daha önemli	Orta derecede önemli	Çok daha önemli	Aşırı derecede önemli
-----------------------	-----------------	----------------------	--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	-----------------	-----------------------

GSYİH	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Ortalama yaşam süresi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İnsani gelişmişlik endeksi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İşsizlik oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kişi başı GSMH
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı

Nüfus	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Ortalama yaşam süresi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İnsani gelişmişlik endeksi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İşsizlik oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kişi başı GSMH
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları

	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Ortalama yaşam süresi	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İnsani gelişmişlik endeksi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İşsizlik oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kişi başı GSMH
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
İnsani gelişmişlik endeksi	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	İşsizlik oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kişi başı GSMH
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
İşsizlik oranı	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kişi başı GSMH
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Kişi başı GSMH	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Vergi oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☒ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı

Vergi oranı	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yeşil alan
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Yeşil alan	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Elektrik tüketimi
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Elektrik tüketimi	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Doğurganlık oranı
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Doğurganlık oranı	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Kentsel nüfus
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Kentsel nüfus	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Enflasyon tüketici fiyatları
	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı
Enflasyon tüketici fiyatları	☐ 9	☐ 7	☐ 5	☐ 3	☐ 1	☐ 3	☐ 5	☐ 7	☐ 9	Yüksek teknoloji ürünü ihracatı

1. Cinsiyetiniz: ☐ Erkek ☐ Kadın

2. Yaşınız: ☐ 16-24 ☐ 24-30 ☐ 30-36 ☐ 36-40 ☐ 40 üstü

3. Eğitim Durumunuz:

4. Mesleğiniz:

Ek 15. Bulanlık Karar Matrisinin Oluşturulması

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	(1349; 1465; 1574)	(2,904310231; 3,005277207; 3,100716274)	(81,895; 82,25; 82,4)	(0,93; 0,935; 0,94)	(5,081; 5,6212; 6,08)	(50230; 60300; 65870)	(22,3; 23,18; 24,1)
A2	(431,12; 431,12; 431,12)	(100,0446238; 101,3138259; 103,0376972)	(80,937; 81,148; 81,49)	(0,881; 0,8888; 0,895)	(4,564; 5,2228; 5,72)	(47630; 49880; 50700)	(33,6; 34,32; 35)
A3	(527,008; 527,008; 527,008)	(361,8888889; 365,8415881; 369,3067348)	(80,385; 80,7678; 81,288)	(0,87; 0,8868; 0,897)	(7,14; 8,022; 8,52)	(44230; 46574; 47400)	(42; 42,46; 42,8)
A4	(1560; 1763; 1843)	(3,439549109; 3,517661937; 3,588751061)	(81,45; 81,7776; 82,129)	(0,902; 0,9112; 0,92)	(6,91; 7,138; 7,51)	(47060; 49994; 52620)	(22,5; 22,9; 23,4)
A5	(252,252; 252,252; 252,252)	(22,6867448; 23,09298396; 23,4926266)	(78,599; 78,944; 79,315)	(0,81; 0,826; 0,847)	(6,21; 6,676; 7,34)	(12380; 14312; 15360)	(7; 7; 7)
A6	(227,948; 227,948; 227,948)	(133,087617; 133,3719245; 133,721236)	(77,873; 78,3054; 78,824)	(0,861; 0,8704; 0,878)	(5,05; 6,3602; 6,98)	(18250; 19016; 19420)	(22,6; 23,02; 23,4)
A7	(344,003; 344,003; 344,003)	(129,7503552; 130,9204295; 132,3802902)	(79,8; 80,3106; 80,702)	(0,9; 0,9098; 0,925)	(6,17; 6,9726; 7,573)	(60170; 62136; 63670)	(36; 36,22; 36,5)
A8	(23,17; 23,17; 23,17)	(29,06549185; 29,17763283; 29,35058704)	(76,229; 76,8642; 77,59)	(0,84; 0,8504; 0,865)	(6,19; 8,9036; 12,328)	(15870; 17656; 18850)	(18,4; 19,42; 19,9)
A9	(232,465; 261,086; 273,674)	(15,9216604; 16,06402501; 16,19131917)	(80,471; 80,9468; 81,48)	(0,879; 0,8858; 0,895)	(7,69; 8,34; 9,38)	(46630; 48684; 49910)	(29,4; 30,08; 30,9)
A10	(2438; 2729,2; 2861)	(101,495299; 102,4884031; 103,4378108)	(81,968; 82,2494; 82,671)	(0,88; 0,8884; 0,897)	(8,811; 9,7562; 10,36)	(40730; 42832; 44190)	(27,9; 28,34; 28,8)
A11	(3376; 3641; 3891)	(224,6161937; 226,0945991; 228,5669025)	(80,437; 80,9394; 81,09)	(0,91; 0,9166; 0,926)	(4,62; 5,2068; 5,824)	(45790; 46996; 47710)	(39,5; 39,66; 39,8)
A12	(287,798; 287,798; 287,798)	(82,00309949; 83,10042969; 84,155437)	(80,634; 81,0146; 81,385)	(0,853; 0,8608; 0,866)	(17,865; 24,233; 27,47)	(20360; 22702; 24930)	(24,2; 25,52; 26,7)
A13	(140,782; 140,782; 140,782)	(105,8048801; 106,4058196; 107,1882941)	(74,859; 75,3638; 75,763)	(0,818; 0,8266; 0,836)	(6,81; 9,3498; 11,029)	(12910; 13170; 13460)	(34,5; 34,74; 35,1)
A14	(14,733; 12820,146 6; 17304)	(3,097223301; 3,14892233; 3,211796117)	(82,061; 82,5332; 82,917)	(0,895; 0,9042; 0,921)	(3,98; 5,4576; 7,028)	(37750; 44734; 49960)	(28,4; 28,88; 29,3)
A15	(239,019; 239,019; 239,019)	(65,17465919; 65,92233258; 66,90891368)	(80,746; 81,079; 81,454)	(0,899; 0,9128; 0,923)	(9,9; 13,2626; 15,45)	(41600; 45486; 51850)	(17,8; 19,28; 20,2)
A16	(261,629; 261,629; 261,629)	(373,8950409; 388,3639865; 403,4713529)	(81,656; 81,9244; 82,154)	(0,888; 0,8942; 0,9)	(5,25; 6,2698; 7,139)	(31440; 33960; 36080)	(16,4; 16,9; 17,5)
A17	(1833; 2092,8; 2276)	(197052,6419; 199558,5263; 201730,7475)	(82,188; 82,5502; 83,09)	(0,872; 0,8786; 0,887)	(8,359; 11,1498; 12,68)	(32970; 35356; 37680)	(30,8; 31; 31,1)
A18	(4395; 5352,2; 6203)	(336,3767686; 337,2334459; 338,2075921)	(82,591; 83,2802; 83,794)	(0,89; 0,8992; 0,912)	(3,4; 3,9642; 4,521)	(38880; 45494; 49480)	(21; 21,54; 22,1)

Ek 15. Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması (Devamı)

A19	(1202; 1305; 1411)	(498,3199082; 503,5964275; 509,0804012)	(80,568; 81,281; 82,024)	(0,891; 0,8998; 0,909)	(3,1; 3,36; 3,6)	(22540; 25380; 27250)	(12,5; 13,32; 14)
A20	(60,005; 60,005; 60,005)	(200,4435422; 210,2533643; 220,2645012)	(80,988; 81,7406; 82,293)	(0,87; 0,8832; 0,898)	(4,902; 5,6824; 6,67)	(73530; 75330; 76890)	(28,1; 29,36; 30,8)
A21	(1170; 1239,75; 1314)	(60,3598667; 62,09496624; 63,80686721)	(76,251; 76,5856; 76,933)	(0,756; 0,7638; 0,775)	(4,31; 4,818; 5,17)	(9140; 9808; 10220)	(9,2; 9,82; 10,4)
A22	(893,757; 893,757; 893,757)	(392,704291; 395,4897855; 398,5114096)	(81,105; 81,367; 81,71)	(0,91; 0,9184; 0,924)	(4,98; 6,466; 7,42)	(49030; 51862; 54120)	(30,3; 32,24; 34,8)
A23	(168,462; 168,462; 168,462)	(16,35692726; 16,67003705; 17,14679074)	(80,905; 81,207; 81,457)	(0,901; 0,9116; 0,919)	(5,37; 6,1622; 6,93)	(32270; 38120; 41490)	(15,9; 16,8; 17,6)
A24	(498,832; 498,832; 498,832)	(12,85838376; 13,17682105; 13,47403577)	(81,295; 81,7804; 82,305)	(0,94; 0,9464; 0,955)	(3,12; 3,507; 4,3)	(90280; 98262; 104540)	(28,6; 29,02; 29,4)
A25	(528,832; 528,832; 528,832)	(121,4811174; 121,6346234; 121,7326875)	(76,695; 77,0988; 77,602)	(0,81; 0,8326; 0,855)	(7,5; 9,308; 10,33)	(12950; 13358; 13680)	(24,6; 24,78; 24,9)
A26	(244,895; 244,895; 244,895)	(112,3289377; 113,4100486; 114,492257)	(80,373; 80,7624; 81,124)	(0,81; 0,8242; 0,843)	(12,44; 14,1434; 16,18)	(20440; 21370; 22660)	(22,8; 25,84; 28,4)
A27	(98,181; 98,181; 98,181)	(110,0924646; 110,3775099; 110,6108089)	(75,959; 76,3712; 76,812)	(0,81; 0,8338; 0,845)	(11,48; 13,2914; 14,22)	(17240; 17750; 18240)	(22,8; 22,88; 23,1)
A28	(51,291; 51,291; 51,291)	(101,2599517; 101,5682533; 101,7871553)	(79,971; 80,4542; 81,078)	(0,874; 0,8832; 0,892)	(8,166; 9,1472; 10,1)	(22240; 23348; 24590)	(33,1; 33,24; 33,4)
A29	(1198; 1352,2; 1488)	(4,057082156; 74,45667187; 92,43869444)	(82,427; 82,8084; 83,229)	(0,869; 0,8788; 0,885)	(21,39; 23,754; 26,09)	(28420; 29606; 31150)	(21,3; 22,42; 23)
A30	(563,11; 563,11; 563,11)	(20,98449461; 21,347899949; 21,76170288)	(81,705; 81,9844; 82,254)	(0,898; 0,9068; 0,916)	(7,43; 7,8428; 8,05)	(55660; 58734; 60980)	(24,4; 24,76; 25,1)
A31	(699,58; 699,58; 699,58)	(191,6530943; 196,0501393; 200,6151387)	(82,695; 82,8574; 83,198)	(0,9; 0,9198; 0,939)	(4,41; 4,656; 4,83)	(79200; 84956; 88740)	(17; 17,18; 17,4)
A32	(832,524; 832,524; 832,524)	(93,68684929; 96,75526761; 99,89186816)	(74,437; 74,9724; 75,498)	(0,7; 0,7418; 0,767)	(8,15; 9,1592; 10,24)	(11230; 12046; 12590)	(26,6; 27,02; 27,4)
A33	(2662; 2827,75; 3023)	(260,8668962; 264,6070764; 268,5781604)	(80,905; 81,0244; 81,305)	(0,86; 0,8886; 0,909)	(5,3; 6,9734; 8,037)	(40620; 42324; 43740)	(23,4; 24,16; 25,1)
A34	(15518; 16782,8; 18121)	(31,69049014; 32,16462133; 32,64590594)	(78,641; 78,7308; 78,841)	(0,91; 0,9192; 0,937)	(5,28; 7,1698; 8,949)	(50470; 53660; 56300)	(23,6; 24,78; 25,6)

Ek 15. Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması (Devamı)

	C8	C9	C10	C11	C12	C13
A1	(1235190; 1241350; 1247510)	(9485680; 10157767,4; 10627294)	(1,81; 1,8648; 1,926)	(85,3; 85,5014; 85,701)	(1,508; 2,3026; 3,304)	(4237; 4622,6; 4859)
A2	(38618; 38654; 38690)	(7758670; 8319634,8; 8548882)	(1,43; 1,454; 1,49)	(57,115; 57,3678; 57,715)	(0,897; 2,0552; 3,287)	(15706; 17102,2; 19270)
A3	(68164; 68252; 68340)	(7709123; 7956210,4; 8103850)	(1,7; 1,758; 1,81)	(97,698; 97,788; 97,876)	(0,34; 1,6772; 3,532)	(34681; 39082,8; 43699)
A4	(3470690; 3471622; 3472554)	(14350580; 15315877; 15719708)	(1,582; 1,5986; 1,614)	(81,096; 81,1776; 81,259)	(0,938; 1,6796; 2,912)	(25017; 27200; 29087)
A5	(165318; 171334; 177350)	(3105870; 3669855; 3911649)	(1,785; 1,8176; 1,856)	(87,132; 87,246; 87,36)	(1,928; 3,4038; 4,395)	(536,81; 593.181; 684.468)
A6	(26590; 26630; 26670)	(6258891; 6355208,4; 6629060)	(1,43; 1,488; 1,57)	(73,185; 73,3066; 73,477)	(0,309; 1,4592; 3,288)	(20792; 22058,8; 23366)
A7	(59212; 60216; 61220)	(5858802; 6025778; 6165974)	(1,67; 1,71; 1,75)	(86,957; 87,2654; 87,526)	(0,452; 1,3924; 2,759)	(8742; 9293,2; 9763)
A8	(22320; 22328; 22336)	(6314414; 6543833,6; 6732367)	(1,52; 1,562; 1,61)	(67,965; 68,1492; 68,416)	(1,25; 3,0832; 4,982)	(1042; 1291,2; 1539)
A9	(222180; 222180; 222180)	(15249989; 15652292,4; 16100440)	(1,65; 1,748; 1,83)	(84,313; 84,9358; 85,225)	(0,82; 1,9128; 3,417)	(3633; 4225; 5358)
A10	(165370; 167630; 169890)	(6939522; 7177999; 7367847)	(1,96; 1,996; 2,01)	(78,622; 79,1368; 79,655)	(0,038; 1,0952; 2,112)	(104340; 109327; 114697)
A11	(114110; 114150; 114190)	(7035483; 7199217,4; 7281272)	(1,39; 1,438; 1,5)	(77,16; 77,18; 77,2)	(0,234; 1,3458; 2,075)	(183371; 189892; 199718)
A12	(39332; 39936; 40540)	(5028996; 5250100,4; 5534897)	(1,29; 1,332; 1,4)	(76,649; 77,3512; 78,046)	(0,02; 1,0104; 3,33)	(1027; 1151,25; 1227)
A13	(20506; 20598; 20690)	(3642460; 3864479,4; 3965958)	(1,23; 1,362; 1,45)	(69,358; 69,9432; 70,5)	(1,25; 2,779; 5,652)	(11790; 14935,4; 20649)
A14	(440; 466; 492)	(51142110; 53070095; 54799175)	(1,8; 1,944; 2,04)	(93,587; 93,6374; 93,7)	(1,633; 3,3474; 5,186)	(93.401; 116.361; 156.242)
A15	(73131; 74266,4; 75402)	(5400640; 5616001,2; 5698756)	(1,92; 1,97; 2,03)	(61,742; 62,1406; 62,538)	(0,13; 1,015; 2,557)	(21261; 23722,2; 29060)
A16	(1562; 1606; 1650)	(6229980; 6731095; 7184502)	(2,98; 3,046; 3,09)	(91,892; 92,0332; 92,179)	(0,19; 1,4764; 3,458)	(8826; 9946,4; 11818)
A17	(90818; 91894; 92970)	(4980540; 5210935,2; 5514804)	(1,35; 1,396; 1,44)	(68,444; 68,9888; 69,565)	(0,039; 1,4644; 3,041)	(26927; 29220,4; 31192)
A18	(249580; 249612; 249644)	(6763790; 7734006,8; 8099599)	(1,39; 1,42; 1,45)	(91,069; 91,2256; 91,381)	(0,17; 0,8496; 2,762)	(91514; 109483,2; 126478)

Ek 15. Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması (Devamı)

A19	(61840; 61992; 62144)	(9165990; 10096482,4; 10496514)	(1,187; 1,2344; 1,297)	(81,634; 81,7788; 81,923)	(0,706; 1,899; 4,026)	(121313; 126753,4; 133447)
A20	(867; 867; 867)	(12378230; 14155220,8; 15586084)	(1,47; 1,522; 1,57)	(88,906; 89,5584; 90,179)	(0,475; 1,7824; 3,411)	(648.727; 807.809; 1106)
A21	(660400; 662232; 664064)	(1764950; 2055052,6; 2187228)	(2,215; 2,2682; 2,318)	(78,111; 78,6986; 79,285)	(2,721; 3,613; 4,112)	(40795; 45084; 49403)
A22	(3736; 3748; 3760)	(6712775; 6880770; 7060054)	(1,66; 1,706; 1,76)	(87,879; 89,1034; 90,173)	(0,6; 1,776; 2,507)	(59128; 65952,6; 70308)
A23	(101512; 101516; 101520)	(9026321; 9238995; 9458485)	(1,92; 2,022; 2,1)	(86,1; 86,2208; 86,341)	(0,293; 1,5486; 4,028)	(604.218; 668.528; 723.215(
A24	(121040; 121080; 121120)	(22999935; 23574798; 24070986)	(1,72; 1,796; 1,88)	(79,455; 80,2796; 81,091)	(0,697; 1,663; 2,171)	(4506; 4735,8; 5226)
A25	(93502; 93926; 94350)	(3879542; 3946176,8; 4042110)	(1,29; 1,318; 1,33)	(60,278; 60,5288; 60,78)	(0,01; 1,771; 4,239)	(8614; 11665,2; 14487)
A26	(31820; 32048; 32276)	(4647750; 4716007,4; 4848279)	(1,21; 1,276; 1,35)	(61,167; 62,3464; 63,514)	(0,19; 1,4756; 3,653)	(1645; 1875,8; 2089)
A27	(19392; 19396; 19400)	(4285870; 5022145,2; 5347526)	(1,34; 1,38; 1,45)	(53,889; 54,1458; 54,42)	(0,86; 2,215; 3,919)	(4718; 6614; 7707)
A28	(12472; 12476; 12480)	(6367270; 6669319,8; 6779281)	(1,55; 1,568; 1,58)	(52,883; 53,3322; 53,781)	(0,09; 1,2916; 2,597)	(1389; 1433; 1479)
A29	(1828133; 1834960,2; 1841787)	(5230640; 5433763,2; 5599377)	(1,27; 1,316; 1,34)	(8,673; 79,1352; 79,602)	(0,6; 1,7702; 3,196)	(13370; 14547,2; 16346)
A30	(280730; 280730; 280730)	(13480148; 13931317,2; 14289595)	(1,85; 1,886; 1,91)	(85,297; 85,9306; 86,553)	(0,67; 1,2138; 2,961)	(14952; 16734,4; 18499)
A31	(12388; 12464; 12540)	(7315000; 7691302; 7928191)	(1,52; 1,528; 1,54)	(73,631; 73,6744; 73,718)	(0,04; 0,0882; 0,231)	(50099; 52536,4; 55907)
A32	(113054; 115102; 117150)	(2087740; 2634265; 2854566)	(2,072; 2,1066; 2,139)	(71,402; 72,519; 73,611)	(6,472; 7,8766; 8,892)	(1922; 2149,6; 2347)
A33	(30760; 31100; 31440)	(5071930; 5306452,8; 5471924)	(1,8; 1,854; 1,92)	(81,57; 82,1; 82,626)	(0,05; 2,2708; 4,463)	(67787; 69338,6; 70653)
A34	(3089950; 3095450; 3100950)	(12185940; 12873966,2; 13243298)	(1,844; 1,8682; 1,895)	(80,944; 81,3032; 81,671)	(0,119; 1,6864; 3,157)	(145639; 150697,6; 156641)

Ek 16. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.97,0.98 ,0.98)	(0.97,0.97 ,0.98)	(0.5,0.55, 0.61)	(0.48,0.57 ,0.63)	(0.29,0.3, 0.31)
A2	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.96,0.96 ,0.97)	(0.92,0.93 ,0.93)	(0.54,0.59 ,0.67)	(0.45,0.47 ,0.48)	(0.2,0.2,0. 2)
A3	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.95,0.96 ,0.97)	(0.91,0.92 ,0.93)	(0.36,0.38 ,0.43)	(0.42,0.44 ,0.45)	(0.16,0.16 ,0.16)
A4	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.97,0.97 ,0.98)	(0.94,0.95 ,0.96)	(0.41,0.43 ,0.44)	(0.45,0.47 ,0.5)	(0.29,0.3, 0.31)
A5	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.93,0.94 ,0.94)	(0.84,0.86 ,0.88)	(0.42,0.46 ,0.49)	(0.11,0.13 ,0.14)	(1,1,1)
A6	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.92,0.93 ,0.94)	(0.9,0.91, 0.91)	(0.44,0.48 ,0.61)	(0.17,0.18 ,0.18)	(0.29,0.3, 0.3)
A7	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.95,0.95 ,0.96)	(0.94,0.95 ,0.96)	(0.4,0.44, 0.5)	(0.57,0.59 ,0.6)	(0.19,0.19 ,0.19)
A8	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.9,0.91, 0.92)	(0.87,0.89 ,0.9)	(0.25,0.34 ,0.5)	(0.15,0.16 ,0.18)	(0.35,0.36 ,0.38)
A9	(0.84,0.9 5,1)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.96,0.96 ,0.97)	(0.92,0.92 ,0.93)	(0.33,0.37 ,0.4)	(0.44,0.46 ,0.47)	(0.22,0.23 ,0.23)
A10	(0.00,0.0 0,0.01)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.97,0.98 ,0.98)	(0.92,0.93 ,0.93)	(0.29,0.31 ,0.35)	(0.38,0.4, 0.42)	(0.24,0.24 ,0.25)
A11	(0.01,0.0 1,0.01)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.95,0.96 ,0.96)	(0.95,0.95 ,0.96)	(0.53,0.59 ,0.67)	(0.43,0.44 ,0.45)	(0.17,0.17 ,0.17)
A12	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.96,0.96 ,0.97)	(0.89,0.9, 0.9)	(0.11,0.12 ,0.17)	(0.19,0.21 ,0.23)	(0.26,0.27 ,0.28)
A13	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.89,0.89 ,0.9)	(0.85,0.86 ,0.87)	(0.28,0.33 ,0.45)	(0.12,0.12 ,0.12)	(0.19,0.2, 0.2)
A14	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.97,0.98 ,0.98)	(0.93,0.94 ,0.96)	(0.44,0.56 ,0.77)	(0.36,0.42 ,0.47)	(0.23,0.24 ,0.24)
A15	(0.005,0. 04,0.06)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.96,0.96 ,0.97)	(0.94,0.95 ,0.96)	(0.2,0.23, 0.31)	(0.39,0.43 ,0.49)	(0.34,0.36 ,0.39)
A16	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.97,0.97 ,0.98)	(0.92,0.93 ,0.94)	(0.43,0.49 ,0.59)	(0.3,0.32, 0.34)	(0.4,0.41, 0.42)
A17	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.97,0.98 ,1)	(0.98,0.98 ,0.99)	(0.91,0.92 ,0.92)	(0.24,0.27 ,0.37)	(0.31,0.33 ,0.36)	(0.22,0.22 ,0.22)
A18	(0.00,0.0 0,0.00)	(0.00,0.00 ,0.00)	(0.98,0.99 ,1)	(0.93,0.94 ,0.95)	(0.68,0.78 ,0.91)	(0.37,0.43 ,0.47)	(0.31,0.32 ,0.33)

Ek 16. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi (Devamı)

A19	(0.01,0.01,0.02)	(0.00,0.00,0.00)	(0.96,0.97,0.97)	(0.93,0.94,0.95)	(0.86,0.92,1)	(0.21,0.24,0.26)	(0.5,0.52,0.56)
A20	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.96,0.97,0.98)	(0.91,0.92,0.94)	(0.46,0.54,0.63)	(0.7,0.72,0.73)	(0.22,0.23,0.24)
A21	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.9,0.91,0.91)	(0.79,0.79,0.81)	(0.59,0.64,0.71)	(0.08,0.09,0.09)	(0.67,0.71,0.76)
A22	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.96,0.97,0.97)	(0.95,0.96,0.96)	(0.41,0.47,0.62)	(0.46,0.49,0.51)	(0.2,0.21,0.23)
A23	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.96,0.96,0.97)	(0.94,0.95,0.96)	(0.44,0.5,0.57)	(0.3,0.36,0.39)	(0.39,0.41,0.44)
A24	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.97,0.97,0.98)	(0.98,0.99,1)	(0.72,0.88,0.99)	(0.86,0.93,1)	(0.23,0.24,0.24)
A25	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.91,0.92,0.92)	(0.84,0.87,0.89)	(0.3,0.33,0.41)	(0.12,0.12,0.13)	(0.28,0.28,0.28)
A26	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.95,0.96,0.96)	(0.84,0.86,0.88)	(0.19,0.21,0.24)	(0.19,0.2,0.21)	(0.24,0.27,0.3)
A27	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.9,0.91,0.91)	(0.84,0.87,0.88)	(0.21,0.23,0.27)	(0.16,0.16,0.17)	(0.3,0.3,0.3)
A28	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.95,0.96,0.96)	(0.91,0.92,0.93)	(0.3,0.33,0.37)	(0.21,0.22,0.23)	(0.2,0.21,0.21)
A29	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.98,0.98,0.99)	(0.9,0.92,0.92)	(0.11,0.13,0.14)	(0.27,0.28,0.29)	(0.3,0.31,0.32)
A30	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.97,0.97,0.98)	(0.94,0.94,0.95)	(0.38,0.39,0.41)	(0.53,0.56,0.58)	(0.27,0.28,0.28)
A31	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.98,0.98,0.99)	(0.94,0.96,0.98)	(0.64,0.66,0.7)	(0.75,0.81,0.84)	(0.4,0.4,0.41)
A32	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.88,0.89,0.9)	(0.73,0.77,0.8)	(0.3,0.33,0.38)	(0.1,0.11,0.12)	(0.25,0.25,0.26)
A33	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)	(0.96,0.96,0.97)	(0.9,0.93,0.95)	(0.38,0.44,0.58)	(0.38,0.4,0.41)	(0.27,0.28,0.29)
A34	(0.00,0.01,0.01)	(0.00,0.00,0.00)	(0.93,0.93,0.94)	(0.95,0.96,0.98)	(0.34,0.43,0.54)	(0.48,0.51,0.53)	(0.27,0.28,0.29)

Ek 16. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi (Devamı)

	C8	C9	C10	C11	C12	C13
A1	(0.35,0.35,0.35)	(0.17,0.18,0.19)	(0.58,0.6,0.62)	(0.87,0.87,0.87)	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)
A2	(0.01,0.01,0.01)	(0.14,0.15,0.15)	(0.46,0.47,0.48)	(0.58,0.58,0.58)	(0.00,0.00,0.01)	(0.02,0.02,0.02)
A3	(0.01,0.01,0.01)	(0.14,0.14,0.14)	(0.55,0.56,0.58)	(0.99,0.99,1)	(0.00,0.00,0.02)	(0.04,0.05,0.06)
A4	(0.99,0.99,1)	(0.26,0.27,0.28)	(0.51,0.51,0.52)	(0.82,0.82,0.83)	(0.00,0.00,0.01)	(0.03,0.03,0.04)
A5	(0.04,0.04,0.05)	(0.05,0.06,0.07)	(0.57,0.58,0.6)	(0.89,0.89,0.89)	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.82,0.94)
A6	(0.00,0.00,0.00)	(0.11,0.11,0.12)	(0.46,0.48,0.5)	(0.74,0.74,0.75)	(0.00,0.00,0.03)	(0.02,0.03,0.03)
A7	(0.01,0.01,0.01)	(0.1,0.1,0.11)	(0.54,0.55,0.56)	(0.88,0.89,0.89)	(0.00,0.00,0.02)	(0.01,0.01,0.01)
A8	(0.00,0.00,0.00)	(0.11,0.11,0.12)	(0.49,0.50,0.52)	(0.69,0.69,0.69)	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)
A9	(0.06,0.06,0.06)	(0.27,0.28,0.29)	(0.53,0.56,0.59)	(0.86,0.86,0.87)	(0.00,0.00,0.01)	(0.00,0.00,0.00)
A10	(0.04,0.04,0.04)	(0.12,0.13,0.13)	(0.63,0.64,0.65)	(0.8,0.8,0.81)	(0.00,0.00,0.26)	(0.14,0.15,0.15)
A11	(0.03,0.03,0.03)	(0.12,0.13,0.13)	(0.44,0.46,0.48)	(0.78,0.78,0.78)	(0.00,0.00,0.04)	(0.25,0.26,0.27)
A12	(0.01,0.01,0.01)	(0.09,0.09,0.1)	(0.41,0.43,0.45)	(0.78,0.79,0.79)	(0.00,0.00,0.5)	(0.00,0.00,0.00)
A13	(0.00,0.00,0.00)	(0.06,0.07,0.07)	(0.39,0.44,0.46)	(0.7,0.71,0.72)	(0.00,0.00,0.00)	(0.01,0.02,0.02)
A14	(0.00,0.00,0.00)	(0.93,0.96,1)	(0.58,0.62,0.66)	(0.95,0.95,0.95)	(0.00,0.00,0.00)	(0.12,0.16,0.21)
A15	(0.02,0.02,0.02)	(0.09,0.1,0.1)	(0.62,0.63,0.65)	(0.63,0.63,0.63)	(0.00,0.00,0.07)	(0.02,0.03,0.04)
A16	(0.00,0.00,0.00)	(0.11,0.12,0.13)	(0.96,0.98,1)	(0.93,0.94,0.94)	(0.00,0.00,0.05)	(0.01,0.01,0.01)
A17	(0.02,0.02,0.02)	(0.09,0.09,0.1)	(0.43,0.45,0.46)	(0.69,0.7,0.71)	(0.00,0.00,0.25)	(0.03,0.04,0.04)
A18	(0.07,0.07,0.07)	(0.12,0.14,0.14)	(0.44,0.45,0.46)	(0.93,0.93,0.93)	(0.00,0.01,0.05)	(0.12,0.15,0.17)

Ek 16. Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi (Devamı)

A19	(0.01,0.01,0.01)	(0.16,0.18,0.19)	(0.38,0.39,0.41)	(0.83,0.83,0.83)	(0.00,0.00,0.01)	(0.16,0.17,0.18)
A20	(0.00,0.00,0.00)	(0.22,0.25,0.28)	(0.47,0.49,0.5)	(0.9,0.91,0.92)	(0.00,0.00,0.02)	(0.00,0.00,0.00)
A21	(0.19,0.19,0.19)	(0.03,0.03,0.03)	(0.71,0.73,0.75)	(0.79,0.8,0.81)	(0.00,0.00,0.00)	(0.05,0.06,0.06)
A22	(0.00,0.00,0.00)	(0.12,0.12,0.12)	(0.53,0.55,0.56)	(0.89,0.91,0.92)	(0.00,0.00,0.01)	(0.08,0.09,0.09)
A23	(0.02,0.02,0.02)	(0.16,0.16,0.17)	(0.62,0.65,0.67)	(0.87,0.88,0.88)	(0.00,0.00,0.03)	(0.83,0.92,1)
A24	(0.03,0.03,0.03)	(0.41,0.43,0.43)	(0.55,0.58,0.6)	(0.81,0.82,0.82)	(0.00,0.00,0.01)	(0.00,0.00,0.00)
A25	(0.02,0.02,0.02)	(0.07,0.07,0.07)	(0.41,0.42,0.43)	(0.61,0.61,0.62)	(0.00,0.00,1)	(0.01,0.01,0.02)
A26	(0.00,0.00,0.00)	(0.08,0.08,0.08)	(0.39,0.41,0.43)	(0.62,0.63,0.64)	(0.00,0.00,0.05)	(0.00,0.00,0.00)
A27	(0.00,0.00,0.00)	(0.07,0.09,0.09)	(0.43,0.44,0.46)	(0.55,0.55,0.55)	(0.00,0.00,0.01)	(0.00,0.00,0.01)
A28	(0.00,0.00,0.00)	(0.11,0.12,0.12)	(0.5,0.5,0.51)	(0.54,0.54,0.54)	(0.00,0.00,0.11)	(0.00,0.00,0.00)
A29	(0.52,0.52,0.53)	(0.09,0.09,0.1)	(0.41,0.42,0.43)	(0.8,0.8,0.81)	(0.00,0.00,0.01)	(0.01,0.02,0.02)
A30	(0.08,0.08,0.08)	(0.24,0.25,0.26)	(0.59,0.61,0.61)	(0.87,0.87,0.88)	(0.00,0.00,0.01)	(0.02,0.02,0.02)
A31	(0.00,0.00,0.00)	(0.13,0.14,0.14)	(0.49,0.49,0.49)	(0.75,0.75,0.75)	(0.04,0.11,0.25)	(0.06,0.07,0.07)
A32	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.04,0.05)	(0.67,0.68,0.69)	(0.72,0.74,0.75)	(0.00,0.00,0.00)	(0.00,0.00,0.00)
A33	(0.00,0.00,0.00)	(0.09,0.09,0.09)	(0.58,0.6,0.62)	(0.83,0.83,0.84)	(0.00,0.00,0.02)	(0.09,0.09,0.09)
A34	(0.88,0.89,0.89)	(0.22,0.23,0.24)	(0.59,0.6,0.61)	(0.82,0.83,0.83)	(0.00,0.00,0.08)	(0.2,0.2,0.21)

Ek 17. Her Alternatifin A^* ve A^- 'Ya Olan Uzaklıkları

Ülkeler	d_i^*	d_i^-
Avustralya	9,725771	3,27482
Avusturya	9,787805	3,212583
Belçika	9,738018	3,262568
Kanada	9,677463	3,322701
Şili	9,80986	3,203374
Çek cumhuriyeti	9,815676	3,185318
Danimarka	9,739913	3,260515
Estonya	9,814898	3,186641
Finlandiya	9,669421	3,331029
Fransa	9,746698	3,258754
Almanya	9,752385	3,248536
Yunanistan	9,800074	3,210895
Macaristan	9,812453	3,188468
İzlanda	9,702214	3,300824
İrlanda	9,760028	3,24199
İsrail	9,765893	3,235491
İtalya	9,737606	3,268236
Japonya	9,785065	3,21677
Kore cumhuriyeti	9,842166	3,158329
Lüksemburg	9,677399	3,338616
Meksika	9,852803	3,147518
Hollanda	9,748066	3,252914

Ek 17. Her Alternatifin A* ve A⁻'ya Olan Uzaklıkları (Devamı)

Yeni Zelanda	9,696144	3,305153
Norveç	9,725712	3,27536
Polonya	9,870801	3,151786
Portekiz	9,800291	3,200871
Slovak Cumhuriyeti	9,811767	3,1885
Slovenya	9,799919	3,202318
İspanya	9,726281	3,273982
İsveç	9,727739	3,272453
İsviçre	9,770143	3,232262
Türkiye	9,811078	3,189174
Birleşik Krallık	9,774172	3,23079
Amerika Birleşik Devletleri	9,666169	3,336575

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gönül ÖGEL
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Adıyaman/1982
E-Posta : gonul_ogel002@hotmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- Yüksek Lisans (2017-2019), Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı
- Lisans (2013-2017), Aksaray Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanat Faaliyetleri:

-
-

Ödülleri:

- 2017, 3, Fakülte ve Bölüm Üçüncülüğü Plaketleri ile Yüksek Onur Belgesi, Aksaray Üniversitesi

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

-