

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE’NİN MAKROEKONOMİK
PERFORMANS GÖSTERGELERİNE GÖRE BULANIK GRA-TRİL ZERO
YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cansu AKKAYA

KASIM 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE’NİN MAKROEKONOMİK
PERFORMANS GÖSTERGELERİNE GÖRE BULANIK GRA-TRİL ZERO
YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRILMASI**

Cansu AKKAYA

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 12 / 11 / 2024

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hüseyin Avni ES

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Avrupa Birliğı Ülkeleri ve Türkiye’nin Makroekonomik Performans Göstergelerine Göre Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi ile Sınıflandırılması” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Çalışmada, karmaşık ve belirsiz sistemlerin değeriendirilmesinde kullanılan Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemini temel alarak, ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeylerine göre sınıflandırılması konusunda detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Tez sürecinde, Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemi, karar verme süreçlerindeki belirsizliklerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak, çok boyutlu verilerin analizinde önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemine dayalı bir şekilde gerçekleştirilen sınıflandırma analizi, literatürdeki mevcut boşlukları doldurmanın yanı sıra uygulamaya da önemli katkılar sunmaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana rehberlik eden, destek veren ve katkıda bulunan başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin Avni ES’e olmak üzere tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazım sürecinde karşılaştığım zorluklar, bilimsel merak ve kararlılıkla aşılmış; bu süreç, benim için değerli bir öğrenme deneyimi olmuştur. Umuyorum ki bu tez, akademik alanda ve pratik uygulamalarda değerli bir kaynak olarak yer bulacaktır.

Cansu AKKAYA

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’nin Makroekonomik Performans Göstergelerine Göre Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi ile Sınıflandırılması” bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hüseyin Avni ES’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/11/2024

Cansu AKKAYA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Karar Verme Sürecinin Aşamaları	1
1.2. Çok Kriterli Karar Verme.....	2
2. LİTERATÜR ANALİZİ.....	6
3. METODOLOJİ.....	14
3.1. Gri Sistem Teorisi	14
3.1.1. Gri Sistem Teorisi'nin Temel Kavramları ve Özellikleri	15
3.1.2. Gri İlişkisel Analiz	16
3.1.3. Bulanık Gri İlişkisel Analiz	19
3.1.4. GRA-TR,IL Zero	24
3.1.5. Bulanık GRA-TRIL Zero.....	31
3.2. SWARA Yöntemi.....	37
4. AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE'NİN MAKROEKONOMİK PERFORMANS GÖSTERGELERİ ÜZERİNE UYGULAMA.....	40
4.1. Kriter Ağırlıklarının SWARA ile Belirlenmesi.....	45
4.2. Gri İlişkisel Analiz Uygulaması	48
4.3. Bulanık Gri İlişkisel Analiz Uygulaması	50
4.4. GİA ve Bulanık GİA Sonuçlarının Karşılaştırılması	51
4.5. GRA-TRIL Zero Uygulaması	52
4.6. Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi Üzerine Uygulamalı Örnek.....	55
4.6.1. Bulanık GRA-TRIL Zero Analiz Sonuçları.....	62
4.7. GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	63

5. TARTIŞMA.....	65
6. SONUÇLAR.....	66
7. KAYNAKLAR.....	68
8. EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE’NİN MAKROEKONOMİK PERFORMANS GÖSTERGELERLERİNE GÖRE BULANIK GRA-TRIL ZERO YÖNTEMİ İLE SINIFLANDIRILMASI

Cansu AKKAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Avni ES
2024, 73 Sayfa, 3 Sayfa Ek

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, karar süreçlerinde birçok kriterin değerlendirilmesini sağlayarak; seçme, sıralama ve sınıflandırma problemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ÇKKV’de sınıflandırma problemi üzerine odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle Gri İlişkisel Analiz (GİA) metodolojisi temel alınarak geliştirilen GRA-TRIL Zero sınıflandırma yöntemi bulanık sayılar ile genişletilmiştir. Bu sayede önerilen yöntem belirsizlik altında karar süreçlerine çözüm üretebilme kabiliyeti kazanmıştır. Daha sonra yöntemin geçerliliği ve uygulanabilirliği ülkelerin makroekonomik performansını ele alan kapsamlı bir çalışma ile sunulmuştur. Bu bağlamda Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’nin makroekonomik performans göstergeleri literatürden hareketle tespit edilmiş ve uzman görüşleri alınarak her bir göstergenin ağırlıkları Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak Gri İlişkisel Analize dayalı olarak klasik ve bulanık yöntem uygulamalarıyla hem sıralama hem de sınıflandırma analizleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Böylece yöntemin geçerliliği gösterilmekle birlikte Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye özelinde detaylı analizlere ulaşılmıştır. Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemiyle yapılan sınıflandırma analizi sayesinde de ülkelerin ekonomik performans değerlendirmelerinde belirsizlik altında karar desteği sağlayan yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Desteği, Sınıflandırma, Gri İlişkisel Analiz, Bulanık Sayılar

Master's Thesis

SUMMARY

CLASSIFICATION OF EUROPEAN UNION COUNTRIES AND TURKEY ACCORDING TO THEIR MACROECONOMIC PERFORMANCE INDICATORS WITH FUZZY GRA-TRIL ZERO METHOD

Cansu AKKAYA

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Doç. Dr. Hüseyin Avni ES
2024, 73 Pages, 3 Pages Appendix

Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods are effectively utilized in decision-making processes by enabling the evaluation of multiple criteria, and they are widely applied in selection, ranking, and classification problems. This study focuses on the classification problem of MCDM. Within the scope of the study, the GRA-TRIL Zero classification method, developed based on the Grey Relational Analysis (GRA) methodology, has been extended using fuzzy numbers. Thus, the proposed method has gained the ability to provide solutions to decision-making processes under uncertainty. Subsequently, the validity and applicability of the method have been demonstrated through a comprehensive study addressing the macroeconomic performance of countries. In this context, the macroeconomic performance indicators of the European Union countries and Turkey were identified based on the literature, and the weights of each indicator were determined using the Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) method by incorporating expert opinions. Using the obtained weights, both ranking and classification analyses were separately conducted through classical and fuzzy method applications based on Grey Relational Analysis. Thus, the validity of the method has been demonstrated, and detailed analyses specific to the European Union countries and Turkey have been obtained. The classification analysis conducted using the Fuzzy GRA-TRIL Zero method has provided an innovative approach that offers decision support under uncertainty in the evaluation of the economic performance of countries.

Key Words: Multi-Criteria Decision Aiding, Classification, Grey Relational Analysis, Fuzzy Numbers

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Karar verme problemleri.....	4
Şekil 2. Üçgensel bulanık sayı $\tilde{A}$	20
Şekil 3. Sınırlayıcı profillerle örnek bir gösterim	25
Şekil 4. Üstesinden gelinmesi gereken durum	26
Şekil 5. Çalışma akış şeması	41



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Scopus veri tabanında literatür araştırması.....	6
Tablo 2. Bazı ÇKKV’de sınıflandırma analizleri	7
Tablo 3. Karar kriterleri ve ifadeleri	43
Tablo 4. AB ülkeleri ve Türkiye’nin ekonomik değerleri	43
Tablo 5. K6 ve K8 karar kriterlerinin pozitif değerleri.....	45
Tablo 6. Kriterlerin sıralanması ve görelî önem puanları	46
Tablo 7. Katsayı değerinin hesaplanması	46
Tablo 8. Yeni önem vektörünün hesaplanması.....	47
Tablo 9. Görelî ağırlıklar	47
Tablo 10. Nihai ağırlıklar.....	47
Tablo 11. GİA uygulaması ile ülkelerin sıralaması	48
Tablo 12. Bulanık GİA uygulaması ile ülkelerin sıralaması.....	50
Tablo 13. GİA ve Bulanık GİA sonuçlarının karşılaştırılması	51
Tablo 14. Sınır profillerin kriter değerleri	52
Tablo 15. Merkezi profillerin kriter değerleri.....	52
Tablo 16. Merkezi profillere göre ilgili sınıflar	53
Tablo 17. GRA-TRIL Zero yöntemi gri ilişkisel derece matrisi.....	53
Tablo 18. GRA-TRIL Zero yöntemi ile ülkelerin sınıflara atanması	54
Tablo 19. Karar matrisi	55
Tablo 20. Sınır profillerin karar kriterlerine ait bulanık sayı değerleri.....	57
Tablo 21. Merkezi profillerin karar kriterlerine ait bulanık sayı değerleri	57
Tablo 22. Alternatiflerin karar kriterlerine ait normalize bulanık sayı değerleri.....	58
Tablo 23. Alternatiflerin durulaştırılmış kriter değerleri	59
Tablo 24. Durulaştırılmış karşılaştırma matrisi	59
Tablo 25. Alternatifler için sıfır değer yaklaşımı.....	60
Tablo 26. Alternatifler için Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri.....	60
Tablo 27. Gri ilişkisel katsayı matrisi	61
Tablo 28. Gri ilişkisel derece matrisi	61
Tablo 29. Ülkelerin sınıflara atanması.....	62
Tablo 30. GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero sonuçları.....	63

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
AHPSort	: Analitik Hiyerarşi Prosesi Sınıflandırma
ARAS	: Additive Ratio Assessment
BWMSort II	: Best-Worst Multi-Criteria Sorting
CoCoSort	: The Combined Compromise Solution
CODAS	: Combinative Distance-based Assessment
COPRAS	: Complex Proportional Assessment
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
DCMSort	: Distance to Compromise Sorting
DEMATEL	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EDAS	: Evaluation based on Distance from Average Solution
ELECTRE	: Elimination and Choice Translating Reality
ELECTRE TRI	: Elimination and Choice Translating Reality for Classification
GİA	: Gri İlişkisel Analiz
GRA-TRIL ZERO	: Grey Relational Analysis for Classification based on Zero value approach
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
MABAC	: Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison
MHDIS	: Multi-criteria Hierarchical Decision and Interpretation System
MOORA	: Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis
PROMETHEE	: Preference ranking organization method for enrichment evaluation
SWARA	: Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
FTOPSIS	: Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. GİRİŞ

Karar, belirli bir durumda mevcut seçenekler arasından en uygun olanı seçme sürecidir. Tercih etme, karar verme sürecinin bir parçası olarak kabul edilebilir ve bu kavramlar birbirine yakın anlamlar taşır (Koçel, 1999).

Kararlar genellikle bir seçenek veya seçenekler arasında tercih yapmayı gerektirir ve sonuçlarının bir eylem veya davranışta bulunmayı içerir. Bu nedenle, kararlar genellikle belirli bir amaca veya hedefe ulaşmak için atılan bilinçli bir adımdır. Yöneticinin bir konu üzerindeki seçimleri, karar verme sürecinin sonucunu yansıtır ve bu seçimlerin etkili bir şekilde uygulanması, yöneticinin kararını oluşturur.

Karar verme süreci, çoğu zaman birden fazla alternatifin değerlendirilmesini ve analiz edilmesini gerektirir. Bu alternatifler arasında çelişkili, farklı avantaj ve dezavantajlara sahip seçenekler olabilir. Dolayısıyla, doğru karar verebilmek için her bir alternatifin avantajları ve dezavantajları dikkatlice gözden geçirilmelidir. Karar verme süreci aynı zamanda alternatiflerin seçilmesi, sıralanması ve sınıflandırılmasını içerir (Simon, 1977).

1.1. Karar Verme Sürecinin Aşamaları

Karar verme süreci, bir sorunun tanımlanmasından başlayarak alternatiflerin değerlendirilmesi ve en uygun seçeneğin belirlenmesine kadar uzanan bir dizi aşamayı içerir. Bu aşamalar, iş yönetimi ve karar alma süreçlerinde sıklıkla uygulanan temel adımları oluşturur ve aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır (Koçel, 1999).

1. Farkındalık oluşturma: Bir sorunun veya bir durumun farkına varma. Bu adım, bir ihtiyacın, bir problemi veya bir fırsatı fark etmeyi içerir.
2. Sorunu tanımlama ve analiz etme: Farkındalık oluşturulduktan sonra, sorunun tam olarak tanımlanması ve analiz edilmesi önemlidir. Sorunun ne olduğunu, neden önemli olduğunu ve nasıl etkilendiğini belirlemek için detaylı bir analiz yapılır.
3. Amaç ve hedeflerin belirlenmesi: Karar verme sürecindeki amaç ve hedeflerin belirlenmesi önemlidir. Bu adımda, kararın neden alınması gerektiği ve hangi sonuçların elde edilmesi gerektiği belirlenir.

4. Bilgi toplama: Sorunun çözümü için gerekli bilgilerin toplanması önemlidir. Bu adımda, mevcut verilerin analiz edilmesi, uzman görüşlerinin alınması ve gerekirse ek araştırmalar yapılması gerekebilir.
5. Seçeneklerin belirlenmesi: Bilgi toplandıktan sonra, mevcut seçeneklerin belirlenmesi önemlidir. Bu adımda, alternatif çözümler veya eylem planları oluşturulur.
6. Seçeneklerin değerlendirilmesi: Belirlenen seçeneklerin avantajları ve dezavantajları değerlendirilir. Her bir seçeneğin olası sonuçları ve riskleri göz önünde bulundurularak analiz edilir.
7. Karar alma: Seçenekler değerlendirildikten sonra en uygun alternatifin seçilmesini gerektirir. Bu aşamada, alternatifler yalnızca seçilmekle kalmaz, aynı zamanda belirli kriterler doğrultusunda sınıflandırılır.
8. Kararın uygulanması: Karar alındıktan sonra, onu uygulamak için bir eylem planı yapılır. Bu adımda, kararın etkili bir şekilde uygulanması için gerekli adımlar atılır.
9. Sonuçların değerlendirilmesi ve geri bildirim: Kararın uygulanmasından sonra, sonuçların izlenmesi ve değerlendirilmesi önemlidir. Bu adımda, kararın etkisi değerlendirilir ve gerektiğinde düzeltici önlemler alınır.

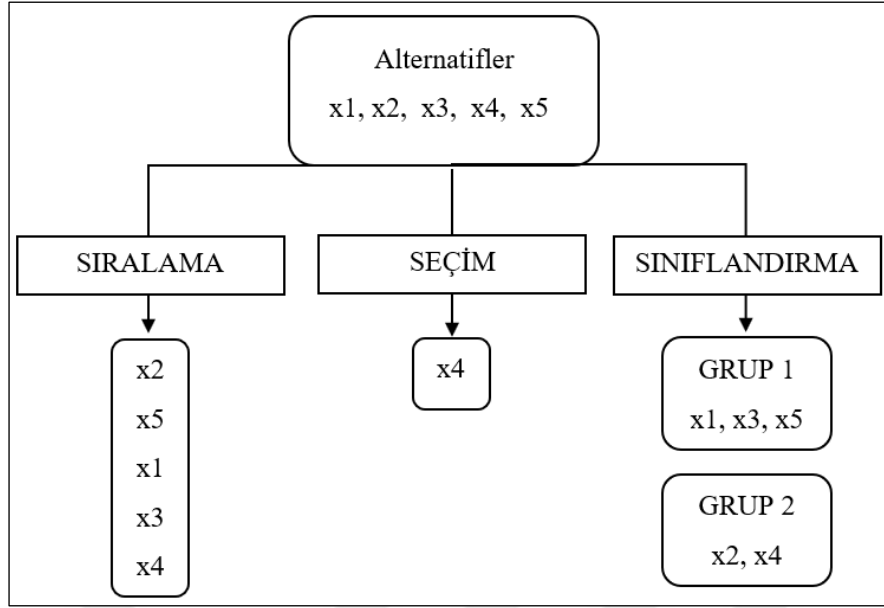
1.2. Çok Kriterli Karar Verme

ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme), karmaşık problemleri çözmek için kullanılan bir yöntem olup, bir karar alıcının birden fazla kriter altında değerlendirilen alternatifler arasından en uygun seçeneği belirlemesine yardımcı olur (Keeney & Raiffa, 1993). ÇKKV süreçleri, çeşitli aşamaları kapsar: Öncelikle, karar verilecek konuyla ilgili verilerin toplanması ve analiz edilmesi gerekir; bu adım, doğru ve güvenilir bilgiye dayalı kararlar alınmasını sağlar (Saaty, 1980). Ardından, karar vericinin dikkate alması gereken kriterler belirlenir; bu kriterler, kararın temel dayanak noktalarıdır ve her bir alternatifin bu kriterler çerçevesinde nasıl performans gösterdiği incelenir.

ÇKKV, farklı karar verme ihtiyaçlarını ve hedeflerini karşılamak üzere çeşitli yöntemler sunar ve her yöntemin avantajları farklıdır. Problemin yapısına ve sürecine bağlı olarak, hangi yöntemin en uygun olduğuna karar verilmelidir. Bu yaklaşım, problemin doğru anlaşılmasını ve etkili bir şekilde çözülmesini sağlar. ÇKKV problemleri üç gruba ayrılır (Turan, 2018).

1. Seçim problemleri: Bu tür problemlerde amaç, birçok alternatif arasından en uygun olanı seçmektir. Karar verici, birden fazla alternatif arasında seçim yaparken belirli kriterlere dayalı olarak en iyi seçeneği belirlemeye çalışır. Örneğin, bir şirketin tedarikçi seçimi, depo yeri seçimi gibi konularda karar verme süreci bir seçim problemi olarak ele alınabilir.
2. Sınıflama problemleri: Bu tür problemlerde, alternatifler belirli kriterlere göre gruplandırılır veya sınıflandırılır. Amaç, alternatifleri farklı kategorilere ayırmak ve benzer niteliklere sahip olanları bir araya getirmektir. Örneğin, bir insan kaynakları departmanı çalışan adaylarını uygunluklarına göre sınıflandırabilir. Bu sınıflandırma, işe uygun olan ve olmayan adayları ayırt etmekte kullanılır. ÇKKV yöntemleri, alternatifler arasındaki benzerlik ve farklılıkları değerlendirerek sınıflandırma problemlerinin çözümüne katkı sağlar.
3. Sıralama problemleri: Bu tür problemlerde, alternatifler belirli bir kriter veya ölçüt altında sıralanır. Amaç, alternatifleri en iyiden en kötüye veya tersi şekilde sıralamaktır. Örneğin, Türkiye'deki şehirleri eğitim sistemindeki başarı seviyelerine göre sıralamak, bir sıralama problemi olarak ele alınabilir.

ÇKKV yöntemleri, ekonomi alanında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Makroekonomik analizler, yatırım stratejileri ve politika değerlendirmelerinde kullanılan bu yaklaşımlar, büyüme, enflasyon, işsizlik ve cari denge gibi ekonomik kriterleri sistematik bir şekilde değerlendirir (Hwang & Yoon, 1981). ÇKKV, ekonomik göstergeler arasında denge kurarak en iyi stratejiyi belirler. Alternatiflerin sınıflandırılması, ülkelerin ekonomik durumunu anlamak ve gelecekteki politikaları şekillendirmek için kritik önemdedir. Bu bağlamda, ÇKKV problemlerinin yapısına ilişkin genel bir çerçeve Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Karar verme problemleri

ÇKKV genellikle iki ana kategori altında incelenir: ÇAKV (Çok Amaçlı Karar Verme) ve ÇNKV (Çok Nitelikli Karar Verme) (Triantaphyllou, 2000).

1. ÇAKV: Birden fazla hedefi göz önünde bulundurarak karar vermeyi gerektirir. Bu yaklaşım, farklı amaçlar arasında denge kurmayı veya çıkarları optimize etmeyi hedefler. Örneğin, yatırım yaparken hem getiri hem de risk dikkate alınabilir.
2. ÇNKV: Bu yaklaşımda kriterler sayısal olarak ifade edilemez ve genellikle niteliksel değerlendirmeler yapılır. Örneğin, marka imajı veya müşteri memnuniyeti gibi kriterler niteliksel olup, ÇNKV bu tür subjektif değerlendirmeleri içeren karmaşık kararları ele almak için kullanılır.

Her iki yaklaşım da karmaşık problemlerin çözümüne ve karar verme sürecinin yönetilmesine katkı sağlar. Karar vericiler, problemin yapısına ve gereksinimlerine bağlı olarak hangi yaklaşımın kullanılacağına karar verirler. ÇAKV ve ÇNKV, farklı tipte problemleri ele alırken karar vericilere rehberlik eder ve doğru kararların alınmasına yardımcı olur. Bu bağlamda, karar verme sürecinin başarısı, alternatiflerin etkili bir şekilde değerlendirilmesine bağlıdır.

ÇKKV'nin en kritik aşamalarından biri de alternatiflerin kriterlere göre sınıflandırılmasıdır. Bu sınıflandırma, karar vericinin, hangi alternatiflerin belirli kriterler altında daha iyi performans gösterdiğini ve hangi alternatiflerin daha az tercih edildiğini net

bir şekilde görmesini sağlar. Bu süreçte kullanılan teknikler, alternatiflerin objektif olarak değerlendirilmesine ve sınıflandırılmasına olanak tanır.

ÇKKV’de sınıflandırma amacıyla geliştirilen yöntemlerden biri de GRA-TRIL Zero (Grey Relational Analysis for Classification based on Zero value approach) yöntemidir. Es (2018) tarafından önerilen bu yöntem karar vericinin görüşlerine göre sınırlayıcı profiller yardımı ile alternatifleri, GİA (Gri İlişkisel Analiz) yöntemi varsayımlarına göre sınıflandırmaktadır. Tez çalışması kapsamında öncelikle GRA-TRIL Zero yöntemi üçgensel bulanık sayılar ile genişletilerek belirsizlik altında karar verme sürecinin değerlendirebilmesine imkan sağlanmıştır. Daha sonra geliştirilen Bulanık GRA-TRI Zero yöntemi ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada AB (Avrupa Birliği) ülkeleri ve Türkiye, makroekonomik göstergeler çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Makroekonomik göstergeler, bir ülkenin ekonomik sağlığını ve gelişimini değerlendirmek için kullanılan çeşitli kriterleri içerir. Bu kriterler arasında büyüme oranı, enflasyon oranı, işsizlik oranı ve cari denge gibi kriterler bulunmaktadır. AB ülkeleri ve Türkiye’nin ekonomik performansını değerlendirmek için tüm bu kriterleri ve ülkeleri eşanlı olarak ele alabilen objektif çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’nin ekonomik durumu, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde önemli bir analiz konusudur ve AB ülkeleriyle yapılan karşılaştırmalar, Türkiye’nin ekonomik stratejilerini ve performansını daha iyi anlamak için kritik bir öneme sahiptir. Geliştirilen yaklaşım sayesinde ekonomik kriterler çerçevesinde ülkelerin iyiden kötüye doğru sınıflandırılması ve bunun ekonomik verilerdeki belirsizliği dikkate alarak gerçekleştirilebilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda genişletilen yöntem ve gerçekleştirilen makroekonomik analiz sayesinde tez diğer çalışmalar arasında ön plana çıkmaktadır. Tez çalışmasının literatür kısmında ÇKKV’de sınıflandırma yöntemleri ve bulanık kümeler ile melezlenen çalışmalar incelendikten sonra makroekonomik göstergeler çerçevesinde yapılan çalışmalara değinilmiştir. Yöntem kısmında öncelikle, belirsizliği modelleme yaklaşımının benimsenmesi amacıyla seçme ve sıralama problemlerinin çözümünde kullanılan GİA ve belirsizlik altında çalışabilen Bulanık GİA yöntemleri tanıtılmıştır. Daha sonrasında GRA-TRI Zero ve Bulanık GRA-TRI Zero yöntemleri sunulmuştur. Yöntem bölümünün sonunda ise kriter ağırlıklarının birden fazla karar verici tarafından belirlenmesine imkan sağlayan SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis) yöntemi anlatılmıştır. Tezin geri kalan kısmında ise uygulama ve sonuç bölümleri yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ANALİZİ

Yapılan literatür araştırmasında, ilk aşamada ÇKKV’de sınıflandırma yöntemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir. Araştırmanın temel veri kaynağı olarak Scopus veri tabanı kullanılmıştır. ÇKKV’de sınıflandırma yöntemleri literatürde farklı anahtar kelimelerle ifade edilebilmektedir. Bu bağlamda çok kriterli karar desteği başlığı altında da bir takım sınıflandırma yöntemlerinin yer aldığı tespit edilmiştir. Özellikle karar vericiler tarafından sınıfların sınır değerlerinin belirlendiği durumlarda sınıflandırma sürecine karar desteği sağlandığı için bu anahtar terimin kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle Tablo 1’in ilk kısmında kullanılan anahtar kelimeler arasındaki çeşitli kombinasyonlar şu şekildedir: ‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’, ‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’ ve ‘Fuzzy’, ‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’ ve ‘GRA’, ‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’ ve ‘Fuzzy’ ve ‘GRA’, ‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’ ve ‘Fuzzy’ ve ‘GRA’ ve ‘Triangular Fuzzy’. Bu anahtar kelimeler kullanılarak yapılan kapsamlı tarama sonucunda çok sayıda çalışma belirlenmiş ve detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur.

Tablo 1. Scopus veri tabanında literatür araştırması

Arama Detayları	Çalışma Sayısı
‘Multicriteria Decision Aid’ veya ‘Multicriteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Decision Aiding’ veya ‘Multiple Criteria Sorting’ veya ‘Multicriteria Sorting’ ve ‘Sort’ veya ‘Sorting’ veya ‘Classification’	305

Tablo 1'in devamı

Arama Detayları	Çalışma Sayısı
'Multicriteria Decision Aid' veya 'Multicriteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Sorting' veya 'Multicriteria Sorting' ve 'Sort' veya 'Sorting' veya 'Classification' ve 'Fuzzy'	35
'Multicriteria Decision Aid' veya 'Multicriteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Sorting' veya 'Multicriteria Sorting' ve 'Sort' veya 'Sorting' veya 'Classification' ve 'GRA'	3
'Multicriteria Decision Aid' veya 'Multicriteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Sorting' veya 'Multicriteria Sorting' ve 'Sort' veya 'Sorting' veya 'Classification' ve 'Fuzzy' ve 'GRA'	2
'Multicriteria Decision Aid' veya 'Multicriteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Decision Aiding' veya 'Multiple Criteria Sorting' veya 'Multicriteria Sorting' ve 'Sort' veya 'Sorting' veya 'Classification' ve 'Fuzzy' ve 'GRA' ve 'Triangular Fuzzy'	0

Scopus veri tabanında yapılan incelemede, Tablo 1'in ilk kısmındaki anahtar kelimelerle ÇKKV'de sınıflandırma yöntemleriyle yapılan çalışma sayısı belirlenmiş ve bu sayının 305 olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, Tablo 2'de, literatürdeki bu mevcut çalışmalarda son dönemlerde geliştirilen çok kriterli karar verme teknikleriyle gerçekleştirilen sınıflandırma analizlerinin bir kısmı aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2. Bazı ÇKKV'de sınıflandırma analizleri

Çalışma	Yöntem	Literatüre Katkı
Liang vd., (2025)	DCMSort	Kart destesi yöntemine dayalı bir çoklu kriter sıralama tekniğidir. Diğer yöntemlerin aksine, kişisel tercihlere dayalı kriter ağırlıkları ve fayda fonksiyonları üretir, daha az karşılaştırma gerektirir ve esnek bir tercih gösterimi sunar.
Tuang vd., (2024)	CoCoSort	Alternatiflerin önceliklerini belirlemek için eksiksiz bir ölçü sağlar. Yöntem, üstel ağırlıklı ürün modeli ve basit eklemeli ağırlıklandırma yöntemini birleştirerek, sürdürülebilir tedarikçi seçimi, lojistik merkezi yeri seçimi ve sağlık sektörü değerlendirmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır.
Yatsalo vd., (2023)	FTOPSIS-Sort	Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)'in bir uzantısı olarak, alternatiflerin sıralanmasını ve sınıflandırılmasını hedefler. Bulanık sayılarla çalışarak defuzzifikasyon tabanlı iki farklı teknik sunar ve sıralama problemlerinin çözümlerinde kullanılır.
El Ghram vd., (2023)	EDAS-Sort-B	EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yönteminin uyarlaması olup, alternatiflerin sınır profilleri aracılığıyla daha önceden belirlenmiş kategorilere atanmasını sağlar. Bu yöntem, sınıflandırma işlemini kategoriler arasındaki farklılıkları vurgulamak üzerine inşa etmiştir.

Tablo 2'nin devamı

Çalışma	Yöntem	Literatüre Katkı
Ishizaka, (2023)	G-ARASsort	ARAS (Additive Ratio Assessment) yönteminin sınıflandırma işlemleri için optimize edilmiş bir varyantıdır. Basitlik ve işlem gücü öncelenerek, alternatiflerin karar gruplarına ayrılması için kriter puanlarına dayalı bir sistem sunar.
Ocampo & Yamagishi (2022)	VIKORSORT	Çok kriterli analizlerde alternatiflerin performansını değerlendirir ve kriterlerin ağırlıklandırılmış puanlarını kullanarak bu alternatifleri önceden belirlenen sınıflara yerleştirir. Yöntem, alternatifler arasındaki uzlaşma seviyelerini dikkate alır.
Aro vd., (2022)	Fermatean fuzzy CRITIC-CODAS-SORT	Bir dizi özelliği değerlendirmek ve sınıflandırmak için kullanılır. Fermatean bulanık ortamda çalışarak, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için CRITIC, ardından bu kriterleri sınıflandırmak için CODAS-SORT (Complex Decision Analysis for Social Innovation) yöntemlerini entegre eder.
Es vd., (2018)	GRA-TRIL Zero	GİA yöntemi ile geliştirilmiş bir sınıflandırma tekniğidir. Alternatiflerin karar kriterlerine göre benzerlikleri ve uzaklıkları hesaplanır, ardından sıfır değer yaklaşımı uygulanarak alternatifler belirli sınıflara atanır.
Liu vd., (2019)	BWMSort II	Karar vericiler en iyi ve en kötü kriterleri belirleyerek, her bir alternatifin sıralamasını yaparken aynı zamanda sınıflandırma aşaması da ekler. Bu, alternatiflerin hem sıralanmasını hem de hangi sınıfa ait olduklarını göstererek, daha kapsamlı bir analiz sunar.
Sabokhar vd., (2016)	TOPSIS-Sort	Alternatiflerin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklarına dayanarak, her alternatifin uygun sınıf içinde değerlendirilmesini sağlar.
Campos vd., (2015)	F-FlowSort	Her bir alternatifin karar kriterlerine göre değerlendirilmesinde bulanık mantık kullanarak, belirsiz verilerle çalışırken doğruluğu artırır ve karar vericilere sınıflandırma sunar.
Ishizaka vd., (2012)	AHPSort	Alternatiflerin önceliklendirilmesini ve bu önceliklere göre sınıflara ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir. Yöntem, her bir kriterin göreceli önemini belirler ve alternatifleri bu önem derecelerine uygun şekilde kategorize eder.
Doumpos vd., (2001)	MHDIS	Birden fazla kriterin eş zamanlı analizine imkan tanıyarak alternatiflerin risk gruplarına ayrılmasını kolaylaştırır. Bu yöntem, hiyerarşik bir model aracılığıyla risk seviyelerini detaylandırır ve alternatifleri risk bazlı sınıflara yerleştirir.
Belacel, (2000)	PROAFTN	Bulanık mantık ve olasılık teorisini birleştirerek belirsiz verilerle yapılan sınıflandırmalarda kullanılır. Yöntem, belirsizliklerle başa çıkmaya odaklanarak, alternatiflerin çeşitli kriterlere göre olasılıkla belirlenmiş sınıflara atanmasını sağlar.
Brans vd., (1996)	Flowsort	Alternatiflerin akış yönelimli bir modelde sınıflara ayrılmasını hedefler. Bu yöntem, her alternatifin akış değerlerini analiz ederek onları en uygun sınıfa yerleştirir. Alternatiflerin performansı, sınıflar arasındaki akış farklarına göre şekillenir.
Brans vd., (1985)	ELECTRE TRI	Eşik değerler kullanarak alternatiflerin önceliklerini belirler ve kategorilere ayırır. Yöntem, özellikle bir alternatifin belirli bir kategoriye dahil edilip edilmediğini göstermek için veto ve uyum ölçütleri gibi özel kurallar kullanır.
Brans vd., (1984)	PROMETHEE II	Kriterlerin öncelikli değerlendirmesini yaparak alternatifleri sınıflara yerleştirir. Yöntem, pozitif ve negatif akışların kıyaslanmasına dayanarak karar vericilere alternatiflerin güçlü ve zayıf yönlerini net bir şekilde gösterir.
Devaud vd., (1980)	UTADIS	Alternatiflerin belirlenen sınıflara atanmasını sağlamak için matematiksel bir optimizasyon yaklaşımı kullanır. Yöntem, her alternatifin sınıflar arası sınır değerlerine olan mesafesini hesaplar ve bu mesafeye göre kategorilendirme yapar.

Daha sonra bulanık kümeler ile yapılan çalışmaları değerlendirmek amacıyla yapılan aramada 35 çalışmanın yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Sezgisel, üçgensel, (Gholizade, vd., 2023) q Rung Orthopair küme setleri ile finans, ekonomi, sağlık gibi çeşitli çalışmaların yer almaktadır (Huang & Wang, 2022; Li vd., 2023; Tiwari & Lohani, 2022; Campos vd., 2015). Daha sonra GİA ile yapılan sınıflandırma yöntemleri incelenmiş ve 3 çalışma tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan Es (2018) doktora tez çalışmasında GRA-TRI ve GRA-TRIL Zero şeklinde sınırlandırıcı ve merkezi profiller yardımı ile alternatifleri sınıflandırabilen iki yöntem önerdiği görülmüştür. Bu tezden hareketle GRA-TRI yöntemini tanıtan bir makale yayınlamıştır (Es vd., 2018). Bununla birlikte Tiwari vd. (2022) ‘Sezgisel Bulanık GİA Sınıflandırma Tekniği’ başlıklı çalışmasında, turizm endüstrisinin yeniden açılmasına yönelik stratejiyi oluşturmak için bir Sezgisel Bulanık GİA sıralama tekniği önermiş ve alternatiflerin sınıflandırılmasında bulanık mantık yaklaşımının avantajlarını incelemiştir. Tiwari vd. (2023) ‘Hastane Yer Seçim Problemi için Dairesel Sezgisel Bulanık GİA’ başlıklı diğer çalışmasında ise, Bulanık GİA yöntemlerini kullanarak sağlık sektörü bağlamında bir yer seçimi analizi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, dairesel sezgisel bulanık sayılar yardımıyla yöntemin uygulanabilirliği ve karar vericilere sağladığı katkılar detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Tiwari vd. (2022) ve Tiwari vd. (2023) çalışmalarında sezgisel bulanık sayılar yardımı ile sınıflandırma yöntemlerini genişletmişlerdir. Bu çalışmalar Tablo 1’deki Bulanık ve GİA tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarının 2’sini göstermektedir. Bununla birlikte Tablo 1’in son kısmında GİA ile üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yapılan herhangi bir üçgensel bulanık küme çalışmanın yer almadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda Bulanık GİA yaklaşımı ile gerçekleştirilen sınıflandırma yaklaşımlarının sınırlı olduğu ve üçgensel bulanık sayılar yardımı ile gerçekleştirilen bir çalışmanın bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu eksiklikten hareketle gerçekleştirilen çalışma kapsamında literatürde yer alan GRA-TRI Zero yöntemi, üçgensel bulanık sayılar ile genişletilerek belirsizlik ortamında sınıflandırma analizlerini ortaya koyabilen bir yaklaşım literatüre kazandırılmıştır.

Çalışmanın uygulama kısmında genişletilen sınıflandırma yöntemi kullanılarak ülkeler makroekonomik göstergelere göre analiz edilmek istenmiştir. Bu nedenle literatür analizinin ikinci kısmında ise bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu bağlamda mevcut literatür incelendiğinde, ülkelerin ekonomik performansını analiz eden birçok araştırmanın bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, ekonomik performansı daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmek için çok kriterli karar verme

yöntemlerine başvurmaktadır. Bu yöntemler ve uygulamalar, son yıllardan başlayarak takip eden paragraflarda sırasıyla ele alınmıştır.

Yaşar ve Öksüzkaya (2022), 2016-2020 yılları arasında AB'ne üye ülkeler ve potansiyel aday ülke Türkiye'nin makroekonomik performanslarını ARAS ve COPRAS (Complex Proportional Assessment) yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, kişi başı GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla), yatırım oranı, ihracat oranı, ithalat oranı, işsizlik oranı ve tüketici fiyat endeksi olmak üzere 6 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Türkiye, ARAS yöntemine göre 2016–2020 yıllarını kapsayan beş yıllık performansı açısından değerlendirildiğinde yalnızca Letonya, Hırvatistan ve Yunanistan'dan daha iyi olduğu görülmüştür. COPRAS yöntemine 2016–2020 yıllarını kapsayan beş yıllık performansı açısından değerlendirildiğinde ise son sırada yer almaktadır.

Tan vd. (2022), Kamyon dizel motorları için döner dizel partikül filtresinin performansını, giriş hızı ve yapı parametreleri önem açısından Bulanık GİA yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, çap oranı, genişleme açısı, filtre uzunluğu olmak üzere 3 yapı parametresi karar kriteri olarak kullanılmıştır. Üç yapı faktörünün denge noktasındaki analize göre önem sırası şu şekildedir: çap oranı > genişleme açısı > filtre uzunluğu.

Koşaroğlu (2021), E7 ülkelerinin 2010-2019 yılları arasındaki makroekonomik performans değerleri Entropi ve ARAS yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, ekonomik büyüme, yatırım oranı, ihracat, ithalat, cari işlemler dengesinin GSYİH'ye oranı, işsizlik oranı ve enflasyon oranı olmak üzere 7 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Genel bir değerlendirme sonucunda 2010-2019 yılları arasında makroekonomik performans açısından en başarılı ülke Çin'dir. Çin'i sırasıyla Rusya, Meksika, Hindistan, Endonezya, Türkiye ve Brezilya izlemektedir.

Orhan (2020), AB ülkeleri, AB'ye aday ülkeler ve potansiyel aday olan ülkelerin 2018 yılındaki makroekonomik performansları ARAS yöntemi ile analiz edilip karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, GSYİH artışı, kişi başına GSYİH, istihdam - nüfus oranı, mal ve hizmet ihracatı, mal ve hizmet ithalatı olmak üzere 5 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, en yüksek ekonomik performansı gösteren ülke Lüksemburg'dur. Türkiye 26. sırada; Kosova, Kuzey Makedonya, Hırvatistan, Bulgaristan, Arnavutluk, Karadağ, Yunanistan, Sırbistan ve Portekiz'den daha üst sırada yer almaktadır.

Uludağ ve Ümit (2020), 5 Türk dünyası ülkesinin 2008-2016 yılları arasında makroekonomik performansları DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) ve COPRAS yöntemleriyle analiz edilmiştir. Bu çalışmada, GSYİH, kişi başına

düşen GSYİH, satın alma gücü paritesine göre kişi başına düşen GSYİH, enflasyon, dış borç, doğrudan yabancı yatırım girişi, işsizlik oranı, ihracatın ithalatı karşılama oranı olmak üzere 8 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçları, Türkiye'nin ve Türkmenistan'ın en iyi makroekonomik performansı sergilediğini, ancak katma değerli üretimde düşük performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Çetiner vd. (2020), AB'ne aday olan ve potansiyel aday olan Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 7 ülkenin 2017 yılına ait makroekonomik performansları TOPSIS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışmada, kamu borçları, işsizlik oranı, bütçe açığı ve enflasyon olmak üzere 4 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Ekonomik performansı en yüksek olan ülkenin Türkiye, en düşük olan ülkenin Arnavutluk olduğu tespit edilmiştir.

Akyurt ve Kabadayı (2020), Türk havayolu firması için en uygun kargo uçak modelini seçmek amacıyla, AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık GİA yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, maliyet, operasyonel uyumluluk ve zaman kriterlerinin alt kriterleri olmak üzere 16 karar kriteri kullanılmıştır. Bulanık GİA yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda, B777F model kargo uçağının firma için en uygun uçak modeli olduğu belirlenmiştir.

Özbek ve Demirkol (2019), AB ülkeleri ve Türkiye'nin 2016 yılına ait verileri kullanarak ekonomik gelişmişliğinin ARAS, COPRAS ve GİA yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, kişi başına milli gelir, ekonomik büyüme, işsizlik oranı, bütçe açığı, kamu borç oranı, enflasyon oranı, cari işlemler dengesi ve dış ticaret dengesi olmak üzere 8 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Her üç yöntemle göre de Fransa, Portekiz, Türkiye, İspanya ve Yunanistan son sıralarda yer almıştır.

Ayçin ve Çakın (2019), Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 36 ülkenin inovasyon performansları Entropi ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, insan kaynakları, araştırma sistemleri, inovasyon dostu çevre, finansman ve destekler, firma yatırımları, yenilikçilik, bağlantılar, fikri varlıklar, istihdam etkisi ve satışların etkisi olmak üzere 10 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. İlk üçte sırasıyla İsviçre, İsveç ve Danimarka yer alırken; Türkiye, 30'uncu sırada yer almıştır.

Ela vd. (2018), AB ülkeleri ve Türkiye'nin 2015 yılındaki makroekonomik performansları TOPSIS yöntemi ile analiz edilip karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, büyüme oranı, enflasyon oranı, işsizlik oranı ve cari denge olmak üzere 4 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Ekonomik performans sonuçlarına göre, 2015 yılında en yüksek

performans sergileyen ülkeler sırasıyla Romanya, İrlanda, Bulgaristan ve Hırvatistan olmuştur. Buna karşın, en düşük ekonomik performansa sahip ülkeler ise Türkiye, Belçika, Yunanistan ve Avusturya olarak belirlenmiştir.

Doğan ve Uludağ (2018), Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı Bulanık GİA yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışmada 17 karar kriteri kullanılmıştır: fizibilite çalışmasının süresi, arazi kullanımı, yatırım maliyetlerinin uygunluğu, devlet teşviki, pazarın büyüklüğü ve enerji verimliliği... Analiz sonuçları, Türkiye açısından en uygun yenilenebilir enerji kaynağının güneş enerjisi olduğu göstermiştir. Güneş enerjisini sırasıyla; rüzgâr, hidrolik, biyokütle ve jeotermal izlemektedir.

Ulutaş vd. (2018), Elektrik aksamı üreten bir fabrika için personel adayların performans değerleri Bulanık GİA yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ürün, hammadde ve üretim hakkında bilgi seviyesi, üretim hakkındaki tecrübesi, risk değerlendirme ve önlem alma becerileri takım çalışmasına uyumluluk ve talep edilen ücret olmak üzere 5 ana ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre aday personellerin skorları sıralanmıştır.

Sevgin ve Kundakcı (2017), AB ülkeleri ile Türkiye'nin 2013 yılındaki ekonomik göstergelere dayalı olarak gelişmişlik düzeyleri, TOPSIS ve MOORA (Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis) yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada, kişi başına gelir, enflasyon, işsizlik oranı, ihracatın ithalatı karşılama oranı, kamu borçları ve bütçe açığı olmak üzere 6 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Analiz sonucuna göre ekonomik performansları en yüksek olan ülkeler sırasıyla Lüksemburg, İsveç ve Danimarka'dır. Ekonomik performansı en düşük olan ülkeler sırasıyla Yunanistan, Slovenya ve Türkiye sonucuna ulaşılmıştır.

Masca (2017), AB ülkelerinin 2015 yılına ait makroekonomik performansları TOPSIS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışmada, uzun dönem faiz oranları, genel bütçe dengesi, toplam kamu borcu, gayri safi sabit sermaye oluşumu, enflasyon oranı ve işsizlik oranı olmak üzere 6 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre İsveç'in en iyi ekonomik performansı gösterdiği, Yunanistan'ın ise 2015 yılında en düşük performansı sergilediği tespit edilmiştir.

Eyüboğlu (2016), Türkiye'nin de dahil olduğu 10 gelişmekte olan ülkenin 2003-2013 yılları arasında makroekonomik performansları TOPSIS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışmada, büyüme, enflasyon, işsizlik ve cari denge olmak üzere 4 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Malezya ve Çin, analiz süresince en iyi performans gösteren

ekonomiler olarak genellikle 1. veya 2. sırada yer almıştır. Türkiye ise 2003 yılında 5. sıradayken, 2013 yılına gelindiğinde son sıraya düşmüştür.

Urfalıoğlu ve Genç (2013), AB ülkeleri ile Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 32 ülkenin makroekonomik performansları ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality), TOPSIS ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, kişi başı GSYİH, ihracat, ithalat, enflasyon oranı, büyüme hızı ve istihdam oranı olmak üzere 6 ana ekonomik ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Türkiye, ekonomik sıralamada ELECTRE yöntemiyle 31. sırada, TOPSIS yöntemiyle 13. sırada ve PROMETHEE yöntemiyle 32. sırada konumlanmaktadır.

Gumus vd. (2013), Türkiye için en uygun tank, metal hidrit ve kimyasal alternatifleri arasında hidrojen enerjisi depolama yönteminin Bulanık GİA yöntemi ile sıralanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada hafiflik, depolama sızınıtısı, kapasite, güvenilirlik ve toplam sistem maliyeti olmak üzere 5 ana ölçüt karar kriteri olarak kullanılmıştır. Türkiye için en uygun alternatif metal hidrittir.

Turan vd. (2010), AB'ye aday ülkeler ve AB'ye girme potansiyeli olan 9 ülkenin 2005-2009 yılları arasındaki makroekonomik performansları 4 ekonomik kriter kullanılarak analiz edilmiştir. AB'nin sadece ekonomik bir birlik değil, aynı zamanda siyasi bir birlik olduğunu göstermektedir.

Literatür incelendiğinde AB ülkelerinin ve Türkiye'nin ekonomik yapısını değerlendiren birçok çalışmanın sıralama üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak bu araştırma konusunun ÇKKV yöntemleriyle değerlendirildiği bir sınıflandırma çalışmasının bulunmadığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, GİA yönteminin bulanık sayılarla genişletilerek kullanılan Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemiyle AB ülkeleri ve Türkiye'nin makroekonomik göstergeleri üzerinden performans analizi yapılmaktadır. Bu yaklaşım, sınıflandırma açısından literatürde daha önce uygulanmamış bir metodoloji ile yeni bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir.

3. METODOLOJİ

AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performans analizlerinde, GİA ve Bulanık GİA yöntemleri ile sıralama yapılmıştır. Ardından, GRA-TRIL Zero yöntemi ile ekonomik performans sınıflandırması yapılmış, bu yöntemin bulanık sayılarla genişletilmesiyle oluşturulan Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi ile daha kapsamlı bir sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Bu iki yöntem arasındaki farklar detaylı bir şekilde incelenerek, ekonomik performans değerlendirmelerinde nasıl farklı sonuçlar sunduğunu gözler önüne sermektedir.

Analizler için gerekli olan kriterler, literatürdeki mevcut çalışmalar dikkate alınarak tespit edilmiştir. Bu kriterler, ekonomik performans değerlendirmek için önemli görülen göstergelerdir ve Dünya Bankası ile Eurostat gibi güvenilir kaynaklardan alınmıştır. Kriterlerin her birinin ağırlıkları ise SWARA yöntemiyle belirlenmiştir. Bu yöntem, uzman görüşleriyle elde edilen ağırlıkların doğruluğunu artırarak ekonomik performans değerlendirmelerinin güvenilirliğini sağlamaktadır.

Bu metodoloji, ekonomik performans analizlerine yeni bir bakış açısı kazandırmayı hedeflerken, aynı zamanda gri sistem teorisini de temel alarak derinlemesine bir analiz süreci sunmaktadır. Bu teorinin ekonomik performans değerlendirmelerinde oynadığı rol ve sağladığı avantajlar, analiz sürecinin ilerleyen bölümlerinde daha ayrıntılı bir şekilde incelenerek, karar verme süreçlerinde nasıl daha etkin çözümler sunduğu ortaya konacaktır.

3.1. Gri Sistem Teorisi

Gri sistem teorisi, bilgi eksikliği veya belirsizlik barındıran karmaşık sistemlerin analizi, modellemesi ve tahmini için bir dizi matematiksel yöntem sunar. Gri sistem teorisi, bilgilerin renkler aracılığıyla ifade edilmesine dayalı bir modelleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre, bilgilerin tam olarak bilindiği durumlar 'beyaz', bilinmeyen durumlar 'siyah' ve kısmen bilinen veya eksik bilgiler ise 'gri' olarak adlandırılır. Sistemin davranışlarını analiz ederken, bilgi belirsizliğini ifade eden bu 'gri' miktarlarından faydalanılır (Liu & Lin, 2006).

Gri kümeler olarak adlandırılan bu yapılar, belirli olmayan verilerin ve kesinlik içermeyen bilgilerin temsil edilmesine olanak tanır, bu sayede karmaşık sistemlerin

incelenmesi ve gelecekteki olasılıkların daha güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi mümkün hale gelir.

Gri sistem teorisinin ana hedeflerinden bazıları şunlardır (Liu & Lin, 2006):

- Bilgi eksikliği veya belirsizlik içeren karmaşık sistemlerin analizi ve modellemesi.
- Belirsizlik altında tahminler yapmak ve geleceği öngörmek.
- Sistemlerin kontrolünü ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için kullanılabilir bilgi sağlamak.

Gri sistem teorisinin geliştirilmesi, belirsizlik altında karar verme süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirmeyi amaçlar ve bu nedenle birçok alanda uygulama bulur.

3.1.1. Gri Sistem Teorisi'nin Temel Kavramları ve Özellikleri

Gri sistem modelleri, bilgi eksikliği veya belirsizlik barındıran sistemlerle ilgili durumları analiz etmek için kullanılır. Bu modeller, genellikle diferansiyasyon ve entegrasyon işlemlerini içerir ve sistemin dinamiklerini daha iyi anlamak ve gelecekteki olasılıkları öngörmek amacıyla uygulanır (Karadağ Albayrak, 2021).

Gri ilişki dereceleri, gri sistem teorisinde önemli bir kavram olan gri ilişki dereceleri, bir sistemdeki değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve ölçülmesi için kullanılır. Bu dereceler, bir faktörün diğer faktörlere olan etkisini ölçen bir değer sağlar ve genellikle 0 ile 1 arasında bir değer alır. 0, iki değişken arasında hiç ilişki veya etkileşim olmadığını belirtirken, 1, tam bir ilişki veya etkileşim olduğunu ifade eder. Ara değerler ise ilişkinin kısmi veya belirsiz olduğunu gösterir (Aydemir vd., 2013).

Gri sayılar, kesin bir değeri ifade etmek yerine belirli bir aralık içinde bulunan bir değeri temsil eden bir konsepttir. Bu kavram, sayının tam olarak belirlenememiş olduğunu ve belirli bir belirsizlik seviyesini yansıttığını gösterir. Gri sayılar, belirli bir aralık içindeki olası değerlerin belirsizliğini ifade eder (Zadeh, 1965).

Gri sistem teorisi, mühendislik, ekonomi, finans, biyomedikal ve çevre gibi birçok alanda önemli katkılar sağlar. Mühendislikte, sistem tasarımı ve performans analizi için kullanılırken, finansal alanda, portföy yönetimi ve risk analizi için etkili stratejiler sunar. Biyomedikal alanda hastalık teşhisi ve tedavi planlamasında, çevre bilimlerinde ise çevresel risk analizi ve sürdürülebilirlik stratejilerinde uygulanır. Bu teorinin esnekliği ve belirsizlikle başa çıkma yeteneği, farklı endüstrilerde ve disiplinlerde etkili çözümler geliştirilmesine olanak tanır.

Ekonomide, bu teori, pazar dinamiklerini, riskleri ve kaynak tahsisini değerlendirmede kritik rol oynar. Ekonomik verilerin kesin olmayan ve belirsiz olduğu durumlarda, sistemlerin ve süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Özellikle, ekonomik krizlerin ve piyasa dalgalanmalarının etkilerini analiz etmek, kaynakların optimal dağılımını belirlemek ve stratejik ekonomik modelleme yapmak için kullanılır. Bu teori, ekonomik belirsizlikleri ve riskleri sistematik bir şekilde yöneterek, daha bilinçli ve etkili kararlar alınmasına olanak tanır.

3.1.2. Gri İlişkisel Analiz

GİA, Çinli akademisyen ve bilim insanı Prof. Deng Joung tarafından 1982 yılında geliştirilmiş ve tanıtılmış matematiksel teoridir. Bu teori, özellikle belirsizlik içeren durumların analizi ve modellemesiyle ilgilenir (Begovic vd., 2018).

Gri veri analizi, gri sistem teorisine dayanan bir analiz yöntemidir ve belirli bir sistemin gri verilerle incelenmesini sağlar. Geleneksel kesin veri analizi yöntemlerinin aksine, verilerin tam olarak tanımlanmadığı veya kesin olmadığı durumlarda kullanılır. Bu yaklaşım, belirsiz ve karmaşık durumları değerlendirmek için tercih edilir. GİA, alternatiflerin çeşitli kriterler altında nasıl performans gösterdiğini belirlemek için gri ilişki matrisleri oluşturur. Bu matris, alternatifler arasındaki ilişkileri ve performans farklarını sistematik bir şekilde gösterir. Gri ilişki dereceleri, her alternatifin diğer alternatiflerle olan ilişkisini ölçer ve bu dereceler, alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılır. GİA, belirsizlikleri ve eksik bilgileri yönetme kapasitesine sahip olmasıyla öne çıkar ve böylece daha bilinçli kararlar alınmasına olanak sağlar.

GİA yöntemiyle alternatifler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için şu adımlar takip edilmelidir (Deng, 1989):

Adım 1. Veri seti hazırlığı ve karar matrisinin oluşturulması

Eşitlik (1) ile ifade edilen $i=1,2,\dots,m$ sayıda alternatifi, $j=1,2,\dots,n$ şeklinde kriterleri göstermektedir. Eşitlik (2) ile karar matrisi A , ÇKKV probleminin n kriteri ve m alternatifinin bir araya getirilmesiyle oluşturulur (Şengül & Şengül, 2017).

$$A_i = (A_{ij}, \dots, A_{in}), \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,m \\ j=1,2,\dots,n \end{matrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1(1) & A_1(2) & \dots & A_1(n) \\ A_2(1) & A_2(2) & \dots & A_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m(1) & A_m(2) & \dots & A_m(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 2. Referans serisinin ve karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Veri setindeki en büyük ve en küçük değerler dikkate alınarak Eşitlik (3) ile referans serisi oluşturulur. Kriterler fayda temelli olduğunda en büyük değer, maliyet temelli olduğunda ise en küçük değer tercih edilir. Oluşturulan referans serisi, X matrisinin ilk satırına eklenerek karşılaştırma matrisi C Eşitlik (4) ile oluşturulur (Kurtay vd., 2021).

A_{oj} : o. alternatifin j. kriterindeki değerini ifade eder.

$$A_{oj} = (A_{o1}, A_{o2}, \dots, A_{oj}, \dots, A_{on}) \quad (3)$$

$$C = A_o \cup A_i = \begin{bmatrix} A_0(1) & A_0(2) & \dots & A_0(n) \\ A_1(1) & A_1(2) & \dots & A_1(n) \\ A_2(1) & A_2(2) & \dots & A_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m(1) & A_m(2) & \dots & A_m(n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 3. Normalizasyon işlemi ve normalize karar matrisinin oluşturulması

Karar probleminde kullanılan seriler, farklı ölçeklerde ve birimlerde olduğundan, kıyaslama yapabilmek için verilerin aynı birime dönüştürülmesi gereklidir. Serideki değerler geniş aralıklara sahipse, bu değerlerin daha dar aralıklara indirgenmesi gerekir; bu süreç normalizasyon olarak adlandırılır. Normalizasyon işlemi, fayda durumu, maliyet durumu ve optimal durum olmak üzere üç farklı şekilde uygulanır (Yıldırım & Önder, 2018; Atan & Altan, 2020).

Fayda durumunda; Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanır.

$$A_i^* = \frac{A_{ij} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (5)$$

Maliyet durumunda; Eşitlik (6) kullanılarak hesaplanır.

$$A_i^* = \frac{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - A_{ij}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (6)$$

Optimal durumunda; Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.

$$A_i^* = \frac{|A_{ij} - A_{oj}|}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - A_{oj}} \quad (7)$$

Normalizasyon işleminden sonra, karar matrisi normalizasyon matrisi C^* dönüştürülür Eşitlik (8)'de gösterilen forma ulaşır. Elde edilen değerler $[0,1]$ aralığında yer alır.

$$C^* = \begin{bmatrix} A_0^*(1) & A_0^*(2) & \dots & A_0^*(n) \\ A_1^*(1) & A_1^*(2) & \dots & A_1^*(n) \\ A_2^*(1) & A_2^*(2) & \dots & A_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m^*(1) & A_m^*(2) & \dots & A_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 4. Mutlak değer matrisinin oluşturulması

A_{ij} ve A_{oj} arasındaki mutlak fark değeri Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanır (Ecer & Günay, 2014).

$$\Delta_{oj} = |A_{ij} - A_{oj}| = \begin{bmatrix} \Delta_{11}^* & \Delta_{12}^* & \dots & \Delta_{1n}^* \\ \Delta_{21}^* & \Delta_{22}^* & \dots & \Delta_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{m1}^* & \Delta_{m2}^* & \dots & \Delta_{mn}^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

Adım 5. Gri ilişki katsayılarının hesaplanması

Eşitlik (10), mutlak fark değerleri arasındaki en küçük ve en büyük değerleri ifade etmektedir. Gri ilişkisel katsayılar Eşitlik (11) ile hesaplanır. Buradaki ξ değeri ayırt edici katsayısı sabit bir değer olup $[0,1]$ arasında bir değer almaktadır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle 0,5 olarak belirlenen bu değer, bu çalışmada da aynı şekilde 0,5 olarak kabul edilmiştir (Ayçin, 2018).

$$\begin{aligned} \Delta_{min} &= \min \{\Delta_{ij}, i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n\} \\ \Delta_{max} &= \max \{\Delta_{ij}, i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n\} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\gamma_{oi} = \frac{\Delta_{min} + \xi \max \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \xi \max \Delta_{ij}} \quad (11)$$

Adım 6. Gri ilişkisel derecelerin oluşturulması

Kriterlerin önem derecelerinin eşit olduğu kabul edildiğinde Eşitlik (12) ile hesaplanır.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{oi} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Kriterlerin önem derecelerinin farklı olduğu kabul edildiğinde w_{ij} , kriter ağırlıklarını göstermek üzere Eşitlik (13) ile hesaplanır.

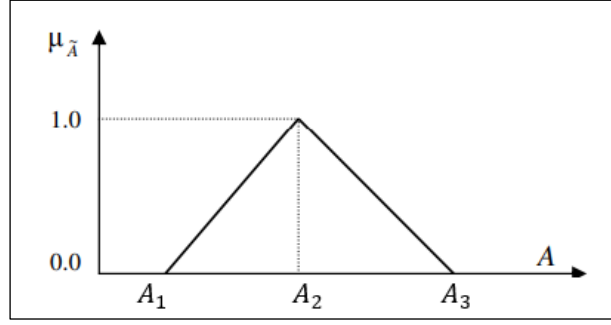
$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij} \gamma_{oi} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Gri ilişkisel dereceler elde edildikten sonra, referans seriye geometrik benzerliği göstermek amacıyla gri ilişkisel dereceler büyükten küçüğe doğru sıralanır. Karar problemi için en iyi alternatif, en yüksek gri ilişkisel derecesine sahip alternatif olarak belirlenir (Yıldırım & Önder, 2018).

3.1.3. Bulanık Gri İlişkisel Analiz

Bulanık GİA, karar verme süreçlerinde belirsizlik ve bulanıklığı modellemek için kullanılan güçlü bir yöntemdir. Bulanık sayılar, belirli bir değerin kesin olmayan, belirsiz ya da tahmin edilemeyen durumlarını modellemek için kullanılan sayılardır. Bu sayılar, genellikle üçgen, yamuk, Gauss ya da trapezoidal biçimde tanımlanabilir. Gauss bulanık sayılar, dağılımlarındaki belirsizliği modellemek için kullanılır ve her bir noktadaki olasılık dağılımını göstermek için farklı parametreler kullanır. Yamuk ve trapezoidal bulanık sayılar da benzer şekilde belirsizlikleri analiz etmek için kullanılır, ancak bunların dağılım biçimleri daha simetrik veya daha esnektir (Zadeh, 1965). Bu çalışmada, bulanık sayılarla yapılan analizlerde üçgensel bulanık sayılar tercih edilmiştir.

Üçgensel bulanık sayılar, üç reel sayı ile tanımlanan ve bulanık mantıkta kullanılan özel bir sayı biçimidir. Üçgensel bulanık sayılar (A_1, A_2, A_3) ifadesiyle tanımlanır. A_1 , en düşük olası değeri; A_2 , en muhtemel değeri; A_3 ise en yüksek olası değeri temsil eder. Üçgensel bulanık sayı olan $\tilde{A}$ 'nın gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur (Zadeh, 1965).

Şekil 2. Üçgensel bulanık sayı $\tilde{A}$

Eşitlik (14)'te, bir üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonuna ilişkin tanım verilmiştir (Zadeh, 1965).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) = \begin{cases} 0 & x < A_{ij}^1 \text{ ve } x > A_{ij}^3 \\ \frac{x - A_{ij}^1}{A_{ij}^2 - A_{ij}^1} & A_{ij}^1 \leq x \leq A_{ij}^2 \\ \frac{A_{ij}^3 - x}{A_{ij}^3 - A_{ij}^2} & A_{ij}^2 \leq x \leq A_{ij}^3 \end{cases} \quad (14)$$

Üçgensel bulanık sayılar, bulanık kontrol sistemleri, yönetsel karar verme süreçleri, işletme, finans ve diğer sosyal bilimler gibi geniş bir uygulama yelpazesinde sıkça tercih edilmektedir. Bir üyelik fonksiyonuna sahip olan bu yapısal özellik, üçgensel bulanık sayıların grafiksel olarak kolayca temsil edilmesini ve işlemlerin daha basit hale getirilmesini sağlar. Ayrıca, sınırlı bilgiyle basitçe tanımlanabilirler (Bojadziev & Bojadsiev, 1995).

Üçgensel bulanık sayıların öne çıkan bazı matematiksel özellikleri:

- İki üçgensel bulanık sayının toplanması veya çıkarılması işlemleri, sonuçta yine bir üçgensel bulanık sayı ile sonuçlanır.
- İki üçgensel bulanık sayının çarpma, bölme veya ters alma işlemleri, sonuçta bir üçgensel bulanık sayı ile sonuçlanmayabilir.
- Üçgensel bulanık sayılar üzerinde yapılan maksimum veya minimum işlemleri, her durumda üçgensel bir bulanık sayı ile sonuçlanmayabilir.

Ancak, bu işlemlerin sonuçları yaklaşık bir üçgensel bulanık sayı olarak değerlendirilebilir (Kaufmann ve Gupta, 1988).

Pozitif bulanık sayılar A ve B, sırasıyla $\tilde{A} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3)$ ve $\tilde{B} = (B_{ij}^1, B_{ij}^2, B_{ij}^3)$ şeklinde tanımlandığında, bu sayılar için çeşitli matematiksel işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır (Zadeh, 1965):

- Toplama işlemi Eşitlik (15) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \oplus (B_{ij}^1, B_{ij}^2, B_{ij}^3) \\ &= (A_{ij}^1 + B_{ij}^1, A_{ij}^2 + B_{ij}^2, A_{ij}^3 + B_{ij}^3)\end{aligned}\quad (15)$$

- Çıkarma işlemi Eşitlik (16) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \ominus (B_{ij}^1, B_{ij}^2, B_{ij}^3) \\ &= (A_{ij}^1 - B_{ij}^1, A_{ij}^2 - B_{ij}^2, A_{ij}^3 - B_{ij}^3)\end{aligned}\quad (16)$$

- Çarpma işlemi Eşitlik (17) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}\tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \otimes (B_{ij}^1, B_{ij}^2, B_{ij}^3) \\ &= (A_{ij}^1 \cdot B_{ij}^1, A_{ij}^2 \cdot B_{ij}^2, A_{ij}^3 \cdot B_{ij}^3)\end{aligned}\quad (17)$$

- Bölme işlemi Eşitlik (18) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}\tilde{A} \oslash \tilde{B} &= (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \oslash (B_{ij}^1, B_{ij}^2, B_{ij}^3) \\ &= (A_{ij}^1 / B_{ij}^1, A_{ij}^2 / B_{ij}^2, A_{ij}^3 / B_{ij}^3)\end{aligned}\quad (18)$$

- Ters işlem Eşitlik (19) ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}\tilde{A}^{-1} &= (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3)^{-1} \\ &= (1/A_{ij}^1, 1/A_{ij}^2, 1/A_{ij}^3)\end{aligned}\quad (19)$$

Burada ' $\oplus$ ' bulanık toplama, ' $\ominus$ ' bulanık çıkarma, ' $\otimes$ ' bulanık çarpma ve ' $\oslash$ ' bulanık bölme işlemlerini temsil eder.

Bulanık GİA, karar kriterlerinin net bir şekilde tanımlanamadığı veya kesin verilerin bulunmadığı durumlarda, karar sürecini daha objektif hale getirmek için kullanılır (Paksoy vd., 2013).

Teorik temelleri, gri ilişki teorisinin yanı sıra, bulanık mantığın temel prensiplerine dayanır ve bu sayede belirsizliğin ve belirsizliklerin etkilerini minimize ederek daha doğru

ve güvenilir kararlar alınmasını sağlar. Özellikle karmaşık ve çok boyutlu değerlendirme süreçlerinde, farklı alternatiflerin ve kriterlerin gri tonlarında değerlendirilmesini sağlar, böylece daha esnek ve gerçekçi sonuçlar elde edilir.

ÇKKV süreçlerinde, karar vericiler çeşitli yöntemlerden yararlanarak en iyi alternatifleri belirlemeye çalışır. GİA ve Bulanık GİA, bu tür karar süreçlerinde sıklıkla kullanılan iki yöntemdir. GİA, gri sistem teorisine dayanan ve sınırlı veri setleriyle çalışabilen bir yöntem olarak bilinirken, Bulanık GİA, gri sistemin bulanık mantık ile birleştirilmiş halidir ve belirsizliklerin daha etkin bir şekilde ele alınmasını sağlar.

GİA ve Bulanık GİA arasındaki temel fark, belirsizlik yönetiminde ortaya çıkar. GİA, alternatiflerin merkezi profillere olan mesafelerini gri ilişki ölçümleri ile değerlendirir. Bu, özellikle karar vericinin net bilgiye sahip olduğu durumlarda etkili sonuçlar doğurur. Bulanık GİA ise, gri sistem teorisinin bulanık mantıkla entegrasyonu sayesinde, belirsiz veya eksik bilgi durumlarında daha güvenilir sonuçlar sağlar. Bu, özellikle karmaşık karar problemlerinde Bulanık GİA'nın öne çıkmasına neden olur.

Bulanık GİA yönteminin uygulama adımları, belirsiz ve bulanık verilerle karar verme süreçlerini daha etkili bir şekilde yönetebilmek için izlenmesi gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir (Deng, 1989):

Adım 1. Veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması

$\tilde{A}_{ij}$ 'in i. satır ve j. sütundaki değeri ifade ettiği karar matrisi Eşitlik (20) ile oluşturulur. Burada, her bir alternatif Eşitlik (21)'de gösterildiği gibi $A_{ij} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3)$ üçgensel bulanık sayıdır ve alternatiflerin kriterler üzerindeki performanslarını temsil eder. Burada A, m alternatifli ve n kriterli çok kriterli karar verme problemi için karar verme matrisidir (Yıldırım & Önder, 2018).

$$A = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\tilde{A}_{ij} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \quad (21)$$

Adım 2. Normalize karar matrisinin oluşturulması

Klasik GİA yönteminde olduğu gibi, Eşitlik (22) ile ifade edilen hedef değerin maksimizasyon veya minimizasyon olmasına bağlı olarak iki farklı formül kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir (Chen & Ren, 2018).

$$\widetilde{b}_{ij} = (b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3) \quad (22)$$

Fayda durumunda; Eşitlik (23) kullanılarak hesaplanır.

$$b_{ij}^* = \frac{A_{ij} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (23)$$

Maliyet durumunda; Eşitlik (24) kullanılarak hesaplanır.

$$b_{ij}^* = \frac{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - A_{ij}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (24)$$

Adım 3. Referans serilerin belirlenmesi

İdeal çözümlerden oluşan referans serisi Eşitlik (25) ve (26)'ya göre belirlenir (Yıldırım & Önder, 2018).

$$b_j^* = (\max b_{ij}^1, \max b_{ij}^2, \max b_{ij}^3) = (b_j^{*1}, b_j^{*2}, b_j^{*3}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

$$B^* = [b_1^* \ b_2^* \ \dots \ b_n^*] \quad (26)$$

Burada B^* referans serisini temsil eder ve b_j^* ($j = 1, 2, \dots, n$) j 'inci kriterin maksimum standartlaştırılmış değerini temsil eder.

Adım 4. Bulanık gri ilişkisel katsayı matris değerlerinin durulaştırılması

Eşitlik (27) kullanılarak bulanık gri ilişkisel katsayı matrisi değerleri durulaştırılır (Chen & Ren, 2018).

$$A_{ij} = \sqrt{\frac{1}{3} [(b_{ij}^1 - b_j^{*1})^2 + (b_{ij}^2 - b_j^{*2})^2 + (b_{ij}^3 - b_j^{*3})^2]} \quad (27)$$

Adım 5. Bulanık gri ilişkisel katsayı matrisinin hesaplanması

Gri ilişkisel katsayılar Eşitlik (28) ile hesaplanır. Buradaki ξ değeri ayırt edici katsayısı sabit bir değer olup $[0,1]$ arasında bir değer almaktadır. Literatürdeki çalışmalarda genellikle 0,5 olarak belirlenen bu değer, bu çalışmada da aynı şekilde 0,5 olarak kabul edilmiştir (Yıldırım & Önder, 2018).

$$\xi_{ij} = \frac{\min \Delta_{ij} + \xi \max \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \xi \max \Delta_{ij}} \quad (28)$$

Adım 6. Gri ilişki derecelerinin hesaplanması

Γ_i , i. alternatifin bulanık gri ilişki derecesini ifade eder ve Eşitlik (29) ile hesaplanır. Kriterlerin önem derecelerinin farklı olması nedeniyle, w_j değeri j kriterinin ağırlığını temsil etmektedir (Yıldırım & Önder, 2018).

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^n \xi_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (29)$$

Alternatiflerin gri ilişkisel dereceleri büyükten küçüğe sıralanır. En yüksek dereceler, referans alternatife en çok benzeyen ve dolayısıyla en uygun olan seçenekleri gösterir.

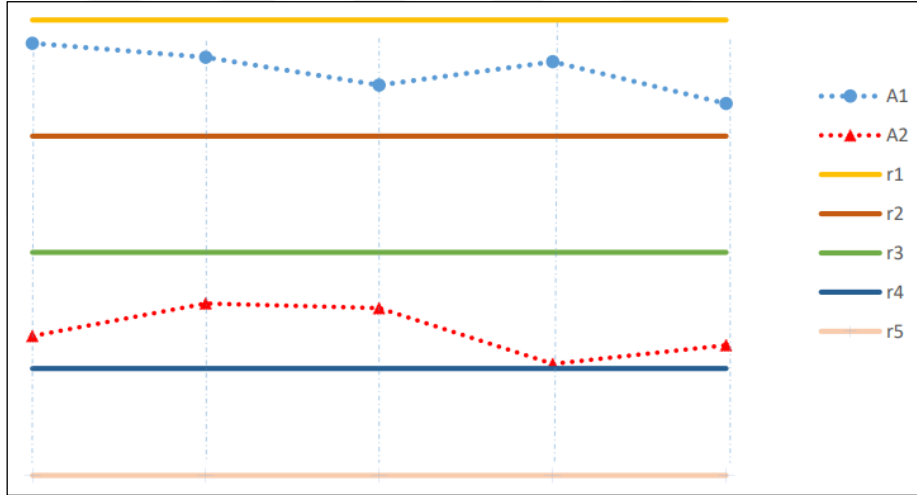
3.1.4. GRA-TR,IL Zero

GRA-TRIL Zero olarak bilinen bu yöntem, sınıflandırma sorunları üzerine odaklanır. Sınırlayıcı profilleri değerlendirebilen bu yöntemde karar vericiler kategoriler için merkezi profiller yerine sınır belirleyici profiller tanımlar. Bir sınıf, üst ve alt olmak üzere iki sınır profili ile ifade edilir. Ayrıca, sınıflandırma işlemi, bu sınır profillerinden türetilen merkezi profillere dayanarak da yürütülür. Bu sınıflandırma probleminde, alternatif bir sınıfın sınır profilleri tarafından belirlenen bir kategoriye dahil edilse bile, sınıfların eşit aralıklarla düzenlenmemesi durumunda farklı bir sınıfa ait olma ihtimali bulunur. Yanlış sınıflandırmayı önlemek amacıyla sıfır değer yaklaşımı bu yöntemde kullanılmaktadır. Bu nedenle, yöntem sınırlayıcı profiller ve sıfır değer yaklaşımını içermesi nedeniyle GRA-TRIL Zero adı verilmiştir. Atama süreci, modelin geliştirilme aşamasında tanımlanmıştır (Es, 2018).

- Modelleme Süreci

A sınıflandırılacak m alternatif kümesi olsun: $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$. Her alternatifin n kriteri vardır: g_j ($j=1, \dots, n$). Alternatiflerin atanacağı sınıfları $C = (C_1, C_2, \dots, C_k)$ olarak kabul edelim. $C_1 \triangleright \dots \triangleright C_h \triangleright \dots \triangleright C_l \triangleright \dots \triangleright C_k$, burada $C_h \triangleright C_l$ ile $h < l$ ifadesi C_h kategorisinin C_l kategorisine kıyasla daha üstün olduğunu belirtir. Her kategori, karar verici tarafından tanımlanan iki sınır profili ile tanımlanır. C_h için alt sınır profili, C_l için ise üst sınır profilidir. Diğer bir deyişle, en alt sınır profilinden başka, her sınıfın alt sınır profili, bir sonraki sınıfın üst sınır profilini oluşturur.

$r = (r_1, r_2, \dots, r_{k+1})$ k üst sıradaki kategoriler için sınırlayıcı profiller kümesi olsun; burada r_t ve r_{t+1} sırasıyla C_t kategorisinin üst ve alt profilidir. Şekil 3'te, 5 sınırlayıcı profil ile sınırlandırılmış 2 alternatif ve 4 kategori içeren örnek bir çizimi gösterilmektedir (Es, 2018).

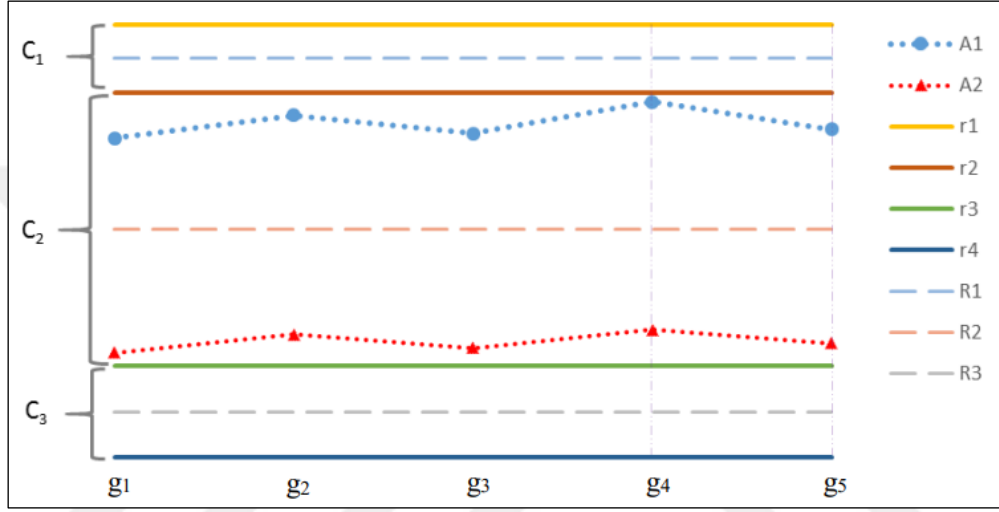


Şekil 3. Sınırlayıcı profillerle örnek bir gösterim

$R = (R_1, R_2, \dots, R_k)$ sınır profilleri ile tanımlanan merkezi profiller kümesini ifade etsin. Bu yöntem, gri ilişkisel dereceyi hesaplama sürecinde merkezi profilleri kullanır. Her kategorinin alt ve üst sınır profillerinin orta noktası, o kategorinin merkez profili olarak kabul edilir. C_t kategorisi için merkezi profil R_t , Eşitlik (30) ile elde edilir:

$$R_t = \frac{r_t(j) + r_{t+1}(j)}{2} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (30)$$

Bir alternatif, gri ilişkisel derecesi en yüksek olan merkezi profilin kategorisine atanır. GRA-TRIL Zero yönteminde, alternatiflerin merkezi profillere olan uzaklıkları, sınırlayıcı profillerle birlikte değerlendirilir. Çünkü bir alternatif, üst ve alt profiller arasında yer alıyorsa, bu profillerin sınırladığı kategoriye ait olur. Bu durumda, alternatifin, o kategorinin merkezi profiline en yakın olması beklenir. Ancak, sınırlayıcı profiller eşit aralıklı olmadığında, Şekil 4’te gösterildiği gibi özel durumlar ortaya çıkabilir (Es, 2018).



Şekil 4. Üstesinden gelinmesi gereken durum

A_1 alternatifi r_2 ve r_3 arasında olmasına rağmen R_1 'e R_2 'den daha yakındır. Bu durumda, A_1 alternatifi C_2 kategorisi yerine C_1 kategorisine atanır. A_2 alternatifi için de benzer bir durum söz konusudur. C_2 kategorisine ait olduğu açıktır. Ancak hesaplama işlemleri sonucunda A_2 alternatifi merkezi profillere olan uzaklığı dikkate alınarak C_3 kategorisine atanmıştır. Bu tür yanlış atamalardan kaçınmak amacıyla, sıfır değer yaklaşımı önerilmiştir. Bir alternatif, üst ve alt profiller arasında bulunuyorsa, bu alternatifin, ilgili kategoriye ait profillerle sınırlandırılmış merkezi profile olan uzaklığının sıfır olduğu varsayılır. Profilleri sınırlandırma ve sıfır değer yaklaşımının kullanılması nedeniyle, bu sıralama yöntemi GRA-TRIL Zero olarak adlandırılmıştır. Bu yaklaşım, Eşitlik (31)'de gösterildiği gibi resmileştirilmiştir:

$$\forall A_i(j) \in A, \text{ if } r_r(j) \leq A_i(j) \leq r_{r+1}(j), \text{ then } |A_i(j) - R_i(j)| = 0 \quad (31)$$

Bu yöntemde bazı alternatifler aynı üst ve alt profiller arasında olmasına rağmen, bu alternatiflerin merkezi profile olan mesafeleri farklı olabilir. Ancak mesafelerin sıfır olduğu kabul edilmektedir. Bu da bu yöntemin dezavantajlarından biri olarak görülebilir. Bu yaklaşım tüm alternatifler tarafından gerçekleştirilebildiğinden, dezavantaj emilir. Ayrıca, sıfır değeri GİA'daki en yüksek ilişki değerine sahip olduğundan, sınırlayıcı profilleri sınırlayarak kategoriye atama eğilimi kazanır (Es, 2018).

GRA-TRIL Zero yönteminin uygulama adımları şu şekilde özetlenebilir (Es, 2018).

Adım1. Veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisi A, ÇKKV probleminin n kriteri ve m alternatifinin bir araya getirilmesiyle Eşitlik (32)'de gösterildiği gibi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} A_1(1) & A_1(2) & \dots & A_1(n) \\ A_2(1) & A_2(2) & \dots & A_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m(1) & A_m(2) & \dots & A_m(n) \end{bmatrix} \quad (32)$$

Adım 2. Merkezi profillerin ve ana matrisin oluşturulması

r ve R, sırasıyla sınır profillerin ve merkezi profillerinin dizilerini ifade eder. Merkezi profiller, R_t , C_t kategorisinin üst ve alt profillerinin ortası olarak tanımlanır. Eşitlik (33)'te gösterilen sınır profillerinden elde edilen merkezi profiller matrisi Eşitlik (34)'te gösterilmiştir. Ardından, ana matris Eşitlik (35)'te gösterildiği gibi, karar matrisi ile sınır profillerinin ve merkezi profillerin dizileri birleştirilerek oluşturulur.

$$r = \begin{bmatrix} r_1(1) & r_1(2) & \dots & r_1(n) \\ r_2(1) & r_2(2) & \dots & r_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k+1}(1) & r_{k+1}(2) & \dots & r_{k+1}(n) \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$R = \begin{bmatrix} R_1(1) & R_1(2) & \dots & R_1(n) \\ R_2(1) & R_2(2) & \dots & R_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k(1) & R_k(2) & \dots & R_k(n) \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$M = A \cup r \cup R = \begin{bmatrix} A_1(1) & A_1(2) & \dots & A_1(n) \\ A_2(1) & A_2(2) & \dots & A_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m(1) & A_m(2) & \dots & A_m(n) \\ r_1(1) & r_1(2) & \dots & r_1(n) \\ r_2(1) & r_2(2) & \dots & r_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k+1}(1) & r_{k+1}(2) & \dots & r_{k+1}(n) \\ R_1(1) & R_1(2) & \dots & R_1(n) \\ R_2(1) & R_2(2) & \dots & R_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k(1) & R_k(2) & \dots & R_k(n) \end{bmatrix} \quad (35)$$

Adım 3. Normalizasyon süreci ve normalizasyon matrisinin oluşturulması

Ana matrisin tüm elemanları, Eşitlik (36) ve (37) kullanılarak dönüştürülür ve böylece normalizasyon matrisi elde edilir.

Fayda durumunda; Eşitlik (36) kullanılarak hesaplanır.

$$m_i^N = \frac{m_{ij} - \min\{m_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (36)$$

Maliyet durumunda; Eşitlik (37) kullanılarak hesaplanır.

$$m_i^N = \frac{\max\{m_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - m_{ij}}{\max\{m_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{m_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (37)$$

Normalleştirme işleminden sonra normalize edilmiş ana matris M^N Eşitlik (38) ile elde edilir.

$$M^N = A^N \cup r^N \cup R^N = \begin{bmatrix} A_1^N(1) & A_1^N(2) & \dots & A_1^N(n) \\ A_2^N(1) & A_2^N(2) & \dots & A_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m^N(1) & A_m^N(2) & \dots & A_m^N(n) \\ r_1^N(1) & r_1^N(2) & \dots & r_1^N(n) \\ r_2^N(1) & r_2^N(2) & \dots & r_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k+1}^N(1) & r_{k+1}^N(2) & \dots & r_{k+1}^N(n) \\ R_1^N(1) & R_1^N(2) & \dots & R_1^N(n) \\ R_2^N(1) & R_2^N(2) & \dots & R_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k^N(1) & R_k^N(2) & \dots & R_k^N(n) \end{bmatrix} \quad (38)$$

Adım 4. Karşılaştırma matrisinin oluşumu ve mutlak değer matrisi

Her alternatif, normalleştirilmiş değerler dikkate alınarak referans profilleriyle sıralanır ve birleştirilir. Bu süreç sonucunda, karşılaştırma matrisleri R_i^* şeklinde Eşitlik (39) ile oluşturulur.

$$R_i^* = \{A_i\} \cup R = \begin{bmatrix} A_i^N(1) & A_i^N(2) & \dots & A_i^N(n) \\ R_1^N(1) & R_1^N(2) & \dots & R_1^N(n) \\ R_2^N(1) & R_2^N(2) & \dots & R_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_k^N(1) & R_k^N(2) & \dots & R_k^N(n) \end{bmatrix} \quad (39)$$

Sonrasında, mutlak değer matrisinin oluşturulma aşamasına geçilir. Bu noktada, GRATRIL Zero yönteminde farklı olarak sıfır değer yaklaşımı uygulanır. Her alternatif, belirli bir kategorinin üst ve alt sınır profilleri arasında bulunduğu, yanlış sınıflandırmayı önlemek için sıfır değerini alır. Bu yaklaşım, alternatifin o kategoriye ait merkezi profilden ziyade diğer merkezi profillere daha yakın olabileceği ihtimaline karşılık uygulanır. $A_i^N(j)$ ve R_r^N arasındaki mutlak değer $\Delta_{ir}(j)$ Eşitlik (40) ile bulunur. Mutlak değer matrisi Δ_i Eşitlik (41) ile elde edilir.

$$\Delta_{ir}(j) = |A_i^N(j) - R_r^N(j)| \quad \begin{matrix} r = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (40)$$

$$\Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta_{i1} (1) & \Delta_{i1} (2) & \dots & \Delta_{i1} (n) \\ \Delta_{i2} (1) & \Delta_{i2} (2) & \dots & \Delta_{i2} (n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{ik} (1) & \Delta_{ik} (2) & \dots & \Delta_{ik} (n) \end{bmatrix} \quad (41)$$

Adım 5. Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması

Alternatifler ile merkezi profiller arasındaki gri benzerliği yansıtan gri ilişkisel matris oluşturulur. Eşitlik (42), mutlak fark değerleri arasındaki en küçük ve en büyük değerleri ifade etmektedir. Gri ilişkisel katsayılar Eşitlik (43) ile hesaplanarak, gri ilişkisel katsayı matrisi Eşitlik (44)'te gösterildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned} \Delta_{min} &= \min \{ \Delta_{ir}(j), r = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n \} \\ \Delta_{max} &= \max \{ \Delta_{ir}(j), r = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n \} \end{aligned} \quad (42)$$

$$\gamma(A_i(j), R_r(j)) = \gamma_{ir}(j) = \frac{\Delta_{min} + \xi \max \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \xi \max \Delta_{ij}} \quad (43)$$

$$\gamma_i = \begin{bmatrix} \gamma_{i1} (1) & \gamma_{i1} (2) & \dots & \gamma_{i1} (n) \\ \gamma_{i2} (1) & \gamma_{i2} (2) & \dots & \gamma_{i2} (n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{ik} (1) & \gamma_{ik} (2) & \dots & \gamma_{ik} (n) \end{bmatrix} \quad (44)$$

Adım 6. Gri ilişkisel derece matrisinin oluşturulması

Gri ilişkisel derece, eşit önem veya farklı öneme göre hesaplanır.

Kriterlerin önem derecelerinin eşit olduğu kabul edildiğinde Eşitlik (45) ile hesaplanır.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ir}(j) \quad r = 1, 2, \dots, k \quad (45)$$

Kriterlerin önem derecelerinin farklı olduğu kabul edildiğinde w_{ij} , kriter ağırlıklarını göstermek üzere Eşitlik (46) ile hesaplanır.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij} \gamma_{ir}(j) \quad r = 1, 2, \dots, k \quad (46)$$

Eşitlik (47) ile gri ilişkisel derece matrisi Γ_A oluşturulur.

GRA-TRIL Zero yöntemi kapsamında, alternatif i , en yüksek gri ilişkisel derecesine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır ve karar problemi için her alternatif, oluşturulan sınıflara atanarak bir sınıflandırma yapılır.

3.1.5. Bulanık GRA-TRIL Zero

GİA ve sıfır değer yaklaşımının bulanık mantık ile entegre edilmesiyle geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, alternatiflerin sınıflandırılmasını daha hassas ve gerçekçi bir şekilde yapabilmek için bulanık sayılar kullanır. GRA-TRIL Zero yönteminde, alternatiflerin sınıflandırılması, gri ilişkisel derecelerine ve merkezi profillere olan uzaklıklarına dayanırken, Bulanık GRA-TRIL Zero bu süreci bulanık mantık çerçevesinde genişletir. Bu bağlamda, alternatiflerin üst ve alt profiller arasında bulunması durumunda, bu alternatiflerin ilgili kategoriye ait merkezi profillere olan uzaklıkları sıfır olarak kabul edilir. Bu yaklaşım, belirsizlikleri ve subjektif değerlendirme farklılıklarını daha iyi yönetmeyi sağlar.

Bulanık GRA-TRIL Zero, ayrıca sınır profillerini bulanık sayılarla tanımlar, bu da profiller arasındaki sınırların daha esnek ve gerçekçi bir şekilde belirlenmesini mümkün kılar. Yöntem, alternatifleri, belirlenen merkezi profillere olan uzaklıklarına ve bulanık değerlendirme kriterlerine göre sıralar. Böylece, her alternatifin hangi kategoriye ait olduğu, belirsizlikler ve sınır profillerinin etkileri dikkate alınarak belirlenir. Bulanık GRA-TRIL Zero, bu özellikleri sayesinde, gri ilişkisel analiz ve sıfır değer yaklaşımının sınırlamalarını aşar ve daha doğru, hassas bir sınıflama süreci sunar. Bu yaklaşım, çok kriterli karar verme süreçlerinde belirsizliklerin etkisini azaltmak ve kararların kalitesini artırmak için etkili bir yöntem olarak kullanılır.

- Modelin Geliştirilmesi

A sınıflandırılacak m alternatif kümesi olsun: $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$. Her alternatifin n kriteri vardır: g_j ($j=1, \dots, n$). Burada, her bir alternatif $\tilde{A}_{ij} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3)$ üçgensel bulanık sayı şeklinde ifade edilir. $\tilde{A}_{ij}$ 'in i . satır ve j . sütundaki değeri ifade eden, alternatiflerin kriterler üzerindeki performanslarını temsil eden bir karar matrisidir.

Alternatiflerin atanacağı sınıfları $C = (C_1, C_2, \dots, C_k)$ olarak kabul edelim. $C_1 \triangleright \dots \triangleright C_h \triangleright \dots \triangleright C_l \triangleright \dots \triangleright C_k$, burada $C_h \triangleright C_l$ ile $h < l$ ifadesi C_h kategorisinin C_l kategorisine kıyasla daha üstün olduğunu belirtir. Her kategori, karar verici tarafından tanımlanan iki sınır profili ile tanımlanır. C_h için alt sınır profili, C_l için ise üst sınır profilidir. Diğer bir deyişle,

en alt sınır profilinden başka, her sınıfın alt sınır profili, bir sonraki sınıfın üst sınır profilini oluşturur.

$\tilde{r} = (r_1, r_2, \dots, r_{k+1})$ k üst sıradaki kategoriler için sınırlayıcı profiller kümesi olsun; burada r_t ve r_{t+1} sırasıyla C_t kategorisinin üst ve alt profilidir. Sınırlayıcı profiller $\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^1, r_{ij}^2, r_{ij}^3)$ şeklinde üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilir.

$\tilde{R} = (R_1, R_2, \dots, R_k)$ sınır profilleri ile tanımlanan merkezi profiller kümesini ifade etsin. Bu yöntem, gri ilişkisel dereceyi hesaplama sürecinde merkezi profilleri kullanır. Merkezi profiller $\tilde{R}_{ij} = (R_{ij}^1, R_{ij}^2, R_{ij}^3)$ şeklinde üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilir. Her kategorinin alt ve üst sınır profillerinin orta noktası, o kategorinin merkez profili olarak kabul edilir. C_t kategorisi için merkezi profil R_t , Eşitlik (48) ile elde edilir:

$$R_t = \frac{r_t(j) + r_{t+1}(j)}{2} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (48)$$

Bir alternatif, gri ilişkisel derecesi en yüksek olan merkezi profilin kategorisine atanır. Ancak, bu yöntemle GRA-TRIL Zero yöntemi arasında farklar vardır. Öncelikle normalizasyon matrisinin hesaplanma şekliyle ortaya çıkar. Bulanık GRA-TRIL Zero yönteminde, üçgen bulanık sayılar bulunduğundan her üçgen sayı için ayrı hesaplamalar yapılmaktadır. Normalizasyon matrisi Eşitlik (49) ve (50) elde edilmektedir. Her bir alternatif, merkezi profil ve sınırlayıcı profil $\tilde{b}_{ij} = (b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3)$ şeklinde üçgensel bulanık sayı ile işleme tabi tutulur.

Kriter faydalı ise Eşitlik (49) ile,

$$b_{ij}^* = \frac{A_{ij} - \min\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}}{\max\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - \min\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}} \quad (49)$$

Maliyet kriteri ise Eşitlik (50) ile,

$$b_{ij}^* = \frac{\max\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - A_{ij}}{\max\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - \min\{A_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}} \quad (10)$$

normalize edilir. Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi, GRA-TRIL Zero yönteminden farklı olarak, normalleştirilmiş değerler üzerinden bulanık sayıların Eşitlik (51) ile durulaştırılması işlemini içerir. Sonrasında sıfır değer yaklaşımı uygulamasına geçilir. Bir alternatif, üst ve alt profiller arasında bulunuyorsa, bu alternatifin, ilgili kategoriye ait profillerle

sınırlandırılmış merkezi profile olan uzaklığının sıfır olduğu varsayılır. Bu yaklaşım, GRA-TRIL Zero yönteminde gösterildiği gibi Eşitlik (52)'de verilmiştir.

$$\Delta_{ij} = \sqrt{\frac{1}{3} [(b_{ij}^1 - b_j^{*1})^2 + (b_{ij}^2 - b_j^{*2})^2 + (b_{ij}^3 - b_j^{*3})^2]} \quad (51)$$

$$\forall A_i(j) \in A, \text{ if } r_r(j) \leq A_i(j) \leq r_{r+1}(j), \text{ then } |A_i(j) - R_i(j)| = 0 \quad (52)$$

Durulaştırılan üçgensel bulanık sayılar sonrasında, GRA-TRIL Zero yöntemindeki adımlar aynı şekilde izlenir. İlk olarak her bir alternatif için gri ilişkisel dereceler hesaplanır. Bu hesaplama sırasında, her alternatifin merkezi profillere olan uzaklığı değerlendirilir ve bu mesafeler gri ilişkisel katsayılar aracılığıyla ifade edilir. Merkezi profile en yakın alternatif, en yüksek gri ilişkisel dereceyi alarak ilgili kategoriye atanır. Sıralama ve sınıflandırma aşamaları tamamlandıktan sonra, alternatifler arasında karşılaştırmalar yapılır ve nihai olarak hangi alternatifin hangi kategoriye ait olduğu belirlenir. Bu süreç, alternatiflerin en uygun sınıfa yerleştirilmesini sağlarken, aynı zamanda sınıflandırma hatalarını en aza indirmeyi amaçlar.

- Bulanık GRA-TRIL Zero Yönteminin Adımları

Adım 1. Veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması

$\tilde{A}_{ij}$ 'in i. satır ve j. sütundaki değeri ifade ettiği karar matrisi Eşitlik (53) ile oluşturulur. Burada, her bir alternatif Eşitlik (54)'te gösterildiği gibi $A_{ij} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3)$ şeklinde üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmektedir ve bu sayılar alternatiflerin kriterler üzerindeki performanslarını temsil eder. Burada A, m alternatifli ve n kriterli çok kriterli karar verme problemi için karar verme matrisidir.

$$A = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \dots & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{bmatrix} \quad (53)$$

$$\tilde{A}_{ij} = (A_{ij}^1, A_{ij}^2, A_{ij}^3) \quad (54)$$

Adım 2. Merkezi profillerin ve ana matrisin oluşturulması

r ve R, sırasıyla sınır profillerinin ve merkezi profillerin dizilerini ifade eder. Merkezi profiller, R_t , C_t kategorisinin üst ve alt profillerinin ortası olarak tanımlanır. Eşitlik (55)'te

gösterilen sınır profillerinden elde edilen merkezi profiller matrisi Eşitlik ()’te gösterilmiştir. Ardından, karar matrisi ile sınır profillerinin ve merkezi profillerin dizileri birleştirilerek ana matris M oluşturulur.

Sınır profilleri r , Eşitlik (56) ile üçgensel sayılarla ifade edilmekte ve Eşitlik (55) ise bu sınır profillerinin matrisini göstermektedir. Sınır profillerinin orta noktalarını gösteren merkezi profiller R , Eşitlik (58) ile üçgensel sayılarla ifade edilmekte ve Eşitlik (57) ise bu sınır profillerinin matrisini göstermektedir. Ardından, ana matris Eşitlik (59)’da gösterildiği gibi, karar matrisi ile sınır profillerinin ve merkezi profillerin dizileri birleştirilerek oluşturulur.

$$r = \begin{bmatrix} \tilde{r}_1(1) & \tilde{r}_1(2) & \dots & \tilde{r}_1(n) \\ \tilde{r}_2(1) & \tilde{r}_2(2) & \dots & \tilde{r}_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{k+1}(1) & \tilde{r}_{k+1}(2) & \dots & \tilde{r}_{k+1}(n) \end{bmatrix} \quad (55)$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^1, r_{ij}^2, r_{ij}^3) \quad (56)$$

$$R = \begin{bmatrix} \tilde{R}_1(1) & \tilde{R}_1(2) & \dots & \tilde{R}_1(n) \\ \tilde{R}_2(1) & \tilde{R}_2(2) & \dots & \tilde{R}_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{R}_k(1) & \tilde{R}_k(2) & \dots & \tilde{R}_k(n) \end{bmatrix} \quad (57)$$

$$\tilde{R}_{ij} = (R_{ij}^1, R_{ij}^2, R_{ij}^3) \quad (58)$$

$$M = A \cup r \cup R = \begin{bmatrix} \tilde{A}_1(1) & \tilde{A}_1(2) & \dots & \tilde{A}_1(n) \\ \tilde{A}_2(1) & \tilde{A}_2(2) & \dots & \tilde{A}_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_m(1) & \tilde{A}_m(2) & \dots & \tilde{A}_m(n) \\ \tilde{r}_1(1) & \tilde{r}_1(2) & \dots & \tilde{r}_1(n) \\ \tilde{r}_2(1) & \tilde{r}_2(2) & \dots & \tilde{r}_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{k+1}(1) & \tilde{r}_{k+1}(2) & \dots & \tilde{r}_{k+1}(n) \\ \tilde{R}_1(1) & \tilde{R}_1(2) & \dots & \tilde{R}_1(n) \\ \tilde{R}_2(1) & \tilde{R}_2(2) & \dots & \tilde{R}_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{R}_k(1) & \tilde{R}_k(2) & \dots & \tilde{R}_k(n) \end{bmatrix} \quad (59)$$

Adım 3. Normalizasyon süreci ve normalizasyon matrisinin oluşturulması

Bu adımda, Eşitlik (60) ile ifade edilen hedef değerin maksimizasyon veya minimizasyon olmasına bağlı olarak iki farklı formül kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$\widetilde{b}_{ij} = (b_{ij}^1, b_{ij}^2, b_{ij}^3) \quad (60)$$

Kriter faydalı ise Eşitlik (61) ile normalize edilir.

$$b_{ij}^* = \frac{A_{ij} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (61)$$

Maliyet kriteri ise Eşitlik (62) ile normalize edilir.

$$b_{ij}^* = \frac{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - A_{ij}}{\max\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\} - \min\{A_{ij}, i=1,2,\dots,m\}} \quad (62)$$

Eşitlik (63) ile normalize karar matrisi oluşturulur.

$$M^N = A^N \cup r^N \cup R^N = \begin{bmatrix} \widetilde{A}_1^N(1) & \widetilde{A}_1^N(2) & \dots & \widetilde{A}_1^N(n) \\ \widetilde{A}_2^N(1) & \widetilde{A}_2^N(2) & \dots & \widetilde{A}_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{A}_m^N(1) & \widetilde{A}_m^N(2) & \dots & \widetilde{A}_m^N(n) \\ \widetilde{r}_1^N(1) & \widetilde{r}_1^N(2) & \dots & \widetilde{r}_1^N(n) \\ \widetilde{r}_2^N(1) & \widetilde{r}_2^N(2) & \dots & \widetilde{r}_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{r}_{k+1}^N(1) & \widetilde{r}_{k+1}^N(2) & \dots & \widetilde{r}_{k+1}^N(n) \\ \widetilde{R}_1^N(1) & \widetilde{R}_1^N(2) & \dots & \widetilde{R}_1^N(n) \\ \widetilde{R}_2^N(1) & \widetilde{R}_2^N(2) & \dots & \widetilde{R}_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{R}_k^N(1) & \widetilde{R}_k^N(2) & \dots & \widetilde{R}_k^N(n) \end{bmatrix} \quad (63)$$

Adım 4. Karşılaştırma matrisinin oluşumu ve bulanık sayıların durulaştırılması

Her alternatif, normalleştirilmiş değerler dikkate alınarak referans profilleriyle sıralanır ve birleştirilir. Bu süreç sonucunda, karşılaştırma matrisleri R_i^* Eşitlik (64) ile oluşturulur.

$$R_i^* = \{A_i\} \cup R = \begin{bmatrix} \tilde{A}_i^N(1) & \tilde{A}_i^N(2) & \dots & \tilde{A}_i^N(n) \\ \tilde{R}_1^N(1) & \tilde{R}_1^N(2) & \dots & \tilde{R}_1^N(n) \\ \tilde{R}_2^N(1) & \tilde{R}_2^N(2) & \dots & \tilde{R}_2^N(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{R}_k^N(1) & \tilde{R}_k^N(2) & \dots & \tilde{R}_k^N(n) \end{bmatrix} \quad (64)$$

Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi, GRA-TRIL Zero yönteminden farklı olarak, normleştirilmiş değerler üzerinden bulanık sayıların Eşitlik (65) ile durulaştırılması işlemini içerir (Chen & Ren, 2018). Alternatiflerin durulaştırılması bulanık ağırlıklı ortalama Eşitlik (66) ile gerçekleştirilir (Awasthi vd., 2018). Sonrasında sıfır değer yaklaşımı uygulamasına geçilir. Her alternatif, belirli bir kategorinin üst ve alt sınır profilleri arasında bulunduğu, yanlış sınıflandırmayı önlemek amacıyla sıfır değeri atanır ve bu durum Eşitlik (49) ile ifade edilir. Bu yaklaşım, alternatifin o kategoriye ait merkezi profilden ziyade diğer merkezi profillere daha yakın olabileceği ihtimaline karşılık uygulanır. Durulaştırılan karşılaştırma matrisi Eşitlik (67) ile ifade edilir.

$$\Delta_{ij} = \sqrt{\frac{1}{3} [(b_{ij}^1 - b_j^{*1})^2 + (b_{ij}^2 - b_j^{*2})^2 + (b_{ij}^3 - b_j^{*3})^2]} \quad (65)$$

$$\Delta_i^A = \frac{b_{ij}^1 + 4b_{ij}^2 + b_{ij}^3}{6} \quad (66)$$

$$\Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta_{i1}(1) & \Delta_{i1}(2) & \dots & \Delta_{i1}(n) \\ \Delta_{i2}(1) & \Delta_{i2}(2) & \dots & \Delta_{i2}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{ik}(1) & \Delta_{ik}(2) & \dots & \Delta_{ik}(n) \end{bmatrix} \quad (67)$$

Adım 5. Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması

Alternatifler ile merkezi profiller arasındaki gri benzerliği yansıtan gri ilişkisel matris oluşturulur. Eşitlik (68), mutlak fark değerleri arasındaki en küçük ve en büyük değerleri ifade etmektedir. Gri ilişkisel katsayılar Eşitlik (69) ile hesaplanarak, gri ilişkisel katsayı matrisi Eşitlik (70)'teki gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned} \Delta_{min} &= \min \{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \\ \Delta_{max} &= \max \{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \end{aligned} \quad (68)$$

$$\gamma(A_i(j), R_r(j)) = \gamma_{ir}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \max \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \xi \max \Delta_{ij}} \quad (69)$$

$$\gamma_i = \begin{bmatrix} \gamma_{i1}(1) & \gamma_{i1}(2) & \dots & \gamma_{i1}(n) \\ \gamma_{i2}(1) & \gamma_{i2}(2) & \dots & \gamma_{i2}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{ik}(1) & \gamma_{ik}(2) & \dots & \gamma_{ik}(n) \end{bmatrix} \quad (70)$$

Adım 6. Gri ilişkisel derece matrisinin oluşturulması

Gri ilişkisel derece, eşit önem veya farklı öneme göre hesaplanır.

Kriterlerin önem derecelerinin eşit olduğu kabul edildiğinde Eşitlik (71) ile hesaplanır.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{oi} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (71)$$

Kriterlerin önem derecelerinin farklı olduğu kabul edildiğinde w_{ij} , kriter ağırlıklarını göstermek üzere Eşitlik (72) ile hesaplanır.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij} \gamma_{oi} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (72)$$

Böylece gri ilişkisel derece matrisi Γ_A Eşitlik (73) ile oluşturulur.

$$\Gamma_A = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \dots & \Gamma_{m1} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \dots & \Gamma_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{1K} & \Gamma_{2K} & \dots & \Gamma_{mk} \end{bmatrix} \quad (73)$$

Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi kapsamında, alternatif i , en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip merkezi profil kategorisine yerleştirilir. Gri ilişkisel dereceler büyükten küçüğe doğru sıralanır ve karar problemi için her alternatif, oluşturulan sınıflara atanarak bir sınıflandırma yapılır.

3.2. SWARA Yöntemi

Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan SWARA, ‘Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis’ ifadesinin kısaltmasıdır ve Türkçe’de ‘Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi’ olarak adlandırılabilir. SWARA yöntemi, ilk kez Kerşulienne,

Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında geliştirilmiş olup, karar verme problemlerinde sıralama ve kriterlerin göreceli karşılaştırmalarını kullanarak kriter ağırlıklarının belirlemeye yardımcı olan bir çok kriterli karar verme yöntemidir (Kersulienė vd., 2010). Bu yöntemin etkinliği, konuyla ilgili uzmanların seçilmesine ve uzmanların sağladığı sıralamalara bağlıdır; böylece değerlendirme süreci daha objektif hale gelir. SWARA'nın en önemli avantajlarından biri, matematiksel hesaplamaların basitliği ve aynı zamanda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde uzman görüşlerinin entegrasyonudur (Zolfani & Banihashemi, 2014; Zolfani & Saparauskas, 2013).

SWARA yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Kersulienė & Turskis, 2011; Zolfani & Saparauskas, 2013).

Adım 1. Kriterlerin sıralanması ve göreceli önem derecelerinin belirlenmesi (s_j)

Belirlenmiş olan kriterler uzman görüşleri tarafından kendi önem derecelerine göre sıralanır. Sıralanan kriterlerden ilk kriterle (j) değeri verilmeyerek, sırasıyla her bir kriterle ($j+1$) karşılaştırılır ve aradaki fark belirlenir. Bulunan değer s_j (ortalama değerin karşılaştırmalı önemi) olarak adlandırılır.

Adım 2. Her kriter için katsayı değerinin bulunması (k_j)

Bu işlemde, katsayı değeri, ilk kriter için 1 olarak belirlenirken, diğer kriterler için $s_j + 1$ olarak hesaplanır. Eşitlik (74) ile yapılan bu işlem, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılır ve her kriterin önem derecesine göre katsayılar atanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (74)$$

Adım 3. Önem vektörünün hesaplanması (v_j)

Eşitlik (75) her kriterin önemini belirler ve bu sayede daha hassas bir değerlendirme yapılmasına olanak tanır.

$$v_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{v_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (75)$$

Adım 4. Her kriter için göreceli ağırlıklarının ve nihai ağırlıklarının hesaplanması (w_j)

Kriterlerin önem dereceleri belirlenir. Bu aşama, önceki adımlarda elde edilen oranların ve sıralamanın, karar probleminin nihai çözümüne katkı sağlayacak şekilde somut ağırlıklar haline getirilmesini sağlar.

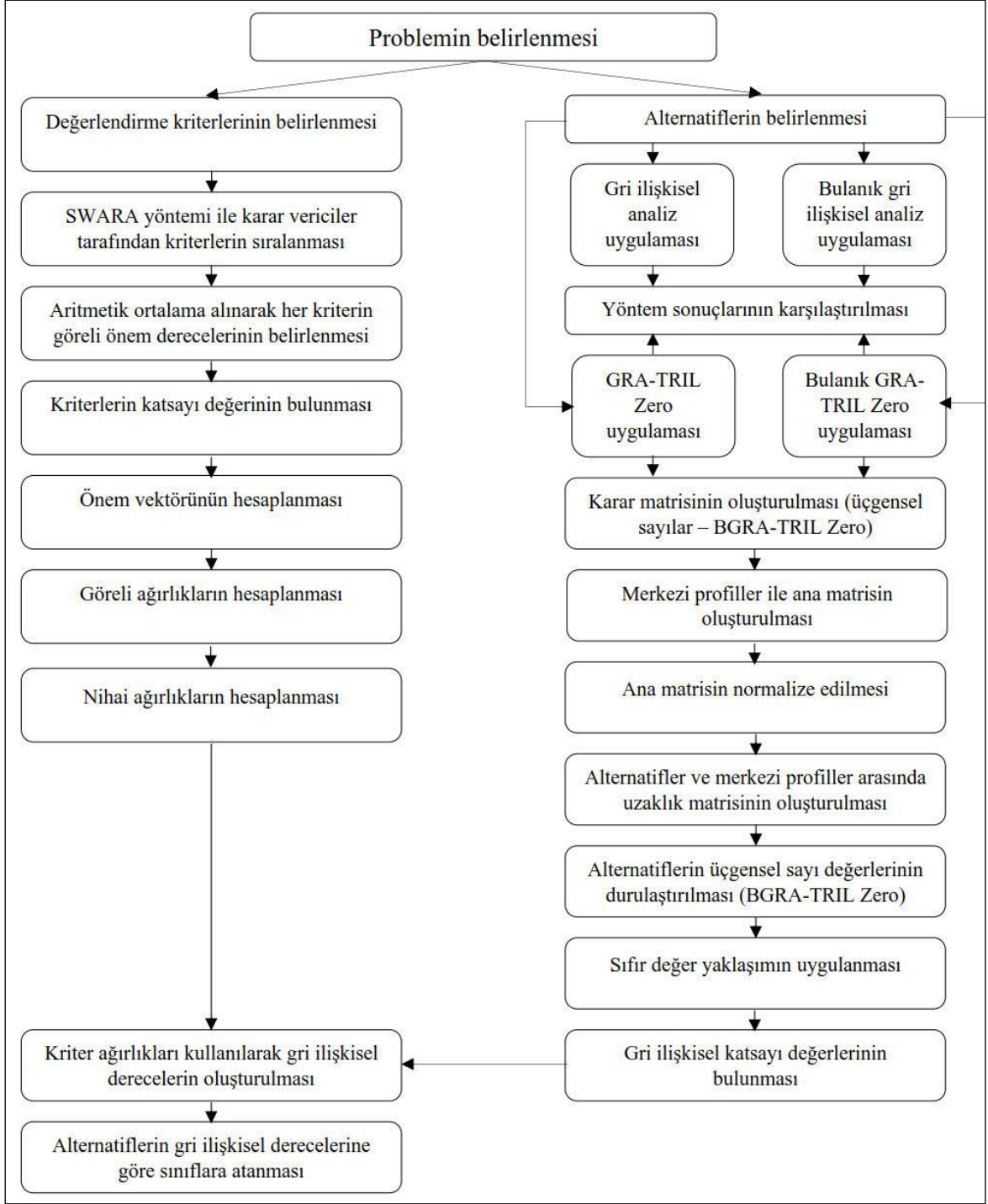
$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j} \quad (76)$$

Eşitlik (76) ile elde edilen göreceli ağırlıklar, belirli bir kriterin karar problemindeki diğer kriterlere kıyasla önemini ifade eder.



4. AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ VE TÜRKİYE’NİN MAKROEKONOMİK PERFORMANS GÖSTERGELERİ ÜZERİNE UYGULAMA

AB ülkeleri ile aday ülke Türkiye’nin ekonomik performansını karşılaştırmak amacıyla uygulama bölümünde sıralama ve sınıflandırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kriter ağırlıklarının belirlenmesinde etkin bir araç olan SWARA yöntemi kullanılmış, sonrasında GİA ve Bulanık GİA yöntemleri ile sıralama analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, GRA-TRIL Zero yöntemi ile sınıflandırma yapılmış, ardından bu yöntem bulanık mantıkla genişletilerek Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi ile sınıflandırma sağlanmıştır. Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi, GRA-TRIL Zero yöntemine kıyasla, belirsizliklerin etkilerini yansıtarak, yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, özellikle ekonomik performans analizi bağlamında, sınıflandırmaya yönelik daha önce yapılmış bir çalışmaya yer verilmemiş olmasından dolayı özgün bir niteliğe sahiptir. Sonuçlar, Türkiye ve AB ülkeleri arasında ekonomik performans farklarını analiz etmiş ve ülkelerin ekonomik güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak stratejik kararlar için bir temel oluşturmuştur. Çalışma sonunda, tüm yöntemlerin sunduğu sonuçlar değerlendirilerek Türkiye’nin ekonomik performansının mevcut durumu ve gelecekteki potansiyel gelişim alanları tartışılmıştır. Şekil 5’te çalışmanın yöntemsel yaklaşımını ve analiz süreçlerini görselleştirmektedir.



Şekil 5. Çalışma akış şeması

AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performansı 2023 yılına ait güncel ve güvenilir makroekonomik veriler temel alınarak analiz edilmiştir. Bu analizde, ülkelerin ekonomik performanslarını ölçmek ve karşılaştırmak için belirli kriterler belirlenmiş ve bu kriterler altında detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Her ülke, ekonomik yapısının farklı yönlerini

ortaya koyan toplam sekiz farklı ölçüt üzerinden analiz edilmiştir. Farklı yöntemler kullanılarak yapılan bu değerlendirmede kullanılan ölçütler şunlardır:

Kişi Başına Milli Gelir (K1): Kişi başına düşen milli gelir, bir ülkenin GSYİH'nın toplam nüfusuna bölünmesiyle elde edilen bir göstergedir. Bu ölçüt, bir ülkenin ortalama ekonomik refah düzeyini belirlemek için kullanılır. Bu kriter, Sevgin ve Kundakcı (2017) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Ekonomik Büyüme (K2): Bir ülkenin mal ve hizmet üretim kapasitesindeki artışı ifade eder. Genellikle GSYİH büyüme oranı ile ölçülür ve belirli bir dönemdeki reel büyümeyi gösterir. Bu kriter, Eyüboğlu (2016) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

GSYİH (K3): Bir ülkenin sınırları içinde belirli bir dönemde üretilen mal ve hizmetlerin toplam parasal değerini ifade eden, ekonomik büyüklüğü ve ekonomik performansı ölçmede kullanılan temel bir göstergedir. Bu kriter, Uludağ ve Ümit (2020) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

İşsizlik Oranı (K4): Bir ülkede işsiz olan iş gücünün toplam iş gücüne oranını ifade eden önemli bir ekonomik göstergedir. Bu oran, ekonomik sağlığı ve iş gücü piyasasının etkinliğini ölçmek için kullanılır. Bu kriter, Uludağ ve Ümit (2020) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Enflasyon (K5): Enflasyon, ekonomik sistemdeki genel fiyat seviyelerinin sürekli artışını ifade eder. Genellikle tüketici fiyat endeksi gibi göstergelerle ölçülür ve ekonomik istikrarın bir göstergesi olarak değerlendirilir. Bu kriter, Eyüboğlu (2016) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Bütçe Açığı (K6): Hükümetin belirli bir dönemde yaptığı harcamaların, elde ettiği gelirleri aştığı durumu ifade eder. Yani, devletin giderleri gelirlerinden fazla olduğunda bütçe açığı ortaya çıkar. Bu kriter, Sevgin ve Kundakcı (2017) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Kamu Borç Oranı (K7): Kamu borç oranı, bir ülkenin toplam kamu borcunun, GSYİH gibi ekonomik göstergelere oranını ifade eder. Bu oran, devletin borç yükünün ekonomiye olan görece büyüklüğünü gösterir. Bu kriter, Özbek ve Demirkol (2019) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Dış Ticaret Dengesi (K8): Bir ülkenin belirli bir dönemde gerçekleştirdiği ihracat ile ithalat arasındaki farkı gösteren ekonomik bir göstergedir. Bu kriter, Özbek ve Demirkol (2019) çalışmasında başarıyla uygulanmış ve geçerliliği kanıtlandığı için karar kriteri olarak benimsenmiştir.

Tablo 3'te çalışmada kullanılan sekiz temel ölçüt ve bunların ekonomik performans analizi açısından fayda veya maliyet odaklı nasıl değerlendirildiği gösterilmektedir. Her bir kriterin, değerlendirmede kullanılan birimleri ve hangi kategoriye ait olduğu belirtilmiştir. Kriterler arasında, kişi başına milli gelir ve ekonomik büyüme gibi göstergeler fayda temellidir, çünkü bu göstergeler genellikle ekonomik iyileşme ve refah artışı ile ilişkilidir. Diğer yandan, işsizlik oranı, enflasyon gibi göstergeler ise maliyet temellidir, çünkü bu durumlar ekonomik istikrarsızlık ve yaşam kalitesindeki düşüşü işaret eder. Bütçe açığı ve dış ticaret dengesi kriterleri ise, hem fayda hem de maliyet kategorilerine dahil edilebilir, çünkü bu ölçütler hem pozitif hem de negatif ekonomik etkiler yaratabilir. Bu kriterlerin belirli kategorilere ayrılması, her bir ülkenin ekonomik performansını daha detaylı incelemeyi mümkün kılar.

Tablo 3. Karar kriterleri ve ifadeleri

Kriterler		Birim	Kriter Türü	Kaynak
K1	Kişi başına milli gelir	Kişi başına düşen \$	Fayda	Sevgin ve Kundakcı (2017)
K2	Ekonomik büyüme	%	Fayda	Eyüboğlu (2016)
K3	GSYİH	Milyon \$	Fayda	Uludağ ve Ümit (2020)
K4	İşsizlik oranı	İşgücünün yüzdesi	Maliyet	Uludağ ve Ümit (2020)
K5	Enflasyon	Yüzdesel değişim	Maliyet	Eyüboğlu (2016)
K6	Bütçe açığı	GSYİH'ye oranı %	Maliyet	Sevgin ve Kundakcı (2017)
K7	Kamu borç oranı	GSYİH'ye oranı %	Maliyet	Özbek ve Demirkol (2019)
K8	Dış ticaret dengesi	Bin \$	Maliyet	Özbek ve Demirkol (2019)

Her bir ülkenin ekonomik verileri belirlenen kriterlere dayalı olarak, Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik değerleri

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
1 Almanya	52746	0,20	4591100	3,10	6,00	-2,50	63,60	232627
2 Avusturya	56506	0,44	540887	5,10	7,70	-2,70	77,80	-1151
3 Belçika	53475	1,16	655192	5,50	2,30	-4,40	105,20	17651
4 Bulgaristan	15798	2,74	107933	4,30	8,60	-0,70	23,10	-5628

Tablo 4'ün devamı

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
5 Çekya	30427	0,66	325880	2,60	14,80	-3,70	44,00	24414
6 Danimarka	67967	2,13	409989	5,10	3,40	3,10	29,30	9677
7 Estonya	29824	0,15	43486	6,40	9,10	-3,40	19,60	-3329
8 Finlandiya	53756	0,24	308055	7,20	4,30	-2,70	75,80	-283
9 Fransa	44461	0,74	3130014	7,30	5,70	-5,50	110,60	-140604
10 Kıbrıs	34701	2,50	32230	6,10	3,90	3,10	77,30	-8934
11 Hırvatistan	21460	3,00	88076	6,10	8,40	-0,70	63,00	-17882
12 Hollanda	62537	0,60	1142513	3,60	4,10	-0,30	46,50	77673
13 İrlanda	103685	1,47	564020	4,30	5,20	1,70	43,70	62258
14 İspanya	32677	1,90	1647114	12,20	3,40	-3,60	107,70	-48874
15 İsveç	56305	0,20	623048	7,70	5,90	-0,60	31,20	4753
16 İtalya	38373	0,70	2328028	7,70	5,90	-7,40	137,30	37166
17 Letonya	23184	0,50	46700	6,50	9,10	-2,20	43,60	-4649
18 Litvanya	27103	2,21	81170	6,90	8,70	-0,80	38,30	-5793
19 Lüksemburg	128259	1,30	85755	5,20	2,90	-1,30	25,70	-8871
20 Macaristan	22147	2,20	223413	4,10	17,00	-6,70	73,50	9178
21 Malta	37882	5,04	22737	3,10	5,60	-4,90	50,40	-4924
22 Polonya	22113	3,07	844623	2,80	10,90	-5,10	49,60	13260
23 Portekiz	27275	1,73	298949	6,50	5,30	1,20	99,10	-29577
24 Romanya	18419	2,77	369971	5,60	9,70	-6,60	48,80	-31320
25 Slovakya	24470	2,08	140808	5,80	11,00	-4,90	56,00	1707
26 Slovenya	32164	2,01	72101	3,70	7,20	-2,50	69,20	-2183
27 Yunanistan	22990	2,04	250276	11,10	4,20	-1,60	161,90	-33555
28 Türkiye	13110	4,50	905500	9,40	64,77	-5,40	29,50	-106357

Karar kriterlerinden bütçe açığı, harcamaların gelirlerden fazla olduğu durumda negatif, gelirlerin harcamalardan fazla olduğu durumda ise pozitif değer almaktadır. Benzer şekilde, dış ticaret dengesi, ülkenin ihracatının ithalatından fazla olduğu durumda pozitif, ithalatın ihracattan fazla olduğu durumda ise negatif değer almaktadır. Ekonomik değerlere bakıldığında, bu iki kriter için bazı ülkelerin negatif değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmada, kriterlerin daha doğru bir şekilde karşılaştırılabilir hale gelmesi için, bütçe açığı ve dış ticaret dengesi gibi negatif değerlere sahip verilerin değeri homojenleştirilmiştir. Bu amaçla, her bir kriterin en düşük ve en yüksek değerleri 0 ile 100 arasında ölçeklendirilmiş, böylece maliyet temelli tüm veriler fayda temelli olarak eşit bir düzeyde değerlendirilmiştir. Bu standartlaştırma işlemi, farklı ölçütlerin aynı ölçek üzerinde karşılaştırılabilmesini sağlamak için gereklidir. Bu yaklaşım, ÇKKV analizlerinde tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Zadeh, 1965;

Yüksel & Dagdeviren, 2007). Bütçe açığı ve dış ticaret dengesi kriterleri bu ölçeklendirmeye tabi tutularak tüm kriterlerle eşit düzeye getirilmiş ve bu veriler Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. K6 ve K8 karar kriterlerinin pozitif değerleri

Alternatifler	K6	K8	Alternatifler	K6	K8
1 Almanya	23,81	100,00	15 İsveç	5,71	38,95
2 Avusturya	25,71	0,31	16 İtalya	70,48	47,63
3 Belçika	41,90	42,40	17 Letonya	20,95	1,25
4 Bulgaristan	6,67	1,51	18 Litvanya	7,62	1,55
5 Çekya	35,24	44,21	19 Lüksemburg	12,38	2,38
6 Danimarka	100,00	40,26	20 Macaristan	63,81	40,13
7 Estonya	32,38	0,89	21 Malta	46,67	1,32
8 Finlandiya	25,71	0,08	22 Polonya	48,57	41,22
9 Fransa	52,38	37,67	23 Portekiz	81,90	7,92
10 Kıbrıs	100,00	2,39	24 Romanya	62,86	8,39
11 Hırvatistan	6,67	4,79	25 Slovakya	46,67	38,13
12 Hollanda	2,86	58,48	26 Slovenya	23,81	0,58
13 İrlanda	86,67	54,35	27 Yunanistan	15,24	8,99
14 İspanya	34,29	13,09	28 Türkiye	51,43	28,50

4.1. Kriter Ağırlıklarının SWARA ile Belirlenmesi

Avrupa Birliği ve Türkiye’nin makroekonomik performans göstergelerine göre sınıflandırma çalışmasında, kriterlerin ağırlık katsayılarını belirlemek amacıyla SWARA yöntemi uygulanmıştır. Bu bağlamda, 5 uzman karar verici, kriterlerin önem sırasını belirlemiştir. Bu uzmanlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi’nden alanında uzman akademisyenlerden seçilmiştir. Uzmanların seçimi, hem ekonomiye hem de çok kriterli karar verme süreçlerine olan hakimiyetleri dikkate alınarak yapılmıştır. Uzmanlar, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterleri en önemliden önemsiz doğru sıralamış ve aşağıdaki adımlar sonucunda bu kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir.

Adım 1. Kriterlerin sıralanması ve göreceli önem derecelerinin belirlenmesi (s_j)

Bu adımda, kriterlerin ekonomik performans üzerindeki etkisi sıralanarak puanlanmıştır. Tablo 6’da yer alan veriler, kriterlerin sıralamasını ve her birinin göreceli önemini göstermektedir.

Tablo 6. Kriterlerin sıralanması ve görelî önem puanları

KV 1		KV 2		KV 3		KV 4		KV 5	
Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j	Sıra	s_j
K1		K3		K1		K1		K5	
K2	0,800	K1	0,600	K5	0,400	K3	0,900	K1	0,450
K3	0,850	K4	0,400	K4	0,450	K4	0,900	K7	0,800
K4	0,600	K5	0,350	K3	0,300	K5	0,800	K6	0,700
K5	0,400	K8	0,300	K2	0,200	K2	0,650	K8	0,650
K8	0,350	K2	0,800	K8	0,250	K7	0,600	K4	0,450
K6	0,300	K6	0,600	K6	0,400	K8	0,600	K2	0,300
K7	0,250	K7	0,400	K7	0,200	K6	0,400	K3	0,300

Adım 2. Her kriter için katsayı değeri bulunması (k_j)

Bu değerler, kriterlerin görelî önem derecelerine dayalı olarak hesaplanmış ve her bir kriterin ekonomik performans üzerindeki etkisini yansıtacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar, Tablo 7’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 7. Katsayı değeri hesaplanması

KV 1			KV 2			KV 3			KV 4			KV 5		
Sıra	s_j	k_j	Sıra	s_j	k_j	Sıra	s_j	k_j	Sıra	s_j	k_j	Sıra	s_j	k_j
K1	0	1	K3	0	1	K1	0	1	K1	0	1	K5	0	1
K2	0,8	1,8	K1	0,6	1,6	K5	0,4	1,4	K3	0,9	1,9	K1	0,45	1,45
K3	0,85	1,85	K4	0,4	1,4	K4	0,45	1,45	K4	0,9	1,9	K7	0,8	1,8
K4	0,6	1,6	K5	0,35	1,35	K3	0,3	1,3	K5	0,8	1,8	K6	0,7	1,7
K5	0,4	1,4	K8	0,3	1,3	K2	0,2	1,2	K2	0,65	1,65	K8	0,65	1,65
K8	0,35	1,35	K2	0,8	1,8	K8	0,25	1,25	K7	0,6	1,6	K4	0,45	1,45
K6	0,3	1,3	K6	0,6	1,6	K6	0,4	1,4	K8	0,6	1,6	K2	0,3	1,3
K7	0,25	1,25	K7	0,4	1,4	K7	0,2	1,2	K6	0,4	1,4	K3	0,3	1,3

Adım 3. Önem vektörünün hesaplanması (v_j)

Önem vektörü, her bir kriterin toplam önem derecesine göre ağırlıklı ortalama değeri yansıtmaktadır. Hesaplanan yeni önem vektörleri, Tablo 8’de sunulmaktadır.

Tablo 8. Yeni önem vektörünün hesaplanması

KV 1			KV 2			KV 3			KV 4			KV 5		
Sıra	k_j	v_j	Sıra	k_j	v_j	Sıra	k_j	v_j	Sıra	k_j	v_j	Sıra	k_j	v_j
K1	1	1	K3	1	1	K1	1	1	K1	1	1	K5	1	1
K2	1,8	0,56	K1	1,6	0,63	K5	1,4	0,71	K3	1,9	0,53	K1	1,45	0,69
K3	1,85	0,3	K4	1,4	0,45	K4	1,45	0,49	K4	1,9	0,28	K7	1,8	0,38
K4	1,6	0,19	K5	1,35	0,33	K3	1,3	0,38	K5	1,8	0,15	K6	1,7	0,23
K5	1,4	0,13	K8	1,3	0,25	K2	1,2	0,32	K2	1,65	0,09	K8	1,65	0,14
K8	1,35	0,1	K2	1,8	0,14	K8	1,25	0,25	K7	1,6	0,06	K4	1,45	0,09
K6	1,3	0,08	K6	1,6	0,09	K6	1,4	0,18	K8	1,6	0,04	K2	1,3	0,07
K7	1,25	0,06	K7	1,4	0,06	K7	1,2	0,15	K6	1,4	0,03	K3	1,3	0,06
Toplam	2,41		Toplam	2,95		Toplam	3,49		Toplam	2,17		Toplam	2,66	

Adım 4. Her kriter için göreceli ağırlıklarının ve nihai ağırlıklarının hesaplanması (w_j)

Bu adım, kriterlerin belirli bir düzeydeki önemini yansıtan ağırlıkların hesaplanmasını içermektedir. Hesaplanan göreceli ağırlıklar Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9. Göreceli ağırlıklar

KV 1			KV 2			KV 3			KV 4			KV 5		
Sıra	v_j	w_j	Sıra	v_j	w_j	Sıra	v_j	w_j	Sıra	v_j	w_j	Sıra	v_j	w_j
K1	1	0,41	K3	1	0,34	K1	1	0,29	K1	1	0,46	K5	1	0,38
K2	0,56	0,23	K1	0,63	0,21	K5	0,71	0,2	K3	0,53	0,24	K1	0,69	0,26
K3	0,3	0,12	K4	0,45	0,15	K4	0,49	0,14	K4	0,28	0,13	K7	0,38	0,14
K4	0,19	0,08	K5	0,33	0,11	K3	0,38	0,11	K5	0,15	0,07	K6	0,23	0,08
K5	0,13	0,06	K8	0,25	0,09	K2	0,32	0,09	K2	0,09	0,04	K8	0,14	0,05
K8	0,1	0,04	K2	0,14	0,05	K8	0,25	0,07	K7	0,06	0,03	K4	0,09	0,04
K6	0,08	0,03	K6	0,09	0,03	K6	0,18	0,05	K8	0,04	0,02	K2	0,07	0,03
K7	0,06	0,03	K7	0,06	0,02	K7	0,15	0,04	K6	0,03	0,01	K3	0,06	0,02

Her bir karar vericinin değerlendirmesiyle elde edilen ağırlık katsayılarının ortalaması alınarak nihai ağırlıklar hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 10’da gösterilmektedir.

Tablo 10. Nihai ağırlıklar

	w_j
K1	0,3266
K2	0,0877
K3	0,1671
K4	0,1066

Tablo 10'un devamı

	w_j
K5	0,1639
K6	0,0420
K7	0,0521
K8	0,0536

Bu nihai ağırlıklar, her bir kriterin önem derecesini yansıtmaktadır. K1 kriteri, kişi başına milli gelir, en yüksek ağırlığa sahip olup, 0,3266 değerini almıştır. Bu, kişinin refah seviyesinin ve ekonomik büyümenin önemli bir göstergesi olarak, diğer kriterlerden daha fazla önem taşıdığını göstermektedir. K1'in ardından en önemli kriterler sırasıyla K3 ve K5 gelmektedir. Bu kriterler, ekonomik iyileşme ve istikrar için kritik faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, kişi başına milli gelir ve işsizlik oranı gibi faktörlerin ekonomik performansın ana belirleyicileri olduğunu vurgulamaktadır.

4.2. Gri İlişkisel Analiz Uygulaması

AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, GİA yöntemi uygulanarak ülkelerin performansına ilişkin sıralama elde edilmiştir. GİA, ülkelerin performansını, kriterler arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak değerlendiren bir yöntemdir. Uygulama sonucunda her bir ülke için bir ilişkisel derecelendirme skoru hesaplanmış ve bu skorlara göre ülkelerin sıralaması yapılmıştır. Sıralama sonuçları, Tablo 11'de detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 11. GİA uygulaması ile ülkelerin sıralaması

Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama	Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
Almanya	0,6821	2	İsveç	0,5149	12
Avusturya	0,5082	15	İtalya	0,5116	13
Belçika	0,5335	9	Letonya	0,4667	26
Bulgaristan	0,5080	16	Litvanya	0,4796	25
Çekya	0,5161	11	Lüksemburg	0,7284	1
Danimarka	0,5960	4	Macaristan	0,4828	22
Estonya	0,4849	21	Malta	0,5902	5
Finlandiya	0,5003	17	Polonya	0,5389	7
Fransa	0,5350	8	Portekiz	0,4941	18
Kıbrıs	0,5270	10	Romanya	0,4927	19

Tablo 11'in devamı

Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama	Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
Hırvatistan	0,4813	24	Slovakya	0,4817	23
Hollanda	0,5730	6	Slovenya	0,5105	14
İrlanda	0,6519	3	Yunanistan	0,4552	27
İspanya	0,4865	20	Türkiye	0,4321	28

GİA yöntemi kriterler arasında ilişki kurarak ülkelerin ekonomik performansını değerlendirmektedir. Gri ilişki derecesi, her bir ülkenin belirlenen kriterler doğrultusunda ne kadar iyi performans gösterdiğini yansıtan bir ölçüttür. Bu derece ne kadar yüksekse, o ülkenin ekonomik performansı o kadar iyi kabul edilmektedir.

Tabloda görüldüğü üzere, en yüksek gri ilişki derecesi 0,7284 ile Lüksemburg'a aittir ve bu ülke ekonomik performans sıralamasında birinci sırada yer almıştır. Bu durum, Lüksemburg'un belirlenen ekonomik kriterler açısından diğer ülkelere göre daha güçlü bir performans sergilediğini göstermektedir.

Lüksemburg'un ardından sırasıyla Almanya (0,6821), İrlanda (0,6519) ve Danimarka (0,5960) almaktadır. Bu ülkeler, ekonomik performans açısından oldukça güçlü değerlere sahiptir ve gri ilişki dereceleri, aralarındaki küçük farklarla bu durumu yansıtmaktadır.

Orta sıralarda, gri ilişki derecesi 0,5335 (9. sıra) ile Belçika, 0,5270 (10. sıra) ile Kıbrıs, 0,5161 (11. sıra) ile Çekya gibi ülkeler yer almakta olup, bu ülkelerin ekonomik performansları güçlü ülkelerin ardından gelmektedir.

Alt sıralara baktığımızda ise, ekonomik performans açısından daha düşük değerlere sahip ülkeler sıralanmıştır. Örneğin, Yunanistan (0,4552, 27. sıra), Letonya (0,4667, 26. sıra) ve Türkiye (0,4321, 28. sıra) sıralamanın en alt kısmında yer almıştır. Türkiye'nin gri ilişki derecesinin düşük olması, ekonomik performansının belirlenen kriterler çerçevesinde diğer ülkelere göre daha zayıf olduğunu göstermektedir.

Bu sıralama, ülkelerin ekonomik durumlarının karşılaştırmalı bir analizini sunmakta ve AB ülkeleri ile Türkiye'nin ekonomik performansındaki farklılıkları açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle ilk sıradaki Lüksemburg ve son sıradaki Türkiye arasındaki gri ilişki derecesindeki fark, ülkelerin ekonomik göstergeler açısından ne kadar farklılaştığını vurgulamaktadır.

4.3. Bulanık Gri İlişkisel Analiz Uygulaması

AB üyeleri ve Türkiye'nin ekonomik performans verilerinin değerlendirilmesinde, elde edilen verilerin kesinlik içermediği durumlar göz önüne alınmıştır. Özellikle ekonomik verilerde oluşabilecek ölçüm hataları, tahminlerden kaynaklanan belirsizlikler veya dalgalanmaların etkisi, analizlerin güvenilirliğini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, kesin değerlerdeki belirsizliklerin dikkate alınması amacıyla veriler, %10 eksi/artı aralığındaki değerler kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür (Seyhan vd., 2024).

Bu süreçte, her bir ekonomik veri, belirli bir aralığı kapsayan üçgensel bulanık sayı formatına dönüştürülmüştür. Bu yaklaşım, performans değerlendirmesinde belirsizliğin etkilerini dikkate alarak daha sağlam bir karar verme süreci sağlamayı hedeflemektedir. Uygulamada, her bir ülke için bulanık gri ilişkisel derecelendirme skoru hesaplanmış ve bu skorlara dayalı olarak ülkeler sıralanmıştır. Bu sıralama, Tablo 12'de detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

Tablo 12. Bulanık GİA uygulaması ile ülkelerin sıralaması

Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama	Ülkeler	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
Almanya	0,6847	2	İsveç	0,5183	11
Avusturya	0,5117	15	İtalya	0,5151	13
Belçika	0,5369	9	Letonya	0,4701	26
Bulgaristan	0,5110	16	Litvanya	0,4830	25
Çekya	0,5183	12	Lüksemburg	0,7298	1
Danimarka	0,5992	4	Macaristan	0,4860	22
Estonya	0,4881	21	Malta	0,5927	5
Finlandiya	0,5038	17	Polonya	0,5413	7
Fransa	0,5385	8	Portekiz	0,4976	18
Kıbrıs	0,5303	10	Romanya	0,4960	19
Hırvatistan	0,4847	24	Slovakya	0,4852	23
Hollanda	0,5759	6	Slovenya	0,5134	14
İrlanda	0,6548	3	Yunanistan	0,4585	27
İspanya	0,4898	20	Türkiye	0,4354	28

Bulanık GİA yöntemi kullanılarak yapılan sıralamada, en yüksek gri ilişki derecesine sahip Lüksemburg (0,7298) birinci sırada yer almıştır. Onu sırasıyla Almanya (0,6847), İrlanda (0,6548) ve Danimarka (0,5992) takip etmektedir. Bu ülkeler, ekonomik performans açısından güçlü bir görünüm sergilemektedir. Alt sıralarda ise Yunanistan (0,4585; 27. sıra) ve Türkiye (0,4354; 28. sıra) yer almıştır. Türkiye'nin en düşük gri ilişki derecesine sahip

olması, belirlenen kriterler çerçevesinde ekonomik performansının zayıf olduğunu göstermektedir. Bu sıralama, ülkelerin ekonomik performansları arasındaki farkları belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır.

4.4. GİA ve Bulanık GİA Sonuçlarının Karşılaştırılması

AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performansları üzerine yapılan analizlerde, GİA ve Bulanık GİA yöntemleri ile elde edilen sıralamaların karşılaştırılması Tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13. GİA ve Bulanık GİA sonuçlarının karşılaştırılması

Ülkeler	GRA Sıralaması	BGİA Sıralaması	Ülkeler	GRA Sıralaması	BGİA Sıralaması
Almanya	2	2	İsveç	12	11
Avusturya	15	15	İtalya	13	13
Belçika	9	9	Letonya	26	26
Bulgaristan	16	16	Litvanya	25	25
Çekya	11	12	Lüksemburg	1	1
Danimarka	4	4	Macaristan	22	22
Estonya	21	21	Malta	5	5
Finlandiya	17	17	Polonya	7	7
Fransa	8	8	Portekiz	18	18
Kıbrıs	10	10	Romanya	19	19
Hırvatistan	24	24	Slovakya	23	23
Hollanda	6	6	Slovenya	14	14
İrlanda	3	3	Yunanistan	27	27
İspanya	20	20	Türkiye	28	28

Her iki yöntemin ekonomik performans değerlendirmesinde benzer sonuçlar verdiğini, ancak bazı küçük farklılıkların bulunduğunu göstermektedir. GİA ve BGİA sıralamaları, ülkelerin ekonomik performansını değerlendirirken benzer bir genel sıralama düzeni izlemektedir.

Çoğu ülke her iki yöntemde de sıralamalarını korurken, bazı ülkeler arasında sıralama değişiklikleri gözlemlenmiştir. Örneğin, Çekya GİA sıralamasında 11. sırada yer alırken, Bulanık GİA sıralamasında 12. sırada yer almaktadır. İsveç ise GİA sıralamasında 12. sırada bulunurken, Bulanık GİA sıralamasında 11. sıraya yükselmiştir. Bu tür küçük değişiklikler, kullanılan yöntemlerin bulundurduğu belirsizlikler ve farklı hesaplama yaklaşımlarından

kaynaklanmaktadır. Türkiye, her iki yöntemle de 28. sırada yer alarak sıralamasını korumaktadır. Bu durum, Türkiye'nin ekonomik performansının her iki yöntemle de benzer bir şekilde değerlendirildiğini göstermektedir.

4.5. GRA-TRIL Zero Uygulaması

GRA-TRIL Zero yöntemi, AB ülkeleri ve Türkiye'nin makroekonomik performansını sınıflandırırken, sınırlayıcı profiller kullanır. Bu profiller, her bir ülkenin ekonomik göstergelerine dayalı olarak belirlenen eşik değerleri ifade eder. Karar vericiler, bu sınırlayıcı profiller aracılığıyla, ülkelerin hangi ekonomik kategorilerde yer alacağını belirlemek için sınır profilleri tanımlar.

Sınıflandırma işlemi, bu sınırlayıcı profillerden türetilen merkezi profillere dayanarak yapılır. Merkezi profiller, her kategoriye en iyi şekilde temsil eden profillerdir. Bu merkezi profiller, sınıflandırma sürecinde kullanılan kriterlere göre belirlenir ve ülkeler, bu profillere göre gruplanır. Tablo 14'te sınır profilleri gösterilmiştir, burada her bir ekonomik kategori için tanımlanan eşik değerler açıkça sunulmaktadır.

Tablo 14. Sınır profillerin kriter değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
r_1	300000	15	10000000	0,10	1	200	1	200
r_2	150000	4,5	5500000	5,00	3	150	20	150
r_3	65000	2	3500000	10,00	6	80	50	20
r_4	20000	0,30	1000000	15,00	10	5	100	0,05
r_5	0	0,00	10000	15,50	125	0,00	200	0,00

Tablo 15'te merkezi profillerin kriter değerleri sunulmaktadır. Bu tabloda yer alan değerler, her bir merkezi profilin temsil ettiği ekonomik kategorilere ait kriterleri göstermektedir. Bu değerler, ülkelerin sınıflandırılmasında temel alınmakla birlikte, Bulanık GRA-TRIL Zero yönteminde de kullanılacaktır.

Tablo 15. Merkezi profillerin kriter değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
R_1	225000	9,75	7750000	2,55	2,00	175,00	10,50	175,00
R_2	107500	3,25	4500000	7,50	4,50	115,00	35,00	85,00
R_3	42500	1,15	2250000	12,50	8,00	42,50	75,00	10,03
R_4	10000	0,15	505000	15,25	67,50	2,50	150,00	0,03

Tablo 16’da ise merkezi profillere göre ilgili sınıflar gösterilmektedir. Bu sınıflar, her bir merkezi profile karşılık gelen ekonomik kategorileri belirler. Burada S_1 en iyi sınıfı, S_2 iyi sınıfı, S_3 yeterli sınıfı, S_4 en düşük sınıfı ifade etmektedir. Bulanık GRA-TRIL Zero yönteminin uygulamasında da bu sınıflar dikkate alınarak, ülkelerin ekonomik performanslarının sınıflandırılması sağlanacaktır.

Tablo 16. Merkezi profillere göre ilgili sınıflar

Merkezi Profiller	Karşılık Gelen Sınıf	Sınıf durumu
R_1	S_1	En iyi
R_2	S_2	İyi
R_3	S_3	Yeterli
R_4	S_4	En düşük

GRA-TRIL Zero yöntemi ile hesaplanan gri ilişkisel derece matrisi Tablo 17’de gösterilmektedir. Bu matris, her bir ülkenin belirlenen merkezi profillere olan uzaklıklarını ve dolayısıyla ekonomik performanslarının karşılaştırılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 17. GRA-TRIL Zero yöntemi gri ilişkisel derece matrisi

Γ_A	Γ_{i1}	Γ_{i2}	Γ_{i3}	Γ_{i4}
Γ_1	0,5903	0,7840	0,8307	0,6008
Γ_2	0,4896	0,6961	0,8825	0,6986
Γ_3	0,5017	0,7224	0,8366	0,6911
Γ_4	0,5352	0,6615	0,7728	0,7776
Γ_5	0,5322	0,6660	0,8313	0,8157
Γ_6	0,5388	0,9104	0,7393	0,6267
Γ_7	0,4988	0,6757	0,8481	0,7548
Γ_8	0,4883	0,7051	0,8644	0,7159
Γ_9	0,4540	0,7306	0,8982	0,6125
Γ_{10}	0,5068	0,7379	0,8343	0,7100
Γ_{11}	0,4846	0,6933	0,8596	0,7532
Γ_{12}	0,5609	0,7297	0,8742	0,6484
Γ_{13}	0,5776	0,8485	0,7017	0,5897
Γ_{14}	0,4410	0,6268	0,9665	0,7058
Γ_{15}	0,4886	0,7478	0,8411	0,6929
Γ_{16}	0,4486	0,7100	0,8928	0,6425
Γ_{17}	0,4805	0,6786	0,8683	0,7700
Γ_{18}	0,4852	0,7110	0,8548	0,7476

Tablo 17'nin devamı

Γ_A	Γ_{i1}	Γ_{i2}	Γ_{i3}	Γ_{i4}
Γ_{19}	0,5782	0,8322	0,7018	0,6193
Γ_{20}	0,5056	0,6600	0,8212	0,8111
Γ_{21}	0,5983	0,6677	0,8286	0,6905
Γ_{22}	0,5430	0,6994	0,8328	0,8083
Γ_{23}	0,4834	0,7043	0,8627	0,7321
Γ_{24}	0,4844	0,7048	0,7899	0,7606
Γ_{25}	0,4840	0,7212	0,8451	0,8133
Γ_{26}	0,5299	0,6636	0,8610	0,7280
Γ_{27}	0,4548	0,6465	0,8896	0,7939
Γ_{28}	0,4424	0,6471	0,6863	0,8401

Gri ilişkisel derece skorlarına bakıldığında A_3 , A_4 , A_5 , ve A_6 sırasıyla S_3 , S_4 , S_3 ve S_2 sınıflarına atanmıştır.

Tablo 18. GRA-TRIL Zero yöntemi ile ülkelerin sınıflara atanması

Ülkeler	Atanan Sınıf	Ülkeler	Atanan Sınıf	Ülkeler	Atanan Sınıf
Almanya	S_3	Hırvatistan	S_3	Malta	S_3
Avusturya	S_3	Hollanda	S_3	Polonya	S_3
Belçika	S_3	İrlanda	S_2	Portekiz	S_3
Bulgaristan	S_4	İspanya	S_3	Romanya	S_3
Çekya	S_3	İsveç	S_3	Slovakya	S_3
Danimarka	S_2	İtalya	S_3	Slovenya	S_3
Estonya	S_3	Letonya	S_3	Yunanistan	S_3
Finlandiya	S_3	Litvanya	S_3	Türkiye	S_4
Fransa	S_3	Lüksemburg	S_2		
Kıbrıs	S_3	Macaristan	S_3		

Tablo 18'de, GRA-TRIL Zero uygulaması ile ülkelerin ekonomik performansları, merkezi profillere dayalı olarak belirli sınıflara atanmıştır. Almanya, Avusturya, Belçika, Çekya gibi birçok ülke S_3 sınıfına, yani yeterli kategorisine atanırken, İrlanda ve Lüksemburg S_2 sınıfına (iyi) atanmıştır. Türkiye ve Bulgaristan ise S_4 sınıfına, yani en düşük sınıfına dahil edilmiştir.

4.6. Bulanık GRA-TRIL Zero Yöntemi Üzerine Uygulamalı Örnek

AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performans verilerinin değerlendirilmesinde, kesin değerlerdeki belirsizliklerin dikkate alınması amacıyla veriler, %10 eksi/artı aralığındaki değerler kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür (Seyhan vd., 2024). Bu dönüştürme işlemi, ekonomik göstergelerdeki belirsizlikleri daha iyi modellemek ve analizdeki derinliği artırmak için önemlidir. Bu süreçte, Tablo 15 ve Tablo 16'da yer alan merkezi profiller, belirlenen sınıfların daha iyi anlaşılmasını ve bu sınıflara atanan ülkelerin performanslarının değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu profiller, GRA-TRIL Zero yönteminin uygulandığı analizde referans alınarak ülkelerin ekonomik durumları sınıflandırılmış, ardından Bulanık GRA-TRIL Zero yönteminin uygulama adımları detaylandırılmıştır.

Adım 1. Veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması

Ekonomik performans verilerinden faydalanılarak oluşturulan ve bulanık sayılarla ifade edilen karar matrisi Tablo 19'da sunulmaktadır.

Tablo 19. Karar matrisi

Alternatifler		maks			maks			maks			min		
		K1			K2			K3			K4		
		A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³
1	Almanya	47471	52746	58020	0,18	0,20	0,22	4131990	4591100	5050210	2,79	3,10	3,41
2	Avusturya	50855	56506	62157	0,40	0,44	0,48	486798	540887	594976	4,59	5,10	5,61
3	Belçika	48128	53475	58823	1,04	1,16	1,28	589673	655192	720711	4,95	5,50	6,05
4	Bulgaristan	14218	15798	17377	2,47	2,74	3,01	97140	107933	118726	3,87	4,30	4,73
5	Çekya	27385	30427	33470	0,59	0,66	0,73	293292	325880	358468	2,34	2,60	2,86
6	Danimarka	61171	67967	74764	1,92	2,13	2,34	368990	409989	450988	4,59	5,10	5,61
7	Estonya	26841	29824	32806	0,14	0,15	0,17	39137	43486	47835	5,76	6,40	7,04
8	Finlandiya	48380	53756	59131	0,22	0,24	0,26	277250	308055	338861	6,48	7,20	7,92
9	Fransa	40015	44461	48907	0,67	0,74	0,81	2817013	3130014	3443015	6,57	7,30	8,03
10	Kıbrıs	31231	34701	38172	2,25	2,50	2,75	29007	32230	35453	5,49	6,10	6,71
11	Hırvatistan	19314	21460	23606	2,70	3,00	3,30	79268	88076	96884	5,49	6,10	6,71
12	Hollanda	56283	62537	68790	0,54	0,60	0,66	1028262	1142513	1256764	3,24	3,60	3,96
13	İrlanda	93316	103685	114053	1,32	1,47	1,62	507618	564020	620422	3,87	4,30	4,73
14	İspanya	29409	32677	35945	1,71	1,90	2,09	1482403	1647114	1811825	10,98	12,20	13,42
15	İsveç	50675	56305	61936	0,18	0,20	0,22	560743	623048	685353	6,93	7,70	8,47
16	İtalya	34536	38373	42211	0,63	0,70	0,77	2095225	2328028	2560831	6,93	7,70	8,47
17	Letonya	20866	23184	25503	0,45	0,50	0,55	42030	46700	51370	5,85	6,50	7,15
18	Litvanya	24393	27103	29813	1,99	2,21	2,43	73053	81170	89287	6,21	6,90	7,59
19	Lüksemburg	115433	128259	141085	1,17	1,30	1,43	77180	85755	94331	4,68	5,20	5,72
20	Macaristan	19932	22147	24362	1,98	2,20	2,42	201072	223413	245754	3,69	4,10	4,51
21	Malta	34094	37882	41671	4,54	5,04	5,54	20463	22737	25011	2,79	3,10	3,41
22	Polonya	19902	22113	24324	2,76	3,07	3,38	760161	844623	929085	2,52	2,80	3,08

Tablo 19'un devamı

Alternatifler		maks			maks			maks			min		
		K1			K2			K3			K4		
		A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³
23	Portekiz	24548	27275	30003	1,56	1,73	1,90	269054	298949	328844	5,85	6,50	7,15
24	Romanya	16577	18419	20261	2,49	2,77	3,05	332974	369971	406968	5,04	5,60	6,16
25	Slovakya	22023	24470	26917	1,87	2,08	2,29	126727	140808	154889	5,22	5,80	6,38
26	Slovenya	28947	32164	35380	1,81	2,01	2,21	64891	72101	79311	3,33	3,70	4,07
27	Yunanistan	20691	22990	25289	1,84	2,04	2,24	225248	250276	275304	9,99	11,10	12,21
28	Türkiye	11799	13110	14421	4,05	4,50	4,95	814950	905500	996050	8,46	9,40	10,34
Alternatifler		min			maks			min			maks		
		K5			K6			K7			K8		
		A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³	A ¹	A ²	A ³
1	Almanya	5,40	6,00	6,60	21,43	23,81	26,19	57,24	63,60	69,96	90,00	100,00	110,00
2	Avusturya	6,93	7,70	8,47	23,14	25,71	28,29	70,02	77,80	85,58	0,28	0,31	0,34
3	Belçika	2,07	2,30	2,53	37,71	41,90	46,10	94,68	105,20	115,72	38,16	42,40	46,64
4	Bulgaristan	7,74	8,60	9,46	6,00	6,67	7,33	20,79	23,10	25,41	1,36	1,51	1,66
5	Çekya	13,32	14,80	16,28	31,71	35,24	38,76	39,60	44,00	48,40	39,79	44,21	48,63
6	Danimarka	3,06	3,40	3,74	90,00	100,00	110,00	26,37	29,30	32,23	36,24	40,26	44,29
7	Estonya	8,19	9,10	10,01	29,14	32,38	35,62	17,64	19,60	21,56	0,80	0,89	0,98
8	Finlandiya	3,87	4,30	4,73	23,14	25,71	28,29	68,22	75,80	83,38	0,07	0,08	0,08
9	Fransa	5,13	5,70	6,27	47,14	52,38	57,62	99,54	110,60	121,66	33,90	37,67	41,44
10	Kıbrıs	3,51	3,90	4,29	90,00	100,00	110,00	69,57	77,30	85,03	2,15	2,39	2,63
11	Hırvatistan	7,56	8,40	9,24	6,00	6,67	7,33	56,70	63,00	69,30	4,31	4,79	5,27
12	Hollanda	3,69	4,10	4,51	2,57	2,86	3,14	41,85	46,50	51,15	52,63	58,48	64,33
13	İrlanda	4,68	5,20	5,72	78,00	86,67	95,33	39,33	43,70	48,07	48,92	54,35	59,79
14	İspanya	3,06	3,40	3,74	30,86	34,29	37,71	96,93	107,70	118,47	11,79	13,09	14,40
15	İsveç	5,31	5,90	6,49	5,14	5,71	6,29	28,08	31,20	34,32	35,05	38,95	42,84
16	İtalya	5,31	5,90	6,49	63,43	70,48	77,52	123,57	137,30	151,03	42,87	47,63	52,39
17	Letonya	8,19	9,10	10,01	18,86	20,95	23,05	39,24	43,60	47,96	1,12	1,25	1,37
18	Litvanya	7,83	8,70	9,57	6,86	7,62	8,38	34,47	38,30	42,13	1,40	1,55	1,71
19	Lüksemburg	2,61	2,90	3,19	11,14	12,38	13,62	23,13	25,70	28,27	2,14	2,38	2,61
20	Macaristan	15,30	17,00	18,70	57,43	63,81	70,19	66,15	73,50	80,85	36,12	40,13	44,14
21	Malta	5,04	5,60	6,16	42,00	46,67	51,33	45,36	50,40	55,44	1,19	1,32	1,45
22	Polonya	9,81	10,90	11,99	43,71	48,57	53,43	44,64	49,60	54,56	37,10	41,22	45,35
23	Portekiz	4,77	5,30	5,83	73,71	81,90	90,10	89,19	99,10	109,01	7,13	7,92	8,72
24	Romanya	8,73	9,70	10,67	56,57	62,86	69,14	43,92	48,80	53,68	7,55	8,39	9,23
25	Slovakya	9,90	11,00	12,10	42,00	46,67	51,33	50,40	56,00	61,60	34,32	38,13	41,94
26	Slovenya	6,48	7,20	7,92	21,43	23,81	26,19	62,28	69,20	76,12	0,53	0,58	0,64
27	Yunanistan	3,78	4,20	4,62	13,71	15,24	16,76	145,71	161,90	178,09	8,09	8,99	9,89
28	Türkiye	58,29	64,77	71,25	46,29	51,43	56,57	26,55	29,50	32,45	25,65	28,50	31,35

Adım 2. Merkezi profillerin ve ana matrisin oluşturulması

GRA-TRIL Zero uygulamasında karar verici tarafından tanımlanan Tablo 14'te verilen sınır profilleri r , bulanık sayılara dönüştürülerek Tablo 20'de gösterilmektedir.

Tablo 20. Sınır profillerin karar kriterlerine ait bulanık sayı değerleri

	K1			K2			K3			K4		
	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3
r_1	270000	300000	330000	13,50	15,00	16,50	9000000	10000000	11000000	0,09	0,10	0,11
r_2	135000	150000	165000	4,05	4,50	4,95	4950000	5500000	6050000	4,50	5,00	5,50
r_3	58500	65000	71500	1,80	2,00	2,20	3150000	3500000	3850000	9,00	10,00	11,00
r_4	18000	20000	22000	0,27	0,30	0,33	900000	1000000	1100000	13,50	15,00	16,50
r_5	0	0	0	0,00	0,00	0,00	9000	10000	11000	13,95	15,50	17,05
	K5			K6			K7			K8		
	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3
r_1	0,90	1,00	1,10	180	200	220	0,90	1	1,10	180,00	200,00	220,00
r_2	2,70	3,00	3,30	135	150	165	18,00	20	22,00	135,00	150,00	165,00
r_3	5,40	6,00	6,60	72	80	88	45,00	50	55,00	18,00	20,00	22,00
r_4	9,00	10,00	11,00	5	5	6	90,00	100	110,00	0,05	0,05	0,06
r_5	112,50	125,00	137,50	0	0	0	180,00	200	220,00	0,00	0,00	0,00

Sınır profillerinden elde edilen merkezi profiller R , bulanık sayılara dönüştürülerek Tablo 21’de gösterilmektedir.

Tablo 21. Merkezi profillerin karar kriterlerine ait bulanık sayı değerleri

	K1			K2			K3			K4		
	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3
R_1	202500	225000	247500	8,78	9,75	10,73	6975000	7750000	8525000	2,30	2,55	2,81
R_2	96750	107500	118250	2,93	3,25	3,58	4050000	4500000	4950000	6,75	7,50	8,25
R_3	38250	42500	46750	1,04	1,15	1,27	2025000	2250000	2475000	11,25	12,50	13,75
R_4	9000	10000	11000	0,14	0,15	0,17	454500	505000	555500	13,73	15,25	16,78
	K5			K6			K7			K8		
	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3	A^1	A^2	A^3
R_1	1,80	2,00	2,20	157,50	175,00	192,50	9,45	10,50	11,55	157,50	175,00	192,50
R_2	4,05	4,50	4,95	103,50	115,00	126,50	31,50	35,00	38,50	76,50	85,00	93,50
R_3	7,20	8,00	8,80	38,25	42,50	46,75	67,50	75,00	82,50	9,02	10,03	11,03
R_4	60,75	67,50	74,25	2,25	2,50	2,75	135,00	150,00	165,00	0,02	0,03	0,03

Elde edilen sınır ve merkezi profillerin karar kriterlerine ait bulanık sayı değerleri, karar matrisi ile birleştirilmiştir. Bu birleştirme sonucunda Ek 1’de sunulan ana matris oluşturulmuştur.

Adım 3. Normalizasyon süreci ve normalizasyon matrisinin oluşturulması

Karar kriterlerinin farklı birimlerde ifade edilmesi, analizin tutarlılığını sağlamak için bir normalizasyon işlemi gerektirir. Bu süreçte, fayda temelli kriterler (K1, K2, K3, K6 ve

K8), daha yüksek değerlerin daha iyi performansı temsil ettiği kriterlerdir ve bu kriterler Eşitlik (61) kullanılarak normalize edilmiştir. Diğer yandan, maliyet temelli kriterler (K4, K5 ve K7), daha düşük değerlerin daha iyi performansı ifade ettiği kriterlerdir ve bu kriterlerin normalizasyonu Eşitlik (62) ile gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, farklı ölçekteki kriterlerin karşılaştırılabilir hale getirilmesi sağlanarak Ek 2’de gösterilen normalizasyon matrisine ulaşılmıştır. A_1^N, A_2^N, A_3^N ve Türkiye’ye ait olan A_{28}^N alternatiflerinin normalize edilmiş bulanık sayı değerleri Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22. Alternatiflerin karar kriterlerine ait normalize bulanık sayı değerleri

		K1			K2			K3			K4		
		b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3
A_1^N	Almanya	0,1439	0,1598	0,1758	0,0109	0,0121	0,0133	0,3751	0,4169	0,4587	0,8408	0,8225	0,8042
A_2^N	Avusturya	0,1541	0,1712	0,1884	0,0240	0,0267	0,0293	0,0435	0,0484	0,0533	0,7347	0,7046	0,6745
A_3^N	Belçika	0,1458	0,1620	0,1783	0,0633	0,0703	0,0773	0,0528	0,0588	0,0648	0,7134	0,6810	0,6486
A_{28}^N	Türkiye	0,0358	0,0397	0,0437	0,2455	0,2727	0,3000	0,0733	0,0816	0,0898	0,5065	0,4511	0,3956
		K5			K6			K7			K8		
		b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3
A_1^N	Almanya	0,9671	0,9627	0,9583	0,0974	0,1082	0,1190	0,7429	0,7138	0,6848	0,4091	0,4545	0,5000
A_2^N	Avusturya	0,9559	0,9502	0,9446	0,1052	0,1169	0,1286	0,6845	0,6490	0,6135	0,0013	0,0014	0,0015
A_3^N	Belçika	0,9914	0,9898	0,9881	0,1714	0,1905	0,2095	0,5720	0,5240	0,4759	0,1735	0,1927	0,2120
A_{28}^N	Türkiye	0,5798	0,5324	0,4850	0,2104	0,2338	0,2571	0,8829	0,8695	0,8560	0,1166	0,1295	0,1425

Adım 4. Karşılaştırma matrisinin oluşumu ve bulanık sayıların durulaştırılması

Alternatiflerin performanslarının merkezi profiller ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. A_1^N, A_2^N, A_3^N ve Türkiye’ye ait olan A_{28}^N alternatiflerinin performans değerleri, belirlenen merkezi profillerin dizisi ile birleştirilerek Ek 3’te sunulan karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Ayrıca, bulanık sayıların analizde daha net sonuçlar verebilmesi için Eşitlik (66) kullanılarak alternatifler durulaştırma işlemine tabi tutulmuş ve Tablo 23’te gösterilmiştir. Bu sayede alternatiflerin merkezi profillere olan yakınlıkları değerlendirilmiştir.

Tablo 23. Alternatiflerin durulaştırılmış kriter değerleri

		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Δ_1^A	Almanya	0,1598	0,0121	0,4169	0,8225	0,9627	0,1082	0,7138	0,4545
Δ_2^A	Avusturya	0,1712	0,0267	0,0484	0,7046	0,9502	0,1169	0,6490	0,0014
Δ_3^A	Belçika	0,1620	0,0703	0,0588	0,6810	0,9898	0,1905	0,5240	0,1927
Δ_4^A	Türkiye	0,0397	0,2727	0,0816	0,4511	0,5324	0,2338	0,8695	0,1295

Durulaştırılmış alternatifler, merkezi profiller ve referans değerlerinin karşılaştırılması Tablo 24'te gösterilmektedir.

Tablo 24. Durulaştırılmış karşılaştırma matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Δ_1^A	0,1598	0,0121	0,4169	0,8225	0,9627	0,1082	0,7138	0,4545
Δ_1^R	0,5237	0,5807	0,2884	0,0325	0,0294	0,6895	0,2432	0,3420
Δ_2^R	0,1665	0,1855	0,0083	0,2603	0,0110	0,4159	0,1310	0,0684
Δ_3^R	0,0312	0,0578	0,2137	0,5561	0,0147	0,0852	0,0522	0,4103
Δ_4^R	0,1300	0,0030	0,3730	0,7188	0,4517	0,0972	0,3957	0,4559
Δ_2^A	0,1712	0,0267	0,0484	0,7046	0,9502	0,1169	0,6490	0,0014
Δ_1^R	0,5123	0,5661	0,6581	0,1509	0,0419	0,6808	0,3082	0,7967
Δ_2^R	0,1550	0,1709	0,3614	0,1420	0,0235	0,4072	0,1960	0,3862
Δ_3^R	0,0426	0,0432	0,1560	0,4378	0,0022	0,0766	0,0128	0,0443
Δ_4^R	0,1414	0,0176	0,0033	0,6005	0,4392	0,1059	0,3306	0,0013
Δ_3^A	0,1620	0,0703	0,0588	0,6810	0,9898	0,1905	0,5240	0,1927
Δ_1^R	0,5215	0,5223	0,6477	0,1745	0,0022	0,6070	0,4337	0,6047
Δ_2^R	0,1643	0,1271	0,3510	0,1183	0,0162	0,3334	0,3215	0,1943
Δ_3^R	0,0334	0,0006	0,1456	0,4141	0,0419	0,0027	0,1383	0,1477
Δ_4^R	0,1322	0,0614	0,0137	0,5768	0,4789	0,1797	0,2052	0,1933
	:							
Δ_{28}^A	0,0397	0,2727	0,0816	0,4511	0,5324	0,2338	0,8695	0,1295
Δ_1^R	0,6442	0,3192	0,6248	0,4052	0,4610	0,5636	0,0870	0,6681
Δ_2^R	0,2870	0,0760	0,3281	0,1124	0,4427	0,2899	0,0252	0,2577
Δ_3^R	0,0894	0,2037	0,1227	0,1834	0,4170	0,0407	0,2084	0,0842
Δ_4^R	0,0095	0,2645	0,0366	0,3461	0,0201	0,2231	0,5518	0,1298

Sonraki aşamada sıfır değer yaklaşımı uygulanır. Her alternatifin performansı, belirli bir kategorinin alt ve üst sınır profilleri arasında yer alıyorsa, yanlış sınıflandırmayı önlemek amacıyla sıfır değeri atanır. Bu süreç, Eşitlik (52) ile ifade edilmektedir. Durulaştırılmış

alternatifler olan $\Delta_1^A, \Delta_2^A, \Delta_3^A$ ve Türkiye'ye ait olan Δ_{28}^A için sıfır değer yaklaşımı sonuçları Tablo 25'te sunulmuştur. Bu yaklaşım, alternatiflerin doğru kategorilere atanmasını sağlamak için kritik bir adım olarak uygulanmıştır.

Tablo 25. Alternatifler için sıfır değer yaklaşımı

Δ_1^A	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Δ_1^R	0,5237	0,5807	0,2884	0,0000	0,0294	0,6895	0,2432	0,3420
Δ_2^R	0,1665	0,1855	0,0000	0,2603	0,0000	0,4159	0,1310	0,0000
Δ_3^R	0,0000	0,0578	0,2137	0,5561	0,0000	0,0000	0,0000	0,4103
Δ_4^R	0,1300	0,0000	0,3730	0,7188	0,4517	0,0972	0,3957	0,4559
Δ_2^A								
Δ_1^R	0,5123	0,5661	0,6581	0,1509	0,0419	0,6808	0,3082	0,7967
Δ_2^R	0,1550	0,1709	0,3614	0,0000	0,0235	0,4072	0,1960	0,3862
Δ_3^R	0,0000	0,0000	0,1560	0,4378	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Δ_4^R	0,1414	0,0176	0,0000	0,6005	0,4392	0,1059	0,3306	0,0013
Δ_3^A								
Δ_1^R	0,5215	0,5223	0,6477	0,1745	0,0000	0,6070	0,4337	0,6047
Δ_2^R	0,1643	0,1271	0,3510	0,0000	0,0162	0,3334	0,3215	0,0000
Δ_3^R	0,0000	0,0000	0,1456	0,4141	0,0419	0,0000	0,1383	0,1477
Δ_4^R	0,1322	0,0614	0,0000	0,5768	0,4789	0,1797	0,0000	0,1933
Δ_{28}^A								
Δ_1^R	0,6442	0,0000	0,6248	0,4052	0,4610	0,5636	0,0870	0,6681
Δ_2^R	0,2870	0,0000	0,3281	0,0000	0,4427	0,2899	0,0000	0,0000
Δ_3^R	0,0894	0,2037	0,1227	0,1834	0,4170	0,0000	0,2084	0,0842
Δ_4^R	0,0000	0,2645	0,0000	0,3461	0,0000	0,2231	0,5518	0,1298

Adım 5. Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması

Her alternatif için hesaplanan Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri Tablo 26'da gösterilmektedir. ÇKKV probleminde, ayırım katsayısı 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu katsayı kullanılarak, her bir alternatif için gri ilişkisel katsayı matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 26. Alternatifler için Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri

Δ	Δ_{max}	Δ_{min}
Δ_1	0,7187	0
Δ_2	0,7966	0
Δ_3	0,6476	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Δ_{28}	0,6681	0

Alternatif $\gamma^1, \gamma^2, \gamma^3$ ve Türkiye'ye ait olan γ^{28} için gri ilişkisel katsayı matrisi Tablo 27'de gösterilmektedir.

Tablo 27. Gri ilişkisel katsayı matrisi

γ^1	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
γ_1^1	0,4070	0,3823	0,5548	1,0000	0,9244	0,3426	0,5964	0,5124
γ_2^1	0,6834	0,6596	1,0000	0,5800	1,0000	0,4636	0,7329	1,0000
γ_3^1	1,0000	0,8615	0,6271	0,3926	1,0000	1,0000	1,0000	0,4669
γ_4^1	0,7344	1,0000	0,4907	0,3333	0,4431	0,7871	0,4760	0,4408
γ^2								
γ_1^2	0,4374	0,4130	0,3771	0,7253	0,9049	0,3691	0,5638	0,3333
γ_2^2	0,7198	0,6998	0,5243	1,0000	0,9443	0,4945	0,6702	0,5077
γ_3^2	1,0000	1,0000	0,7186	0,4764	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
γ_4^2	0,7380	0,9576	1,0000	0,3988	0,4756	0,7900	0,5464	0,9968
γ^3								
γ_1^3	0,3831	0,3827	0,3333	0,6498	1,0000	0,3479	0,4275	0,3487
γ_2^3	0,6635	0,7182	0,4799	1,0000	0,9525	0,4928	0,5018	1,0000
γ_3^3	1,0000	1,0000	0,6899	0,4388	0,8855	1,0000	0,7007	0,6868
γ_4^3	0,7101	0,8406	1,0000	0,3596	0,4034	0,6431	1,0000	0,6263
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
γ^{28}								
γ_1^{28}	0,3415	1,0000	0,3484	0,4519	0,4202	0,3722	0,7934	0,3333
γ_2^{28}	0,5379	1,0000	0,5045	1,0000	0,4301	0,5354	1,0000	1,0000
γ_3^{28}	0,7890	0,6212	0,7313	0,6456	0,4448	1,0000	0,6159	0,7986
γ_4^{28}	1,0000	0,5581	1,0000	0,4912	1,0000	0,5995	0,3771	0,7201

Adım 6. Gri ilişkisel derece matrisinin oluşturulması

SWARA yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, Eşitlik (72) ile gri ilişkisel derece matrisi hesaplanmıştır. Bu matristeki sonuçlar, Tablo 28’de gösterilmektedir.

Tablo 28. Gri ilişkisel derece matrisi

Γ_A	Γ_{i1}	Γ_{i2}	Γ_{i3}	Γ_{i4}
Γ_1	0,5901	0,7839	0,8307	0,6007
Γ_2	0,5298	0,7294	0,8946	0,7285
Γ_3	0,5017	0,7224	0,8366	0,6911
Γ_4	0,5578	0,6844	0,7905	0,7901
Γ_5	0,5321	0,6658	0,8313	0,8157
Γ_6	0,5388	0,9104	0,7393	0,6267
Γ_7	0,5232	0,6978	0,8590	0,7701
Γ_8	0,5214	0,7318	0,8781	0,7401
Γ_9	0,4816	0,7514	0,9058	0,6391
Γ_{10}	0,5294	0,7538	0,8454	0,7272
Γ_{11}	0,5067	0,7105	0,8682	0,7667
Γ_{12}	0,5841	0,7507	0,8830	0,6723
Γ_{13}	0,5776	0,8485	0,7017	0,5897

Tablo 28'in devamı

Γ_A	Γ_{i1}	Γ_{i2}	Γ_{i3}	Γ_{i4}
Γ_{14}	0,4875	0,6730	0,9722	0,7465
Γ_{15}	0,5240	0,7721	0,8585	0,7200
Γ_{16}	0,4535	0,7138	0,8942	0,6471
Γ_{17}	0,5058	0,6997	0,8775	0,7843
Γ_{18}	0,5110	0,7299	0,8656	0,7641
Γ_{19}	0,6008	0,8424	0,7220	0,6403
Γ_{20}	0,5056	0,6601	0,8213	0,8111
Γ_{21}	0,6136	0,6860	0,8376	0,7058
Γ_{22}	0,5428	0,6993	0,8327	0,8082
Γ_{23}	0,5069	0,7226	0,8721	0,7485
Γ_{24}	0,5100	0,7240	0,8063	0,7741
Γ_{25}	0,4841	0,7212	0,8451	0,8133
Γ_{26}	0,5533	0,6872	0,8705	0,7462
Γ_{27}	0,4751	0,6649	0,8968	0,8062
Γ_{28}	0,4501	0,6535	0,6935	0,8431

Tablo 16'daki merkezi profillerin karşılık geldiği sınıflar dikkate alınarak, Tablo 28'de gösterilen gri ilişkisel derecelere göre alternatifler A_1, A_2, A_6, A_{13} ve A_{28} sırasıyla S_3, S_3, S_2, S_2 ve S_4 sınıflarına atanmıştır.

4.6.1. Bulanık GRA-TRIL Zero Analiz Sonuçları

Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi ile analiz edilen AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik verilerinin belirlenen sınıflara atanma sonuçları Tablo 29'da sunulmaktadır.

Tablo 29. Ülkelerin sınıflara atanması

Ülkeler	Atanan Sınıf	Ülkeler	Atanan Sınıf	Ülkeler	Atanan Sınıf
Almanya	S_3	Hırvatistan	S_3	Malta	S_3
Avusturya	S_3	Hollanda	S_3	Polonya	S_3
Belçika	S_3	İrlanda	S_2	Portekiz	S_3
Bulgaristan	S_3	İspanya	S_3	Romanya	S_3
Çekya	S_3	İsveç	S_3	Slovakya	S_3
Danimarka	S_2	İtalya	S_3	Slovenya	S_3
Estonya	S_3	Letonya	S_3	Yunanistan	S_3
Finlandiya	S_3	Litvanya	S_3	Türkiye	S_4
Fransa	S_3	Lüksemburg	S_2		
Kıbrıs	S_3	Macaristan	S_3		

Analiz sonuçlarına göre, yapılan sınıflandırma çerçevesinde AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performansları farklı seviyelerde değerlendirilmiştir. Tablo 29'da görüldüğü üzere, Danimarka, İrlanda ve Lüksemburg iyi sınıfta yer almaktadır. Ancak dikkat çeken bir diğer nokta, en iyi sınıfta yer alan hiçbir ülkenin olmamış olmasıdır. Bu durum, AB ülkelerinin performanslarının birbirine yakın seviyelerde olduğunu ve genel olarak yüksek gelişmişlik seviyelerine rağmen en üst düzeydeki performansın elde edilemediğini göstermektedir.

Yeterli sınıfta yer alan Almanya, Avusturya, Kıbrıs, İsveç ve İtalya gibi ülkeler, ekonomik performans açısından yeterli bir seviyeye sahip olmalarına rağmen, iyi sınıftaki ülkelerle karşılaştırıldığında daha düşük bir gelişmişlik düzeyindedir. AB ülkelerinin çoğu yeterli (S_3) sınıfında yer alırken en düşük sınıfta (S_4) ise sadece Türkiye yer almaktadır. Türkiye'nin ekonomik performansı, bu ülkelerin gerisinde kalmaktadır ve bu durum, Türkiye'nin ekonomik göstergelerinin diğer AB ülkelerine göre daha zayıf olduğunu göstermektedir.

4.7. GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero Sonuçlarının Karşılaştırılması

AB ülkeleri ve Türkiye'nin GRA-TRIL Zero ile Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemlerine dayalı sınıflandırma sonuçları Tablo 30'da gösterilmektedir.

Tablo 30. GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero sonuçları

Ülkeler	GRA-TRIL Zero ile atanan sınıf	Bulanık GRA-TRI Zero ile atanan sınıf	Ülkeler	GRA-TRIL Zero ile atanan sınıf	Bulanık GRA-TRI Zero ile atanan sınıf
Almanya	S_3	S_3	İsveç	S_3	S_3
Avusturya	S_3	S_3	İtalya	S_3	S_3
Belçika	S_3	S_3	Letonya	S_3	S_3
Bulgaristan	S_4	S_3	Litvanya	S_3	S_3
Çekya	S_3	S_3	Lüksemburg	S_2	S_2
Danimarka	S_2	S_2	Macaristan	S_3	S_3
Estonya	S_3	S_3	Malta	S_3	S_3
Finlandiya	S_3	S_3	Polonya	S_3	S_3
Fransa	S_3	S_3	Portekiz	S_3	S_3
Kıbrıs	S_3	S_3	Romanya	S_3	S_3
Hırvatistan	S_3	S_3	Slovakya	S_3	S_3
Hollanda	S_3	S_3	Slovenya	S_3	S_3
İrlanda	S_2	S_2	Yunanistan	S_3	S_3
İspanya	S_3	S_3	Türkiye	S_4	S_4

GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemleriyle yapılan sınıflandırma sonuçlarını karşılaştırdığımızda, genelde benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, iki yöntem arasında bazı farklar da bulunmaktadır.

Öncelikle, Danimarka, İrlanda ve Lüksemburg her iki yöntemle de S_2 sınıfına atanmıştır, bu durum ülkelerin ekonomik performanslarının her iki yöntemde de benzer şekilde yüksek bir seviyede değerlendirildiğini göstermektedir.

Almanya, Avusturya, Belçika, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, İspanya, Hollanda, İtalya, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Yunanistan gibi ülkeler ise her iki yöntemde de S_3 sınıfına yerleştirilmiştir. Bu, söz konusu ülkelerin ekonomik performanslarının yeterli olduğunu, ancak S_2 sınıfındaki ülkeler kadar güçlü bir gelişmişlik sergilemediklerini gösterir.

GRA-TRIL Zero ile yapılan sınıflandırmada S_4 sınıfında yer alan Bulgaristan, Bulanık GRA-TRIL Zero analizinde S_3 sınıfına düşmüştür. Bu durum, Bulanık GRA-TRIL Zero yönteminin, bazı durumlarda daha hassas bir sınıflandırma yaptığı ve ekonomik göstergeleri daha dikkatli analiz ettiği anlamına gelebilmektedir.

Türkiye ise her iki yöntemde de S_4 sınıfına atanmıştır. Türkiye, ekonomik göstergeleri açısından diğer AB ülkelerinin gerisinde kalmış ve en düşük sınıfa yerleştirilmiştir.

5. TARTIŞMA

Tezin uygulama kısmında AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, kişi başına milli gelir, büyüme oranı, işsizlik oranı, enflasyon oranı gibi makroekonomik göstergeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GİA ve Bulanık GİA yöntemleri ile değerlendirilmiş ve sıralamalar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, her iki yöntemin benzer sıralamalar sunduğunu, ancak bazı küçük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çoğu ülke her iki yöntemle de benzer sıralamalarda yer alırken, bazı ülkeler arasında sıralama değişiklikleri gözlemlenmiştir. Örneğin, Çekya GİA sıralamasında 11. sıradayken, Bulanık GİA sıralamasında 12. sırada yer almıştır. İsveç'in sıralamasındaki değişiklik de dikkat çekicidir. Bu farklılıklar, yöntemlerin belirsizlikleri ve hesaplama yaklaşımlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Türkiye, her iki yöntemde de 28. sırada yer alarak sıralamasını korumuştur. Bu durum, her iki yöntemin Türkiye'nin ekonomik performansını benzer şekilde değerlendirdiğini göstermektedir. Ancak, Bulanık GİA'nın belirsizlikleri modelleyerek ekonomik performansı daha kapsamlı bir şekilde değerlendirdiği söylenebilir.

GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemleri ile yapılan sınıflandırma analizlerinde de genel olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Her iki yöntemle de Danimarka, İrlanda ve Lüksemburg gibi ülkeler iyi sınıfa (S_2) atanmış, bu da bu ülkelerin ekonomik performanslarının her iki yöntemde de yüksek olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Almanya, Avusturya, Belçika, Çekya gibi birçok ülke ise her iki yöntemde de S_3 sınıfında yer almıştır, bu da bu ülkelerin ekonomik performanslarının yeterli seviyede olduğunu ancak S_2 sınıfındaki ülkeler kadar yüksek gelişmişlik göstermediğini ortaya koymaktadır. Öne çıkan fark, GRA-TRIL Zero yöntemiyle S_4 sınıfında yer alan Bulgaristan'ın, Bulanık GRA-TRIL Zero ile S_3 sınıfına yükselmesidir. Bu, belirsizliklerden kaynaklı olarak kullanılan verilerle ortaya çıkan bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Türkiye'nin sınıflandırmasına ilişkin olarak, her iki yöntemle de S_4 sınıfına yerleştirilmesi, ülkenin ekonomik performansının AB ülkeleri ile karşılaştırıldığında daha düşük bir seviyede olduğunu açıkça göstermektedir. Türkiye, her iki yöntemle de en düşük sınıfa atanarak ekonomik göstergelerinin, özellikle büyüme oranı, işsizlik oranı ve enflasyon gibi makroekonomik göstergeler açısından diğer AB ülkelerine göre daha zayıf olduğu göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Çalışma, AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performansını değerlendirme ve sınıflandırma amacıyla geliştirilmiş yöntem üzerine odaklanmaktadır. Literatür taraması sonucunda, mevcut konu üzerine ÇKKV yöntemleri ile birçok sıralama çalışması bulunsa da, sınıflandırma amaçlı kullanılan yöntemlere dair çalışmanın bulunmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, bulanık sayılarla yapılan sıralama çalışmalarının bulunduğu, ancak bu konuda sınıflandırma odaklı herhangi bir uygulamanın olmadığı görülmüştür. Es (2018) tarafından geliştirilen GRA-TRIL Zero yöntemi, sınırlayıcı profiller aracılığıyla alternatiflerin sınıflandırılmasını sağlarken literatüre önemli bir katkı sunmuştur. Ancak, bu yöntemin belirsizlik ortamlarında nasıl performans gösterdiği konusunda bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca, GRA-TRI sınıflandırma yönteminin üçgensel bulanık sayılarla herhangi bir uygulamasının olmaması, bu alanda yeni bir bakış açısı geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yapılan çalışma, literatüre yeni bir bakış açısı sağlamaktadır.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, GRA-TRIL Zero ve Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemlerinin ekonomik performans analizinde etkili araçlar olduğunu ortaya koyarken, belirsizliklerin ele alınmasında bulanık yöntemlerin daha gerçekçi ve kapsamlı analizler ortaya koyabildiğini göstermiştir. Özellikle Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi, karar vericinin yargılarındaki ve veriden kaynaklı belirsizliklerin etkisini daha iyi ele alarak ekonomik göstergelerin hassas bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Her iki yöntemle yapılan sınıflandırmalar genel olarak benzerlik göstermiştir. Bazı ülkeler yöntemler arasında farklı sınıflara atanırken, Türkiye'nin her iki yöntemle de en düşük sınıfta yer alması, ülkenin makroekonomik performansında AB ülkelerine kıyasla belirgin bir gerilik yaşadığını göstermektedir. Türkiye'nin düşük performansı, özellikle işsizlik oranı, enflasyon oranı ve büyüme oranı gibi temel makroekonomik göstergelerdeki olumsuzluklardan kaynaklanmaktadır. Bu durum, ülkenin ekonomik yapısında yapısal reformlara ihtiyaç duyulduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin, işsizlik oranını azaltmaya yönelik aktif istihdam politikaları, işgücü piyasasında eğitim ve beceri uyumunu artıracak programlarla desteklenmelidir.

Büyüme oranlarını istikrarlı şekilde artırmak amacıyla Türkiye'nin teknoloji ve yenilik odaklı bir büyüme modeline geçiş yapması, imalat sanayisinin yüksek katma değerli

ürünlere yönlendirilmesi, sanayi politikalarının buna göre şekillendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, eğitim ve araştırma-geliştirme yatırımlarına ağırlık verilmesi, verimlilik artışını destekleyerek sürdürülebilir büyümeyi sağlayabilir.

Özel sektör yatırımlarını teşvik edecek düzenlemeler ve girişimciliğin desteklenmesi de ekonomik büyümeyi hızlandıracaktır. Türkiye'nin ekonomik performansını artırmak için AB ile ekonomik işbirliğini güçlendirecek politikalar ve entegrasyon sürecini hızlandırarak yönetim kalitesini iyileştirmesi de önemli bir strateji olabilir. Bu adımlar, dış ticaret hacmini artırırken Türkiye'nin ekonomik göstergelerini de iyileştirebilir.

Türkiye'nin sıralama ve sınıflandırmalarda daha iyi pozisyonlara gelebilmesi için, makroekonomik göstergelerdeki eksikliklerin giderilmesi ve uzun vadeli kalkınma planlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, özellikle belirsizliklerin yoğun olduğu durumlarda, Bulanık GRA-TRIL Zero yöntemi gibi daha yenilikçi araçların karar alma süreçlerine entegre edilmesi, politika yapıcılara stratejik bir rehberlik sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, AB ülkeleri ve Türkiye'nin ekonomik performanslarını, üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yapılan sınıflandırma ile daha geniş bir perspektifle ele almış ve sınıflandırma odaklı ÇKKV yöntemlerinin ekonomik performans analizleri için güçlü bir araç olduğunu vurgulamıştır. Literatürde, özellikle sınıflandırma amacıyla geliştirilen yöntemlerin azlığı göz önüne alındığında, bu araştırma, hem teorik hem de pratik düzeyde önemli katkılar sunmaktadır.

Gelecekte bu yöntemlerin, ekonomik analizlerin ötesine geçerek sosyal, çevresel ve yönetim odaklı alanlarda da uygulanması, çok boyutlu karar verme süreçlerinde yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca, bu yöntemlerin politika yapıcılar tarafından karar destek aracı olarak kullanılması, ekonomik planlama ve strateji geliştirme süreçlerinde daha etkili sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akyurt, İ. Z., & Kabadayı, N. (2020). Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri ile Kargo Uçak Tipi Seçimi: Bir Türk Havayolu Firmasında Uygulama. *Journal of Yaşar University*, 15(57), 38-55.
- Aro, J. L., Selerio, E. J. Jr., Evangelista, S. S., Maturan, F., Atibing, N. M., & Ocampo, L. (2022). Fermatean Fuzzy CRITIC-CODAS-SORT for Characterizing the Challenges of Circular Public Sector Supply Chains. *Operations Research Perspectives*, 9, 100246.
- Atan, M., & Altan, Ş. (2020). *Örnek Uygulamalarla Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Ayçin, E. (2018). BIST Menkul Kıymet Yatırım Ortaklıkları Endeksinde (XYORT) Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi ve Gri İlişkisel Analiz Bütünleşik Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(2), 595-622.
- Ayçin, E., & Çakın, E. (2019). Ülkelerin İnovasyon Performanslarının Ölçümünde Entropi ve MABAC Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Bütünleşik Olarak Kullanılması. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 19(2), 326-351.
- Aydemir, E., Bedir, F., & Özdemir, G. (2013). Gri sistem teorisi ve uygulamaları: Bilimsel Yazın Taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 187-200.
- Awasthi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier Sustainable Global Supplier Selection Using a Fuzzy AHP-VIKOR Based Approach. *International Journal of Production Economics*, 195, 106-117.
- Begovic, E., Ekinovic, S., & Kljucanin, D. (2018). Grey Relational Multi-Parametric Taguchi Based Optimization of the Process Parameters in Aluminium Face Milling. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, 1(February), 165-169.
- Belacel, N. (2000). Multicriteria assignment method PROAFTN: Methodology and Medical Application. *European Journal of Operational Research*, 125(1), 175-183.
- Bojadziev, G., & Bojadsiev, M. (1995). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications*. London: World Scientific.
- Brans, J. P., Mareschal, B., & Vincke, P. (1982). PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods. *Management Science*, 36(3), 647-656.
- Brans, J. P., & Mareschal, B. (1984). PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 20(3), 221-233.

- Brans, J. P., & Mareschal, B. (1985). The method ELECTRE TRI: An Overview. *Proceedings of the 4th International Conference on Multiple Criteria Decision Making*, pp. 133-142. Istanbul.
- Brans, J. P., & Mareschal, B. (1996). Flowsort: A New Sorting Method for Decision Making. In *Proceedings of the 7th International Conference on Multiple Criteria Decision Making* (pp. 104-116).
- Campos, A. C., Mareschal, B., & de Almeida, A. T. (2015). Fuzzy FlowSort: An Integration of the FlowSort Method and Fuzzy Set Theory for Decision Making on the Basis of Inaccurate Quantitative Data. *Information Sciences*, 293, 115–124.
- Chen, S.-J. (2000). Extensions of the TOPSIS for Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-15.
- Chen, L., & Ren, J. (2018). Multi-attribute Sustainability Evaluation of Alternative Aviation Fuels Based on Fuzzy ANP and Fuzzy Grey Relational Analysis. *Journal of Air Transport Management*, 68, 176-186.
- Çetiner, Ö., Oğuz, S., & Yalçıntaş, D. (2020). Avrupa Birliği'ne Aday ve Potansiyel Aday Ülkelerin Ekonomik Göstergelerinin TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(2), 17-28.
- Deng, J. (1989). Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- Devaud, J. M., Groussaud, G., & Jacquet-Lagrèze, E. (1980). UTADIS: Une Méthode de Construction de Fonctions D'utilité Additives Rendant Compte de Jugements Globaux. *Proceedings of the European Working Group on Multicriteria Decision Aid*, Bochum.
- Doumpos, M., Zanakis, S. H., & Zopounidis, C. (2001). Multicriteria Preference Disaggregation for Classification Problems with an Application to Global Investing Risk. *Decision Sciences*, 32(2), 333-386.
- Ecer, F., & Günay, F. (2014). Borsa İstanbul'da İşlem gören Turizm Şirketlerinin Finansal Performanslarının Gri İlişkisel Analiz Yöntemiyle Ölçülmesi. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 25(1), 35-48.
- Ela, M., Doğan, A., & Uçar, O. (2018). Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye'nin Makroekonomik Performanslarının TOPSIS Yöntemi ile Karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 129-143.
- Es, H. A., Hamzacebi, C., & Firat, S. U. O. (2018). GRA-TRI: A Multicriteria Decision Aid Classification Method Based on Grey Relational Analysis. *Journal of Grey System*, 52-70.
- Es, H. A. (2018). *A novel classification approach based on multicriteria decision aiding*. Marmara University, Institute of Science and Technology, Department of Industrial Engineering. Unpublished Doctoral Dissertation, Istanbul, Turkey.

- Eyüboğlu, K. (2016). Comparison of Developing Countries Macro Performances with AHP and TOPSIS Method. *Çankırı Karatekin University Journal of the Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 6(1), 131-146.
- Gholizade, M., Rahmanimanesh, M., Soltanizadeh, H., & Sana, S. S. (2023). Hesitant triangular fuzzy FlowSort method: The multi-criteria decision-making problems. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 10(1), 2259293.
- Huang, Z., & Wang, V. (2022). Q-step Orthopair Fuzzy Sets Based University Teacher Performance Evaluation. *International Conference on Big Data and Education Conference Proceedings*, 127–132.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.
- Ishizaka, A., Nemery, P., & Pearman, C. (2012). AHPSort: An AHP Based Method for Sorting Problems. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4767-4784.
- Karadağ Albayrak, Ö. (2021). *Gri Sistem Teorisi Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Uygulama Örnekleri*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Kaufmann, A., & Gupta, M. M. (1988). *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*. North Holland: Elsevier Science Publishers B.V.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. Cambridge University Press.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.
- Keršulienė, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Model for Architect Selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645-666.
- Koçel, T. (1999). *Yönetim ve Organizasyon: Teori ve Uygulama*. İstanbul: Beta Yayınları.
- Koşaroğlu, Ş. M. (2021). E7 Ülkelerinin Makroekonomik Performansının Entropi ve Aras Yöntemleriyle Karşılaştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 68, 203–221.
- Kurtay, K. G., Dağıstanlı, H. A., & Serpil, E. R. O. L. (2021). Plastik Boru ve Kaynak Makinesi Seçim Problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Gri İlişkisel Analiz Yöntemlerinin Entegrasyonu. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2(40), 267-291.
- Li, T., Qiao, J., & Ding, W. (2023). Three-way conflict analysis and resolution based on q-rung orthopair fuzzy information. *Information Sciences*, 638, 118959.
- Liang, Y., Qin, J., & Ishizaka, A. (2025). Assessment of Digital Economy Development with The New Multicriteria Sorting Method: DCMSort. *Omega*, 132, 103224.

- Liu, S., & Lin, Y. (2006). Grey Information: Theory and Practical Applications. *Springer Science & Business Media*, 11-21.
- Liu, J., Xu, Z., & Qin, J. (2019). A Sorting Method: BWMSort II in Interval Type-2 Fuzzy Environment. In *2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1–6.
- Masca, M. (2017). Economic Performance Evaluation of European Union Countries by TOPSIS Method. *North Economic Review*, 1(1), 83-94.
- Moheimani, A., Ishizaka, A., Hosseini, S. M. H., & Mangla, S. K. (2023). Sorting Radiology Departments in a Disaster Management Assessment with G-ARASort. *International Journal of Production Research*, 61(12), 3754-3768.
- Ocampo, L., & Yamagishi, K. (2022). Multiple Criteria Sorting of Tourist Sites for Perceived COVID-19 Exposure: The use of VIKORSORT. *Kybernetes*, 51(11), 3121–3152.
- Orhan, M. (2020). Avrupa Birliği Ülkeleri ile Avrupa Birliğine Üyeliğine Aday Olan Ülkelerin Makroekonomik Performanslarının Aras Yöntemi ile Kıyaslanması. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 10(1), 115–129.
- Öksüzokaya, M., & Yaşar, Z. R. (2022). Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin 2016 – 2020 yılları arası makroekonomik performansının ARAS ve COPRAS yöntemleri ile karşılaştırılması. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1), 171-198.
- Özbek, A., & Demirkol, İ. (2019). Avrupa Birliği Ülkeleri ile Türkiye'nin ekonomik göstergelerinin karşılaştırılması. *Yönetim ve Ekonomi*, 26(1), 71-91.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N., & Özceylan, E. (2013). Bulanık Küme Teorisi. Ankara: Nobel Yayınları.
- Sabokbar, H. F., Hosseini, A., Banaitis, A., & Banaitiene, N. (2016). A Novel Sorting Method TOPSIS-sort: An Application for Tehran Environmental Quality Evaluation. *E+M Ekonomie a Management*, 19(2), 87–104.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McGraw-Hill.
- Sevgin, H. & Kundakcı, N. (2017). TOPSIS ve MOORA Yöntemleri ile Avrupa Birliği'ne Üye Olan Ülkelerin ve Türkiye'nin Ekonomik Göstergelere Göre Sıralanması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(3), 87-108.
- Seyhan, M., Es, H. A., & Sarıoğlu, M. (2024). Overall aerodynamic performance of the airfoils with different amplitudes via a fuzzy decision making based Taguchi methodology. *Applied Soft Computing*, 165.
- Şengül, Ü., & Şengül, A. B. (2017, October). Akademik Performans Değerlendirmesinde Gri İlişkisel Analiz Yöntemi. In *ICPESS (International Congress on Politic, Economic and Social Studies)*, No. 3.

- Simon, H. A. (1977). *The new science of management decision*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Tan, Y., Zheng, P., E, J., Han, D., & Feng, C. (2022). Effects of Inlet Velocity and Structure Parameters on the Performance of a Rotary Diesel Particulate Filter for Truck Diesel Engine Based on Fuzzy Grey Relational Analysis. *Chemosphere*, 307, 135843.
- Taskin Gumus, A., Yayla, A. Y., Çelik, E., & Yildiz, A. (2013). A Combined Fuzzy AHP and Fuzzy-GRA Methodology for Hydrogen Energy Storage Method Selection in Turkey. *Energies*, 6, 3017-3032.
- Tiwari, A., Lohani, Q. M. D., & Muhuri, P. K. (2022). Intuitionistic fuzzy grey relational analysis sorting technique. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1–6.
- Tiwari, A., & Lohani, Q. M. D. (2023). Proposed Intuitionistic Fuzzy Entropy Measure Along with Novel Multicriteria Sorting Techniques. *IEEE Access*, 11, 7630–7656.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht: Springer Science Business Media.
- Tuang-tuang, J., Evangelista, S. S., Espinosa, E., & Ocampo, L. (2025). CoCoSort: A Multiple Criteria Sorting Method for Managing The Protection of Marine Resources. *Environment Systems and Decisions*, 45(1), 1.
- Uludağ, A. S. & Doğan, H. (2018). Evaluation of Renewable Energy Alternatives and Selection of Suitable Facility Location: A Study in Turkey. *The International Journal of Economic and Social Research*, 14(2), 123-139.
- Uludağ, A. S. & Ümit, A. Ö. (2020). An Analysis of Value-Added Production and Macroeconomic Performances of the Turkic Countries Via DEMATEL and COPRAS Methods. *Sosyoekonomi*, 28(45), 139-164.
- Ulutaş, A., Özkan, A. M. & Tağraf, H. (2018). Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Gri İlişkisel Analizi Yöntemleri Kullanılarak Personel Seçimi Yapılması. *Electronic Journal of Social Sciences*, 17(65).
- Urfalıoğlu, F. & Genç, T. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Türkiye'nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri ile Karşılaştırılması. *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 35(2), 329-359.
- URL-1. (2024 Haziran 13). Avrupa Birliği Ülkelerinin Temel Verileri: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/countryfacts/> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2024 Haziran 13). GDP per capita (current US\$) for European Union: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=EU> adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2024 Haziran 13). *Ekonomik Görünüm 2024*. T.C. Ticaret Bakanlığı. [https://ticaret.gov.tr/data/5e18288613b8761dccd355ce/Ekonomik%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%202024%20\(Haziran\).pdf](https://ticaret.gov.tr/data/5e18288613b8761dccd355ce/Ekonomik%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%202024%20(Haziran).pdf) adresinden alınmıştır.

- URL-4. (2024 Şubat 17). Yani Başımızdaki Dev Pazar: Avrupa Birliği. T.C. Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/avrupa-birligi/yani-basimizdaki-dev-pazar-avrupa-birligi> adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2024 Şubat 17). Trade Map: Trade statistics for international business development. https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1 adresinden alınmıştır.
- Yatsalo, B., Radaev, A., Haktanir, E., Skulimowski, A. M. J., & Kahraman, C. (2023). A Family of Fuzzy Multi-criteria Sorting Models FTOPSIS-Sort: Features, Case Study Analysis, and The Statistics of Distinctions. *Expert Systems with Applications*, 237, 121486.
- Yıldırım, F., & Önder, E. (2018). *Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemleri Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Bursa: Dora Yayınları.
- Yüksel, İ., & Dağdeviren, M. (2007). Using The Analytic Network Process in a SWOT Analysis – A case study for a textile firm. *Information Sciences*, 177(16), 3364-3382.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zolfani, S. H. & Saparauskas, J. (2013). New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System. *Engineering Economics*, 24(5), 408-414.
- Zolfani, S. & Banihashemi, S. (2014). Personnel Selection Based on a Novel Model of Game Theory and MCDM Approaches. In *Proceedings of 8th International Scientific Conference Business and Management*, 191-198.

8. EKLER

Ek 1. Ana Matris

M = A u r O R	K1 (Kiri Barın Milli Gelir \$)			K2 (Ekonomik Bkışime)			K3 (GSYİH Milyon \$)			K4 (İşsizlik Oranı)			K5 (Enflasyon)			K6 (Bireç Ağırlı)			K7 (Kamu Borç Oranı)			K8 (Dış Ticaret Dengesi Bin \$)		
	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³	b ¹	b ²	b ³
1 Almanya	47471	52146	38020	0.18	0.20	0.22	4131990	4931100	5050210	2.79	3.10	3.41	5.40	6.60	6.60	23.81	26.19	27.24	57.24	63.60	69.96	90.00	100.00	110.00
2 Avusturya	50855	56506	62157	0.40	0.44	0.48	486798	540857	594576	4.59	5.10	5.61	6.93	7.70	8.47	23.14	25.71	28.29	70.02	77.80	85.58	0.28	0.31	0.34
3 Belçika	48128	53475	58823	1.04	1.16	1.28	580673	651932	720711	4.95	5.50	6.05	2.07	2.30	2.53	37.71	41.90	46.10	94.68	105.20	115.72	38.16	42.40	46.64
4 Bulgaristan	14218	15798	17377	2.47	2.74	3.01	97140	107953	118726	3.87	4.30	4.73	7.74	8.60	9.46	6.00	6.67	7.33	20.79	23.10	25.41	1.56	1.51	1.66
5 Çekya	27385	30427	33470	0.59	0.66	0.73	295292	323880	358468	2.34	2.60	2.86	13.32	14.80	16.28	31.71	35.24	38.76	39.60	44.00	48.40	39.79	44.21	48.63
6 Danimarka	61171	67967	74764	1.92	2.13	2.34	369890	409989	450988	4.59	5.10	5.61	3.06	3.40	3.74	90.00	100.00	110.00	26.37	29.30	32.23	36.24	40.26	44.29
7 Estonya	26841	29824	32806	0.14	0.15	0.17	39137	43486	47855	5.76	6.40	7.04	8.19	9.10	10.01	29.14	32.38	35.62	17.64	19.60	21.56	0.80	0.89	0.98
8 Finlandiya	48380	53756	59131	0.22	0.24	0.26	27250	300055	338861	6.48	7.20	7.92	3.87	4.30	4.73	23.14	25.71	28.29	68.22	75.80	83.38	0.07	0.08	0.08
9 Fransa	40015	44461	48907	0.67	0.74	0.81	2817013	3130014	3443015	6.57	7.30	8.03	5.13	5.70	6.27	47.14	52.38	57.62	99.54	110.60	121.66	33.90	37.67	41.44
10 Kırs	31231	34701	38172	2.25	2.50	2.75	29007	32320	35453	5.49	6.10	6.71	3.51	3.90	4.29	90.00	100.00	110.00	69.57	77.30	85.03	2.15	2.39	2.63
11 Hırvatistan	19314	21460	23606	2.70	3.00	3.30	79268	88076	96884	5.49	6.10	6.71	7.56	8.40	9.24	6.00	6.67	7.33	56.70	63.00	69.30	4.31	4.79	5.27
12 Hollanda	56283	62537	68790	0.54	0.60	0.66	1038262	1142513	1256764	3.24	3.60	3.96	3.69	4.10	4.51	2.57	2.86	3.14	41.85	46.50	51.15	52.63	58.48	64.33
13 İrlanda	93316	103685	114053	1.32	1.47	1.62	507618	564020	620422	3.87	4.30	4.73	4.68	5.20	5.72	78.00	86.67	95.33	39.33	43.70	48.07	48.92	54.35	59.79
14 İspanya	29409	32677	35945	1.71	1.90	2.09	1482403	1647114	1811825	10.98	12.20	13.42	3.06	3.40	3.74	30.86	34.29	37.71	96.93	107.70	118.47	11.79	13.09	14.40
15 İsveç	50675	56005	61956	0.18	0.20	0.22	560733	623048	685353	6.93	7.70	8.47	5.51	5.90	6.49	5.14	5.71	6.29	28.08	31.20	34.32	35.05	38.95	42.84
16 İtalya	34256	38373	42211	0.63	0.70	0.77	2095225	2328028	2560831	6.93	7.70	8.47	5.51	5.90	6.49	63.43	70.48	77.52	123.57	137.30	151.03	42.87	47.63	52.39
17 Letonya	20866	23184	25303	0.45	0.50	0.55	42030	46700	51370	5.85	6.50	7.15	8.19	9.10	10.01	18.86	20.95	23.05	39.24	43.60	47.96	1.12	1.25	1.37
18 Litvanya	24393	27103	29813	1.99	2.21	2.43	73053	81170	89287	6.21	6.90	7.59	7.83	8.70	9.57	6.86	7.62	8.38	34.47	38.30	42.13	1.40	1.55	1.71
19 Lüksemburg	115433	128259	141083	1.17	1.30	1.43	77180	85755	94331	4.68	5.20	5.72	2.61	2.90	3.19	11.14	12.38	13.62	23.13	25.70	28.27	2.14	2.38	2.61
20 Macaristan	19932	22147	24562	1.98	2.20	2.42	201072	223413	245754	3.69	4.10	4.51	15.30	17.00	18.70	57.43	63.81	70.19	66.15	73.50	80.85	36.12	40.13	44.14
21 Malta	34094	37882	41671	4.54	5.04	5.54	20463	22737	25011	2.79	3.10	3.41	5.04	5.60	6.16	42.00	46.67	51.33	45.36	50.40	55.44	1.19	1.32	1.45
22 Polonya	19902	22113	24324	2.76	3.07	3.38	760161	844623	929083	2.52	2.80	3.08	9.81	10.90	11.99	43.71	48.57	53.43	44.64	49.60	54.56	37.10	41.22	45.35
23 Portekiz	24548	27275	30003	1.56	1.73	1.90	269554	298949	328844	5.85	6.50	7.15	4.77	5.30	5.83	73.71	81.90	90.10	89.19	99.10	109.01	7.13	7.92	8.72
24 Romanya	16577	18419	20261	2.49	2.77	3.05	332974	369971	406968	5.04	5.60	6.16	8.73	9.70	10.67	56.57	62.86	69.14	43.92	48.80	53.68	7.55	8.39	9.23
25 Slovakya	22023	24470	26917	1.87	2.08	2.29	126727	140808	154889	5.22	5.80	6.38	9.90	11.00	12.10	42.00	46.67	51.33	50.40	56.00	61.60	34.32	38.13	41.94
26 Slovenya	28947	31364	33580	1.81	2.01	2.21	64891	72101	79311	3.33	3.70	4.07	6.48	7.20	7.92	21.43	23.81	26.19	62.28	69.20	76.12	0.53	0.58	0.64
27 Yunanistan	20691	22990	25389	1.84	2.04	2.24	225248	250276	275304	9.99	11.10	12.21	3.78	4.20	4.62	13.71	15.24	16.76	145.71	161.90	178.09	8.09	8.99	9.89
28 Türkiye	11799	13110	14421	4.05	4.50	4.95	9000000	10000000	11000000	0.09	0.10	0.11	0.90	1.00	1.10	180.00	200.00	220.00	220.00	220.00	220.00	180.00	200.00	220.00
F ₁	270000	300000	330000	13.5	15	16.5	4950000	5500000	6050000	4.50	5.00	5.50	2.70	3.00	3.30	135.00	150.00	165.00	18.00	20.00	22.00	135.00	150.00	165.00
F ₂	135000	150000	165000	4.05	4.5	4.95	4950000	5500000	6050000	4.50	5.00	5.50	2.70	3.00	3.30	135.00	150.00	165.00	18.00	20.00	22.00	135.00	150.00	165.00
F ₃	58500	65900	71500	1.8	2	2.2	3150000	3500000	3850000	9.00	10.00	11.00	5.40	6.00	6.60	72.00	80.00	88.00	45.00	50.00	55.00	15.00	20.00	22.00
F ₄	18000	20000	22000	0.27	0.3	0.33	900000	1000000	1100000	13.50	15.00	16.50	9.00	10.00	11.00	4.50	5.00	5.50	90.00	100.00	110.00	0.05	0.05	0.06
F ₅	0	0	0	0	0	0	9000	10000	11000	13.95	15.50	17.05	112.50	125.00	137.50	0.00	0.00	0.00	180.00	200.00	220.00	0.00	0.00	0.00
R ₁	202500	225000	247500	8.78	9.75	10.73	6975000	7750000	8525000	2.30	2.55	2.81	1.80	2.00	2.20	157.50	175.00	192.50	94.5	105.0	115.5	157.50	175.00	192.50
R ₂	96750	107500	118250	2.93	3.25	3.58	4050000	4500000	4950000	6.75	7.50	8.25	4.05	4.50	4.95	103.50	115.00	126.50	31.50	35.00	38.50	76.50	85.00	93.50
R ₃	38250	42500	46750	1.04	1.15	1.27	2025000	2250000	2475000	11.25	12.50	13.75	7.20	8.00	8.80	38.25	42.50	46.75	67.50	75.00	82.50	9.02	10.03	11.03
R ₄	9000	10000	11000	0.14	0.15	0.17	454500	502000	555500	13.73	15.25	16.78	60.75	67.50	74.25	2.25	2.50	2.75	135.00	150.00	165.00	0.02	0.03	0.03

Ek 2. Normalizasyon Matrisi

$M^N = A^N \cdot U \cdot r^N \cdot U \cdot R^N$	K1 (Kiri Başına Milli Gelir \$)			K2 (Ekonomik Büyüme)			K3 (GSYİH Milyon \$)			K4 (İzmitik Oran)			K5 (Enflasyon)			K6 (Bite Açık)			K7 (Kamu Borç Oran)			K8 (Dış Ticaret Dengesi Bin \$)		
	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3
1 Almanya	0.1439	0.1598	0.1758	0.0109	0.0121	0.0133	0.3751	0.4169	0.4387	0.8408	0.8225	0.8042	0.9671	0.9627	0.9583	0.0974	0.1082	0.1190	0.7429	0.7138	0.6848	0.4091	0.4545	0.5000
2 Avusturya	0.1541	0.1712	0.1884	0.0240	0.0267	0.0293	0.0435	0.0484	0.0533	0.7347	0.7046	0.6745	0.9539	0.9502	0.9446	0.1053	0.1169	0.1286	0.6845	0.6490	0.6135	0.0013	0.0014	0.0015
3 Belçika	0.1458	0.1620	0.1783	0.0633	0.0703	0.0773	0.0528	0.0588	0.0648	0.7154	0.6810	0.6486	0.9814	0.9898	0.9881	0.1714	0.1905	0.2095	0.5720	0.5240	0.4759	0.1735	0.1927	0.2120
4 Bulgaristan	0.0431	0.0479	0.0527	0.1495	0.1661	0.1827	0.0080	0.0090	0.0100	0.7771	0.7518	0.7264	0.9499	0.9436	0.9373	0.0273	0.0303	0.0333	0.9092	0.8987	0.8881	0.0062	0.0069	0.0075
5 Çekya	0.0830	0.0922	0.1014	0.0360	0.0400	0.0440	0.0259	0.0288	0.0318	0.8673	0.8520	0.8367	0.9091	0.8982	0.8874	0.1402	0.1562	0.1762	0.8234	0.8033	0.7832	0.1809	0.2010	0.2211
6 Danimarka	0.1854	0.2060	0.2266	0.1162	0.1291	0.1420	0.0328	0.0365	0.0402	0.7347	0.7046	0.6745	0.9842	0.9817	0.9792	0.1492	0.1671	0.1921	0.8838	0.8704	0.8570	0.1647	0.1830	0.2013
7 Estonya	0.0813	0.0904	0.0994	0.0082	0.0091	0.0100	0.0027	0.0031	0.0035	0.6637	0.6279	0.5902	0.9466	0.9400	0.9333	0.1323	0.1472	0.1619	0.9236	0.9147	0.9057	0.0036	0.0041	0.0045
8 Finlandiya	0.1466	0.1629	0.1792	0.0131	0.0145	0.0160	0.0244	0.0272	0.0300	0.6232	0.5808	0.5383	0.9783	0.9751	0.9720	0.1052	0.1169	0.1286	0.6927	0.6581	0.6236	0.0003	0.0003	0.0004
9 Fransa	0.1213	0.1347	0.1482	0.0404	0.0448	0.0493	0.2555	0.2840	0.3124	0.6179	0.5749	0.5318	0.9690	0.9649	0.9607	0.2143	0.2381	0.2619	0.5498	0.4993	0.4488	0.1541	0.1712	0.1884
10 Kıbrıs	0.0946	0.1052	0.1157	0.1364	0.1515	0.1667	0.0018	0.0024	0.0030	0.6816	0.6456	0.6097	0.9809	0.9780	0.9752	0.4091	0.4545	0.5000	0.6866	0.6513	0.6160	0.0098	0.0109	0.0120
11 Hollanda	0.0585	0.0650	0.0715	0.1636	0.1818	0.2000	0.0064	0.0072	0.0080	0.6816	0.6456	0.6097	0.9512	0.9451	0.9389	0.0273	0.0303	0.0333	0.7453	0.7166	0.6878	0.0196	0.0218	0.0240
12 İrlanda	0.1706	0.1895	0.2085	0.0327	0.0364	0.0400	0.0927	0.1031	0.1135	0.8143	0.7930	0.7718	0.9796	0.9766	0.9736	0.1017	0.1130	0.1243	0.8131	0.7919	0.7707	0.2392	0.2658	0.2924
13 İspanya	0.2828	0.3142	0.3456	0.0802	0.0891	0.0980	0.0454	0.0505	0.0556	0.7771	0.7518	0.7264	0.9723	0.9685	0.9647	0.3545	0.3939	0.4333	0.8246	0.8047	0.7847	0.2224	0.2471	0.2718
14 Japonya	0.0891	0.0990	0.1089	0.1036	0.1152	0.1267	0.1341	0.1490	0.1640	0.3579	0.2860	0.2140	0.9842	0.9817	0.9792	0.1403	0.1538	0.1714	0.5617	0.5126	0.4634	0.0536	0.0595	0.0655
15 Jave	0.1536	0.1706	0.1877	0.0109	0.0121	0.0133	0.0502	0.0539	0.0615	0.5967	0.5513	0.5059	0.9677	0.9634	0.9591	0.2833	0.3203	0.3524	0.8759	0.8617	0.8475	0.1393	0.1770	0.1947
16 İtalya	0.1047	0.1163	0.1279	0.0382	0.0424	0.0467	0.1898	0.2110	0.2322	0.5967	0.5513	0.5059	0.9677	0.9634	0.9591	0.2833	0.3203	0.3524	0.4401	0.3775	0.3148	0.1949	0.2165	0.2382
17 Letonya	0.0632	0.0703	0.0773	0.0273	0.0303	0.0333	0.0030	0.0034	0.0039	0.6604	0.6221	0.5837	0.9466	0.9400	0.9333	0.0857	0.0952	0.1048	0.8250	0.8051	0.7852	0.0051	0.0057	0.0062
18 Litvanya	0.0739	0.0821	0.0903	0.1205	0.1339	0.1473	0.0058	0.0066	0.0073	0.6392	0.5985	0.5578	0.9493	0.9429	0.9362	0.0312	0.0346	0.0381	0.8468	0.8293	0.8118	0.0063	0.0071	0.0078
19 Lüksemburg	0.3498	0.3887	0.4275	0.0709	0.0788	0.0867	0.0062	0.0070	0.0078	0.7294	0.6937	0.6680	0.9875	0.9854	0.9832	0.0508	0.0563	0.0619	0.8985	0.8868	0.8751	0.0097	0.0108	0.0119
20 Macaristan	0.0604	0.0671	0.0738	0.1200	0.1333	0.1467	0.0175	0.0195	0.0215	0.7877	0.7636	0.7394	0.8946	0.8821	0.8697	0.2610	0.2900	0.3190	0.7022	0.6686	0.6351	0.1642	0.1824	0.2007
21 Malta	0.1033	0.1148	0.1263	0.2749	0.3055	0.3360	0.0010	0.0012	0.0015	0.8408	0.8225	0.8042	0.9697	0.9656	0.9615	0.1908	0.2121	0.2333	0.7971	0.7741	0.7511	0.0054	0.0060	0.0066
22 Polonya	0.0603	0.0670	0.0737	0.1675	0.1861	0.2047	0.0683	0.0760	0.0837	0.8567	0.8402	0.8237	0.9348	0.9268	0.9188	0.1887	0.2208	0.2429	0.8004	0.7777	0.7551	0.1686	0.1874	0.2061
23 Portekiz	0.0744	0.0827	0.0909	0.0944	0.1048	0.1153	0.0237	0.0264	0.0291	0.6604	0.6221	0.5837	0.9717	0.9678	0.9639	0.3551	0.3723	0.4095	0.5970	0.5518	0.5066	0.0324	0.0360	0.0396
24 Romanya	0.0502	0.0558	0.0614	0.1511	0.1679	0.1847	0.0295	0.0328	0.0362	0.7081	0.6751	0.6421	0.9427	0.9356	0.9285	0.2571	0.2857	0.3143	0.8037	0.7814	0.7591	0.0943	0.1042	0.1140
25 Slovenya	0.0667	0.0742	0.0816	0.1135	0.1261	0.1387	0.0107	0.0120	0.0133	0.6975	0.6633	0.6291	0.9341	0.9261	0.9180	0.1909	0.2121	0.2333	0.7741	0.7485	0.7230	0.1560	0.1733	0.1906
26 Sırbistan	0.0877	0.0975	0.1072	0.1096	0.1218	0.1340	0.0051	0.0057	0.0064	0.8090	0.7871	0.7653	0.9592	0.9539	0.9486	0.0974	0.1082	0.1190	0.7199	0.6883	0.6567	0.0024	0.0027	0.0029
27 Yunanistan	0.0627	0.0697	0.0766	0.1113	0.1236	0.1360	0.0197	0.0220	0.0242	0.4163	0.3508	0.2854	0.9789	0.9738	0.9728	0.0623	0.0693	0.0762	0.3391	0.2652	0.1913	0.0368	0.0409	0.0450
28 Türkiye	0.0558	0.0597	0.0637	0.2455	0.2727	0.3000	0.0733	0.0816	0.0898	0.5065	0.4511	0.3956	0.5798	0.5324	0.4850	0.2104	0.2338	0.2571	0.8829	0.8695	0.8560	0.1166	0.1295	0.1425
T1	0.8182	0.9091	1.0000	0.8182	0.9091	1.0000	0.8180	0.9090	1.0000	0.9988	1.0000	0.9994	0.9988	1.0000	0.9993	0.9983	0.8182	0.9091	1.0000	0.9995	0.9991	0.8182	0.9091	1.0000
T2	0.4091	0.4545	0.5000	0.2455	0.2727	0.3000	0.4495	0.4996	0.5496	0.7400	0.7105	0.6810	0.9868	0.9846	0.9824	0.6136	0.6818	0.7500	0.9220	0.9128	0.9037	0.6136	0.6818	0.7500
T3	0.1773	0.1970	0.2167	0.1091	0.1212	0.1333	0.2838	0.3176	0.3495	0.4746	0.4137	0.3567	0.9671	0.9627	0.9583	0.3373	0.3636	0.4000	0.7987	0.7759	0.7531	0.0818	0.0909	0.1000
T4	0.0545	0.0606	0.0667	0.0164	0.0182	0.0200	0.0811	0.0902	0.0993	0.2093	0.1209	0.0324	0.9407	0.9334	0.9261	0.0505	0.0527	0.0550	0.3933	0.3477	0.3021	0.0002	0.0002	0.0003
T5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.1828	0.0914	0.0000	0.9340	0.9300	0.9259	0.0000	0.0000	0.0000	0.1826	0.0913	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R1	0.6136	0.6818	0.7500	0.5318	0.5909	0.6500	0.6358	0.7043	0.7748	0.8700	0.8550	0.8399	0.9934	0.9919	0.9905	0.7159	0.7955	0.8750	0.9610	0.9562	0.9514	0.7159	0.7955	0.8750
R2	0.2932	0.3258	0.3583	0.1773	0.1970	0.2167	0.3677	0.4086	0.4495	0.6073	0.5631	0.5189	0.9769	0.9736	0.9704	0.4705	0.5227	0.5750	0.8603	0.8444	0.8284	0.3477	0.3864	0.4250
R3	0.1159	0.1288	0.1417	0.0627	0.0697	0.0767	0.1834	0.2039	0.2244	0.3420	0.2683	0.1946	0.9539	0.9480	0.9422	0.1739	0.1932	0.2125	0.6960	0.6618	0.6276	0.0410	0.0456	0.0501
R4	0.0273	0.0303	0.0333	0.0082	0.0091	0.0100	0.0405	0.0451	0.0497	0.1960	0.1061	0.0162	0.5619	0.5124	0.4630	0.0102	0.0114	0.0125	0.3880	0.3195	0.2510	0.0001	0.0001	0.0001

Ek 3. Karşılaştırma Matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5			K6			K7			K8		
	R_1^i	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3	b^1	b^2	b^3		
A_1^N	0.1439	0.1598	0.1758	0.0109	0.0121	0.0133	0.3751	0.4169	0.4587	0.8408	0.8225	0.8042	0.9671	0.9627	0.9583	0.0974	0.1082	0.1190	0.7429	0.7138	0.6848	0.4091	0.4545	
R_1^N	0.6136	0.6818	0.7500	0.5318	0.5909	0.6500	0.6338	0.7043	0.7748	0.8700	0.8550	0.8399	0.9934	0.9919	0.9905	0.7159	0.7955	0.8750	0.9610	0.9562	0.9514	0.7159	0.7955	
R_2^N	0.2932	0.3258	0.3583	0.1773	0.1970	0.2167	0.3677	0.4086	0.4495	0.6073	0.5631	0.5189	0.9769	0.9736	0.9704	0.4705	0.5227	0.5750	0.8603	0.8444	0.8284	0.3477	0.3864	
R_3^N	0.1159	0.1288	0.1417	0.0627	0.0697	0.0767	0.1834	0.2039	0.2244	0.3420	0.2683	0.1946	0.9539	0.9480	0.9422	0.1739	0.1932	0.2125	0.6960	0.6618	0.6276	0.0410	0.0456	
R_4^N	0.0273	0.0303	0.0333	0.0082	0.0091	0.0100	0.0405	0.0451	0.0497	0.1960	0.1061	0.0162	0.5619	0.5124	0.4630	0.0102	0.0114	0.0125	0.3880	0.3195	0.2510	0.0001	0.0001	
R_2^*																								
A_2^N	0.1541	0.1712	0.1884	0.0240	0.0267	0.0293	0.0435	0.0484	0.0533	0.7347	0.7046	0.6745	0.9559	0.9502	0.9446	0.1052	0.1169	0.1286	0.6845	0.6490	0.6135	0.0013	0.0014	
R_1^N	0.6136	0.6818	0.7500	0.5318	0.5909	0.6500	0.6338	0.7043	0.7748	0.8700	0.8550	0.8399	0.9934	0.9919	0.9905	0.7159	0.7955	0.8750	0.9610	0.9562	0.9514	0.7159	0.7955	
R_2^N	0.2932	0.3258	0.3583	0.1773	0.1970	0.2167	0.3677	0.4086	0.4495	0.6073	0.5631	0.5189	0.9769	0.9736	0.9704	0.4705	0.5227	0.5750	0.8603	0.8444	0.8284	0.3477	0.3864	
R_3^N	0.1159	0.1288	0.1417	0.0627	0.0697	0.0767	0.1834	0.2039	0.2244	0.3420	0.2683	0.1946	0.9539	0.9480	0.9422	0.1739	0.1932	0.2125	0.6960	0.6618	0.6276	0.0410	0.0456	
R_4^N	0.0273	0.0303	0.0333	0.0082	0.0091	0.0100	0.0405	0.0451	0.0497	0.1960	0.1061	0.0162	0.5619	0.5124	0.4630	0.0102	0.0114	0.0125	0.3880	0.3195	0.2510	0.0001	0.0001	
R_3^*																								
A_3^N	0.1458	0.1620	0.1783	0.0633	0.0703	0.0773	0.0528	0.0588	0.0648	0.7134	0.6810	0.6486	0.9914	0.9898	0.9881	0.1714	0.1905	0.2095	0.5720	0.5240	0.4759	0.1735	0.1927	
R_1^N	0.6136	0.6818	0.7500	0.5318	0.5909	0.6500	0.6338	0.7043	0.7748	0.8700	0.8550	0.8399	0.9934	0.9919	0.9905	0.7159	0.7955	0.8750	0.9610	0.9562	0.9514	0.7159	0.7955	
R_2^N	0.2932	0.3258	0.3583	0.1773	0.1970	0.2167	0.3677	0.4086	0.4495	0.6073	0.5631	0.5189	0.9769	0.9736	0.9704	0.4705	0.5227	0.5750	0.8603	0.8444	0.8284	0.3477	0.3864	
R_3^N	0.1159	0.1288	0.1417	0.0627	0.0697	0.0767	0.1834	0.2039	0.2244	0.3420	0.2683	0.1946	0.9539	0.9480	0.9422	0.1739	0.1932	0.2125	0.6960	0.6618	0.6276	0.0410	0.0456	
R_4^N	0.0273	0.0303	0.0333	0.0082	0.0091	0.0100	0.0405	0.0451	0.0497	0.1960	0.1061	0.0162	0.5619	0.5124	0.4630	0.0102	0.0114	0.0125	0.3880	0.3195	0.2510	0.0001	0.0001	
R_{28}^*		$\vdots$			$\vdots$			$\vdots$			$\vdots$			$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$		
A_{28}^N	0.0358	0.0397	0.0437	0.2455	0.2727	0.3000	0.0733	0.0816	0.0898	0.5065	0.4511	0.3956	0.5798	0.5324	0.4850	0.2104	0.2338	0.2571	0.8829	0.8695	0.8560	0.1166	0.1295	
R_1^N	0.6136	0.6818	0.7500	0.5318	0.5909	0.6500	0.6338	0.7043	0.7748	0.8700	0.8550	0.8399	0.9934	0.9919	0.9905	0.7159	0.7955	0.8750	0.9610	0.9562	0.9514	0.7159	0.7955	
R_2^N	0.2932	0.3258	0.3583	0.1773	0.1970	0.2167	0.3677	0.4086	0.4495	0.6073	0.5631	0.5189	0.9769	0.9736	0.9704	0.4705	0.5227	0.5750	0.8603	0.8444	0.8284	0.3477	0.3864	
R_3^N	0.1159	0.1288	0.1417	0.0627	0.0697	0.0767	0.1834	0.2039	0.2244	0.3420	0.2683	0.1946	0.9539	0.9480	0.9422	0.1739	0.1932	0.2125	0.6960	0.6618	0.6276	0.0410	0.0456	
R_4^N	0.0273	0.0303	0.0333	0.0082	0.0091	0.0100	0.0405	0.0451	0.0497	0.1960	0.1061	0.0162	0.5619	0.5124	0.4630	0.0102	0.0114	0.0125	0.3880	0.3195	0.2510	0.0001	0.0001	

ÖZGEÇMİŞ

Cansu AKKAYA, ilköğrenimini İskenderpaşa İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2015 yılında Çarşıbaşı Anadolu Sağlık Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2015-2016 öğretim yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 yılında Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim dalında önlisans programına başladı. 2023 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir.