

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GRİ KARAR VERME MODELLERİ İLE
BULUT HİZMET SAĞLAYICISI SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülce TUNALI

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2026

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GRİ KARAR VERME MODELLERİ İLE
BULUT HİZMET SAĞLAYICISI SEÇİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gülce TUNALI
(507201104)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tuncay ÖZCAN

HAZİRAN 2026

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SELECTION OF CLOUD SERVICE PROVIDERS
USING GREY DECISION-MAKING MODELS**

M.Sc. THESIS

**Gölce TUNALI
(507201104)**

Department of Management Engineering

Management Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Tuncay ÖZCAN

JUNE 2026

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507201104 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gülce TUNALI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GRİ KARAR VERME MODELLERİ İLE BULUT HİZMET SAĞLAYICISI SEÇİMİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Tuncay ÖZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fatma Önay KOÇOĞLU
İstanbul Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : **21 Mayıs 2026**
Savunma Tarihi : **22 Haziran 2026**





Bana inanan herkese,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, bulut hizmet sağlayıcısı seçimi probleminin çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında, karar verme sürecinde ortaya çıkan belirsizliklerin daha etkin biçimde ele alınabilmesi için Gri DEMATEL ve Gri TOPSIS yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Tez çalışmam süresince bilgi, deneyim ve akademik yönlendirmeleriyle bana destek olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tuncay ÖZCAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca katkı sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyelerine ve bu süreçte desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmam boyunca sabır, anlayış ve desteklerini esirgemeyen aileme ve hayat arkadaşım Atılay Güvercin'e teşekkür ederim.

Haziran 2026

Gülce TUNALI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. METODOLOJİ	25
3.1 Gri Sistem Teorisi	25
3.2 Gri Sayılar	27
3.2.1 Sürekli, ayırık ve sonsuz gri sayı türleri	28
3.2.1.1 Sürekli beyaz sayılar	28
3.2.1.2 Ayırık beyaz sayılar	28
3.2.1.3 Sonlu ayırık gri sayılar	29
3.2.1.4 Bölümlenmiş siyah sayılar	29
3.2.1.5 Ayırık siyah sayılar	29
3.2.1.6 Alt sınıra sahip sonsuz ayırık gri sayılar	29
3.2.1.7 Alt sınıra sahip sonsuz sürekli gri sayılar	29
3.2.1.8 Üst sınıra sahip ayırık sonsuz gri sayılar	30
3.2.1.9 Üst sınıra sahip sürekli sonsuz gri sayılar	30
3.3 Gri Karar Verme Modelleri	33
3.3.1 Gri-TOPSIS yöntemi	33
3.3.2 Gri-DEMATEL yöntemi	36
4. UYGULAMA	41
4.1 Karar Problemi ve Veri Seti	41
4.2 Ana Kriterler ve Alt Kriterlerden Oluşan Hiyerarşik Yapı	42
4.3 Gri DEMATEL ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması	43
4.3.1 Ana kriterlerin gri DEMATEL ile ağırlıklandırılması	44
4.3.2 Alt kriterlerin gri DEMATEL ile ağırlıklandırılması	48
4.4 Gri TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması	49
4.5 Duyarlılık Analizi	52
4.5.1 Maliyet kriteri ağırlığındaki değişim	53
4.5.2 Performans kriteri ağırlığındaki değişim	55
4.5.3 Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığındaki değişim	58
4.5.4 Esneklik kriteri ağırlığındaki değişim	61
4.5.5 Genel duyarlılık analizi değerlendirmesi	64
5. SONUÇLAR	67
5.1 Bulguların Değerlendirilmesi	67
5.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	71
KAYNAKLAR	73

ÖZGEÇMİŞ	79
-----------------------	-----------



KISALTMALAR

AAMSD	: Absolute Aggregative Model for Stacked Divergence
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	: Analitik Ağ Prosesi
ARAS	: Toplamsal Oran Değerlendirme
ASOM	: Aggregative and Accumulative Stacked Ordering Model
AWS	: Amazon Web Services
BT	: Bilgi Teknolojileri
BWM	: En İyi–En Kötü Yöntemi
C3SF	: Consensus-Based Cloud Service Selection Framework
CODAS	: Birleşik Uzaklık Temelli Değerlendirme
CoCoSo	: Birleşik Uzlaşık Çözüm
COPRAS	: Karmaşık Oransal Değerlendirme
CPU	: Merkezi İşlem Birimi
CSP	: Bulut Hizmet Sağlayıcısı
ÇKKA	: Çok Kriterli Karar Analizi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı
DM	: Karar Verici
EC2	: Elastic Compute Cloud
EDAS	: Ortalama Çözüme Uzaklığa Dayalı Değerlendirme
EGTOPSIS	: Genişletilmiş Gri İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
ELECTRE	: Gerçekliği Ortadan Kaldırma ve Seçim
EWD	: Üstel Ağırlıklı Fark
FSAWS	: Bulanık Basit Toplam Ağırlıklandırma Sistemi
FTOPSIS	: Bulanık İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
FUCOM	: Tam Tutarlılık Yöntemi
GBOM	: Grup En İyi Yöntemi
GCP	: Google Cloud Platform
GRA	: Gri İlişkisel Analiz
GST	: Gri Sistem Teorisi
IaaS	: Hizmet Olarak Altyapı
INS	: Aralık Nötrosofik Küme
IT2FCOPRAS	: Aralık Tip-2 Bulanık Karmaşık Oransal Değerlendirme
IT2FEDAS	: Aralık Tip-2 Bulanık Ortalama Çözüme Uzaklığa Dayalı Değerlendirme
IVIFS	: Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Kümeler
MADM	: Çok Nitelikli Karar Verme

MBWM	: Değiştirilmiş En İyi–En Kötü Yöntemi
MCDA	: Çok Kriterli Karar Analizi
MCDM	: Çok Kriterli Karar Verme
MLaaS	: Hizmet Olarak Makine Öğrenmesi
MOORA	: Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon
MOSS	: Çok Kriterli Nesnel ve Öznel Seçim
PaaS	: Hizmet Olarak Platform
PIFN	: Beşgen Sezgisel Bulanık Sayı
PROMETHEE	: Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralama Organizasyonu
QFD	: Kalite Fonksiyonu Yayılımı
q-ROFS	: q-Mertebele Ortogonal Bulanık Kümeler
QoE	: Deneyim Kalitesi
QoS	: Hizmet Kalitesi
RAM	: Rasgele Erişimli Bellek
ROC	: Sıralama Merkez Ağırlıkları
SaaS	: Hizmet Olarak Yazılım
SMN	: Yığılmış Matris Normalizasyonu
TCO	: Toplam Sahip Olma Maliyeti
TOPSIS	: İdeal Çözümüne Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği
VIKOR	: Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
WASPAS	: Ağırlıklı Toplam Çarpım Değerlendirme
WD	: Ağırlıklı Fark
WEDBA	: Ağırlıklı Öklid Uzaklığına Dayalı Yaklaşım
WPM	: Ağırlıklı Çarpım Modeli
WSM	: Ağırlıklı Toplam Modeli

SEMBOLLER

A^+	: Pozitif ideal çözüm
A^-	: Negatif ideal çözüm
C	: Kriter seti
C_i	: i. kriter
C_i^+	: i. alternatifin nispi yakınlık katsayısı
d_i^+	: i. alternatifin pozitif ideal çözüme uzaklığı
d_i^-	: i. alternatifin negatif ideal çözüme uzaklığı
D	: Bir kriterin diğer kriterler üzerindeki toplam etki düzeyi
$D+R$	: Kriterin sistem içindeki toplam önem düzeyi
$D-R$	: Kriterin neden veya sonuç grubundaki konumu
i	: Alternatif indeksi
j	: Kriter indeksi
m	: Alternatif sayısı
n	: Kriter sayısı
p_{ij}	: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi elemanı
p_j^+	: j. kriter için pozitif ideal değer
p_j^-	: j. kriter için negatif ideal değer
P	: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi
R	: Bir kriterin diğer kriterlerden aldığı toplam etki düzeyi
r_{ij}	: Normalleştirilmiş karar matrisi elemanı
T	: Toplam ilişki matrisi
w_j	: j. kriterin ağırlık değeri
x_{ij}	: i. alternatifin j. kriter bakımından karar matrisi değeri
X	: Gri karar matrisi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi ve Sıralaması Çalışmalarının Sınıflandırılması	18
Çizelge 2.2: Bulut Bilişim Hizmetlerinin Değerlendirilmesine İlişkin Tamamlayıcı Çalışmalar	23
Çizelge 4.1: Çalışmada Değerlendirilen Bulut Hizmet Sağlayıcı Alternatifleri ...	42
Çizelge 4.2: Etki Değerlendirme Ölçeği.	44
Çizelge 4.3: Uzman Değerlendirmelerine Ait Gri Doğrudan İlişki Matrisleri.	45
Çizelge 4.4: Ortalama Gri Doğrudan İlişki Matrisi.	46
Çizelge 4.5: Normalleştirilmiş Gri Doğrudan İlişki Matrisi.	46
Çizelge 4.6: Gri Toplam İlişki Matrisi.	46
Çizelge 4.7: Kesin Değerler Toplam İlişki Matrisi.	47
Çizelge 4.8: D, R, D+R ve D-R Değerleri.	47
Çizelge 4.9: Ana Kriter Ağırlıkları.....	47
Çizelge 4.10: Alt Kriterlerin Nihai Ağırlıkları.....	48
Çizelge 4.11: Dilsel Değerlendirme Ölçeği.	49
Çizelge 4.12: Gri Karar Matrisi.....	50
Çizelge 4.13: Normalleştirilmiş Gri Karar Matrisi.	50
Çizelge 4.14: Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri.	51
Çizelge 4.15: Alternatiflerin İdeal Çözümlere Olan Uzaklıkları ve Yakınlık Katsayıları.....	52
Çizelge 4.16: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	53
Çizelge 4.17: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	53
Çizelge 4.18: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	54
Çizelge 4.19: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	54
Çizelge 4.20: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	56
Çizelge 4.21: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	56
Çizelge 4.22: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	57
Çizelge 4.23: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	57

Çizelge 4.24: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.....	59
Çizelge 4.25: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	59
Çizelge 4.26: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	59
Çizelge 4.27: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	60
Çizelge 4.28: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	62
Çizelge 4.29: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	62
Çizelge 4.30: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.	62
Çizelge 4.31: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.	63

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1: Bulut Hizmet Sağlayıcı Seçimi Probleminin Hiyerarşik Yapısı.	43
Şekil 4.2: Maliyet Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.	55
Şekil 4.3: Performans Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.	58
Şekil 4.4: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.	61
Şekil 4.5: Esneklik Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.	64
Şekil 4.6: Tüm Senaryolar İçin Duyarlılık Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	65



GRI KARAR VERME MODELLERİ İLE BULUT HİZMET SAĞLAYICISI SEÇİMİ

ÖZET

Dijital dönüşüm sürecinin hız kazanmasıyla birlikte bulut bilişim teknolojileri kurumların bilgi teknolojileri altyapılarını yönetme biçiminde önemli değişimlere yol açmıştır. Bulut bilişim, veri depolama, işlem gücü ve yazılım hizmetlerinin internet tabanlı platformlar aracılığıyla sunulmasını sağlayarak işletmelere daha esnek, ölçeklenebilir ve maliyet etkin çözümler sunmaktadır. Geleneksel bilgi teknolojileri altyapılarında gerekli olan yüksek donanım yatırımları ve bakım maliyetleri bulut bilişim sayesinde önemli ölçüde azaltılabilmekte, bu durum hem özel sektör hem de kamu kurumları açısından bulut tabanlı çözümlerin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır.

Bulut bilişim teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte kurumlar için en uygun bulut hizmet sağlayıcısının belirlenmesi önemli bir karar problemi haline gelmiştir. Günümüzde küresel hizmet sağlayıcılarının yanı sıra, yerel hizmet sağlayıcıları da farklı hizmet modelleri ve teknolojik altyapılar sunmaktadır. Ancak bu alternatifler arasından en uygun sağlayıcının belirlenmesi yalnızca teknik özelliklere dayalı bir değerlendirme ile gerçekleştirilememektedir. Maliyet, sistem performansı, güvenlik ve gizlilik ile hizmetlerin esnekliği gibi birçok kriterin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durum bulut hizmet sağlayıcı seçimi problemini çok kriterli bir karar verme problemi haline getirmektedir.

Karar verme sürecinde kullanılan değerlendirmeler çoğu zaman kesin sayısal verilere dayanmayıp uzman görüşleri ve belirsizlik içeren değerlendirmeler içermektedir. Ayrıca değerlendirme kriterleri arasında çeşitli etkileşimler bulunabilmekte ve bu durum karar probleminin analizini daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, söz konusu karar probleminin analizinde, belirsizliği ve kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alabilen yöntemlerin kullanılması önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, bulut hizmet sağlayıcı seçimi problemi gri sistem teorisine dayalı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Gri DEMATEL yöntemi kullanılarak değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiş ve kriterlerin önem dereceleri belirlenmiştir. Bu kapsamda maliyet, performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik olmak üzere dört ana kriter dikkate alınmıştır. DEMATEL yöntemi sayesinde kriterler arasındaki neden-sonuç ilişkileri ortaya konulmuş ve karar sürecinde hangi kriterlerin daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Gri TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatif bulut hizmet sağlayıcıları değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Bu aşamada üç global ve iki yerel bulut hizmet sağlayıcı alternatifi ele alınmıştır. Gri TOPSIS yöntemi,

alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlığı ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı esas alınarak en uygun alternatifin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışmada ayrıca elde edilen sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi kapsamında kriter ağırlıklarında meydana gelebilecek değişimlerin alternatif sıralamaları üzerindeki etkileri incelenmiş ve önerilen modelin farklı senaryolar altında ne ölçüde tutarlı sonuçlar ürettiği değerlendirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda bulut hizmet sağlayıcılarının belirlenen kriterler çerçevesinde sistematik bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayan bir karar destek yaklaşımı sunulmuştur. Çalışmanın bulguları hem akademik literatüre katkı sağlamakta hem de bulut bilişim altyapısına geçiş sürecinde olan kurumlar için uygulanabilir bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.



SELECTION OF CLOUD SERVICE PROVIDERS USING GREY DECISION-MAKING MODELS

SUMMARY

The continuous advancement of information and communication technologies has fundamentally transformed the way organizations manage, process, and utilize information resources. In recent years, digital transformation has become a strategic priority for organizations operating in both the public and private sectors, leading to an increasing demand for flexible, scalable, and cost-effective information technology solutions. Within this context, cloud computing has emerged as one of the most significant technological developments by enabling organizations to access computing resources, storage capacity, software applications, and network services over the Internet without relying on extensive physical infrastructure. Rather than investing in expensive hardware, software, and maintenance activities, organizations can obtain the required computing resources on demand and pay only for the services they use. This service-oriented approach provides considerable advantages in terms of operational efficiency, scalability, business continuity, and technological flexibility. Consequently, cloud computing has become an indispensable component of modern information technology strategies and an important driver of organizational digital transformation.

The widespread adoption of cloud computing has resulted in the emergence of numerous cloud service providers offering a broad range of infrastructure, platform, and software services. Although the availability of multiple alternatives provides organizations with greater flexibility, it also makes the provider selection process considerably more complex. Global cloud service providers offer extensive service portfolios supported by large-scale infrastructures and advanced technological capabilities. At the same time, local cloud service providers provide services that may better satisfy local legal regulations, language requirements, customer support expectations, and data residency policies. Since every organization possesses different operational objectives, financial limitations, security expectations, and technical requirements, identifying the most appropriate cloud service provider represents a strategic decision that directly influences organizational performance and long-term competitiveness.

Cloud service provider selection cannot be evaluated solely from a technical or financial perspective. Instead, organizations must simultaneously consider numerous quantitative and qualitative criteria while comparing available alternatives. Factors such as service costs, system performance, scalability, security, privacy, service availability, integration capabilities, and customization options should all be evaluated together to ensure that the selected provider satisfies organizational expectations. Furthermore, these evaluation criteria frequently influence one another. For example, increasing security requirements may lead to higher implementation and

operational costs, while enhanced system performance may require more sophisticated infrastructure investments. Likewise, greater flexibility and customization capabilities may increase implementation complexity. These interdependencies indicate that cloud service provider selection should be regarded as a complex multi-criteria decision-making (MCDM) problem rather than a conventional selection process.

Another important challenge associated with cloud service provider selection is the existence of uncertainty throughout the evaluation process. In real-world decision environments, decision makers rarely possess complete, objective, or perfectly measurable information regarding every evaluation criterion. Instead, they frequently rely on expert knowledge, professional experience, subjective judgments, and linguistic evaluations. Consequently, the available information generally contains uncertainty and incompleteness, making it difficult to represent evaluations using precise numerical values. Traditional decision-making methods based exclusively on deterministic data may therefore fail to capture the uncertainty inherent in practical decision problems. This limitation has encouraged researchers to employ uncertainty-based decision-making approaches capable of representing imprecise information more effectively.

Among these approaches, Grey System Theory provides a practical framework for modeling uncertainty without requiring extensive probabilistic assumptions or complex membership functions. Unlike fuzzy set theory, which requires the definition of membership functions, grey theory represents uncertain information using interval-based grey numbers defined by lower and upper bounds. This characteristic makes grey theory particularly suitable for decision problems where only limited information or expert judgments are available. By preserving uncertainty throughout the computational process, grey methods enable decision makers to obtain more realistic and reliable evaluation results under incomplete information conditions.

Considering these characteristics, this thesis proposes an integrated decision-making framework combining Grey DEMATEL and Grey TOPSIS for the evaluation and selection of cloud service providers. The proposed methodology aims to identify the relationships among evaluation criteria, determine their relative importance, and rank alternative cloud service providers while explicitly considering uncertainty in expert evaluations. By integrating these two methods, the study establishes a comprehensive decision support framework capable of handling both criterion interdependencies and uncertain decision environments.

The first stage of the proposed methodology employs the Grey DEMATEL method to analyze the causal relationships among evaluation criteria. DEMATEL is widely recognized as an effective technique for identifying complex interactions within decision systems because it distinguishes between influencing and influenced criteria. Instead of assuming that evaluation criteria are independent, DEMATEL explicitly models their mutual relationships and quantifies the degree to which each criterion affects the others. Incorporating grey numbers into the DEMATEL procedure further enables the analysis to accommodate uncertainty associated with expert judgments.

Within the scope of this research, four main evaluation criteria are identified through an extensive literature review and expert opinions: cost, performance, security and privacy, and flexibility. In order to perform a more detailed assessment, each main

criterion is represented by three sub-criteria. The cost criterion includes usage cost, scaling cost, and total cost of ownership. The performance criterion consists of latency, availability, and load capacity. Security and privacy are represented through data privacy, certifications and standards, and authorization and access management. Finally, the flexibility criterion includes scalability, integration capability, and customization. This hierarchical evaluation structure provides a comprehensive representation of the factors influencing cloud service provider selection.

The Grey DEMATEL analysis determines both the cause-effect relationships among the criteria and their relative importance within the overall decision framework. By calculating the total relation matrix and deriving the prominence and relation values, the method identifies which criteria exert greater influence over the decision process and which criteria are primarily affected by other factors. Consequently, the obtained criterion weights reflect not only the individual importance of each criterion but also their interactions within the evaluation system. This characteristic distinguishes DEMATEL from conventional weighting techniques that assume criterion independence.

After determining the criterion weights through Grey DEMATEL, the second stage of the proposed framework applies the Grey TOPSIS method to evaluate and rank the alternative cloud service providers. The TOPSIS methodology assumes that the most desirable alternative should simultaneously possess the minimum distance from the positive ideal solution and the maximum distance from the negative ideal solution. Integrating grey numbers into the TOPSIS procedure enables uncertain expert evaluations to be preserved during the ranking process, thereby increasing the reliability of the obtained results under incomplete information conditions.

Five cloud service provider alternatives are evaluated within the scope of the application. These alternatives consist of three global cloud service providers and two local cloud service providers. Expert evaluations are collected for each alternative according to the defined evaluation criteria, after which grey decision matrices are constructed and normalized. The weighted normalized decision matrix is subsequently generated by incorporating the criterion weights obtained from the Grey DEMATEL analysis. Finally, the separation measures from the positive and negative ideal solutions are calculated, and the relative closeness coefficients are determined to establish the final ranking of the cloud service providers.

The application results demonstrate the effectiveness of the proposed integrated methodology in evaluating cloud service providers under uncertain decision conditions. According to the Grey DEMATEL analysis, performance is identified as the most influential main criterion within the evaluation framework, indicating that technical performance characteristics play a dominant role in cloud service provider selection. Cost, flexibility, and security and privacy also make substantial contributions to the decision process, emphasizing that organizations should evaluate cloud service providers from multiple perspectives rather than relying on a single criterion.

The Grey TOPSIS analysis ranks Global Cloud Service Provider-2 as the most appropriate cloud service provider among the evaluated alternatives. Global Cloud Service Provider-1 is identified as the second-best alternative, followed by Global Cloud Service Provider-3. Local Cloud Service Provider-1 and Local Cloud Service

Provider-2 occupy the fourth and fifth positions, respectively. These findings indicate that globally established cloud service providers demonstrate superior overall performance when all evaluation criteria are considered simultaneously. Nevertheless, the results also highlight that local providers may remain competitive under specific organizational requirements, particularly when local regulatory compliance or operational considerations are prioritized.

In addition to the primary evaluation, a sensitivity analysis is conducted to investigate the robustness and stability of the proposed decision model. Sensitivity analysis represents an essential component of multi-criteria decision-making studies because small variations in criterion weights may influence the final ranking of alternatives. In this study, different weighting scenarios are generated by modifying the importance levels of the main evaluation criteria while maintaining the overall consistency of the weighting structure. The ranking results obtained under these alternative scenarios are then compared with the original ranking in order to assess the stability of the proposed framework.

The sensitivity analysis indicates that the proposed Grey DEMATEL–Grey TOPSIS methodology produces stable and reliable ranking results under different weighting conditions. Although minor changes occur in the relative closeness values when criterion weights are modified, the overall ranking structure remains largely unchanged. This outcome demonstrates that the proposed model is robust against reasonable variations in expert evaluations and criterion importance, thereby increasing confidence in the practical applicability of the obtained results.

The contributions of this thesis can be evaluated from both methodological and practical perspectives. From a methodological standpoint, the study demonstrates the successful integration of Grey DEMATEL and Grey TOPSIS within a unified decision-making framework capable of simultaneously addressing criterion interdependencies and uncertainty. The proposed methodology provides an effective approach for solving technology selection problems characterized by incomplete information and subjective expert judgments. Furthermore, the study enriches the existing literature on cloud service provider selection by presenting an integrated grey multi-criteria decision-making model supported by a comprehensive sensitivity analysis.

From a practical perspective, the proposed decision framework offers organizations a systematic, transparent, and analytically rigorous tool for evaluating cloud service providers. Decision makers can utilize the methodology to compare alternative providers according to their organizational priorities while considering both technical and managerial evaluation criteria. The proposed framework supports more objective decision-making by reducing the influence of purely subjective judgments and providing a structured evaluation process.

In conclusion, this thesis demonstrates that integrating Grey DEMATEL and Grey TOPSIS constitutes an effective and reliable approach for cloud service provider selection under uncertain decision environments. By combining causal relationship analysis, objective criterion weighting, alternative ranking, and sensitivity analysis within a single framework, the proposed methodology provides a comprehensive decision support model that contributes to both academic research and practical

decision-making. The findings may serve as a useful reference for organizations planning cloud adoption strategies and for researchers seeking to develop advanced multi-criteria decision-making models for technology evaluation problems.





1. GİRİŞ

Bilgi teknolojilerinde yaşanan köklü değişimler, kurumların veri yönetim süreçlerini ve bilgi işlem altyapılarını yeniden yapılandırma biçimlerini derinden etkilemiştir. Bu dönüşümün temel itici güçlerinden biri olan bulut bilişim, kurumsal bilgi teknolojileri kaynaklarının internet üzerinden sunulan hizmetler aracılığıyla kullanılabilmesine zemin hazırlamaktadır. Böylece işletmeler, büyük ölçekli donanım yatırımlarına gerek duymaksızın hesaplama kapasitesi, veri saklama olanakları ve yazılım çözümlerinden faydalanabilmektedir.

Bulut bilişimin sağladığı esneklik ve ölçeklendirilebilirlik olanakları, pek çok kurumu bilgi altyapılarını bulut ortamına aktarmaya yöneltmiştir. Pazarda çok sayıda bulut hizmet sağlayıcısının yer alması, kurumlar açısından en doğru hizmet sağlayıcısının belirlenmesini güçleştirmektedir. Farklı sağlayıcılar; işlem hızı, fiyatlandırma, bilgi güvenliği ve sundukları hizmet yelpazesi bakımından birbirinden ayrılan nitelikler taşımaktadır. Bu nedenle karar alıcıların bulut hizmet sağlayıcılarını değerlendirme sürecinde çok sayıda ölçütü eşzamanlı olarak göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

Bulut hizmet sağlayıcısı tercih süreci, farklı değerlendirme boyutlarının bir arada ele alınmasını zorunlu kılan karmaşık bir karar problemi olarak tanımlanmaktadır. Buna ek olarak karar alıcıların yargıları, kesin niceliksel verilere dayanmaktan çok uzman kanaatleri ve belirsiz değerlendirmelerden beslenmektedir. Bu gerçeklik, analiz sürecinde belirsizlik unsurlarını içselleştirebilen yöntemlerin benimsenmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, bulut hizmet sağlayıcısı tercih problemini çok kriterli karar verme perspektifinden irdeleyerek karar alıcılara sistematik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktır. Bu doğrultuda bulut hizmet sağlayıcılarının maliyet, performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik boyutlarında karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Araştırma kapsamında, pazar payı yüksek olan üç küresel ve iki yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatif olarak değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirme aşamasında uzman görüşlerinden derlenen veriler temel alınarak kriterler arası ilişkiler ve kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu bağlamda Grey DEMATEL yöntemiyle kriterler arasındaki etkileşim örüntüleri çözümlenmiş ve kriterlerin önem dereceleri ortaya konulmuştur. Ardından Grey TOPSIS yöntemi aracılığıyla alternatif bulut hizmet sağlayıcıları değerlendirilerek bir tercih sıralaması elde edilmiştir.

Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, konuya ilişkin literatür ayrıntılı biçimde incelenmiş ve mevcut çalışmalar yöntemsel yaklaşımları bakımından değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde, gri sistem teorisi ile çalışmada esas alınan Grey DEMATEL ve Grey TOPSIS yöntemlerinin kavramsal ve kuramsal temelleri sunulmuştur. Dördüncü bölümde, uygulama aşamasına geçilerek karar problemi tanımlanmış, kriter yapısı oluşturulmuş, kriter ağırlıkları belirlenmiş ve alternatif bulut hizmet sağlayıcıları sıralanmıştır. Aynı bölümde ayrıca sonuçların farklı ağırlık senaryoları altındaki değişimini incelemek amacıyla duyarlılık analizine yer verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen bulgular bütüncül biçimde değerlendirilmiş, genel sonuçlar ortaya konulmuş ve gelecekte yapılabilecek araştırmalar için çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bulut bilişim teknolojilerinin yaygınlaşması, bulut hizmet sağlayıcısı tercih sürecini hem akademik alanda hem de sektörel uygulamalarda giderek artan biçimde öne çıkan bir araştırma konusu haline dönüştürmüştür. Kurumların dijital dönüşüm süreçlerinde bulut altyapılarını benimsemeye yönelmeleri, farklı sağlayıcıların teknik yetkinlikleri, maliyet yapıları ve güvenlik seviyeleri açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda araştırmacılar, bulut hizmet sağlayıcılarının değerlendirilmesinde çeşitli karar verme modellerinden yararlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu problemin büyük ölçüde çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile ele alındığı görülmektedir. Söz konusu araştırmalar, farklı kriter grupları ve değerlendirme stratejileri aracılığıyla sağlayıcı performanslarını kıyaslamayı ve en uygun seçeneğin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır. Öte yandan karar alıcıların değerlendirmelerindeki belirsizlikler ve kriterler arası bağımlılık yapılarının hesaba katılma gerekliliği, gri sistem kuramına dayalı yaklaşımların bu alanda gittikçe daha geniş bir kabul görmesine yol açmıştır. Bu çerçevede 2011–2026 yıllarını kapsayan dönemde bulut hizmet sağlayıcısı seçimine odaklanan çalışmalar taranmış; kullanılan yöntemler, dikkate alınan ölçütler ve uygulama bağlamları açısından kapsamlı bir literatür değerlendirmesi yapılmıştır. İncelenen çalışmaların, kullanılan karar verme yöntemleri, değerlendirilen kriterler, alternatif sayıları, veri yapıları ve uygulama alanları bakımından farklılaştığı görülmektedir. Literatürde yer alan başlıca çalışmalar kronolojik sırayla aşağıda özetlenmiştir.

Rehman ve diğ. (2011) bulut hizmetlerinin geniş yelpazesi ve kullanıcı gereksinimlerinin çok boyutlu yapısı nedeniyle ortaya çıkan tercih güçlüklerini ele alarak çok ölçütlü bir seçim metodolojisi geliştirmiştir. Çalışmada, sağlayıcıların performans, maliyet ve hizmet politikası gibi değişkenler üzerinden kıyaslanabilmesi amacıyla karar matrisine dayanan matematiksel bir model kurgulanmıştır. Bu çerçevede

kullanıcı beklenti vektörü ile sağlayıcı özellik vektörleri arasındaki uyum, Ağırlıklı Fark (WD) ve Üssel Ağırlıklı Fark (EWD) olmak üzere iki farklı benzerlik ölçütüyle incelenmiştir. Her iki teknik de kullanıcı öncelikleri doğrultusunda en uygun sağlayıcıyı saptamaya yönelik olup EWD yaklaşımı, kriterler arası ödünleşim etkisini azaltarak daha isabet oranı yüksek sonuçlar üretmektedir. Önerilen model; normalizasyon, ağırlıklandırma ve karar matrisinin oluşturulması aşamalarını kapsayarak ÇKKV temelli bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Qu ve diğ. (2013) bulut sağlayıcısı tercihinde yalnızca nesnel performans metriklerine odaklanan yaklaşımların, kullanıcı deneyimi gibi öznel boyutları görmezden gelmesinden kaynaklanan eksiklikleri tartışarak öznel geri bildirimler ile bağımsız performans testlerini harmanlayan bulanık tabanlı bir karar modeli ortaya koymuştur. Çalışmada dört bulut hizmeti alternatifi; gizlilik, müşteri destek kalitesi, kullanılabilirlik, tepki süresi ve şifreleme performansını kapsayan yedi değerlendirme kriteri temelinde ele alınmıştır. Modelde hem nitel ölçütler (güvenlik düzeyi, müşteri destek kalitesi gibi) hem de nicel göstergeler (tepki süresi, şifreleme performansı gibi) dikkate alınmakta; bu ölçütler Bulanık Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Sistemi (FSAWS) aracılığıyla normalize edilerek ağırlıklandırılmaktadır. Ayrıca kötü niyetli veya bilgi açısından yetersiz kullanıcılardan gelen değerlendirmeler, nesnel verilerle karşılaştırma yoluyla belirlenen bir eşik değer üzerinden süzülerek karar sürecinden dışlanmaktadır. Gerçek bir uygulama senaryosu üzerinden gerçekleştirilen vaka incelemesi, önerilen yaklaşımın hem doğruluk hem de kullanıcı gereksinimlerine uyum açısından geleneksel yöntemleri geride bıraktığını kanıtlamıştır.

Yıldırım ve Önay (2013) bulut teknolojisi alanında faaliyet gösteren firmaların performans temelli ölçütler üzerinden sıralanmasını amaçlamış ve bu doğrultuda Bulanık AHP ile MOORA yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Çalışmada, bir sektör raporunda yer alan beş bulut depolama firması; yazma ve okuma hızı, erişilebilirlik, çalışma süresi, ölçeklendirme performansı ile hata oranları gibi on kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde önce Bulanık AHP ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, ardından MOORA oran yöntemi ve referans nokta yaklaşımı kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Bulgular, her iki sıralama yaklaşımında da Microsoft firmasının ilk sırada yer aldığını, onu Amazon ve RackSpace alternatiflerinin

izlediğini göstermektedir. Bu çalışma, bulut hizmet sağlayıcılarının performans odaklı ölçütlerle ve bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımıyla değerlendirilebileceğini göstermesi bakımından literatüre katkı sunmaktadır.

Ding ve diğ. (2014) bulut hizmeti seçiminde güvenilirlik boyutunu merkeze alan kişiselleştirilmiş bir karar destek yaklaşımı önermiştir. Çalışmada, eksik değerlerin tahmini ile çok nitelikli güvenilirlik değerlendirmesi birlikte ele alınmış; böylece sınırlı geçmiş kayıtlar altında dahi kullanıcı tercih ve beklentilerine duyarlı bir seçim süreci oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın bulut hizmetlerinin güvenilirlik temelli değerlendirilmesinde daha başarılı tahmin ve daha uygun seçim çıktıları sağlayabildiğini göstermektedir.

Whaiduzzaman ve diğ. (2014) bulut hizmet sağlayıcılarının artan çeşitliliği ve yapısal karmaşıklığı karşısında karar alıcıların gereksinimlerine en uygun sağlayıcıyı tespit edebilmeleri amacıyla ÇKKV yöntemlerinin uygulanabilirliğini sistematik biçimde irdelemiştir. Araştırmada Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) yaklaşımı temel alınarak farklı bulut alternatifleri; fiyat, erişilebilirlik, güvenlik, performans ve müşteri desteği gibi çeşitli hizmet kalitesi parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma, MCDA yöntemlerinin hizmetlerin işlevsel özelliklerinin ötesinde kalite odaklı boyutlarıyla da karşılaştırılabilmesini sağladığını vurgulamaktadır. Ayrıca karar alıcıların öznel değerlendirmelerinin modele nasıl entegre edilebileceğine dair bir tartışma sunulmuş ve önerilen yaklaşım uygulanabilirliği yüksek bir seçim mekanizması olarak konumlandırılmıştır.

Do Chung ve Seo (2015) bulut sağlayıcısı tercihindeki çok ölçütlü karar sorununa çözüm olarak Analitik Ağ Süreci (ANP) temelli bir değerlendirme modeli geliştirmiştir. Model özellikle IaaS hizmetlerini hedef alarak üç temel kriter ve sekiz alt kriterden oluşan hiyerarşik bir yapı üzerine inşa edilmiştir. ANP yönteminin kriterler arası karşılıklı bağımlılıkları dikkate alabilme özelliğinden faydalanılarak etkileşim yapıları blok matrisler yoluyla modellenmiş ve süpermatris yaklaşımıyla nihai ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Yedi uzmanın katılımıyla gerçekleştirilen anket çalışması çerçevesinde Kore pazarındaki altı IaaS sağlayıcısı arasında karşılaştırmalı bir analiz yapılarak en iyi performans gösteren sağlayıcı belirlenmiştir.

Hemam ve Hioual (2016) çoklu bulut ortamında bulut hizmeti seçimi problemini kullanıcı tercihleri ile sistem performansını birlikte dikkate alarak incelemiştir. Çalışmada, 5 farklı bulut üzerinde dağıtılmış 8 hizmet örneği; maliyet, yanıt süresi ve yük dengesi olmak üzere üç kriter temelinde değerlendirilmiştir. Hizmet seçiminde maliyet ve yanıt süresi kullanıcı odaklı ölçütler olarak ele alınırken, sağlayıcılar arasındaki yük dağılımı sistem gereksinimi olarak modele dahil edilmiştir. Önerilen yaklaşımda, her bir bulut ortamındaki hizmet alternatifleri TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiş, bulutların yük durumu ise Ayrık Zamanlı Markov Zinciri modeli ile tahmin edilmiştir. Daha sonra bu bilgiler birleştirilerek hem kullanıcı beklentilerini karşılayan hem de yük dengelemesini gözeterek uygun hizmet seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, bulut hizmet sağlayıcısı tercihinin yalnızca maliyet ve performans değil, aynı zamanda çoklu bulut mimarisindeki yük dengesi açısından da ele alınabileceğini göstermesi bakımından literatüre katkı sunmaktadır.

Grgurević ve Kordić (2017) bulut hizmetlerinin tercih edilmesi ve kurumlarca benimsenmesi sürecinde ÇKKV yöntemlerinin rolünü inceleyen kapsamlı bir derleme sunmuştur. Araştırmada SaaS, PaaS ve IaaS olmak üzere üç temel hizmet modeli ayrı ayrı ele alınmış ve her model için uygun değerlendirme kriterleri tanımlanmıştır. AHP, ANP, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE, ELECTRE ve Bulanık AHP gibi çeşitli ÇKKV tekniklerinin karşılaştırmalı incelemesi yapılmış ve her hizmet modeli için en uygun tekniğin farklılaşabileceği vurgulanmıştır. Güvenlik, kullanılabilirlik, ölçeklendirilebilirlik ve maliyet ölçütlerinin kullanıcılar açısından en belirleyici faktörler olduğu ortaya konulmuştur.

Nawaz ve diğ. (2018) kullanıcı tercihlerinin zamanla değişkenlik göstermesi gerçeğini hesaba katarak dinamik bir karar destek yaklaşımı ortaya koymuştur. Çalışmada, Amazon EC2'ye ait dört IaaS hizmeti; CPU, bellek, G/Ç ve maliyet olmak üzere dört QoS kriteri temelinde değerlendirilmiştir. Değişen kullanıcı önceliklerinin örüntülerini yakalamak amacıyla Markov zinciri modellemesinden yararlanılmış ve tespit edilen kalıplar mevcut hizmetlerin QoS verileriyle ilişkilendirilmiştir. Nihai sıralama için En İyi–En Kötü Yöntemi (BWM) uygulanmış ve Amazon EC2 verileriyle yürütülen vaka çalışmasında önerilen modelin AHP gibi geleneksel tekniklere kıyasla daha isabetli ve çevre koşullarına uyumlu sonuçlar ürettiği gösterilmiştir. Bu haliyle çalışma, zamansal

dinamikleri içselleştiren esnek bir ÇKKV modeli ortaya koyarak alana önemli bir katkı sağlamaktadır.

Jatoth ve diğ. (2019) bulut sağlayıcısı tercihindeki belirsizlikleri ve çoklu değerlendirme ölçütlerini ele almak üzere SELCLOUD adını verdikleri hibrit bir ÇKKV modeli tasarlamıştır. Bu modelde kriter ağırlıkları AHP ile belirlenmiş, ardından sağlayıcılar genişletilmiş Gri TOPSIS (EGTOPSIS) algoritmasıyla QoS parametreleri temelinde sıralanmıştır. Karar alıcı yargıları dilsel değişkenler aracılığıyla ifade edilmekte ve gri sayı kuramı sayesinde eksik veya belirsiz bilgilerle etkin biçimde başa çıkılabilmektedir. CloudHarmony platformundan elde edilen gerçek dünya verileriyle gerçekleştirilen analizde yirmiye yakın sağlayıcı farklı QoS ölçütleri üzerinden değerlendirilmiş; duyarlılık analizi, grup karar verme uygunluğu ve belirsizlik yönetimi açısından yöntem kapsamlı biçimde sınanmıştır.

Uslu ve diğ. (2019) bir yazılım işletmesi için uygun bulut hizmet sağlayıcısının belirlenmesini çok kriterli karar verme yaklaşımıyla incelemiştir. Çalışmada, uzmanlarca seçilen yedi alternatif sağlayıcı; CPU kullanımı, hafıza kullanımı, hizmet düzeyi, maliyet ve tepki süresi ölçütleri temelinde değerlendirilmiştir. Alternatiflerin sıralanmasında TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmış, ayrıca kriter ağırlıklarının sonuca etkisini görebilmek için hem ANP temelli ağırlıklar hem de eşit ağırlık yaklaşımı dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgular, sağlayıcı sıralamasının kullanılan ağırlık yapısına ve değerlendirme yöntemine göre değişebildiğini, buna karşın bazı alternatiflerin daha güçlü biçimde öne çıktığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, bulut hizmet sağlayıcısı seçiminin işletme ihtiyaçlarıyla uyumlu ölçütler üzerinden ele alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Al-Faifi ve diğ. (2019) çok sayıda bulut sağlayıcısı arasından en uygun olanının belirlenmesine yönelik olarak k-ortalamar kümeleme algoritması ile DEMATEL-ANP yöntemlerini birleştiren hibrit bir ÇKKV yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen model, benzer niteliklere sahip sağlayıcıları gruplayarak değerlendirme sürecini sadeleştirmekte; aynı zamanda performans ölçütleri arasındaki karşılıklı bağımlılıkları hesaba katarak daha hassas bir sıralama elde etmeyi hedeflemektedir. MATLAB ortamında gerçekleştirilen simülasyonlar, yöntemin doğruluk ve verimlilik bakımından

başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, yapay zekâ destekli, sistematik ve bütüncül bir karar destek mekanizması niteliği taşımaktadır.

Hussain ve diğ. (2020) bulut sağlayıcısı tercihindeki belirsizlik ve çelişkili değerlendirme sorunlarına yanıt olarak Hizmet Kalitesi (QoS) ile Deneyim Kalitesi (QoE) ölçütlerini bütünleşik biçimde ele alan MOSS adlı bir karar destek yöntemi geliştirmiştir. Beş aşamalı bir yapıda kurgulanan modelde öncelikle Pareto optimalitesiyle aday havuzu daraltılmakta, ardından BWM ile kriter ağırlıkları hesaplanmakta, farklı ÇKKV teknikleriyle QoS ve QoE'ye dayalı ara sıralamalar oluşturulmakta ve Copeland birleştirme tekniğiyle nihai karar verilmektedir. E-ticaret sektöründe gerçekleştirilen bir uygulama çalışmasıyla modelin hem karar kalitesini artırdığı hem de mevcut yaklaşımlardan üstün performans sergilediği kanıtlanmıştır.

Keskin ve diğ. (2020) bir banka için uygun bulut bilişim hizmet sağlayıcısının belirlenmesini çok ölçütlü karar verme çerçevesinde incelemiştir. Çalışmada Microsoft Azure, Google Cloud, IBM Bulut ve Yandex Disk alternatifleri; depolama, erişilebilirlik, güvenlik, bakım ve maliyet ölçütleri ile bunlara bağlı alt ölçütler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde AHP, TOPSIS ve AAS yöntemlerinden yararlanılmış; yapılan uygulama sonucunda en uygun alternatifin IBM Bulut olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, bulut hizmet sağlayıcısı seçiminde ölçütler, alt ölçütler ve alternatifler arasındaki ilişkinin birlikte ele alınmasının önemini göstermesi bakımından literatüre katkı sunmaktadır.

Gireesha ve diğ. (2020) güvenilir bulut sağlayıcılarının tespitine yönelik olarak Aralık Değerli Sezgisel Bulanık Kümeler (IVIFS) yapısını temel alan geliştirilmiş bir WASPAS yaklaşımı ortaya koymuştur. Bu yöntem, QoS niteliklerinin hem nesnel hem de öznel boyutlarıyla ağırlıklandırılmasını sağlayarak sağlayıcıların daha tutarlı biçimde sıralanmasına olanak tanımaktadır. Geliştirilen tercih-tutumsal puanlama ve doğruluk fonksiyonu sayesinde karar alıcıların yaklaşımlarına duyarlı bir sıralama mekanizması elde edilmiştir. Cloud Armor güven puanı veri seti üzerinde yapılan testlerde yöntemin duyarlılık analizine ve sıralama tersine dönme sorununa karşı güçlü bir dayanıklılık sergilediği gözlemlenmiştir.

Saha ve diğ. (2021) çatışan QoS ölçütlerini eşzamanlı olarak değerlendiren H-MCDM adlı hibrit bir ÇKKV algoritması geliştirmiştir. Algoritma, ilk aşamada ANP yöntemiyle fayda, fırsat, maliyet ve risk boyutlarında yerel sıralamaları hesaplamakta, ardından VIKOR yöntemiyle bu sıralamaları birleştirerek küresel bir tercih sıralaması oluşturmaktadır. Amazon EC2, Windows Azure ve Rackspace sağlayıcılarının karşılaştırıldığı gerçek vaka çalışmasında H-MCDM yaklaşımının tek başına ANP veya VIKOR uygulamalarına kıyasla daha tutarlı seçimler sunduğu ve duyarlılık testleriyle kararlılığının doğrulandığı belirlenmiştir.

L. Liu ve diğ. (2021) belirsiz karar ortamlarında dilsel değerlendirmeleri bulut modeline aktaran ve karar alıcı ağırlıklarını dinamik olarak hesaplayan bütünleşik bir ÇKKV yöntemi tasarlamıştır. Model kapsamında, karar alıcıların dilsel ifadeleri bulut modele dönüştürülmekte; ardından modeller arası benzerlik hesabıyla karar alıcı ağırlıkları otomatik biçimde belirlenmektedir. Gri İlişkisel Analiz (GRA) ile güçlendirilmiş TOPSIS yöntemi kullanılarak hem kriter ağırlıkları optimize edilmekte hem de alternatiflerin ideal çözüme yakınlığı ölçülmektedir. Çin'deki bir madencilik firmasının kamyon sevkiyat platformu için bulut hizmeti seçimi senaryosuna uygulanan modelin sağlamlığı, vaka analizi ve duyarlılık testleriyle doğrulanmıştır.

Mandal ve Khan (2022) güven ve güvenlik ölçütlerine öncelik tanıyarak belirsizlik, bulanıklık ve rastgelelik unsurlarını etkili biçimde yönetebilen bir ÇKKV modeli geliştirmiştir. Çalışmada, dilsel değerlendirmeleri sayısal forma dönüştüren bulut modeli ile uzlaşmacı çözüm sunan CoCoSo yöntemi entegre edilerek Cloud-CoCoSo modeli oluşturulmuştur. Alt kriter düzeyinde oluşturulan bulut matrisleri hem öznel hem de nesnel ağırlıklarla birleştirilmiş ve sıralama CoCoSo tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekçi bir uygulama örneği üzerinden test edilen modelin, hem doğruluk hem de güvenilirlik bakımından geleneksel ÇKKV modellerinden daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

Baki (2022) bulut hizmet sağlayıcısı seçimini çok kriterli bir karar verme problemi olarak ele almış ve ROC ile CODAS tekniklerine dayalı bütünleşik bir model önermiştir. Bir yazılım şirketinde görev yapan altı uzmandan oluşan karar verici

grubu, güvenilirlik, depolama kapasitesi, kullanılabilirlik, destek, maliyet, gizlilik, performans ve esneklik kriterlerini dikkate alarak dört global hizmet sağlayıcı alternatiflerini değerlendirmiştir. ROC yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklarına göre performans, kullanılabilirlik, maliyet ve güvenilirlik en önemli kriterler olarak öne çıkmıştır.

Uma ve Evangelin Geetha (2022) bulut hizmet sağlayıcısı seçimi için FUCOM ve MOORA yöntemlerini bir araya getiren bütünlük bir karar modeli geliştirmiştir. Çalışmada, CloudHarmony veri setinden elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak on bir bulut hizmet sağlayıcısı; CPU performansı, disk I/O tutarlılığı, disk performansı, bellek performansı ve maliyet olmak üzere beş kriter temelinde değerlendirilmiştir. FUCOM yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklarında tam tutarlılık (DFC = 0) sağlanmış, ardından MOORA yöntemiyle yapılan sıralamada birinci alternatif en uygun sağlayıcı olarak belirlenmiş, onu sırasıyla ikinci ve üçüncü alternatifler izlemiştir. Sonuçlar TOPSIS yöntemiyle karşılaştırılarak doğrulanmış, duyarlılık analizi ise kriter ağırlıklarındaki değişimlere rağmen sıralamanın büyük ölçüde korunduğunu ortaya koyarak modelin sağlamlığını desteklemiştir.

Hussain ve Chun (2022) bulut sağlayıcısı seçim sürecindeki yöntemsel parçalanmışlığı ve karar alıcılar arasındaki görüş farklılıklarını gidermek amacıyla C3SF adını verdikleri uzlaşma odaklı bir karar çerçevesi tasarlamıştır. Dört aşamadan oluşan bu yapıda; gereksinim tanımlama, ön eleme, değerlendirme ve sıralama/seçim adımları izlenmektedir. Çalışmada, ön eleme aşamasında 30 aday hizmet arasından seçilen dokuz bulut hizmet sağlayıcısı; CPU performansı, disk performansı, bellek performansı, ağ aktarım hızı, yanıt süresi, kullanılabilirlik ve maliyet olmak üzere yedi kriter temelinde değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları, klasik BWM'nin geliştirilmiş versiyonu olan Değiştirilmiş En İyi–En Kötü Yöntemi (MBWM) ile hesaplanmakta; sıralama birden fazla ÇKKV tekniğiyle (TOPSIS, VIKOR, WASPAS) gerçekleştirilmekte ve ardından Markov zinciri temelli birleştirme algoritmasıyla uzlaşmaya dayalı nihai sıralama elde edilmektedir. Gerçek verilerle yürütülen vaka çalışması, C3SF'nin karar tutarlılığını artırdığını ve grup karar verme ortamları için uygunluğunu doğrulamıştır.

Aljuhani ve diğ. (2023) hem kullanıcıların hem de sağlayıcıların tercihlerini eşzamanlı olarak dikkate alan iki taraflı bir ÇKKV modeli önermiştir. Çalışmada, SMI çerçevesindeki yedi ana hizmet kalitesi kategorisi temelinde oluşturulan ve 20 ile 30 arasında değişen sayıda bulut hizmet sağlayıcısını içeren sentetik veri kümeleri kullanılmıştır. Tüketici ve sağlayıcı öncelikleri BWM ile belirlendikten sonra geliştirilen iki özgün algoritma aracılığıyla görev kümeleri arasındaki benzerlikler hesaplanmış ve en uygun sağlayıcı-tüketici eşleşmeleri sağlanmıştır. Model, yalnızca hizmet kalitesi ve fiyat gibi ölçütleri değil, karşılıklı uyumu da hesaba katarak karar sürecinde daha dengeli bir değerlendirme sunmaktadır.

Büyüközkan ve diğ. (2023) bulut bilişim hizmet sağlayıcılarının değerlendirilmesinde belirleyici kriterlerin tespiti ve bu kriterler arasındaki etkileşim yapısının çözümlenmesi için 2-tuple DEMATEL yöntemini uyarlamıştır. Grup karar verme süreci kapsamında uzmanlardan alınan dilsel değerlendirmeler aracılığıyla kriterler arasındaki nedensellik bağları ortaya konulmuş ve bileşenlerin sistematik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, bilgi teknolojileri yöneticileri için stratejik karar destek aracı niteliğinde olup sağlayıcı değerlendirmesinde rehberlik edici standartlar sunmaktadır.

Ghorui ve diğ. (2023) bulut sağlayıcısı seçimine yönelik olarak Beşgen Sezgisel Bulanık Sayı (PIFN) yaklaşımını temel alan bütünleşik bir ÇKKV modeli önermiştir. Çalışmada, altı bulut hizmet sağlayıcısı dokuz değerlendirme kriteri temelinde incelenmiştir. Kriter ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, ardından Bulanık TOPSIS (FTOPSIS) tekniğiyle sağlayıcılar sıralanmıştır. Duyarlılık ve karşılaştırmalı analizlerle sıralamaların kararlılığı sınanmış ve en hassas kriterler tespit edilerek gelecek araştırmalara yönelik yönlendirici çıkarımlar yapılmıştır.

Arman ve Kundakcı (2023) bulut hizmet sağlayıcısı seçimini çok ölçütlü bir karar verme problemi olarak ele almış ve bu amaçla FUCOM ile WEDBA yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Çalışmada güvenlik, aylık maliyet, hafıza kapasitesi, sürdürülebilirlik, dosya paylaşım kapasitesi ve ek ücretsiz depolama alanı olmak üzere altı kriter esas alınarak işletmelere yönelik beş bulut depolama sağlayıcısı değerlendirilmiştir. FUCOM yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklarına göre en önemli

kriterin güvenlik olduğu tespit edilmiş, WEDBA yöntemiyle yapılan sıralamada ise Google Drive en uygun alternatif olarak belirlenmiş, onu MEGA izlemiştir. Duyarlılık analizi sonuçları, elde edilen sıralamanın genel olarak kararlı olduğunu ortaya koymuştur.

Krithika ve Akila (2024) bulut sağlayıcıları arasından en doğru tercihin yapılabilmesi amacıyla Toplamalı ve Birikimli Yığılmış Sıralama Modeli (ASOM) ile Mutlak Toplamalı Yığılmış İraksama Modeli (AAMSD) adlı iki özgün ÇKKV tekniğı ve Yığılmış Matris Normalizasyonu (SMN) adlı bir normalizasyon yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada, üçüncü taraf bulut izleme araçları ve Gartner kullanıcı değerdendirmelerinden elde edilen veriler kullanılarak 294 bulut hizmet sağlayıcısı; kalite, çeviklik, yetenek ve maliyet olmak üzere dört kriter temelinde değerdendirilmiştir. Bu yaklaşımlar, WSM, WPM ve TOPSIS gibi yaygın tekniklerle kıyaslandığında daha yüksek tutarlılık ve daha düşük hesaplama yükü sunmaktadır.

Doğan ve Doğan (2024) bulut muhasebe sistemine uyumu etkileyen faktörlerin önem düzeylerini belirlemeyi amaçlamış ve bu kapsamda Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda 11 değerdendirme kriteri belirlenmiş, bulut muhasebe sistemini kullanan 16 muhasebe meslek mensubundan elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bulgular, bulut muhasebe yazılımı tercihinde en önemli unsurun güvenilirlik olduğunu; bunu kullanım kolaylığı, güncelleme ve mahremiyet gibi kriterlerin izlediğini göstermektedir. Bu çalışma, bulut tabanlı sistemlerin benimsenmesinde güven ve kullanım deneyimine ilişkin unsurların belirleyici rolünü ortaya koyması bakımından literatüre katkı sunmuştur.

Bhol ve diğ. (2024) bulut tabanlı makine öğrenimi hizmetleri sunan MLaaS sağlayıcılarının değerdendirilmesine odaklanarak AHP ile TOPSIS yöntemlerinin entegre biçimde uygulandığı bir karar modeli ortaya koymuştur. Toplam on yedi kriter doğrultusunda dört farklı MLaaS alternatifi analiz edilmiş ve önerilen yaklaşımın karar alıcılara sistematik bir değerdendirme olanağı sunduğı kanıtlanmıştır.

Mostafa (2024) karar alıcıların karşılaştırma yükünü hafifletmek ve tutarsızlık sorunlarını ortadan kaldırmak amacıyla Grup En İyi Yöntemi (GBOM) adını verdiği yenilikçi bir teknik geliştirmiştir. Mevcut yaklaşımların (AHP, BWM gibi)

karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını sağlamada zorlandığı durumlar için tasarlanan GBOM, asgari karşılaştırmayla sıfır tutarsızlık oranı garanti ederek hem zaman tasarrufu hem de hatasız bir değerlendirme ortamı sağlamaktadır.

Makwe ve diğ. (2024) aralıklı Nötrosifik Küme (INS) kuramı ile TOPSIS yöntemini birleştiren bütünleşik bir ÇKKV yaklaşımı ortaya koymuştur. Altı farklı sağlayıcı on kriter çerçevesinde değerlendirilmiş ve yakınlık indeksine göre sıralanmıştır. Sayısal uygulama çalışmasında SoftLayer en yüksek yakınlık değeriyle birinci sırada yer alırken Microsoft Azure son sıraya yerleşmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizi, modelin tutarlılığını ve sağlamlığını teyit etmiştir.

Zulqarnain ve diğ. (2024) bulut hizmeti seçimindeki belirsizliklere ve çok ölçütlü karar güçlüklerine yanıt olarak q-rung ortopair bulanık kümeler (q-ROFS) ile COPRAS yöntemini entegre eden bir karar çerçevesi tasarlamıştır. Çalışmada, dört bulut hizmet sağlayıcısı; erişilebilirlik, performans, güvenilirlik, yönetim yetkinliği, maliyet etkinliği ve güvenlik olmak üzere altı kriter temelinde değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları entropi tabanlı nesnel bir yaklaşımla hesaplanmış ve gerçek dünyadan alınan bir vaka çalışmasıyla modelin geleneksel tekniklere göre daha kararlı ve karar destekleyici çıktılar ürettiği gösterilmiştir.

Dalal ve diğ. (2024) bulut hizmet sağlayıcısı seçimini akıllı şehirler bağlamında ele alarak bulanık mantık ile ateşböceği optimizasyon algoritmasını birleştiren bir karar destek modeli önermiştir. Çalışmada müşteri, hizmet sağlayıcı ve kamu değerlendirmeleri birlikte dikkate alınmış; güvenilirlik, performans, güvenlik ve benzeri ölçütler üzerinden sağlayıcılar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, optimize edilmiş bulanık yapının klasik bulanık yaklaşımlara göre daha başarılı sonuçlar verdiğini ve belirsizlik içeren bulut hizmet sağlayıcı seçim problemlerinde daha etkili bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Mishra ve Kumar (2025) bulut hizmet sağlayıcılarının sıralanması için BWM ile kriter ağırlıklarını belirleyen ve ardından TOPSIS, ARAS ve COPRAS yöntemlerini uygulayan hibrit bir MCDM yaklaşımı geliştirmiştir. Çalışmada, dört farklı kullanım senaryosu kapsamında 4 ila 8 bulut hizmet sağlayıcısı, 4 ila 9 değerlendirme kriteri temelinde analiz edilmiştir. Farklı senaryolar üzerinden yapılan analizler, ARAS ve

COPRAS sonuçlarının büyük ölçüde örtüştüğünü, TOPSIS sıralamasında ise sınırlı değişimler olabildiğini göstermiştir. Çalışma, AHP'ye göre daha az ikili karşılaştırma gerektiren yapısı sayesinde bulut hizmet sağlayıcı seçiminde pratik ve etkili bir yöntem önermektedir.

Spasenić ve diğ. (2025) bir BT firmasının ihtiyaçlarına en uygun bulut altyapısının belirlenmesine yönelik bulanık ortamda iki aşamalı bir karar destek modeli geliştirmiştir. Çalışmada belirsizlik, aralık tip-2 yamuk bulanık sayılar aracılığıyla modellenmiştir. Sırbistan merkezli bir yazılım şirketinden üç farklı pozisyondaki uzman; işlem hızı ve yanıt süresi, gigabayt başına ücret, veri koruma düzeyi, sunulan yan hizmetler, işletim ve gözetim giderleri, kapasite artırma esnekliği ile sağlayıcıya duyulan güven olmak üzere yedi niteliği önem derecelerine göre değerlendirmiştir. Dört aday bulut hizmet sağlayıcısı, bu nitelikler çerçevesinde iki farklı sıralama tekniğiyle karşılaştırılmıştır. Fayda temelli yaklaşımı benimseyen IT2FCOPRAS yöntemi birinci alternatifi öne çıkarırken, mesafe temelli yaklaşıma dayanan IT2FEDAS yöntemi ikinci alternatifi ilk sıraya yerleştirmiştir. Her iki teknikte de dördüncü alternatif en düşük performansı gösteren seçenek olmuştur. Yöntemler arası uyum katsayısının 0,708 düzeyinde hesaplanması, elde edilen sonuçların birbirleriyle büyük ölçüde tutarlı olduğuna işaret etmektedir.

Navya ve diğ. (2025) bulut hizmet sağlayıcısı seçiminde eksik performans verilerinin yarattığı belirsizliği azaltmak amacıyla QoS odaklı bir MADM yaklaşımı geliştirmiştir. Çalışmada karar matrisindeki eksik değerler üç farklı imputasyon tekniğiyle ele alınmış ve önerilen strateji yedi farklı karar verme algoritması üzerinde QWS veri seti kullanılarak sınanmıştır. Bulgular, yaklaşımın çoğu algorithmada tutarlı sonuçlar verdiğini ve duyarlılık analizi açısından da sağlam bir yapı sunduğunu göstermektedir. Araştırma, özellikle eksik veri içeren bulut hizmet sağlayıcı seçim problemlerinde karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Al-Mashhadani ve diğ. (2025) bulut hizmet sağlayıcılarının sıralanmasını Fermatean bulanık kümeler ortamında çözümlenen hibrit bir çok kriterli karar çerçevesiyle ele almıştır. Nitelik ağırlıkları, uzaklık ölçümüne dayalı FFS-FUCOM yaklaşımıyla hesaplanmış; sağlayıcıların öncelik sırası ise Grey-TOPSIS tekniğiyle belirlenmiştir.

Çalışmada HP, Amazon, Google, GoGrid, Azure, Rackspace, Joynet ve Linode olmak üzere sekiz sağlayıcı; ölçeklenebilirlik, sürdürülebilirlik, kullanılabilirlik, birlikte çalışabilirlik, güvenlik yönetimi, maliyet, bakım kolaylığı, hizmet yanıt süresi ve güvenilirlik olmak üzere dokuz hizmet kalitesi niteliği çerçevesinde değerlendirilmiştir. Ağırlıklandırma sonuçlarına göre güvenlik yönetimi en yüksek öneme sahip nitelik olarak öne çıkmış, sıralamada ise GoGrid birinci, Azure ikinci ve Amazon üçüncü sıraya yerleşmiştir. Duyarlılık analizi ve sistematik sıralama testi, çerçevenin tutarlı ve dayanıklı sonuçlar ürettiğini doğrulamıştır.

Tiwari ve diğ. (2025) bulut hizmet sağlayıcısı seçimi için Best Only Method ve RE-TOPSIS yöntemlerini bütünleştiren hibrit bir karar çerçevesi önermiştir. Çalışmada hesap verebilirlik, çeviklik, güvence, maliyet, performans, gizlilik, güvenlik ve kullanılabilirlik olmak üzere sekiz hizmet kalitesi niteliği temelinde altı bulut hizmet sağlayıcısı değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları ve sağlayıcılara ilişkin tercih yapısı BOM ile elde edilmiş, alternatif sağlayıcıların sıralanmasında ise rank reversal problemine karşı daha dayanıklı bir yapı sunan RE-TOPSIS yaklaşımı kullanılmıştır. Bulgular, önerilen yöntemin hizmet sağlayıcıların değerlendirilmesinde daha etkin, güvenilir ve tutarlı sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Swathi ve diğ. (2025) bulut hizmet seçimi ve hizmet bileşimi sürecine yönelik AHP ve TOPSIS tabanlı bütünleşik bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada, hesaplama, depolama ve uygulama hizmetlerinden oluşan 100 atomik bulut hizmeti, güvenilirlik, yanıt süresi, maliyet, kullanılabilirlik, aktarım hızı ve kullanıcı geri bildirimi olmak üzere 6 QoS kriteri temelinde değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları AHP ile entropi yönteminin birlikte kullanılmasıyla elde edilmiş, hizmet alternatifleri TOPSIS ile sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen modelin kullanıcı geri bildirimi ve kalite ölçütlerini birlikte dikkate alarak hizmet seçiminde daha etkili bir karar destek yapısı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Harichandan ve diğ. (2025) bulut hizmet seçimi problemine yönelik olarak kullanıcı odaklı ve dinamik ağırlıklandırmaya dayanan bir QFD–MCDM çerçevesi önermiştir. Çalışmada, 10 ticari bulut hizmet sağlayıcısı, fiyat, disk I/O tutarlılığı, CPU performansı, disk performansı, bellek performansı, RAM kapasitesi ve sanal çekirdek

sayısından oluşan 7 QoS kriteri temelinde değerlendirilmiştir. Kullanıcı ya da görev temelli gereksinimler dinamik biçimde ağırlıklandırılmış, bu gereksinimler QFD aracılığıyla teknik özellik önceliklerine dönüştürülmüş ve sağlayıcı alternatifleri TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımın kullanıcı bağlamını ve teknik performansı birlikte dikkate alarak daha esnek, kişiselleştirilmiş ve göreve duyarlı sağlayıcı önerileri sunduğunu göstermektedir.

Himanshu ve Chopra (2025) modern bilgi teknolojileri altyapılarında öne çıkan bulut hizmet sağlayıcılarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmada Amazon Web Services, Microsoft Azure ve Google Cloud Platform olmak üzere 3 bulut hizmet sağlayıcısı, performans, maliyet yapısı, güvenilirlik, güvenlik çerçeveleri ve entegrasyon kabiliyetlerinden oluşan 5 temel kriter açısından değerlendirilmiştir. Nicel performans verileri ile karar verici görüşlerini bir araya getiren araştırma, sağlayıcılar arasında iş yüküne göre değişen belirgin farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, işlem gücü gerektiren senaryolarda AWS'nin, kurumsal entegrasyon boyutunda Azure'un ve makine öğrenmesi odaklı uygulamalarda ise GCP'nin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Çalışma, bulut hizmet sağlayıcısı tercihinin tek bir sağlayıcının genel üstünlüğünden ziyade iş yükünün niteliğine bağlı olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulaması bakımından literatüre katkı sunmaktadır.

Saraf ve diğ. (2026) çoklu bulut ortamlarında bulut hizmet sağlayıcısı seçimi için MAGIQ, TOPSIS ve bulanık mantığı bir araya getiren bütünsel bir sıralama modeli önermiştir. Çalışmada, pazar payı yüksek olan üç global bulut hizmet sağlayıcısı; maliyet, kullanılabilirlik, gecikme, güvenlik ve ölçeklenebilirlik olmak üzere 5 değerlendirme kriteri temelinde ele alınmıştır. Kriter ağırlıkları MAGIQ yaklaşımıyla belirlenmiş, dilsel değerlendirmelerdeki belirsizlik bulanık mantıkla ele alınmış ve alternatif sağlayıcılar TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır. Bulgular, önerilen modelin sağlayıcıların değerlendirilmesinde daha tutarlı ve ayırt edici sonuçlar ürettiğini ve karar verme sürecini destekleyen uygulanabilir bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Khan ve diğ. (2026) bulut hizmet sağlayıcısı seçimini çok ölçütlü grup karar verme problemi olarak ele almış ve bu amaçla Circular Non-Linear Diophantine Fuzzy

Sets ile CoCoSo yöntemini bütünleştiren bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada, beş bulut hizmet sağlayıcısı alternatifi değerlendirilmiştir. Uzman değerlendirmelerindeki belirsizlik, Circular Non-Linear Diophantine Fuzzy Sets yapısı ile daha esnek biçimde modellenmiş; Frank tabanlı toplulaştırma operatörleri kullanılarak karar bilgileri birleştirilmiş ve sağlayıcı alternatifleri CoCoSo yöntemi ile sıralanmıştır. Bulgular, önerilen modelin karmaşık ve belirsiz karar ortamlarında güvenilir, tutarlı ve istikrarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

İncelenen literatür, çalışmaların karar problemine katkısı dikkate alınarak iki ana grupta değerlendirilmiştir. Bulut hizmet sağlayıcılarının veya bulut hizmet alternatiflerinin seçimi ve sıralamasına doğrudan odaklanan araştırmalar Çizelge 2.1’de özetlenmiştir. Bu çizelgede çalışmalar; kullanılan yöntemler, alternatif ve kriter sayıları, veri kaynağı, uygulama bağlamı, uygulama ülkesi, duyarlılık analizi ve karşılaştırmalı analiz durumu bakımından karşılaştırılmıştır. Doğrudan seçim problemi kurmayan ancak bulut bilişim hizmetlerinin değerlendirilmesi, benimsenmesi, kriterlerin yapılandırılması ve yöntemsel arka planın oluşturulması açısından katkı sağlayan çalışmalar ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi ve Sıralaması Çalışmalarının Sınıflandırılması

Yazar	Yıl	Kullanılan Yöntemler	Alternatif Sayısı	Kriter Sayısı	Veri Kaynağı / Uygulama Bağlamı	Uygulama Ülkesi	Duyarlılık Analizi	Karşılaştırmalı Analiz
Qu vd.	2013	FSAWS (Bulanık Basit Toplam Ağırlıklandırma Sistemi)	4	7	Kullanıcı geri bildirimleri ve üçüncü taraf performans ölçümleri	Avustralya	Yok	Var
Yıldırım ve Önay	2013	Bulanık AHP, MOORA	5 bulut depolama firması	10	Nasuni "State of Cloud Storage 2013" raporundaki test verileri	Belirlenmemiş	Yok	Yok
Ding vd.	2014	Eksik değer tahmini, işbirlikçi filtreleme, çok nitelikli güvenilirlik değerlendirmesi	100+ hizmet örneği	Çoklu güvenilirlik niteliği	Tarihsel QoS ve kullanıcı değerlendirme kayıtları	Belirlenmemiş	Yok	Yok
Do Chung ve Seo	2015	ANP	6 IaaS sağlayıcısı	3 ana kriter, 8 alt kriter	Kore pazarındaki IaaS sağlayıcılarının uzman görüşleriyle değerlendirilmesi	Güney Kore	Yok	Yok
Hemam ve Hiuual	2016	ÇKKA, TOPSIS, Markov Zinciri Modeli, çok ajanlı yaklaşım	8 hizmet örneği / 5 bulut	3	Çoklu bulut ortamında maliyet, yanıt süresi ve yük dengeleme odaklı vaka çalışması	Cezayir	Yok	Yok
Nawaz vd.	2018	Markov Zinciri, BWM	4 IaaS hizmeti	4	Amazon EC2 gerçek QoS performans verileri	Avustralya	Yok	Var
Jatoth vd.	2019	AHP, Genişletilmiş Gri TOPSIS	Belirlenmemiş	QoS kriterleri	Bulut hizmetleri için QoS ve maliyet parametreleri	Belirlenmemiş	Var	Var
Uslu vd.	2019	TOPSIS, PROMETHEE	7 CSP	5	Ankara'da 235 çalışanlı orta ölçekli yazılım şirketi vaka çalışması	Türkiye	Yok	Yok
Al-Faifi vd.	2019	K-ortalamlar kümeleme, DEMATEL, ANP, Hibrit KD-ANP	13 sağlayıcı düğümü	4 ana kriter	28.147 hizmet talebi ve 9 hizmet niteliğine dayalı akıllı veri seti	Belirlenmemiş	Yok	Yok
Gireesha vd.	2020	IIVIFS, Shannon Entropisi, Sıralama Merkez Ağırlıkları, WASPAS	Belirlenmemiş	QoS nitelikleri	Cloud Armor güven geri bildirim veri seti	Belirlenmemiş	Var	Var

Çizelge 2.1 (devam): Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi ve Sıralaması Çalışmalarının Sınıflandırılması

Yazar	Yıl	Kullanılan Yöntemler	Alternatif Sayısı	Kriter Sayısı	Veri Kaynağı / Uygulama Bağlamı	Uygulama Ülkesi	Duyarlılık Analizi	Karşılaştırmalı Analiz
Hussain ve Chun	2022	C3SF, MBWM, TOPSIS, VIKOR, WSM, WPM, WASPAS, Markov Zinciri	9 CSP	7	Gerçek performans verileri, uzman görüşleri ve bulut izleme platformları	Çin	Var	Var
Keskin vd.	2020	AHP, TOPSIS, ANP	4 CSP	5 ana kriter, 8 alt kriter	Banka için bulut hizmet sağlayıcısı seçimi uygulaması	Türkiye	Yok	Yok
Saha vd.	2021	ANP, VIKOR, Hibrit H-ÇKKV	Belirtilmemiş	QoS kriterleri	Gerçek yaşam vaka çalışması	Belirtilmemiş	Var	Var
Liu vd.	2021	Bulut Modeli, Gri İlişkisel Analiz ile iyileştirilmiş TOPSIS, klasik TOPSIS, çok amaçlı optimizasyon	Belirtilmemiş	Yeniden yapılandırılmış QoS kriterleri	Bir madencilik şirketinin çözelgeleme platformu için bulut hizmet seçimi	Çin	Var	Yok
Baki	2022	ROC, CODAS	4 CSP	8 kriterleri	Yazılım şirketinde 6 uzmanın değerlendirmesi	Türkiye	Yok	Yok
Mandal ve Khan	2022	Bulut Modeli, CoCoSo	Belirtilmemiş	Güvenlik ve güven odaklı QoS kriterleri	Dilsel uzman değerlendirmelerine dayalı CSP seçim vaka çalışması	Belirtilmemiş	Var	Var
Uma ve Geetha	2022	FUCOM, MOORA	11 CSP	5	CloudHarmony veri setinden elde edilen gerçek zamanlı bulut hizmet verileri	Belirtilmemiş	Var	Var
Hussain ve Chun	2022	C3SF, Değiştirilmiş BWM, Çoklu ÇKKV, Markov Zinciri tabanlı sıralama birleştirme, Poset	9 hizmet	6	Gerçek dünya verisine dayalı bulut hizmet seçimi vaka çalışması	Belirtilmemiş	Var	Var
Aljuhani vd.	2023	En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM), benzerlik temelli eşleştirme algoritmaları	20-30 CSP	7 ana QoS kategorisi	Tüketici ve sağlayıcı tercihlerine dayalı sentetik veri setleri ile deneysel doğrulama	Suudi Arabistan	Yok	Yok
Ghorui vd.	2023	PIFN-FAHP, FTOPSIS, Bulanık COPRAS	6 CSP	9	Uzman değerlendirmeleri ve literatür temelli kriterler	Hindistan	Var	Var

Çizelge 2.1 (devam): Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi ve Sıralaması Çalışmalarının Sınıflandırılması

Yazar	Yıl	Kullanılan Yöntemler	Alternatif Sayısı	Kriter Sayısı	Veri Kaynağı / Uygulama Bağlamı	Uygulama Ülkesi	Duyarlılık Analizi	Karşılaştırmalı Analiz
Arman ve Kundakçı	2023	FUCOM, WEDBA	5 CSP	6	İşletmelere yönelik bulut depolama sağlayıcılarının değerlendirilmesi	Türkiye	Var	Yok
Bhola vd.	2024	AHP, TOPSIS	4 MLaaS bulutu	17	MLaaS bulut alternatiflerine ilişkin karar matrisi	Belirtilmemiş	Yok	Yok
Krithika vd.	2024	SMN, ASOM1, ASOM2, AAMSD	294 CSP	4	Üçüncü taraf bulut izleme aracı ve Gartner kullanıcı değerlendirmeleri	Hindistan	Yok	Var
Makwe vd.	2024	Aralık Nötrosofik Küme, TOPSIS	6 CSP	10	6 CSP ve 10 kriterle dayalı sayısal vaka çalışması	Belirtilmemiş	Var	Yok
Mostafa	2024	Grup En İyi Yöntemi (GBOM)	10 CSP	5 QoS kriteri	CloudHarmony veri seti üzerinden gerçek dünya bulut hizmet seçimi uygulaması	Belirtilmemiş	Yok	Var
Zulqarnain vd.	2024	Aralık değerli q-mertebe ortogonal bulanık yumuşak küme, Korelasyon tabanlı TOPSIS	4 CSP	6	IVq-ROFSS ortamında bulut hizmet sağlayıcısı seçimine yönelik sayısal örnek uygulama	Hindistan	Yok	Var
Dalal vd.	2024	Bulanık Karar Destek Sistemi, Ateş Böceği Optimizasyonu	Belirtilmemiş	Çoklu kriter	Kullanıcı, sağlayıcı ve kamu yorumlarına dayalı CSP ilişkili gerçek dünya veri setleri	Belirtilmemiş	Yok	Var
Al-Mashhadani vd.	2025	Fernatean Bulanık FUCOM, Gri İlişkisel Analiz, Gri TOPSIS	8 CSP	9 QoS niteliği	QoS niteliklerine dayalı CSP değerlendirme matrisi	Belirtilmemiş	Var	Var
Mishra ve Kumar	2025	BWM-TOPSIS, BWM-ARAS, BWM-COPRAS	4-8 CSP	4-9 kriter	Dört farklı kullanım senaryosu üzerinden oluşturulan karar matrisleri	Hindistan	Yok	Var
Spasenić vd.	2025	Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler, IT2FCOPRAS, IT2FEDAS, Bulanık Harmonik Ortalama	4 CSP	7	Sırbistan'da bir BT şirketinde 3 uzman değerlendirmesi ve şirket kayıtları	Sırbistan	Yok	Var

Çizelge 2.1 (devam): Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi ve Sıralaması Çalışmalarının Sınıflandırılması

Yazar	Yıl	Kullanılan Yöntemler	Alternatif Sayısı	Kriter Sayısı	Veri Kaynağı / Uygulama Bağlamı	Uygulama Ülkesi	Duyarlılık Analizi	Karşılaştırmalı Analiz
Navya vd.	2025	QoS odaklı ÇNKV, WSM, WPM, MOORA, VIKOR, TOPSIS, PROMETHEE, BHARAT, eksik veri atama teknikleri	2507 hizmet kaydı	8 QoS niteliği	QWS veri seti, eksik ve tam karar matrisi senaryoları	Belirtilmemiş	Var	Var
Swathi vd.	2025	AHP, Entropi, TOPSIS	100 atomik bulut hizmeti	6 QoS kriteri	Hesaplama, depolama ve uygulama hizmetlerinden oluşan çok seviyeli servis havuzu	Belirtilmemiş	Yok	Yok
Harichandan vd.	2025	QFD, TOPSIS, dinamik kullanıcı merkezli ÇKKV	10 CSP	7	Gerçek dünya bulut benchmark veri seti; CPU, bellek, disk I/O, RAM kapasitesi, sanal çekirdek sayısı ve fiyat metrikleri	Belirtilmemiş	Yok	Var
Himanshu ve Chopra	2025	Karma yöntemli karşılaştırmalı analiz	3 CSP	5	Nitel performans verileri ve 150 BT karar verici görüşmesi	Küresel	Yok	Yok
Tiwari vd.	2025	En İyi Yöntemi, RE-TOPSIS	6 CSP	8 QoS niteliği	Hizmet kalitesi niteliklerine dayalı bulut hizmet sağlayıcısı değerlendirilmesi	Belirtilmemiş	Yok	Var
Saraf ve Adhau	2026	MAGIQ, TOPSIS, Bulanık Mantık	3 CSP	5	Federated cloud ortamında CSP sıralama modeli	Belirtilmemiş	Yok	Var
Khan vd.	2026	Dairesel Doğrusal Olmayan Diophantine Bulanık Kümeler, Frank Toplulaştırma Operatörleri, CoCoSo	5 CSP	4	3 karar verici görüşü ve 5 CSP değerlendirilmesi	Belirtilmemiş	Var	Var

Bulut bilişim hizmetlerine ilişkin çalışmalar incelendiğinde, literatürün yalnızca hizmet sağlayıcıların sıralanmasına odaklanmadığı görölmektedir. Bazı araştırmalar, bulut hizmetlerinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken faktörleri, kullanıcı ihtiyaçlarını ve hizmet kalitesini etkileyen boyutları ele almaktadır. Bu tür çalışmalar, doğrudan alternatif seçimi yapmasa da bulut hizmetlerinin hangi ölçütler üzerinden incelenebileceğini göstermesi bakımından bu tez için destekleyici niteliktedir. Özellikle maliyet, performans, güvenlik, erişilebilirlik ve hizmet yapısına ilişkin değerlendirmeler, bu çalışmada oluşturulan kriter çerçevesinin literatürdeki dayanaklarını güçlendirmektedir. Bu kapsamda, bulut bilişim hizmetlerinin değerlendirilmesine yönelik tamamlayıcı çalışmalar izelge 2.2’de sunulmaktadır.



Çizelge 2.2: Bulut Bilişim Hizmetlerinin Değerlendirilmesine İlişkin Tamamlayıcı Çalışmalar

Yazar	Yıl	Çalışmanın Odağı	Kullanılan Yöntemler	Veri / Kapsam	Uygulama Bağlamı	Tezde İlişkisi
Rehman vd.	2011	Bulut hizmet seçimi probleminin çok kriterli karar verme kapsamında kavramsallaştırılması	Çok kriterli bulut hizmet seçimi metodolojisi, Ağırlıklı Fark temelli seçim modeli	Bulut servislerinin maliyet, performans ve politika gibi kriterler açısından karşılaştırılmasına yönelik metodolojik çerçeve	Kavramsal/metodolojik çalışma	Problem desteği
Whaiduzzaman vd.	2014	Bulut hizmet seçimi ÇKKA yöntemlerinin sistematik incelenmesi	ÇKKA/ÇKKV literatür incelemesi ve taksonomi	Bulut hizmet seçimi alanındaki mevcut literatürün sistematik analizi	Literatür incelemesi	Literatür desteği
Grgurević ve Kordić	2017	Bulut hizmet seçimi ve benimsenmesine yönelik ÇKKA çalışmalarının incelenmesi	ÇKKA literatür incelemesi	IaaS, PaaS ve SaaS hizmet modellerine göre kriter ve yöntem değerlendirmesi	Literatür incelemesi	Yöntem desteği
Büyükoçkan vd.	2023	Bulut bilişim teknolojisi hizmet sağlayıcılarını etkileyen kriterlerin ve kriterler arası ilişkilerin belirlenmesi	2-Demetli Dilsel DEMATEL, grup karar verme	Uzman görüşlerine dayalı CCT değerlendirme kriterleri ve boyutları	Kriter/faktör analizi	Kriter desteği
Doğan ve Doğan	2024	Bulut muhasebe sistemine adaptasyonda etkili faktörlerin belirlenmesi	AHP / AHS	3 uzman görüşü ve bulut muhasebe sistemi kullanan 16 meslek mensubunun anket verisi	Bulut muhasebe sistemi adaptasyonu	Kriter desteği



3. METODOLOJİ

Bu çalışmanın metodolojisi şu şekilde kurgulanmıştır: Öncelikle, Gri Sistem Teorisi'nin (GST) kavramsal arka planı ele alınarak, belirsizlik ve eksik bilgi ortamlarında sağladığı analitik katkılar tartışılmaktadır. Bu bölümde, ayrıca gri sayıların tanımı ve karar verme süreçlerindeki işlevleri açıklanmaktadır. Teorik çerçevenin ardından, çalışmada kullanılan gri tabanlı çok kriterli karar verme yöntemlerinin yöntemsel adımları ayrıntılı biçimde aktarılmaktadır.

Bu kapsamda, çalışmada kullanılan Gri-DEMATEL ve Gri-TOPSIS yöntemleri ayrı ayrı ele alınmakta; her bir yöntemin işlem basamakları, uygulanma mantığı ve çalışmaya sağlayacağı katkılar sistematik olarak ortaya konulmaktadır. Gri-DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki ilişkiler analiz edilerek kriter ağırlıkları belirlenmekte, elde edilen bu ağırlıklar Gri-TOPSIS yönteminde kullanılarak alternatifler sıralanmaktadır. Böylece izleyen bölümlerde gerçekleştirilecek uygulamalar için hem kuramsal hem de yöntemsel bir temel oluşturulması hedeflenmektedir.

3.1 Gri Sistem Teorisi

Gri sistem teorisi, “bir kısmı bilinen, bir kısmı bilinmeyen” yani bilgi bakımından eksik olan belirsiz sistemleri inceleyen bir yaklaşımdır. Bu teori, mevcut sınırlı bilgidan anlamlı ve değerli çıkarımlar elde etmeyi hedefler. Böylece sistemin işleyiş biçimini ve gelişim yasalarını doğru biçimde tanımlayarak, matematiksel modeller aracılığıyla bu tür belirsiz sistemlerin analiz edilmesine ve değerlendirilmesine olanak tanır. Sonuç olarak, “kısmi bilgiye sahip” sistemlerde yüksek doğrulukta tahmin, bilimsel karar verme ve optimum kontrol sağlanabilir. Gerçek dünyada sıkça karşılaşılan bilgi eksikliği barındıran bu tür belirsiz sistemler, gri sistem teorisine geniş bir araştırma alanı ve zengin uygulama potansiyeli sunmaktadır (S. Liu, 2025).

Gri Sistem Teorisi'nin ortaya çıkışından bu yana, hem yurt içinde hem de uluslararası akademik çevrelerde ve uygulayıcılar arasında geniş yankı uyandırmış, olumlu bir

şekilde benimsenmiştir. Alanın önde gelen bilim insanları ve uzmanları, teorinin önemini güçlü biçimde desteklemiş ve çalışmalarında yer vermiştir. Bununla birlikte, çok sayıda genç ve orta yaşlı araştırmacı da büyük bir ilgiyle bu alana yönelmiş, teorik temellerin geliştirilmesi ve farklı disiplinlerdeki uygulama olanaklarının araştırılması yönünde önemli katkılar sunmuştur. Gri Sistem Teorisi'nin özellikle ekonomik bölgeselleşme süreçleri ile bölgesel kalkınma stratejilerinin planlanmasında gösterdiği başarılı uygulamalar, bu yaklaşımın kısa sürede özgün ve etkili bir bilimsel alan olarak kabul görmesini sağlamıştır. Günümüzde, teorinin sahip olduğu güçlü gelişim potansiyeli ve disiplinler arası uygulanabilirliği giderek daha fazla bilim insanı tarafından fark edilmektedir. Gri Sistem Teorisi'nin, dünyanın 100'den fazla ülke ve bölgesinde başarılı biçimde uygulanmış olması da bu yaygın etkinin somut bir göstergesidir (Yang & Liu, 2023).

Tüm yönetim fonksiyonlarının temelinde bilgiye dayalı süreçlerin yürütülmesi ve bu bilgilere bağlı olarak karar verme faaliyetleri yer alır. Dolayısıyla, yöneticinin görevlerinin özü doğru ve zamanında karar alabilme yeteneğidir. Yönetim sürecine özgü tipik bir karar verme döngüsü, genel olarak aşağıdaki aşamalardan oluşur (Mierzwiak, 2025).

Karar probleminin yapılandırılması: Bu aşamada, yönetsel müdahale gerektiren durumun kapsamı ve niteliği açık biçimde tanımlanır (Mierzwiak, 2025).

Amaç ve kriterlerin belirlenmesi: Karar sürecinde yer alan birey, ekip veya örgüt birimleri tarafından, kararın dayandırılacağı hedefler ve gereklilikler belirlenir. Bu aşamanın çıktısı, değerlendirme kriterlerinin oluşturulmasıdır (Mierzwiak, 2025).

Alternatiflerin geliştirilmesi: Tanımlanan problem için uygulanabilir çözüm seçenekleri oluşturulur ve her biri olası eylem senaryosu olarak değerlendirilir (Mierzwiak, 2025).

En uygun seçeneğin seçilmesi: Belirlenen kriterlere göre en uygun çözüm seçeneği belirlenir ve bu karar, etki alanı ile orantılı biçimde örgüt içinde paylaşılır (Mierzwiak, 2025).

Kararın uygulanması: Seçilen çözümün hayata geçirilmesine yönelik uygun araç ve yöntemler belirlenir. Bu aşamada, uygulamadan kaynaklanabilecek olası

sorunların tespiti önemlidir. Çoğu zaman uygulama süreci, daha önce öngörülmemiş problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu durumda süreç, gerekirse karar seçimi veya alternatif arama aşamalarına geri dönebilir (Mierzwiak, 2025).

Kararın değerlendirilmesi: Bu aşamada alınan kararın etkinliği ölçülür, gerekli düzeltmeler ve iyileştirmeler yapılır. Aynı zamanda, örgütün belirlediği amaç ve gerekliliklerin yeniden gözden geçirilmesi de bu aşamanın önemli bir çıktısı olabilir (Mierzwiak, 2025).

3.2 Gri Sayılar

Gri sayılar genellikle iki veya üç parametreyle tanımlanır. Üç parametrelili gri sayı

$$a(\otimes) \in [a^-, \tilde{a}, \bar{a}] \quad (3.1)$$

biçimindedir; burada a^- alt sınırı, $\tilde{a}$ en olası (ağırlık merkezi) değeri ve $\bar{a}$ üst sınırı temsil eder. Eğer ağırlık merkezi belirlenmemişse, üç parametrelili gri sayı iki parametrelili forma indirgenir (Chalekaee ve diğ., 2019).

Gri sistem teorisinde yer alan gri sayılar, bilgilerin tam olmadığı veya belirsizlik içeren durumları nicel biçimde temsil etmeye yarayan temel yapılardır. Literatürde bu sayıların farklı biçimlerde sınıflandırıldığı görülmekle birlikte, genel kabul gören iki ana ölçüt bulunmaktadır. İlk ölçüt, gri sayıların **sürekli (continuous)** ya da **ayrık (discrete)** olarak tanımlanmasına ilişkindir. İkinci ölçüt ise gri sayıların **sonlu (finite)** veya **sonsuz (infinite)** bir küme üzerinde tanımlanıp tanımlanmadığını esas alır (Chalekaee ve diğ., 2019).

Sürekli gri sayılar, belirli bir alt ve üst sınır arasında değişen aralıklı değerleri ifade eder. Bu sınırlar gri sayının alabileceği en düşük ve en yüksek olası değerleri gösterir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$[a(\otimes) \in [\underline{a}, \bar{a}]] \quad (3.2)$$

Burada, $\underline{a}$ gri sayının alt sınırını (*minimum değerini*), $\bar{a}$ ise üst sınırını (*maksimum değerini*) temsil eder.

Ayrık gri sayılar ise, belirli sayıda sonlu elemandan oluşan bir küme biçiminde tanımlanır:

$$[a(\otimes) \in \{a_1, a_2, \dots, a_n\}] \quad (3.3)$$

Bu durumda her bir a_i değeri, gri sayının bulunduğu kümenin i 'inci ögesidir ve elemanlar arasında aşağıdaki koşul sağlanır:

$$[a_{k-1} \leq a_k \leq a_{k+1}] \quad (3.4)$$

Bu iki boyutlu sınıflandırma yaklaşımı, gri sistemlerdeki bilgi eksikliğinin türünü ve yoğunluğunu daha açık biçimde tanımlamaya olanak tanır. Böylece yönetim ve karar verme süreçlerinde gri modellerin uygulanması, daha rasyonel ve sistematik bir çerçeveye oturtulabilir (Mierzwiak, 2024).

3.2.1 Sürekli, ayrık ve sonsuz gri sayı türleri

Gri sistem teorisinde gri sayıların sınıflandırılması, sayıların ait oldukları kümenin yapısına ve sınırlarına göre yapılır. Bu bağlamda gri sayılar; **sürekli (continuous)**, **ayrık (discrete)**, **sonlu (finite)** ve **sonsuz (infinite)** biçimlerde tanımlanabilir (Mierzwiak, 2024).

3.2.1.1 Sürekli beyaz sayılar

$$[d^* \in [\underline{a}, \bar{a}] \wedge (a = \bar{a})] \quad (3.5)$$

Örnek: $[1, 1]$, $[10, 10]$, $[0.1, 0.1]$

3.2.1.2 Ayrık beyaz sayılar

$$[d^* \in \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\} \wedge (n = 1)] \quad (3.6)$$

Örnek: $\{1, 1\}$, $\{10, 10\}$, $\{0.1, 0.1\}$

3.2.1.3 Sonlu ayrik gri sayilar

Sonlu ayrik gri sayilar, sonlu sayida elemandan olusan gri kumelerdir. Bu durumda kumenin buyuklugu sınırlıdır:

$$[|A| \neq \infty \wedge (\min A \neq \max A) \wedge (\min A \wedge \max A) \neq \infty] \quad (3.7)$$

Örnek: $\{1, 2, 3\}, \{4, 5, 6\}, \{0.1, 0.2, 0.3\}$

3.2.1.4 Bölümlenmiş siyah sayilar

$$[d^* \in [\underline{a}, \bar{a}] \wedge (\underline{a} = -\infty) \wedge (\bar{a} = +\infty)] \quad (3.8)$$

Örnek: $[-\infty; +\infty]$

3.2.1.5 Ayrik siyah sayilar

$$[d^* \in \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\} \wedge (a_1 = -\infty) \wedge (n = +\infty)] \quad (3.9)$$

Örnek: $\{-\infty, \dots, +\infty\}$

3.2.1.6 Alt sınıra sahip sonsuz ayrik gri sayilar

$$[d^* \in \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\} \wedge (a_1 \neq -\infty) \wedge (n = +\infty)] \quad (3.10)$$

Örnek: $\{-1; 0; 1, \dots, +\infty\}, \{2, 3, \dots, +\infty\}, \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, +\infty\}$

3.2.1.7 Alt sınıra sahip sonsuz sürekli gri sayilar

$$[d^* \in [\underline{a}, \bar{a}] \wedge (\underline{a} \neq -\infty) \wedge (\bar{a} = +\infty)] \quad (3.11)$$

Örnek: $[-1; +\infty), [2, +\infty), [0.1; +\infty)$

3.2.1.8 Üst sınıra sahip ayrık sonsuz gri aayılar

$$[d^* \in \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\} \wedge (a_1 = -\infty) \wedge (n \neq +\infty)] \quad (3.12)$$

Örnek: $\{-\infty, \dots; -1, 0, 1\}$, $\{-\infty, \dots; 1; 2; 3\}$, $\{-\infty, \dots; 0.1; 0.2; 0.3\}$

3.2.1.9 Üst sınıra sahip sürekli sonsuz gri sayılar

Alt ve üst sınır değerleri belirlenmiş olan sürekli sonsuz gri sayılar, basitlik açısından aralık gri sayılar olarak adlandırılır. Bu tür gri sayılar, belirli bir aralık içerisinde tanımlanır ve aşağıdaki koşulu sağlar (Mierzwiak, 2024).

$$[(|A| = \infty) \wedge [(\min A \wedge \max A) \neq \infty]] \quad (3.13)$$

Örnek: $[-1; 1]$, $[1, 2]$, $[0.1; 0.2]$

Uygulama açısından bakıldığında, gri sayı türleri içinde en pratik ve en yaygın biçimde kullanılanlar aralık gri sayılardır. Bu tür gri sayılar, teorik olarak sonsuz sayıda değer içerse de belirli alt ve üst sınırlar arasında tanımlandıkları için hesaplamalarda kolaylık sağlar. Aralık gri sayılar üzerindeki matematiksel işlemler, belirli kurallara indirgenerek aşağıda özetlenen bir dizi işlem kuralı biçiminde ifade edilebilir (Mierzwiak, 2024).

Kural 1: Varsayalım ki iki gri sayı aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır:

$$\otimes_1 \in [\underline{a}_1, \bar{a}_1], \quad \underline{a}_1 < \bar{a}_1, \quad \otimes_2 \in [\underline{a}_2, \bar{a}_2], \quad \underline{a}_2 < \bar{a}_2 \quad (3.14)$$

Bu durumda, $(\otimes_1)$ ve $(\otimes_2)$ gri sayıların toplamı şekilde ifade edilir :

$$[\otimes_1 + \otimes_2 \in [\underline{a}_1 + \underline{a}_2, \bar{a}_1 + \bar{a}_2]] \quad (3.15)$$

Örnek: $\otimes_1 \in [1, 2]$, $\otimes_2 \in [3, 4]$ ise, $\otimes_1 + \otimes_2 \in [4, 6]$ olur.

Kural 2:

$$\otimes_1 \in [\underline{a}_1, \bar{a}_1], \quad \underline{a}_1 < \bar{a}_1 \quad \text{ve} \quad \otimes_2 \in [\underline{a}_2, \bar{a}_2], \quad \underline{a}_2 < \bar{a}_2 \quad (3.16)$$

$\otimes_1$ ile $\otimes_2$ arasındaki fark şu şekilde tanımlanır:

$$[\otimes_1 - \otimes_2 \in [a_1 - \bar{a}_2, \bar{a}_1 - a_2]] \quad (3.17)$$

Örnek: $\otimes_1 \in [1, 2]$, $\otimes_2 \in [3, 4]$ ise, $\otimes_1 - \otimes_2 \in [-3, -1]$

Kural 3: Varsayalım ki

$$\otimes_1 \in [\underline{a}_1, \bar{a}_1], \quad \underline{a}_1 < \bar{a}_1, \quad \otimes_2 \in [\underline{a}_2, \bar{a}_2], \quad \underline{a}_2 < \bar{a}_2 \quad (3.18)$$

$\otimes_1$ ile $\otimes_2$ 'nin çarpımı şu şekildedir:

$$[\otimes_1 \cdot \otimes_2 \in [\min(\underline{a}_1 \underline{a}_2, \underline{a}_1 \bar{a}_2, \bar{a}_1 \underline{a}_2, \bar{a}_1 \bar{a}_2), \max(\underline{a}_1 \underline{a}_2, \underline{a}_1 \bar{a}_2, \bar{a}_1 \underline{a}_2, \bar{a}_1 \bar{a}_2)]] \quad (3.19)$$

Örnek: $\otimes_1 \in [1, 2]$, $\otimes_2 \in [3, 4]$ ise, $\otimes_1 \cdot \otimes_2 \in [3, 8]$

Kural 4: Varsayalım ki

$$\otimes_1 \in [\underline{a}_1, \bar{a}_1], \quad \underline{a}_1 < \bar{a}_1, \quad \otimes_2 \in [\underline{a}_2, \bar{a}_2], \quad \underline{a}_2 < \bar{a}_2 \quad (3.20)$$

$\otimes_1$ 'in $\otimes_2$ 'ye bölümünün sonucu şu şekildedir:

$$\left[\otimes_1 / \otimes_2 \in \left[\min \left(\frac{\underline{a}_1}{\underline{a}_2}, \frac{\underline{a}_1}{\bar{a}_2}, \frac{\bar{a}_1}{\underline{a}_2}, \frac{\bar{a}_1}{\bar{a}_2} \right), \max \left(\frac{\underline{a}_1}{\underline{a}_2}, \frac{\underline{a}_1}{\bar{a}_2}, \frac{\bar{a}_1}{\underline{a}_2}, \frac{\bar{a}_1}{\bar{a}_2} \right) \right] \right] \quad (3.21)$$

Kural 5:

$$\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}], \quad \underline{a} < \bar{a} \quad (3.22)$$

Toplamsal ters alma işlemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$[-\otimes \in [-\bar{a}, -\underline{a}]] \quad (3.23)$$

Örnek: $\otimes \in [1, 2]$, $-\otimes \in [-2, -1]$

Kural 6:

$$\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}], \quad \underline{a} < \bar{a}, \quad \underline{a} \neq 0, \quad \bar{a} \neq 0, \quad \text{ve} \quad \underline{a}\bar{a} > 0 \quad (3.24)$$

$\otimes$ 'nin çarpma tersi işlemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\left[\otimes^{-1} \in \left[\frac{1}{\underline{a}}, \frac{1}{\bar{a}} \right] \right] \quad (3.25)$$

Örnek: $\otimes \in [2, 4]$, $\otimes^{-1} = [0.25, 0.5]$

Kural 7:

$$\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}], \quad \underline{a} < \bar{a} \quad (3.26)$$

skaler çarpma işlemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$[k \cdot \otimes \in [k \cdot \underline{a}, k \cdot \bar{a}]] \quad (3.27)$$

Örnek: $\otimes \in [2, 4]$, $k = 5$, $k \cdot \otimes = 5 \cdot [2, 4] = [10, 20]$

Kural 8:

$$\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}], \quad \underline{a} < \bar{a} \quad (3.28)$$

üs alma (kuvvet) işlemi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\left[\otimes^k = [\underline{a}^k, \bar{a}^k] \right] \quad (3.29)$$

Örnek: $\otimes \in [2, 4]$, $k = 2$, $\otimes^2 = [4, 16]$

(Mierzwiak, 2024)

3.3 Gri Karar Verme Modelleri

Gri sistem teorisi kapsamında geliştirilen karar verme modelleri, belirsizlik ve eksik bilgi içeren problemlerin sistematik biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu modeller, özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde karar vericilerin değerlendirmelerini gri sayılar aracılığıyla ifade etmelerine ve böylece daha esnek sonuçlar elde etmelerine yardımcı olmaktadır. Literatürde çok sayıda gri karar verme yaklaşımı bulunmakla birlikte, bu çalışmada problemin yapısına uygun olarak Gri-DEMATEL ve Gri-TOPSIS yöntemleri tercih edilmiştir. Gri-DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki karşılıklı etkiler analiz edilerek kriter ağırlıkları belirlenmiş, ardından bu ağırlıklar Gri-TOPSIS yöntemine aktarılmış ve alternatifler sıralanmıştır (Paszynski ve diğ., 2025).

3.3.1 Gri-TOPSIS yöntemi

Gri-TOPSIS, klasik TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminin gri sistem teorisi ile bütünleştirilmiş bir versiyonudur. Bu yöntem, karar vericilerin öznel değerlendirmelerindeki belirsizliği gri sayılar aracılığıyla modelleyerek çok kriterli karar verme (ÇKKV) süreçlerinde daha esnek ve güvenilir sonuçlar üretir. Gri sistem teorisi, sınırlı veya eksik bilginin bulunduğu durumlarda karar problemlerinin nicel olarak analiz edilmesini sağlar. Bu nedenle Gri-TOPSIS yöntemi, özellikle değerlendiricilerin ifadelerinin kesin sayı yerine aralık olarak belirtildiği durumlarda tercih edilmektedir (Zhang ve diğ., 2024).

Yöntemin temel amacı, her alternatifin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklığını dikkate alarak göreceli yakınlık değerini hesaplamak ve buna göre sıralama yapmaktır. Bu çalışmada karar matrisinde yer alan değerler uzman değerlendirmelerine dayanmaktadır. Uzman görüşlerindeki belirsizliği ifade edebilmek amacıyla değerlendirmeler gri sayılar ile ifade edilmiştir. Gri-TOPSIS süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Zhang ve diğ., 2024).

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

İlk aşamada, m adet alternatifin n adet kritere göre değerlendirilmesi sonucu elde edilen karar matrisi oluşturulur:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.30)$$

Burada x_{ij} , i 'inci alternatifin j 'inci kritere göre aldığı değeri temsil eder. Eğer veriler gri sayılarla ifade ediliyorsa her x_{ij} değeri $(\underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij})$ aralığında tanımlanır (Zhang ve diğ., 2024).

Adım 2: Karar Matrisinin Normalleştirilmesi

Kriterler farklı ölçeklerde olabileceği için veriler normalleştirilmelidir. Fayda (maksimizasyon) ve maliyet (minimizasyon) türündeki kriterler için normalizasyon aşağıdaki şekilde yapılır:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, & \text{eğer kriter fayda yönlüye} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, & \text{eğer kriter maliyet yönlüye} \end{cases} \quad (3.31)$$

Eğer gri aralıklar kullanılıyorsa, bu formül alt ve üst sınırlar için ayrı ayrı uygulanır. Böylece farklı ölçekteki kriterler ortak bir karşılaştırma zeminine taşınmış olur (Zhang ve diğ., 2024).

Adım 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Matrisin Oluşturulması

Her bir kriterin önem derecesi w_j ile gösterilir ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ koşulu sağlanır. Ağırlıklı normalleştirilmiş matris aşağıdaki şekilde elde edilir (Zhang ve diğ., 2024).

$$P = [p_{ij}]_{m \times n} = [w_j \cdot r_{ij}]_{m \times n} \quad (3.32)$$

Bu matris, her alternatifin kriterler bazında ağırlıklandırılmış performansını temsil eder. Bu çalışmada kullanılan kriter ağırlıkları Gri-DEMATEL yöntemi ile elde edilmiştir (Zhang ve diğ., 2024).

Adım 4: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi

Ağırlıklı normalleştirilmiş matristen hareketle, her kriter için en iyi (pozitif ideal) ve en kötü (negatif ideal) değerler belirlenir (Zhang ve diğ., 2024).

$$A^+ = \{p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+\}, \quad \text{burada } p_j^+ = \max_i p_{ij} \quad (3.33)$$

$$A^- = \{p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-\}, \quad \text{burada } p_j^- = \min_i p_{ij} \quad (3.34)$$

Bu iki vektör, alternatiflerin performanslarının karşılaştırılacağı referans noktalarını oluşturur.

Adım 5: Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlere Uzaklıkların Hesaplanması

Her bir alternatifin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları Öklidyen mesafe yaklaşımı ile hesaplanır (Zhang ve diğ., 2024).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2} \quad (3.35)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2} \quad (3.36)$$

Burada d_i^+ değeri alternatifin pozitif ideal çözüme olan uzaklığını, d_i^- değeri ise negatif ideal çözüme olan uzaklığını göstermektedir.

Adım 6: Nispi Yakınlık Değerinin Hesaplanması

Alternatiflerin genel sıralaması, pozitif ve negatif ideal çözümlere olan göreceli yakınlığa göre yapılır. Nispi yakınlık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır (Zhang ve diğ., 2024).

$$C_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (3.37)$$

C_i^+ değeri 1'e yaklaştıkça alternatifin ideal çözüme yakınlığı artar. Bu nedenle en yüksek C_i^+ değerine sahip alternatif en uygun seçenek olarak değerlendirilir (Zhang ve diğ., 2024).

Adım 7: Yöntemin Özellikleri

Gri-TOPSIS yöntemi, klasik TOPSIS yaklaşımının güçlü yönlerini korurken gri sistem teorisinin belirsizlikleri modelleme kabiliyetini de sürece dahil eder. Böylece uzman yargılarındaki belirsizlikler aralıklar aracılığıyla matematiksel biçimde işlenebilir. Bu çalışmada yöntem, gri sayılar kullanılarak ve mesafe tabanlı yaklaşım esas alınarak uygulanmıştır. Yöntem, hem nitel hem nicel verilerin birlikte değerlendirildiği durumlarda etkili sonuçlar vermektedir (Zhang ve diğ., 2024).

3.3.2 Gri-DEMATEL yöntemi

Gri-DEMATEL yöntemi, karmaşık sistemlerdeki faktörler arasındaki etkileşimlerin yönünü ve şiddetini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Klasik DEMATEL yöntemi, karar verici uzmanların değerlendirmelerine dayansa da, bu değerlendirmelerdeki belirsizlik ve öznelliği yeterince yansıtamaz. Bu nedenle gri sistem teorisi ile bütünleştirilmiş Gri-DEMATEL yaklaşımı, uzman görüşlerini gri sayılar biçiminde ifade ederek belirsizliği hesaba katmakta ve daha gerçekçi bir analiz sağlamaktadır (Yan ve diğ., 2024).

Bu çalışmada Gri-DEMATEL yöntemi yalnızca kriterler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri ortaya koymak amacıyla değil, aynı zamanda kriter ağırlıklarını belirlemek amacıyla da kullanılmıştır. Ana kriterler için uygulanan adımlar, alt kriterler için de aynı şekilde uygulanmış ve her bir alt kriterin ağırlığı ayrı ayrı hesaplanmıştır (Yan ve diğ., 2024).

Adım 1: Faktör Setinin Oluşturulması

İlk adımda, incelenecek faktörler $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ biçiminde tanımlanır. Bu faktörler, sistemin performansını etkileyen temel unsurlardır.

Adım 2: Başlangıç Etki Matrisi (Z) Oluşturulması

Uzmanlardan her bir faktörün diğer faktörler üzerindeki etkisini değerlendirmeleri istenir. Etkiler, beş seviyeli gri dil ölçeği ile puanlanır. Her uzman için başlangıç doğrudan etki matrisi

$$Z^k = [z_{ij}^k] \quad (3.38)$$

oluşturulur. Uzman değerlendirmeleri gri sayılarla ifade edilir (Yan ve diğ., 2024).

$$[z_{ij}^k \in [x_{ij}^L, x_{ij}^U]] \quad (3.39)$$

Burada x_{ij}^L ve x_{ij}^U sırasıyla gri aralığın alt ve üst sınırlarıdır.

Adım 3: Gri Sayıların Normalleştirilmesi

Uzman değerlendirmelerindeki farklı ölçekleri ortadan kaldırmak için gri aralıklar normalleştirilir. Her bir değerlendirme aşağıdaki formülle standardize edilir (Yan ve diğ., 2024).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3.40)$$

Adım 4: Ağırlıklı Ortalama Etki Matrisi

Birden fazla uzmanın değerlendirmesi varsa, bu değerlendirmeler uzman ağırlıkları (ω_k) dikkate alınarak birleştirilir (Yan ve diğ., 2024).

$$z_{ij} = \sum_{k=1}^K \omega_k z_{ij}^k \quad \text{ve} \quad \sum_{k=1}^K \omega_k = 1 \quad (3.41)$$

Adım 5: Standartlaştırılmış Etki Matrisi (C)

Elde edilen Z matrisindeki değerler, en büyük satır toplamı kullanılarak normalleştirilir (Yan ve diğ., 2024).

$$S = \frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n z_{ij}} \quad (3.42)$$

$$C = S \cdot Z \quad (3.43)$$

Adım 6: Toplam Etki Matrisi (T)

Doğrudan ve dolaylı etkilerin tamamını içeren toplam etki matrisi şu şekilde hesaplanır (Yan ve diğ., 2024).

$$T = C(I - C)^{-1} \quad (3.44)$$

Burada I birim matristir.

Adım 7: Etki Düzeylerinin Hesaplanması

Her faktörün diğer faktörleri etkileme derecesi (R_i), diğerlerinden etkilenme derecesi (D_i), merkezlilik (P_i) ve neden-sonuç derecesi (E_i) aşağıdaki denklemlerle elde edilir:

$$R_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (3.45)$$

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (3.46)$$

$$P_i = R_i + D_i \quad (3.47)$$

$$E_i = R_i - D_i \quad (3.48)$$

P_i değeri yüksek olan faktörler sistem içinde daha yüksek etki yoğunluğuna sahiptir. $E_i > 0$ olan faktörler neden grubu içerisinde, $E_i < 0$ olan faktörler ise sonuç grubu içerisinde değerlendirilir (Yan ve diğ., 2024).

Adım 8: Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Elde edilen toplam etki matrisi ve buna bağlı olarak hesaplanan etki düzeyleri kullanılarak kriterlerin sistem içerisindeki önem dereceleri belirlenir. Bu değerler normalleştirilerek kriter ağırlıkları elde edilir. Bu çalışmada ana kriterlere ilişkin ağırlıklar bu şekilde hesaplanmış, aynı yaklaşım alt kriterler için de uygulanmıştır (Yan ve diğ., 2024).

$$w_i^* = \sqrt{(R_i + D_i)^2 + (R_i - D_i)^2} \quad (3.49)$$

Elde edilen öncelik değerleri daha sonra normalleştirilerek kriter ağırlıkları (w_i) elde edilir:

$$w_i = \frac{w_i^*}{\sum_{i=1}^n w_i^*} \quad (3.50)$$

Bu işlem sonucunda her bir kriterin toplam ağırlığı belirlenmiş olur ve kriter ağırlıkları toplamı 1'e eşit olacak şekilde normalize edilir:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3.51)$$

Bu çalışmada ana kriterlerin ağırlıkları yukarıdaki yaklaşım doğrultusunda hesaplanmış, aynı işlem her ana kriter altında yer alan alt kriterler için de ayrı ayrı uygulanmıştır.

Adım 9: Nedensel Diyagramın Oluşturulması

P_i ve E_i değerleri kullanılarak neden-sonuç diyagramı çizilir. Bu grafik, sistemdeki faktörlerin birbiriyle etkileşimini görselleştirir ve kritik faktörlerin belirlenmesine yardımcı olur (Yan ve diğ., 2024).

Adım 10: Yöntemin Özellikleri

Gri-DEMATEL yöntemi sonucunda faktörler arasındaki ilişki yönü ve şiddeti nicel olarak ortaya konulmakta, faktörlerin neden veya sonuç grubunda yer alma durumları belirlenmekte ve aynı zamanda kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Bu yönüyle yöntem, karar verme sürecinin hem yapısal hem de sayısal boyutunu desteklemektedir (Yan ve diğ., 2024).

Bu çalışmada, kriterler arası ilişkilerin belirlenmesi ve kriter ağırlıklarının hesaplanması amacıyla Gri-DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları, Gri-TOPSIS yönteminde kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Böylece karar verme sürecinde hem kriterler arası etkileşimler hem de alternatiflerin performansları bütünsel bir biçimde değerlendirilmiştir.



4. UYGULAMA

Bu bölümde çalışmanın uygulama aşaması ayrıntılı olarak sunulmaktadır. İlk olarak ele alınan karar problemi tanımlanmakta ve analizlerde kullanılan veri seti hakkında bilgi verilmektedir. Daha sonra bulut hizmet sağlayıcı seçimine yönelik olarak belirlenen ana ve alt kriterlerden oluşan hiyerarşik yapı açıklanmaktadır. Devamında, kriterlerin göreceli önem derecelerini belirlemek amacıyla Gri DEMATEL yöntemi uygulanmakta ve elde edilen ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu ağırlıklar kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi aracılığıyla alternatif bulut hizmet sağlayıcılar değerlendirilmekte ve sıralanmaktadır. Son aşamada ise model sonuçlarının sağlamlığını incelemek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir.

4.1 Karar Problemi ve Veri Seti

Bulut bilişim teknolojilerinin hızlı gelişimi ile birlikte kurumların bilgi işlem altyapılarını bulut ortamına taşıma eğilimi giderek artmaktadır. Ancak farklı özelliklere ve hizmet modellerine sahip çok sayıda bulut hizmet sağlayıcısının bulunması, kurumlar açısından en uygun sağlayıcının seçilmesini önemli bir karar problemi haline getirmektedir. Bulut hizmet sağlayıcı seçimi; maliyet, performans, güvenlik, esneklik ve benzeri birçok kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir.

Bu çalışmada bulut hizmet sağlayıcı seçimi problemi ele alınmış ve alternatif sağlayıcıların belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, pazar payı yüksek olan üç küresel ve iki yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatif olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler literatür incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kapsamda bulut hizmet sağlayıcı seçimini etkileyen ana kriterler ve bu kriterlere bağlı alt kriterler oluşturulmuştur. Uzman değerlendirmeleri kullanılarak kriterler

arasındaki etkileşimler belirlenmiş ve karar sürecinde kullanılacak veri seti elde edilmiştir.

Elde edilen veriler, kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve alternatiflerin değerlendirilmesi aşamalarında kullanılmak üzere Gri DEMATEL ve Gri TOPSIS yöntemlerine girdi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan bulut hizmet sağlayıcıları, karar probleminin kapsamını temsil edecek şekilde yerel ve küresel sağlayıcı grupları üzerinden belirlenmiştir. Alternatiflerin gerçek firma adları yerine kodlarla ifade edilmesi, analiz sürecinde karşılaştırmaların daha sade ve sistematik biçimde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda kullanılan alternatifler Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Çalışmada Değerlendirilen Bulut Hizmet Sağlayıcı Alternatifleri

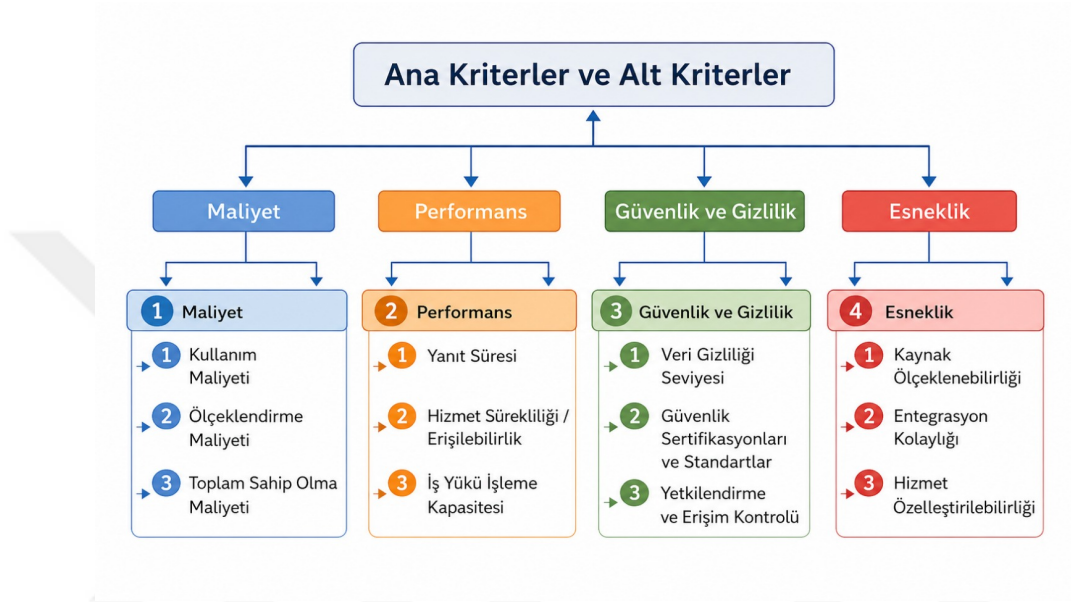
Alternatif	Alternatif Tanımı
A1	Yerel Bulut Hizmet Sağlayıcısı-1
A2	Küresel Bulut Hizmet Sağlayıcısı-1
A3	Yerel Bulut Hizmet Sağlayıcısı-2
A4	Küresel Bulut Hizmet Sağlayıcısı-2
A5	Küresel Bulut Hizmet Sağlayıcısı-3

4.2 Ana Kriterler ve Alt Kriterlerden Oluşan Hiyerarşik Yapı

Bulut hizmet sağlayıcı seçimi, farklı teknik ve ekonomik özelliklerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar problemidir. Bu nedenle karar sürecinin sistematik ve anlaşılabilir bir şekilde ele alınabilmesi için kriterlerin belirli bir yapı içerisinde organize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada karar modelinin oluşturulabilmesi amacıyla kriterler hiyerarşik bir yapı altında düzenlenmiştir.

Çalışmada kullanılan ana kriterler ve bunlara bağlı alt kriterler, konuya ilişkin literatürde yer alan çalışmaların incelenmesi ve uzman görüşlerinin değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Literatürde bulut hizmet sağlayıcıların değerlendirilmesinde en sık dikkate alınan faktörlerin maliyet, performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik başlıkları altında toplandığı görülmektedir. Bu doğrultuda çalışmada dört ana kriter belirlenmiş ve her bir ana kriter için üç alt kriter tanımlanarak toplamda on iki alt kriterden oluşan bir değerlendirme yapısı oluşturulmuştur.

Belirlenen kriterler, karar probleminin daha sistematik bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla hiyerarşik bir model içerisinde yapılandırılmıştır. Şekil 4.1’de gösterildiği üzere, bu yapının en üst seviyesinde bulut hizmet sağlayıcı seçimi problemi yer almakta, ikinci seviyede ana kriterler, üçüncü seviyede ise alt kriterler bulunmaktadır. Oluşturulan bu hiyerarşik yapı, çalışmada uygulanacak olan çok kriterli karar verme yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 4.1: Bulut Hizmet Sağlayıcı Seçimi Probleminin Hiyerarşik Yapısı.

4.3 Gri DEMATEL ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Bulut hizmet sağlayıcı seçimi probleminde yer alan kriterlerin göreceli önem düzeylerinin belirlenebilmesi ve kriterler arasındaki karşılıklı etkilerin ortaya konulabilmesi amacıyla bu çalışmada Gri DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. DEMATEL yöntemi, karmaşık karar problemlerinde kriterler arasındaki etkileşimleri analiz ederek neden–sonuç ilişkilerini ortaya koyabilen bir karar verme yaklaşımıdır. Ancak gerçek karar verme süreçlerinde uzman değerlendirmeleri çoğu zaman kesin sayısal değerlerden ziyade belirsizlik içeren ifadelerden oluşabilmektedir. Bu nedenle çalışmada, söz konusu belirsizlikleri modelleyebilmek amacıyla gri sayılar kullanılarak Gri DEMATEL yaklaşımından yararlanılmıştır.

Yöntemin uygulanması kapsamında ilk olarak uzmanlardan kriterler arasındaki etki derecelerini değerlendirmeleri istenmiş ve elde edilen değerlendirmeler kullanılarak

gri doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra bu matris normalleştirilerek toplam ilişki matrisi hesaplanmış ve kriterlerin etkileme ve etkilenme derecelerini gösteren değerler elde edilmiştir. Bu değerler yardımıyla kriterlerin göreceli önem düzeyleri belirlenmiş ve hesaplanan ağırlıklar çalışmanın bir sonraki aşamasında uygulanacak olan Gri TOPSIS yöntemi için girdi olarak kullanılmıştır.

4.3.1 Ana kriterlerin gri DEMATEL ile ağırlıklandırılması

Ana kriterler arasındaki karşılıklı etkileşimlerin belirlenebilmesi amacıyla alanında deneyimli uzmanların değerlendirmelerinden yararlanılmıştır. Uzmanlardan, çalışmada yer alan ana kriterlerin birbirleri üzerindeki etki düzeylerini belirli bir değerlendirme ölçeği kullanarak ifade etmeleri istenmiştir. Her bir kriterin diğer kriterler üzerindeki etkisi gri sayılar yardımıyla değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler kullanılarak her bir uzmana ait gri doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Uzmanlardan kriterler arasındaki etki derecelerini değerlendirmeleri istenirken belirli bir etki ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçekte kriterler arasındaki etkileşim düzeyleri dilsel ifadeler ile tanımlanmış ve söz konusu ifadeler gri sayı aralıkları ile temsil edilmiştir. Uzman değerlendirmelerinde kullanılan etki ölçeği Çizelge 4.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2: Etki Değerlendirme Ölçeği.

Dilsel Değerlendirme	Skor	Alt Değer	Üst Değer
Etki Yok	0	0	0
Çok Düşük Etki	1	0	0,25
Düşük Etki	2	0,25	0,50
Yüksek Etki	3	0,50	0,75
Çok Yüksek Etki	4	0,75	1

Uzmanlardan elde edilen değerlendirmeler kullanılarak kriterler arasındaki etkileşimleri temsil eden gri doğrudan ilişki matrisleri oluşturulmuştur. Her bir uzmana ait değerlendirme matrisi ayrı ayrı hazırlanmış ve bu matrisler Gri DEMATEL yönteminin hesaplama sürecinde kullanılacak temel veri setini oluşturmuştur. Uzman değerlendirmelerine ait gri doğrudan ilişki matrisleri Çizelge 4.3’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.3: Uzman Değerlendirmelerine Ait Gri Doğrudan İlişki Matrisleri.

DM1				
	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,0)	(0,25,0,5)	(0,0,25)	(0,25,0,5)
Performans	(0,5,0,75)	(0,0)	(0,0,25)	(0,25,0,5)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,5,0,75)	(0,0,25)	(0,0)	(0,0,25)
Esneklik	(0,5,0,75)	(0,25,0,5)	(0,0,25)	(0,0)
DM2				
	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
Performans	(0,75,1)	(0,0)	(0,25,0,5)	(0,25,0,5)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,75,1)	(0,25,0,5)	(0,0)	(0,0,25)
Esneklik	(0,5,0,75)	(0,0,25)	(0,0,25)	(0,0)
DM3				
	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,0)	(0,25,0,5)	(0,0,25)	(0,0)
Performans	(0,5,0,75)	(0,0)	(0,25,0,5)	(0,5,0,75)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,0,25)	(0,0,25)	(0,0)	(0,25,0,5)
Esneklik	(0,5,0,75)	(0,0,25)	(0,0,25)	(0,0)
DM4				
	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,0)	(0,0)	(0,0,25)	(0,0,25)
Performans	(0,25,0,5)	(0,0)	(0,75,1)	(0,25,0,5)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,5,0,75)	(0,75,1)	(0,0)	(0,5,0,75)
Esneklik	(0,0,25)	(0,25,0,5)	(0,0,25)	(0,0)
DM5				
	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,0)	(0,0,25)	(0,0,25)	(0,25,0,5)
Performans	(0,5,0,75)	(0,0)	(0,25,0,5)	(0,75,1)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,25,0,5)	(0,0,25)	(0,0)	(0,0,25)
Esneklik	(0,5,0,75)	(0,75,1)	(0,25,0,5)	(0,0)

Uzmanlara ait gri doğrudan ilişki matrisleri elde edildikten sonra bu matrisler birleştirilerek ortalama gri doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur. Bu aşamada her bir uzmana ait değerlendirme matrisinde yer alan gri sayıların alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmış ve ilgili hücrelerde bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak tek bir bütünleşik matris elde edilmiştir. Oluşturulan ortalama gri doğrudan ilişki matrisi, kriterler arasındaki genel etkileşim yapısını temsil etmekte olup Gri DEMATEL yönteminin izleyen hesaplama adımlarında kullanılmaktadır. Elde edilen ortalama gri doğrudan ilişki matrisi Çizelge 4.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.4: Ortalama Gri Doğrudan İlişki Matrisi.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0; 0)	(0,10; 0,25)	(0; 0,20)	(0,10; 0,25)
Performans	(0,50; 0,75)	(0; 0)	(0,30; 0,55)	(0,40; 0,65)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,38; 0,63)	(0,20; 0,45)	(0; 0)	(0,15; 0,40)
Esneklik	(0,38; 0,63)	(0,25; 0,50)	(0,05; 0,30)	(0; 0)

Ortalama gri doğrudan ilişki matrisi elde edildikten sonra, matris değerlerinin karşılaştırılabilir hale getirilmesi amacıyla normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem kapsamında matriste yer alan gri sayıların alt ve üst sınır değerleri, matris içerisindeki en büyük toplam değere bölünerek normalleştirilmiştir. Böylece kriterler arasındaki etkileşim düzeyleri aynı ölçek üzerinde ifade edilebilir hale getirilmiştir. Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen gri normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi Çizelge 4.5'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.5: Normalleştirilmiş Gri Doğrudan İlişki Matrisi.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0; 0)	(0,051; 0,128)	(0; 0,103)	(0,051; 0,128)
Performans	(0,256; 0,385)	(0; 0)	(0,154; 0,282)	(0,205; 0,333)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,192; 0,321)	(0,103; 0,231)	(0; 0)	(0,077; 0,205)
Esneklik	(0,192; 0,321)	(0,128; 0,256)	(0,026; 0,154)	(0; 0)

Normalleştirilmiş gri doğrudan ilişki matrisi kullanılarak toplam ilişki matrisi hesaplanmıştır. Toplam ilişki matrisi, kriterler arasındaki doğrudan ve dolaylı etkilerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan bir yapıyı temsil etmektedir. Bu matriste yer alan değerler, her bir kriterin diğer kriterler üzerindeki toplam etki düzeyini göstermektedir. Hesaplanan gri toplam ilişki matrisi Çizelge 4.6'da sunulmaktadır.

Çizelge 4.6: Gri Toplam İlişki Matrisi.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	(0,031; 0,316)	(0,063; 0,317)	(0,011; 0,275)	(0,067; 0,331)
Performans	(0,355; 1,006)	(0,068; 0,466)	(0,171; 0,632)	(0,250; 0,747)
Güvenlik ve Gizlilik	(0,254; 0,819)	(0,133; 0,556)	(0,024; 0,327)	(0,119; 0,563)
Esneklik	(0,250; 0,806)	(0,152; 0,563)	(0,050; 0,454)	(0,048; 0,384)

Gri toplam ilişki matrisi elde edildikten sonra, gri sayıların tek bir değere indirgenebilmesi amacıyla durulaştırma işlemi uygulanmıştır. Bu aşamada her bir hücrede yer alan gri sayının alt ve üst sınır değerleri dikkate alınarak temsil edici tek bir değer hesaplanmıştır. Böylece kriterler arasındaki toplam etki düzeylerini daha açık

biçimde ortaya koyan Kesin toplam ilişki matrisi elde edilmiştir. Hesaplanan Kesin toplam ilişki matrisi Çizelge 4.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.7: Kesin Değerler Toplam İlişki Matrisi.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Maliyet	0,189	0,221	0,149	0,232
Performans	0,858	0,301	0,487	0,624
Güvenlik ve Gizlilik	0,664	0,411	0,187	0,400
Esneklik	0,653	0,434	0,278	0,240

Kesin toplam ilişki matrisi elde edildikten sonra her bir kriter için etkileme ve etkilenme derecelerini belirlemek amacıyla D ve R değerleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda D değeri ilgili kriterin diğer kriterler üzerindeki toplam etkisini, R değeri ise diğer kriterlerden aldığı toplam etkiyi ifade etmektedir. Bu değerler kullanılarak D+R ve D-R göstergeleri elde edilmiştir. D+R değeri kriterin sistem içerisindeki genel önem derecesini gösterirken, D-R değeri kriterin neden (etkileyen) ya da sonuç (etkilenen) grubunda yer aldığını ortaya koymaktadır. Hesaplanan değerler Çizelge 4.8’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.8: D, R, D+R ve D-R Değerleri.

Kriter	D	R	D+R	D-R
Maliyet	0,791	2,364	3,155	-1,573
Performans	2,269	1,367	3,637	0,902
Güvenlik ve Gizlilik	1,662	1,100	2,763	0,562
Esneklik	1,605	1,497	3,101	0,108

D+R değerleri kriterlerin genel önem düzeyini ortaya koyarken, bu değerler aynı zamanda kriter ağırlıklarının hesaplanmasında temel alınmıştır. Bu kapsamda her bir ana kriterin toplam önem değeri, tüm kriterlerin toplam önem değerine oranlanarak normalize edilmiş ve nihai ana kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Hesaplanan ağırlık değerleri Çizelge 4.9’da sunulmaktadır.

Çizelge 4.9: Ana Kriter Ağırlıkları.

Kriter	Ağırlık
Maliyet	0,249
Performans	0,287
Güvenlik ve Gizlilik	0,218
Esneklik	0,245

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 incelendiğinde performans kriterinin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bulut hizmet sağlayıcı seçiminde performans faktörünün karar sürecinde diğer kriterlere kıyasla daha belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca D-R değerleri dikkate alındığında performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik kriterlerinin neden (etkileyen) grubunda yer aldığı, maliyet kriterinin ise sonuç (etkilenen) kriter olduğu anlaşılmaktadır.

4.3.2 Alt kriterlerin gri DEMATEL ile ağırlıklandırılması

Ana kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan Gri-DEMATEL yöntemi, çalışmada yer alan alt kriterler için de aynı hesaplama adımları izlenerek uygulanmıştır. Her bir ana kriter altında bulunan alt kriterler için uzman değerlendirmeleri doğrultusunda gri doğrudan ilişki matrisleri oluşturulmuş, bu matrisler normalleştirilerek gri toplam ilişki matrisleri elde edilmiştir. Daha sonra gri değerler durulaştırılarak kesin toplam ilişki matrisi hesaplanmış ve bu matris üzerinden her bir alt kriter için gönderilen etki (D) ve alınan etki (R) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen $D + R$ ve $D - R$ değerleri kullanılarak alt kriterlerin göreceli önem düzeyleri hesaplanmış ve son aşamada değerler normalleştirilerek alt kriterlerin nihai ağırlıkları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm alt kriterlere ait ağırlık değerleri Çizelge 4.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 4.10: Alt Kriterlerin Nihai Ağırlıkları.

Ana Kriter	Alt Kriter	Açıklama	Ağırlık
Maliyet	M1	Kullanım Maliyeti	0,384
Maliyet	M2	Ölçeklendirme Maliyeti	0,335
Maliyet	M3	Toplam Sahip Olma Maliyeti (TCO)	0,281
Performans	P1	Yanıt Süresi (Latency)	0,430
Performans	P2	Hizmet Sürekliliği / Erişilebilirlik	0,345
Performans	P3	İş Yüğü İşleme Kapasitesi	0,225
Güvenlik ve Gizlilik	G1	Veri Gizliliği Seviyesi	0,269
Güvenlik ve Gizlilik	G2	Güvenlik Sertifikasyonları ve Standartlar	0,360
Güvenlik ve Gizlilik	G3	Yetkilendirme ve Erişim Kontrolü	0,371
Esneklik	E1	Kaynak Ölçeklenebilirliği	0,257
Esneklik	E2	Entegrasyon Kolaylığı	0,357
Esneklik	E3	Hizmet Özelleştirilebilirliği	0,386

Alt kriterlerin ağırlıkları incelendiğinde özellikle performans boyutunda yanıt süresi (0,430) kriterinin en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Esneklik kriterleri içerisinde hizmet özelleştirilebilirliği (0,386) ön plana çıkarken, güvenlik ve gizlilik boyutunda yetkilendirme ve erişim kontrolü (0,371) en önemli alt kriter olarak belirlenmiştir. Maliyet boyutunda ise kullanım maliyeti (0,384) diğer maliyet bileşenlerine kıyasla daha yüksek bir önem derecesine sahiptir. Bu sonuçlar, bulut hizmet sağlayıcı seçiminde performans, güvenlik ve esneklik özelliklerinin maliyet faktörleri kadar belirleyici olduğunu göstermektedir.

4.4 Gri TOPSIS ile Alternatiflerin Sıralanması

Alternatiflerin alt kriterler açısından değerlendirilmesi sürecinde uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Uzmanların değerlendirmelerini daha sistematik ve karşılaştırılabilir hale getirebilmek amacıyla dilsel ifadeler kullanılmış ve bu ifadeler gri sayı aralıkları ile temsil edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde karar vericilerin nitel değerlendirmeleri sayısal bir formata dönüştürülerek analiz sürecine dahil edilmiştir. Çalışmada kullanılan dilsel değerlendirme ölçeği ve bu ifadelere karşılık gelen gri sayı aralıkları Çizelge 4.11’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.11: Dilsel Değerlendirme Ölçeği.

Dilsel İfade	Gri Sayı Aralığı [l,u]
Çok Düşük	[0,2]
Düşük	[2,4]
Orta	[4,6]
Yüksek	[6,8]
Çok Yüksek	[8,10]

Gri DEMATEL yöntemi kullanılarak kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra, bulut hizmet sağlayıcı alternatiflerinin değerlendirilmesi ve sıralanması amacıyla Gri TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Gri TOPSIS yöntemi, karar alternatiflerinin ideal çözüme olan yakınlığına ve negatif ideal çözüme olan uzaklığına göre sıralanmasına olanak sağlayan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, alternatiflerin performansları belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilmekte ve elde edilen değerler kullanılarak ideal ve negatif ideal çözümler belirlenmektedir. Daha sonra alternatiflerin bu çözümlere olan uzaklıkları

hesaplanarak göreceli yakınlık değerleri elde edilmekte ve alternatifler bu değerlere göre sıralanmaktadır. Bu çalışmada da bulut hizmet sağlayıcı alternatifleri için Gri TOPSIS yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda alternatiflerin performans sıralaması belirlenmiştir. Çalışmada Gri TOPSIS yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanmıştır. Gri TOPSIS uygulamasının ilk aşamasında, karar probleminde yer alan alternatiflerin her bir alt kriter açısından performans değerleri belirlenerek gri karar matrisi oluşturulmuştur. Çalışmada değerlendirilen alternatifler, pazar payı yüksek olan üç küresel ve iki yerel bulut hizmet sağlayıcısından oluşmaktadır. Alternatiflerin ilgili alt kriterler bakımından performansları gri sayı aralıkları kullanılarak ifade edilmiş ve böylece analiz sürecinde kullanılacak başlangıç veri matrisi elde edilmiştir. Elde edilen gri karar matrisi, yöntemin ilerleyen aşamalarında gerçekleştirilecek normalizasyon işlemleri, kriter ağırlıklarının uygulanması ve ideal çözüme olan uzaklıkların hesaplanması için temel veri yapısını oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan gri karar matrisi Çizelge 4.12’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.12: Gri Karar Matrisi.

Alternatif	M1	M2	M3	G1	G2	G3	E1	E2	E3	P1	P2	P3
A1	[8,10]	[6,8]	[6,8]	[8,10]	[6,8]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]
A2	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]
A3	[8,10]	[6,8]	[6,8]	[8,10]	[6,8]	[4,6]	[4,6]	[6,8]	[4,6]	[4,6]	[4,6]	[4,6]
A4	[4,6]	[2,4]	[4,6]	[4,6]	[8,10]	[8,10]	[6,8]	[6,8]	[6,8]	[8,10]	[6,8]	[6,8]
A5	[6,8]	[4,6]	[6,8]	[4,6]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[8,10]	[6,8]	[8,10]	[8,10]	[8,10]

Gri TOPSIS yönteminin bir sonraki aşamasında, farklı ölçekte ifade edilen kriter değerlerinin karşılaştırılabilir hale getirilmesi amacıyla gri karar matrisi normalleştirilmiştir. Bu işlem, alternatiflerin her bir kriter bakımından göreceli performanslarının ortak bir ölçekte değerlendirilmesini sağlamaktadır. Normalizasyon sürecinde maliyet yönlü kriterler için en küçük değere, fayda yönlü kriterler için ise en büyük değere göre ölçeklendirme yapılmıştır. Böylece tüm kriter değerleri 0 ile 1 aralığında ifade edilerek kriterler arasındaki ölçek farklılıklarının karar sürecine olan etkisi ortadan kaldırılmıştır. Normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen normalleştirilmiş gri karar matrisi Çizelge 4.13’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.13: Normalleştirilmiş Gri Karar Matrisi.

Alternatif	M1		M2		M3		G1		G2		G3		E1		E2		E3		P1		P2		P3	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
A1	0	0,2	0	0,25	0	0,25	0,8	1	0,6	0,8	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6
A2	0,4	0,6	0,25	0,5	0,25	0,5	0,4	0,6	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1
A3	0	0,2	0	0,25	0	0,25	0,8	1	0,6	0,8	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6
A4	0,4	0,6	0,5	0,75	0,25	0,5	0,4	0,6	0,8	1	0,8	1	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	1	0,6	0,8	0,6	0,8
A5	0,2	0,4	0,25	0,5	0	0,25	0,4	0,6	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,8	1	0,6	0,8	0,8	1	0,8	1	0,8	1

Normalleştirilmiş gri karar matrisi elde edildikten sonra Gri TOPSIS yönteminin bir sonraki aşamasında pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri belirlenmiştir. Pozitif ideal çözüm, her bir kriter için alternatifler arasında gözlenen en iyi performans değerlerini temsil ederken; negatif ideal çözüm en düşük performans değerlerini ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle pozitif ideal çözüm, karar vericiler açısından en tercih edilen durumu; negatif ideal çözüm ise en düşük performansı temsil eden referans noktayı göstermektedir.

Bu aşamada her bir kriter için normalleştirilmiş değerler incelenerek maksimum ve minimum değerler belirlenmiş ve buna bağlı olarak pozitif ideal çözüm kümesi (A^+) ile negatif ideal çözüm kümesi (A^-) oluşturulmuştur. Elde edilen ideal çözüm değerleri Çizelge 4.14'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.14: Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri.

	M1	M2	M3	G1	G2	G3	E1	E2	E3	P1	P2	P3
A^-	0	0	0	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
A^+	0,6	0,75	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pozitif ve negatif ideal çözümler belirlendikten sonra, her bir alternatifin bu referans noktalarına olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Gri TOPSIS yönteminde alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıkları, normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış kriter değerleri kullanılarak Öklidyen uzaklık yaklaşımı ile belirlenmektedir. Bu kapsamda her bir alternatif için pozitif ideal çözüme olan uzaklık (d_i^+) ve negatif ideal çözüme olan uzaklık (d_i^-) hesaplanmıştır.

Elde edilen uzaklık değerleri kullanılarak alternatiflerin göreceli performansını ifade eden yakınlık katsayıları (C^+) hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı değeri arttıkça alternatifin pozitif ideal çözüme daha yakın olduğu ve dolayısıyla daha iyi performans sergilediği kabul edilmektedir. Hesaplanan uzaklık değerleri ve yakınlık katsayıları Çizelge 4.15'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.15: Alternatiflerin İdeal Çözümlere Olan Uzaklıkları ve Yakınlık Katsayıları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+
A1	0,488	0,189	0,279
A2	0,215	0,466	0,684
A3	0,474	0,207	0,304
A4	0,262	0,416	0,614
A5	0,265	0,422	0,614

Hesaplanan yakınlık katsayıları incelendiğinde alternatif bulut hizmet sağlayıcılarının performans sıralaması belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre A2 alternatifi 0,684 yakınlık katsayısı ile en yüksek değere sahip alternatif olarak ilk sırada yer almıştır. A2 alternatifini sırasıyla A5 (0,614) ve A4 (0,614) alternatifleri takip etmektedir. Bu iki alternatifi yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olması, performans düzeylerinin benzer olduğunu ve belirli koşullarda sıralama değişikliklerinin meydana gelebileceğini göstermektedir. Yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatifleri olan A3 (0,304) ve A1 (0,279) ise daha düşük yakınlık katsayılarına sahip olup sırasıyla dördüncü ve beşinci sırada konumlanmıştır. Bu sonuçlar, değerlendirilen kriterler çerçevesinde küresel bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerinin özellikle performans ve esneklik boyutlarında daha güçlü bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen sıralamanın farklı kriter ağırlıkları altında ne ölçüde değişebileceğini incelemek amacıyla çalışmanın bir sonraki aşamasında duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

4.5 Duyarlılık Analizi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde elde edilen sıralama sonuçlarının kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı ne ölçüde duyarlı olduğunu incelemek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir. Bu analiz sayesinde karar modelinin kararlılığı ve güvenilirliği değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizinde, Gri DEMATEL yöntemi ile elde edilen ana kriter ağırlıkları temel alınmış ve her bir ana kriterin ağırlığı ayrı ayrı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmıştır. Söz konusu değişiklikler yapılırken toplam ağırlığın bire eşit kalması amacıyla diğer kriter ağırlıkları oransal olarak yeniden

düzenlenmiştir. Böylece toplamda sekiz farklı senaryo oluşturularak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmış ve alternatif sıralamalarındaki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar modelin farklı ağırlık kombinasyonları altındaki tutarlılığını değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir.

4.5.1 Maliyet kriteri ağırlığındaki değişim

Maliyet kriterinin karar modeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kriter ağırlığı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmıştır. Bu kapsamda elde edilen yeni ağırlıklar kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmış ve alternatiflerin yakınlık katsayıları ile sıralamalarındaki değişimler incelenmiştir.

Maliyet kriteri ağırlığının artırılması senaryosu:

Duyarlılık analizi kapsamında maliyet kriterinin ağırlığı yüzde yirmi artırılmış ve diğer ana kriter ağırlıkları oransal normalizasyon yöntemiyle yeniden hesaplanmıştır. Bu senaryoya ilişkin güncellenmiş ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.16'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.16: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,299	0,268	0,204	0,229

Güncellenen ana kriter ağırlıkları kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmış ve alternatiflerin pozitif ideal çözüme uzaklıkları (d_i^+), negatif ideal çözüme uzaklıkları (d_i^-), yakınlık katsayıları (C^+) ile sıralamaları yeniden hesaplanmıştır. Maliyet kriteri ağırlığının yüzde yirmi artırıldığı senaryoya ilişkin Gri TOPSIS sonuçları Çizelge 4.17'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.17: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,491	0,188	0,277	5
A2	0,219	0,465	0,680	1
A3	0,477	0,204	0,300	4
A4	0,256	0,424	0,623	2
A5	0,273	0,416	0,604	3

Maliyet kriteri ağırlığının artırıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki

konumunu koruduğu görülmektedir. A4 alternatifi ikinci sıraya yükselirken A5 alternatifi üçüncü sırada yer almıştır. Bu durum, maliyet kriterinin öneminin artmasıyla birlikte A4 alternatifinin görelî performansının A5 alternatifine kıyasla daha avantajlı hale geldiğini göstermektedir.

Maliyet kriteri ağırlığının azaltılması senaryosu:

Duyarlılık analizi kapsamında maliyet kriterinin ağırlığı yüzde yirmi azaltılmış ve toplam ağırlığın korunabilmesi amacıyla diğer ana kriter ağırlıkları yeniden düzenlenmiştir. Bu senaryoda elde edilen güncel ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.18’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.18: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,199	0,306	0,233	0,261

Maliyet kriteri ağırlığının yüzde yirmi azaltılması sonrasında güncellenen ana kriter ağırlıkları esas alınarak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmıştır. Bu senaryoya ait pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri, yakınlık katsayıları ile alternatiflerin sıralama sonuçları Çizelge 4.19’da yer almaktadır.

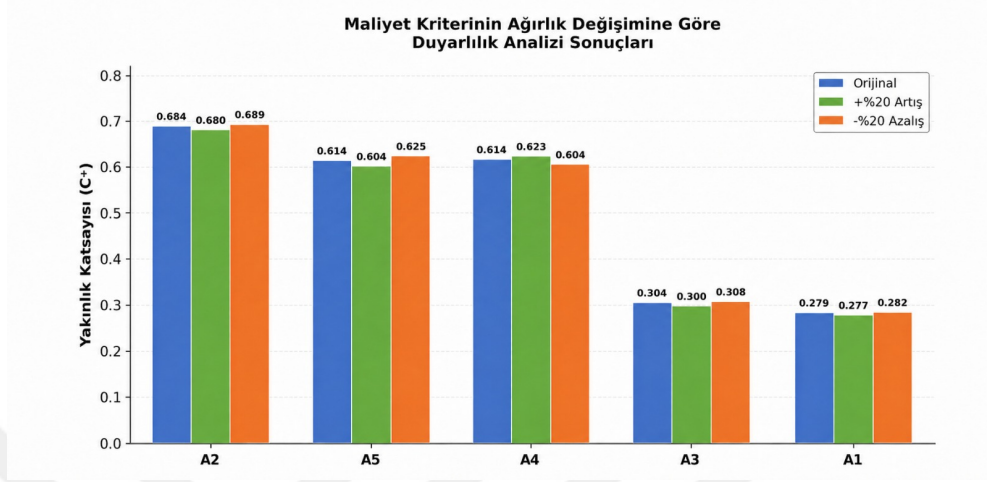
Çizelge 4.19: Maliyet Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,485	0,191	0,282	5
A2	0,212	0,468	0,689	1
A3	0,470	0,209	0,308	4
A4	0,267	0,407	0,604	3
A5	0,257	0,428	0,625	2

Maliyet kriteri ağırlığının azaltıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin yine birinci sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A5 ve A4 alternatifleri sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Maliyet kriterinin öneminin azaltılması, performans ve esneklik kriterlerinin görelî etkisini artırmış olmakla birlikte alternatiflerin genel sıralamasında önemli bir değişikliğe yol açmamıştır.

Maliyet kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin sıralaması üzerindeki etkisini daha açık biçimde ortaya koymak amacıyla elde edilen yakınlık

katsayıları grafiksel olarak da incelenmiştir. Bu kapsamda orijinal durum, maliyet kriteri ağırlığının artırıldığı senaryo ve azaltıldığı senaryo için hesaplanan C^+ değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Maliyet Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.

Şekil 4.2 incelendiğinde maliyet kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin yakınlık katsayıları üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. A2 alternatifinin tüm senaryolarda en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki konumunu koruduğu dikkat çekmektedir. A5 ve A4 alternatiflerinin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu ve maliyet kriterinin önemindeki değişimlere bağlı olarak bu iki alternatif arasında sınırlı düzeyde sıralama değişimi meydana gelebildiği gözlemlenmektedir. Buna karşın A3 ve A1 alternatiflerinin tüm senaryolarda sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradaki konumlarını koruduğu görülmektedir.

4.5.2 Performans kriteri ağırlığındaki değişim

Performans kriterinin karar modeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bu kriterin ağırlığı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmıştır. Oluşturulan yeni ağırlık değerleri kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi tekrar uygulanmış ve alternatiflerin yakınlık katsayıları ile sıralamalarında meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

Performans kriteri ağırlığının artırılması senaryosu:

Performans kriterinin ağırlığının yüzde yirmi artırıldığı senaryoda, diğer ana kriterlere ait ağırlık değerleri toplam ağırlık korunacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen güncel ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.20’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.20: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,229	0,345	0,201	0,225

Performans kriterine ilişkin güncellenen ağırlık değerleri esas alınarak alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıkları ile yakınlık katsayıları yeniden belirlenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen Gri TOPSIS bulguları ve alternatiflerin sıralamaları Çizelge 4.21’de verilmektedir.

Çizelge 4.21: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,490	0,186	0,275	5
A2	0,210	0,470	0,691	1
A3	0,477	0,202	0,298	4
A4	0,261	0,415	0,614	3
A5	0,257	0,430	0,626	2

Performans kriterinin ağırlığının artırıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde A2 alternatifinin en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve ilk sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A5 ve A4 alternatifleri birbirine yakın değerler elde etmiş olup sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Bu durum, performans kriterinin öneminin artmasının özellikle küresel bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerinin göreceli performanslarını daha belirgin hâle getirdiğini göstermektedir.

Performans kriteri ağırlığının azaltılması senaryosu:

Performans kriterinin ağırlığının yüzde yirmi azaltıldığı senaryoda, diğer ana kriterlere ait ağırlık değerleri toplam ağırlık korunacak biçimde yeniden dağıtılmıştır. Bu düzenleme sonucunda oluşan ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.22’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.22: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,269	0,230	0,236	0,265

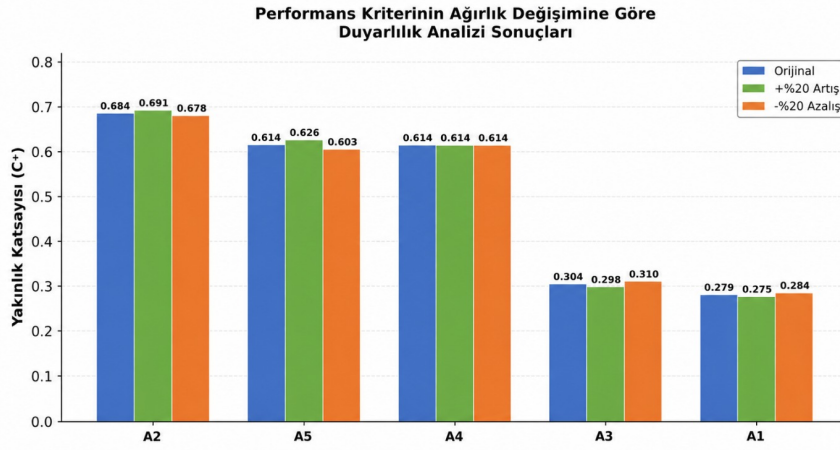
Performans kriterinin ağırlığında yapılan güncellenmenin ardından Gri TOPSIS analizi tekrar gerçekleştirilmiş ve alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklık değerleri ile yakınlık katsayıları yeniden elde edilmiştir. Bu senaryoya ilişkin analiz sonuçları ve alternatiflerin sıralamaları Çizelge 4.23'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.23: Performans Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,486	0,193	0,284	5
A2	0,220	0,463	0,678	1
A3	0,471	0,211	0,310	4
A4	0,262	0,416	0,613	2
A5	0,273	0,414	0,603	3

Performans kriteri ağırlığının azaltıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin yine en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A4 alternatifi ikinci sıraya yükselirken A5 alternatifi üçüncü sırada yer almıştır. Performans kriterinin öneminin azaltılması, alternatifler arasındaki farkların görece azalmasına neden olmakla birlikte genel sıralamada önemli bir değişiklik yaratmamıştır.

Performans kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin değerlendirme sonuçlarına etkisini daha açık biçimde ortaya koymak amacıyla yakınlık katsayıları grafiksel olarak da karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda orijinal durum ile performans kriterinin artırıldığı ve azaltıldığı senaryolarda elde edilen C^+ değerleri birlikte incelenerek, Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Performans Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.

Şekil 4.3 incelendiğinde performans kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin yakınlık katsayıları üzerinde sınırlı düzeyde bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. A2 alternatifinin tüm senaryolarda en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve ilk sıradaki konumunu koruduğu dikkat çekmektedir. A5 ve A4 alternatiflerinin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu ve performans kriterinin önemindeki değişimlere bağlı olarak bu iki alternatif arasında yer değişimi meydana gelebildiği gözlemlenmektedir. Buna karşın A3 ve A1 alternatiflerinin tüm senaryolarda sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradaki konumlarını koruduğu görülmektedir.

4.5.3 Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığındaki değişim

Güvenlik ve gizlilik kriterinin karar modeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bu kriterin ağırlığı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmıştır. Elde edilen yeni ana kriter ağırlıkları kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmış ve alternatiflerin yakınlık katsayıları ile sıralamalarındaki değişimler değerlendirilmiştir.

Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığının artırılması senaryosu:

Güvenlik ve gizlilik kriterinin ağırlığının yüzde yirmi artırılmasıyla birlikte ana kriterlere ilişkin ağırlık dağılımı yeniden oluşturulmuştur. Bu senaryo kapsamında elde edilen güncel ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.24’te verilmektedir.

Çizelge 4.24: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,235	0,271	0,262	0,231

Güvenlik ve gizlilik kriterine ait güncellenen ağırlık değerleri dikkate alınarak Gri TOPSIS analizine ilişkin hesaplamalar yeniden gerçekleştirilmiştir. Alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıkları, yakınlık katsayıları ve elde edilen sıralama sonuçları Çizelge 4.25'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.25: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,482	0,196	0,289	5
A2	0,220	0,462	0,677	1
A3	0,468	0,212	0,312	4
A4	0,263	0,413	0,611	3
A5	0,267	0,419	0,611	2

Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığının artırıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A5 ve A4 alternatifleri birbirine oldukça yakın değerlere sahip olmakla birlikte sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Bu durum, güvenlik ve gizlilik kriterinin önemindeki artışın alternatiflerin genel sıralamasını belirgin biçimde değiştirmediklerini, ancak alternatifler arasındaki göreceli farkları sınırlı ölçüde etkilediklerini göstermektedir.

Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığının azaltılması senaryosu:

Güvenlik ve gizlilik kriterinin ağırlığının yüzde yirmi azaltıldığı durumda, diğer ana kriterlerin ağırlıkları toplam ağırlık değişmeyecek şekilde yeniden belirlenmiştir. Bu senaryo için hesaplanan ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.26'da yer almaktadır.

Çizelge 4.26: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,263	0,303	0,175	0,259

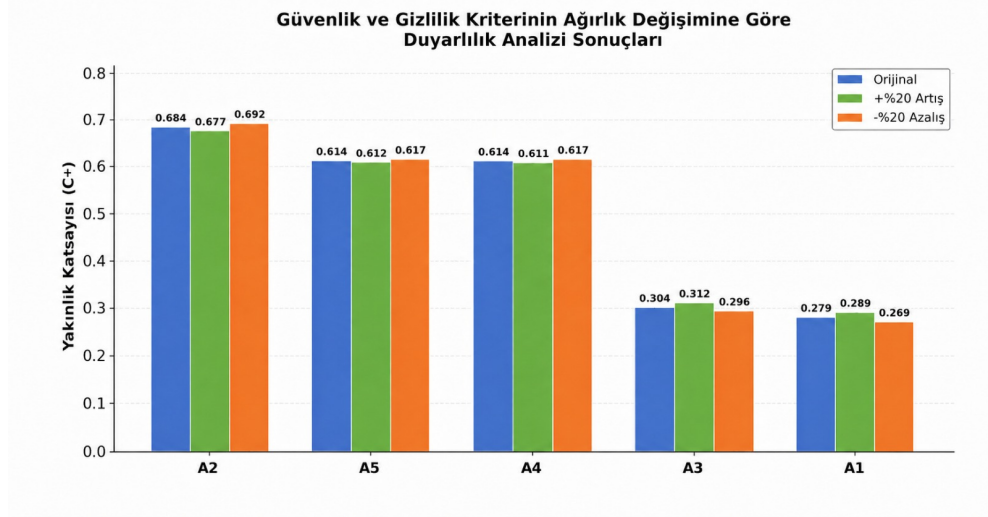
Güvenlik ve gizlilik kriterine ait ağırlık değerlerinde yapılan güncellemenin ardından alternatifler için Gri TOPSIS hesaplamaları yeniden yürütülmüştür. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen uzaklık ölçüleri, yakınlık katsayıları ve alternatiflere ilişkin sıralama bilgileri Çizelge 4.27’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.27: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,494	0,182	0,269	5
A2	0,210	0,471	0,692	1
A3	0,479	0,201	0,296	4
A4	0,260	0,418	0,617	3
A5	0,263	0,425	0,617	2

Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığının azaltıldığı senaryoda da A2 alternatifinin ilk sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A5 ve A4 alternatifleri yine birbirine oldukça yakın yakınlık katsayıları elde etmiş ve ikinci ile üçüncü sıralarda yer almıştır. Güvenlik ve gizlilik kriterinin öneminin azaltılması, alternatiflerin yakınlık katsayılarında sınırlı değişimlere yol açmış olmakla birlikte genel sıralamayı değiştirmemiştir.

Güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin değerlendirme sonuçlarına etkisini daha açık biçimde göstermek amacıyla yakınlık katsayıları grafiksel olarak da karşılaştırılmıştır. Bu çerçevede orijinal durum ile güvenlik ve gizlilik kriterinin artırıldığı ve azaltıldığı senaryolarda elde edilen C^+ değerleri Şekil 4.4’de birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.4: Güvenlik ve Gizlilik Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.

Şekil 4.4 incelendiğinde, güvenlik ve gizlilik kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin yakınlık katsayıları üzerinde sınırlı düzeyde etki yarattığı görülmektedir. A2 alternatifinin tüm senaryolarda en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki yerini koruduğu dikkat çekmektedir. A5 ve A4 alternatiflerinin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu, ancak bu kriterde yapılan ağırlık değişimlerinin söz konusu iki alternatif arasında sıralama değişikliğine yol açmadığı görülmektedir. Bunun yanında A3 ve A1 alternatifleri de tüm senaryolarda sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradaki konumlarını korumuştur.

4.5.4 Esneklik kriteri ağırlığındaki değişim

Esneklik kriterinin karar modeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bu kriterin ağırlığı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmıştır. Oluşturulan yeni ana kriter ağırlıkları kullanılarak Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmış ve alternatiflerin yakınlık katsayıları ile sıralamalarında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir.

Esneklik kriteri ağırlığının artırılması senaryosu:

Esneklik kriterinin ağırlığının yüzde yirmi artırıldığı senaryoda, diğer ana kriterlere ait ağırlık değerleri toplam ağırlık korunacak şekilde yeniden uyarlanmıştır. Bu güncelleme sonucunda elde edilen ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.28’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.28: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,233	0,269	0,204	0,294

Esneklik kriterine ilişkin güncellenen ağırlıklar doğrultusunda Gri TOPSIS analiz süreci yeniden yürütülmüş ve alternatiflerin değerlendirme sonuçları elde edilmiştir. Bu senaryoya ait uzaklık değerleri, yakınlık katsayıları ve alternatiflerin sıralamaları Çizelge 4.29’da sunulmaktadır.

Çizelge 4.29: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Artırıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,490	0,187	0,276	5
A2	0,211	0,469	0,690	1
A3	0,472	0,208	0,306	4
A4	0,266	0,410	0,607	3
A5	0,263	0,424	0,617	2

Esneklik kriteri ağırlığının artırıldığı senaryoda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin en yüksek yakınlık katsayısını elde ederek birinci sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. A5 ve A4 alternatifleri sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Bu durum, esneklik kriterinin önemindeki artışın özellikle üst sıralardaki alternatiflerin göreceli performanslarını sınırlı düzeyde etkilediğini, ancak genel sıralamada belirgin bir kırılma yaratmadığını göstermektedir.

Esneklik kriteri ağırlığının azaltılması senaryosu:

Esneklik kriterinin ağırlığının yüzde yirmi azaltıldığı bu senaryoda, toplam ağırlık değerinin korunması amacıyla diğer ana kriterlerin ağırlıkları yeniden dengelenmiştir. Bu düzenleme sonucunda oluşan ana kriter ağırlıkları Çizelge 4.30’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.30: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Ana Kriter Ağırlıkları.

	Maliyet	Performans	Güvenlik ve Gizlilik	Esneklik
Ağırlık	0,266	0,306	0,232	0,196

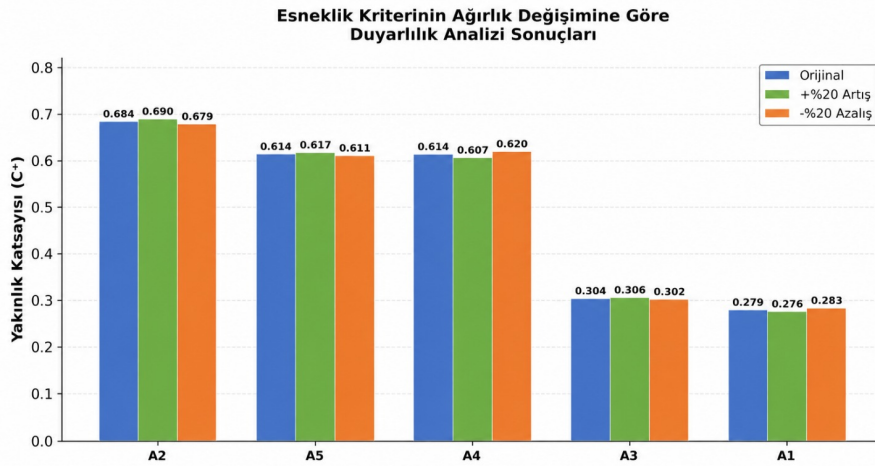
Esneklik kriterinin ağırlığında gerçekleştirilen değişikliğin ardından alternatiflerin Gri TOPSIS performansları yeniden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda hesaplanan uzaklık değerleri, yakınlık katsayıları ve alternatiflerin sıralamaları Çizelge 4.31’de verilmektedir.

Çizelge 4.31: Esneklik Kriteri Ağırlığının %20 Azaltıldığı Senaryoda Gri TOPSIS Sonuçları.

Alternatif	d_i^+	d_i^-	C^+	Sıralama
A1	0,487	0,192	0,283	5
A2	0,219	0,463	0,679	1
A3	0,475	0,206	0,302	4
A4	0,258	0,421	0,620	2
A5	0,267	0,421	0,611	3

Esneklik kriteri ağırlığının azaltıldığı senaryoda da A2 alternatifinin ilk sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. Bu senaryoda A4 alternatifi ikinci sıraya yükselirken A5 alternatifi üçüncü sırada yer almıştır. Esneklik kriterinin öneminin azaltılması, bu iki alternatifin yakınlık katsayıları arasındaki küçük fark nedeniyle sıralamada yer değişimine neden olmuştur. Bununla birlikte A3 ve A1 alternatiflerinin alt sıralardaki konumları değişmemiştir.

Esneklik kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin değerlendirme sonuçlarına etkisini daha açık biçimde göstermek amacıyla yakınlık katsayıları grafiksel olarak da karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda orijinal durum ile esneklik kriterinin artırıldığı ve azaltıldığı senaryolarda elde edilen C^+ değerleri Şekil 4.5’te sunulmaktadır.



Şekil 4.5: Esneklik Kriteri Ağırlığındaki Değişimin Alternatiflerin Yakınlık Katsayılarına (C^+) Etkisi.

Şekil 4.5 incelendiğinde esneklik kriteri ağırlığında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin yakınlık katsayıları üzerinde sınırlı düzeyde etki yarattığı görülmektedir. A2 alternatifinin tüm senaryolarda en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki yerini koruduğu dikkat çekmektedir. A5 ve A4 alternatiflerinin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu, özellikle esneklik kriterinin öneminin azaltıldığı durumda bu iki alternatif arasında sıralama değişimi meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte A3 ve A1 alternatifleri tüm senaryolarda sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradaki konumlarını korumuştur.

4.5.5 Genel duyarlılık analizi değerlendirmesi

Gerçekleştirilen duyarlılık analizi kapsamında ana kriter ağırlıkları ayrı ayrı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmış, her bir senaryo için Gri TOPSIS yöntemi yeniden uygulanarak alternatiflerin yakınlık katsayıları ve sıralamaları karşılaştırılmıştır. Böylece kriter ağırlıklarında meydana gelen değişimlerin karar modelinin sonuçları üzerindeki etkisi bütüncül bir biçimde değerlendirilmiştir.

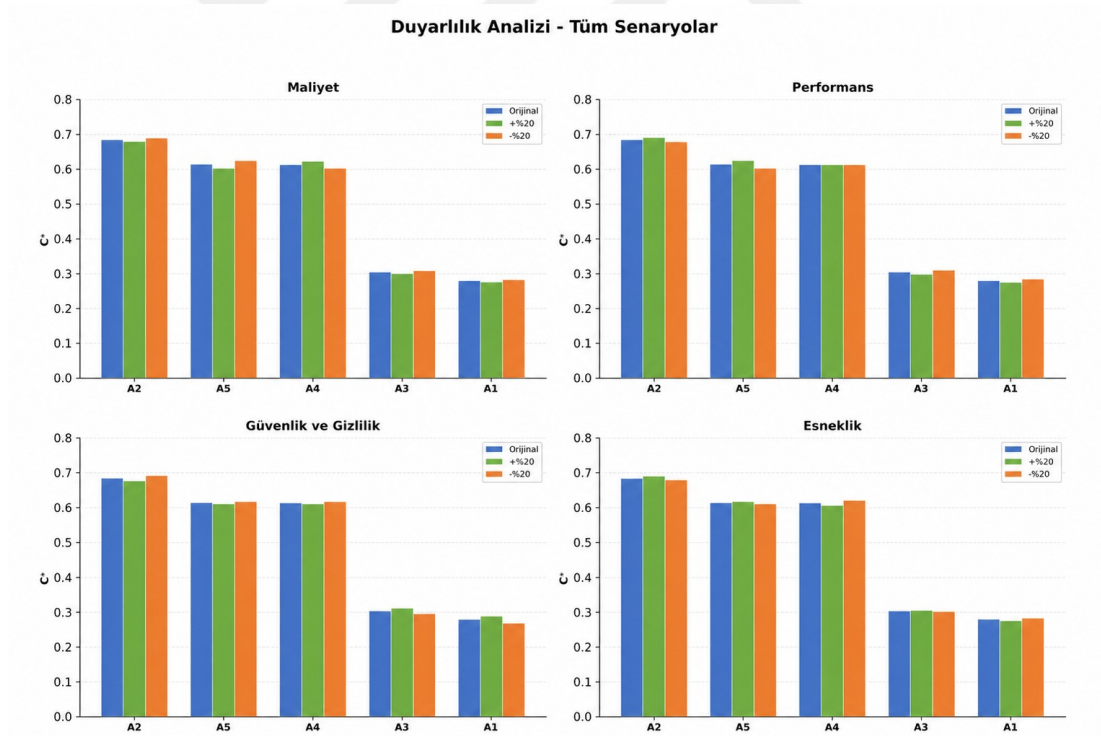
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde A2 alternatifinin tüm senaryolarda en yüksek yakınlık katsayısına sahip olduğu ve birinci sıradaki konumunu koruduğu görülmektedir. Bu durum, karar modelinin farklı kriter ağırlık kombinasyonları altında dahi

benzer sonuçlar üretmeye devam ettiğini ve elde edilen sıralamanın yüksek düzeyde tutarlı olduğunu göstermektedir.

A5 ve A4 alternatiflerinin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olduğu ve bazı senaryolarda bu iki alternatif arasında sınırlı sıralama değişimleri meydana gelebildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu değişimlerin yalnızca ikinci ve üçüncü sıralar arasında gerçekleştiği ve genel alternatif sıralamasının temel yapısını değiştirmedeği görülmektedir.

Yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatifleri olan A3 ve A1 alternatifleri ise tüm senaryolarda sırasıyla dördüncü ve beşinci sıradaki konumlarını korumuştur. Bu durum, kriter ağırlıklarında gerçekleştirilen değişimlerin alt sıralardaki alternatiflerin göreceli konumlarını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Tüm senaryoların birlikte değerlendirildiği grafiksel karşılaştırma Şekil 4.6'da sunulmaktadır.



Şekil 4.6: Tüm Senaryolar İçin Duyarlılık Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Şekil 4.6 incelendiğinde kriter ağırlıklarında gerçekleştirilen değişimlerin alternatiflerin yakınlık katsayıları üzerinde sınırlı etkiler yarattığı görülmektedir. Özellikle

ilk sıradaki alternatifin tüm senaryolarda değişmeden kalması, oluşturulan karar modelinin istikrarlı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda Gri DEMATEL ve Gri TOPSIS yöntemleri kullanılarak elde edilen alternatif sıralamasının kriter ağırlıklarındaki makul değişimlere karşı duyarlı olmakla birlikte genel olarak kararlı bir yapı sergilediği söylenebilir.



5. SONUÇLAR

Bulut bilişim alanında yaşanan hızlı dönüşüm, kurumların altyapı yatırımlarını yeniden şekillendirmekte ve geleneksel bilgi işlem yaklaşımlarına alternatif çözümler sunmaktadır. Farklı hizmet modelleri, fiyatlandırma politikaları ve teknik kapasitelere sahip çok sayıda bulut hizmet sağlayıcısının varlığı, karar vericiler açısından en uygun sağlayıcının belirlenmesini karmaşık bir seçim problemi haline getirmektedir. Bu çalışmada söz konusu probleme sistematik bir çözüm sunmak amacıyla Gri DEMATEL ve Gri TOPSIS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı çok kriterli bir karar verme modeli geliştirilmiştir. Beş alternatif bulut hizmet sağlayıcısı; maliyet, performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik olmak üzere dört ana kriter ve bunlara bağlı on iki alt kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir.

5.1 Bulguların Değerlendirilmesi

Çalışmanın ilk aşamasında kriterlerin göreceli önem düzeylerini belirlemek ve aralarındaki nedensellik ilişkilerini ortaya koymak amacıyla Gri DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. Beş farklı uzmandan elde edilen değerlendirmeler gri sayılar aracılığıyla ifade edilmiş ve bu sayede karar sürecindeki belirsizlikler modele yansıtılmıştır. Analiz sonuçlarına göre performans kriteri 0,287 ağırlık değeri ile en yüksek öneme sahip ana kriter olarak belirlenmiştir. Bu kriteri sırasıyla maliyet (0,249), esneklik (0,245) ve güvenlik ile gizlilik (0,218) izlemiştir. Neden-sonuç ilişkileri incelendiğinde performans, güvenlik ve gizlilik ile esneklik kriterlerinin pozitif $D - R$ değerleri ile neden grubunda konumlandığı, maliyet kriterinin ise negatif $D - R$ değeri ile sonuç grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, maliyetin diğer kriterlerden etkilenen bir faktör olduğunu ve bulut hizmet kalitesinin doğrudan maliyet yapısını şekillendirdiğini ortaya koymaktadır.

Alt kriterler düzeyinde gerçekleştirilen Gri DEMATEL analizinde ise her bir ana kriter grubunda öne çıkan faktörler belirlenmiştir. Performans boyutunda yanıt

süresi (0,430) en baskın alt kriter olarak tespit edilmiş olup bu durum bulut hizmetlerinde gecikme süresinin kullanıcı deneyimi ve iş süreçleri üzerindeki belirleyici etkisini yansıtmaktadır. Maliyet grubunda kullanım maliyeti (0,384), güvenlik grubunda yetkilendirme ve erişim kontrolü (0,371), esneklik grubunda ise hizmet özelleştirilebilirliği (0,386) en yüksek ağırlığa sahip alt kriterler olarak öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, bulut hizmet sağlayıcı seçiminde yalnızca maliyet odaklı bir değerlendirmenin yetersiz kalacağını, teknik kapasite ve hizmet kalitesine ilişkin boyutların da karar sürecinde kritik rol oynadığını göstermektedir.

Gri DEMATEL ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak çalışmanın ikinci aşamasında Gri TOPSIS yöntemi uygulanmış ve beş alternatif bulut hizmet sağlayıcısı sıralanmıştır. Uzman değerlendirmeleri doğrultusunda oluşturulan gri karar matrisinin normalizasyonu ve ideal çözümlerin belirlenmesinin ardından her bir alternatifin pozitif ideal çözüme olan yakınlık katsayısı (C^+) hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre A2 alternatifi 0,684 yakınlık katsayısı ile en uygun bulut hizmet sağlayıcısı olarak belirlenmiştir. İkinci sırada A5 (0,614), üçüncü sırada A4 (0,614) yer almıştır. A3 (0,304) dördüncü, A1 (0,279) ise beşinci sırada konumlanmıştır. Küresel ölçekte faaliyet gösteren bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerinin yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerine kıyasla belirgin biçimde daha yüksek performans sergilemesi, özellikle performans ve esneklik kriterlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Yerel bulut hizmet sağlayıcısı alternatifleri güvenlik boyutunda nispeten daha güçlü değerlendirmeler almalarına karşın toplam performans açısından küresel bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerinin gerisinde kalmıştır.

Elde edilen sonuçların farklı koşullar altındaki geçerliliğini sınamak amacıyla kapsamlı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde her bir ana kriterin ağırlığı ayrı ayrı yüzde yirmi oranında artırılmış ve azaltılmış, diğer kriterlerin ağırlıkları ise oransal normalizasyon yöntemiyle toplam ağırlığın bire eşit kalması sağlanacak biçimde yeniden hesaplanmıştır. Böylece toplamda sekiz farklı senaryo üzerinden modelin duyarlılığı test edilmiştir. Duyarlılık analizi sonuçları, A2 alternatifinin tüm senaryolarda birinci sıradaki konumunu koruduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, A2 alternatifinin farklı ağırlık yapılarında da tutarlı biçimde en iyi performansı sergilediğini ve modelin bu alternatif açısından oldukça kararlı

olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde A3 ve A1 alternatifleri de sekiz senaryonun tamamında dördüncü ve beşinci sıralardaki konumlarını sürdürmüştür.

Sıralama değişikliklerinin yalnızca ikinci ve üçüncü pozisyonlardaki A5 ile A4 alternatifleri arasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maliyet kriterinin ağırlığı artırıldığında, performans kriterinin ağırlığı azaltıldığında ve esneklik kriterinin ağırlığı azaltıldığında A4 alternatifi ikinci, A5 alternatifi üçüncü sıraya yükselmiştir. Diğer beş senaryoda ise orijinal sıralama korunmuştur. Bu durum, söz konusu iki alternatifin yakınlık katsayılarının birbirine oldukça yakın olmasından kaynaklanmakta ve belirli kriter ağırlık kombinasyonlarında sıralama değişikliğine yol açabilecek düzeyde rekabetçi bir yapıda olduklarını göstermektedir. Güvenlik ve gizlilik kriterindeki değişimlerin sıralama üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmaması ise alternatiflerin bu kriter açısından görece homojen bir performans sergilediğine işaret etmektedir.

Çalışmadan elde edilen bulgular hem akademik hem de uygulamaya yönelik çeşitli çıkarımlar sunmaktadır. Metodolojik açıdan değerlendirildiğinde, Gri DEMATEL ve Gri TOPSIS yöntemlerinin bütünlük kullanımının bulut hizmet sağlayıcı seçimi gibi çok boyutlu ve belirsizlik içeren karar problemlerinde etkili sonuçlar ürettiği görülmüştür. Gri DEMATEL yönteminin kriterler arasındaki nedensellik ilişkilerini ortaya koyma kapasitesi, kriter ağırlıklarının salt uzman tercihlerine değil aynı zamanda kriterler arası etkileşim dinamiklerine dayalı olarak belirlenmesini sağlamıştır. Bu durum, geleneksel ağırlıklandırma yaklaşımlarına kıyasla daha gerçekçi ve tutarlı bir kriter önceliklendirmesi sunmaktadır.

Uygulama perspektifinden bakıldığında çalışma sonuçları, kurumların bulut hizmet sağlayıcısı tercihlerinde maliyet unsurunun tek başına belirleyici olmadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Performans, yanıt süresi, hizmet özelleştirilebilirliği ve erişim kontrolü gibi teknik niteliklerin karar sürecinde ağırlıklı bir yer tutması, bulut hizmet sağlayıcı seçiminin çok boyutlu bir değerlendirme gerektirdiğini teyit etmektedir. Yerli sağlayıcıların veri egemenliği ve yasal uyumluluk gibi avantajlara sahip olmalarına karşın teknik kapasite ve hizmet çeşitliliği bakımından küresel sağlayıcılarla aradaki mesafeyi kapatmaları gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Her araştırma çalışmasında olduğu gibi bu çalışmanın da bazı kısıtları bulunmaktadır. Değerlendirme sürecinde beş uzmandan alınan görüşler kullanılmış olup daha geniş bir uzman havuzunun sonuçları farklılaştırma potansiyeli taşıdığı göz ardı edilmemelidir. Ayrıca alternatif sayısının beşle sınırlı tutulması, daha geniş bir sağlayıcı yelpazesinin değerlendirilmesi durumunda farklı çıkarımlara ulaşılabileceği anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra çalışmada kullanılan kriter seti belirli bir dönemdeki teknolojik koşulları ve piyasa dinamiklerini yansıtmakta olup bulut bilişim alanındaki hızlı gelişmeler nedeniyle kriterlerin ve ağırlıkların zaman içinde güncellenmesi ihtiyacı doğabilecektir.

Bununla birlikte, elde edilen kriter ağırlıkları ve alternatif sıralamaları değerlendirmeye katılan uzmanların görev yaptıkları kurumların ihtiyaçları ve öncelikleri doğrultusunda şekillenmiştir. Çalışmada görüşlerine başvurulmuş uzmanların büyük ölçekli işletmelerde görev yapmaları nedeniyle performans, hizmet sürekliliği, hizmet özelleştirilebilirliği ve erişim kontrolü gibi teknik nitelikler karar sürecinde daha yüksek önem kazanmıştır. Bu durum, performans kriterinin en yüksek ağırlığa sahip olmasında ve küresel bulut hizmet sağlayıcısı alternatiflerinin üst sıralarda yer almasında etkili olmuştur. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar değerlendirilirken, kriter ağırlıklarının uzman profilinden ve kurumların faaliyet gösterdiği iş ortamından bağımsız olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Farklı kurum türlerinde gerçekleştirilecek benzer değerlendirmelerde ise kriter önceliklerinin değişebileceği öngörülmektedir. Örneğin, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler açısından bütçe kısıtlarının daha belirleyici olması nedeniyle maliyet kriterinin görece öneminin artması ve buna bağlı olarak alternatif sıralamalarının farklılaşması beklenebilir. Benzer şekilde bankacılık ve kamu kurumları gibi düzenleyici gerekliliklerin yoğun olduğu sektörlerde güvenlik, gizlilik ve yasal uyumlulukla ilişkili kriterlerin daha yüksek ağırlıklar alması olasıdır. Bu nedenle önerilen karar modelinin farklı sektörler, kurum ölçekleri ve kullanıcı profilleri dikkate alınarak yeniden uygulanması, kriter ağırlıkları ile alternatif sıralamalarının değişimini ortaya koyacak ve modelin farklı karar ortamlarındaki uygulanabilirliğine ilişkin daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasına katkı sağlayacaktır.

5.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Gelecek çalışmalarda farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin (VIKOR, PROMETHEE, ELECTRE gibi) aynı veri seti üzerinde uygulanarak sonuçların karşılaştırılması, modelin geçerliliğinin daha geniş bir perspektiften sınanmasına olanak tanıyacaktır. Uzman sayısının artırılması ve farklı sektörlerden karar vericilerin sürece dahil edilmesi, sonuçların genellenebilirliğini güçlendirecektir. Ayrıca hibrit bulut ve çoklu bulut stratejilerinin karar modeline entegre edilmesi, güncel kurumsal ihtiyaçlara daha iyi yanıt verebilecek genişletilmiş bir çerçevenin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Bulut hizmet sağlayıcılarının dinamik fiyatlandırma politikalarını ve hizmet düzeyi anlaşmalarını da kapsayan zamana bağlı bir değerlendirme modelinin geliştirilmesi, karar destek süreçlerini daha da zenginleştirebilecektir.



KAYNAKLAR

- Al-Faifi, A., Song, B., Hassan, M. M., Alamri, A., & Gumaiei, A.** (2019). A Hybrid Multi Criteria Decision Method for Cloud Service Selection from Smart Data. *Future Generation Computer Systems*, 93, 43–57. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.10.023>
- Aljuhani, A., Alhubaishy, A., Rahmani, M. K. I., & Alzahrani, A. A.** (2023). Light-Weighted Decision Support Framework for Selecting Cloud Service Providers. *Computers, Materials & Continua*, 74(2), 4293–4317. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.033893>
- Al-Mashhadani, A. K., Salman, M. S., & Al-Yasiri, F. A. H. N.** (2025). Quality of Service Attributes Based Hybrid Decision-Making Framework for Ranking Cloud Service Providers Under Fermatean Fuzzy Environment. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 35(1), 85–112.
- Arman, K., & Kundakcı, N.** (2023). Yeni Bütünleşik FUCOM-WEDBA Yaklaşımı ile Bir İşletme için Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (56), 281–295. <https://doi.org/10.30794/kausbed.1212975>
- Baki, R.** (2022). Bulut Hizmet Sağlayıcısı Seçimi için ROC ve CODAS Tekniklerinin Uygulanması. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 21(1), 217–230. <https://doi.org/10.21547/jss.933287>
- Bhol, S. G., Mohanty, S., & Pattnaik, P. K.** (2024). Machine Learning as a Service Cloud Selection: An MCDM Approach for Optimal Decision Making [5th International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA 2024)]. *Procedia Computer Science*, 233, 909–918. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.280>
- Büyüközkan, G., Uztürk, D., & Maden, A.** (2023). Influential Factor Analysis for Cloud Computing Technology Service Provider. *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122531. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122531>
- Chalekaee, A., Turskis, Z., Khanzadi, M., Ghodrati Amiri, G., & Keršulienė, V.** (2019). A New Hybrid MCDM Model with Grey Numbers for the Construction Delay Change Response Problem. *Sustainability*, 11(3), 776. <https://doi.org/10.3390/su11030776>

- Dalal, S., Kumar, A., Lilhore, U. K., Dahiya, N., Jaglan, V., & Rani, U.** (2024). Optimizing cloud service provider selection with firefly-guided fuzzy decision support system for smart cities. *Measurement: Sensors*, 35, 101294. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101294>
- Ding, S., Xia, C.-Y., Zhou, K.-L., Yang, S.-L., & Shang, J. S.** (2014). Decision Support for Personalized Cloud Service Selection through Multi-Attribute Trustworthiness Evaluation. *PLOS ONE*, 9(6), e97762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097762>
- Do Chung, B., & Seo, K.-K.** (2015). A Cloud Service Selection Model Based on Analytic Network Process. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(18). <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i18/77721>
- Doğan, Ş., & Doğan, D.** (2024). Bulut Muhasebe Sistemine Adaptasyonda Etkili Olan Faktörlerin Belirlenmesi; Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Uygulaması. *Muhasebe ve Denetim Bakış*, (71), 59–74. <https://doi.org/10.55322/mdbakis.1267745>
- Ghorui, N., Mondal, S. P., Chatterjee, B., Ghosh, A., Pal, A., De, D., & Giri, B. C.** (2023). Selection of Cloud Service Providers Using MCDM Methodology Under Intuitionistic Fuzzy Uncertainty. *Soft Computing*, 27(5), 2403–2423. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07772-8>
- Gireesha, O., Somu, N., Krithivasan, K., & Sriram, V. S. S.** (2020). IIVIFS-WASPAS: An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Perspective for Cloud Service Provider Selection. *Future Generation Computer Systems*, 103, 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.09.053>
- Grgurević, I., & Kordić, G.** (2017). Multi-Criteria Decision-Making in Cloud Service Selection and Adoption, 8–12. <https://doi.org/10.18638/rcitd.2017.5.1.104>
- Harichandan, A. K., Kumar, R. R., & Muduli, D.** (2025). A Dynamic User-Centric QFD-MCDM Model for Intelligent Cloud Service Selection. *2025 International Conference on Innovations in Intelligent Systems: Advancements in Computing, Communication, and Cybersecurity (ISAC3)*. <https://doi.org/10.1109/ISAC364032.2025.11156309>
- Hemam, S. M., & Hioual, O.** (2016). Load Balancing Issue in Cloud Services Selection By Using MCDA and Markov Chain Model Approaches, 1–7.
- Himanshu & Chopra, T.** (2025). Analysis of Cloud Service Providers and Computing Services in Modern IT Infrastructure. *2025 2nd International Conference on Computational Intelligence, Communication Technology and Networking (CICTN)*, 474–479. <https://doi.org/10.1109/CICTN64563.2025.10932579>
- Hussain, A., & Chun, J.** (2022). Cloud Service Scrutinization and Selection Framework (C3SF): A Novel Unified Approach to Cloud Service Selection with Consensus. *Information Sciences*, 586, 155–175. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.11.024>

- Hussain, A., Chun, J., & Khan, M.** (2020). A Novel Customer-Centric Methodology for Optimal Service Selection (MOSS) in a Cloud Environment. *Future Generation Computer Systems*, 105, 562–580. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.024>
- Jatoth, C., Gangadharan, G. R., Fiore, U., & Buyya, R.** (2019). SELCLOUD: A Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for Selection of Cloud Services. *Soft Computing*, 23(13), 4701–4715. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3120-2>
- Keskin, N., Kıran, A. N., Eğdemir, F. K., & Eren, T.** (2020). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Bulut Bilişim Hizmet Sağlayıcısı Seçimi. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 4(1), 52–73. <https://doi.org/10.33461/uybisbbd.725505>
- Khan, M., Khan, A., Ismail, M., & Ziar, R. A.** (2026). A Development of the Circular Non-linear Diophantine Fuzzy Set and Their Application in Cloud Services Provider Selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 19, 13. <https://doi.org/10.1007/s44196-025-01079-w>
- Krithika, M., & Akila, A.** (2024). An Approach for Optimal Preference of Providers Offering Cloud Services Using Decision Making Involving Multiple Criteria. *2024 Third International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*, 01–06. <https://doi.org/10.1109/ICDCECE60827.2024.10549478>
- Liu, L., Lu, C., Xiao, F., Liu, R., & Xiong, N. N.** (2021). A Practical, Integrated Multi-Criteria Decision-Making Scheme for Choosing Cloud Services in Cloud Systems. *IEEE Access*, 9, 88391–88404. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3089991>
- Liu, S.** (2025). Introduction. İçinde *Grey Systems Analysis* (s. 1–19). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8727-2_1
- Makwe, A., Kanungo, P., Kautish, S., Madhu, G., Almazyad, A. S., Xiong, G., & Mohamed, A. W.** (2024). Cloud Service Prioritization Using a Multi-Criteria Decision-Making Technique in a Cloud Computing Environment. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(7), 102785. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102785>
- Mandal, S., & Khan, D. A.** (2022). Cloud-CoCoSo: Cloud Model-Based Combined Compromised Solution Model for Trusted Cloud Service Provider Selection. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(8), 10307–10332. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06512-8>
- Mierzwiak, R.** (2024). *Methodological Aspects of Grey Systems Theory in Management Research*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-2413-0>

- Mierzwiak, R.** (2025). Correction to: Methodological Aspects of Grey Systems Theory in Management Research. İçinde *Methodological Aspects of Grey Systems Theory in Management Research* (s. C1–C1). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2413-0_5
- Mishra, A., & Kumar, R.** (2025). Ranking of cloud services by applying BWM-TOPSIS, BWM-ARAS, and BWM-COPRAS hybrid MCDM methods. *International Journal of Data Science and Analytics*, 20, 5301–5319. <https://doi.org/10.1007/s41060-025-00775-2>
- Mostafa, A. M.** (2024). A Group Multi-Criteria Decision-Making Approach Based on the Best-Only Method for Cloud Service Selection. *IEEE Access*, 12, 119946–119957. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3450280>
- Navya, P., Panda, S. K., & Rout, R. R.** (2025). Quality of service-centric multi-attribute decision-making algorithms for handling unavailable performance data in cloud service selection. *Cluster Computing*, 28, 561. <https://doi.org/10.1007/s10586-025-05222-2>
- Nawaz, F., Rajabi Asadabadi, M., Janjua, N. K., Hussain, O. K., Chang, E., & Saberi, M.** (2018). An MCDM Method for Cloud Service Selection Using a Markov Chain and the Best-Worst Method. *Knowledge-Based Systems*, 159, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.06.010>
- Paszynski, M., Barnard, A. S., & Zhang, Y. J.** (Editörler). (2025). *Computational Science – ICCS 2025 Workshops: 25th International Conference, Singapore, Singapore, July 7–9, 2025, Proceedings, Part IV* (Cilt 15910). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-97567-7>
- Qu, L., Wang, Y., & Orgun, M. A.** (2013). Cloud Service Selection Based on the Aggregation of User Feedback and Quantitative Performance Assessment. *2013 IEEE International Conference on Services Computing*, 152–159. <https://doi.org/10.1109/SCC.2013.92>
- Rehman, Z. u., Hussain, F. K., & Hussain, O. K.** (2011). Towards Multi-Criteria Cloud Service Selection. *2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 44–48. <https://doi.org/10.1109/IMIS.2011.99>
- Saha, M., Panda, S. K., & Panigrahi, S.** (2021). A Hybrid Multi-Criteria Decision Making Algorithm for Cloud Service Selection. *International Journal of Information Technology*, 13(4), 1417–1422. <https://doi.org/10.1007/s41870-021-00716-9>
- Saraf, V., Adhao, R., & Pachghare, V.** (2026). A MAGIQ-TOPSIS-Fuzzy-Logic Based Cloud Service Providers Ranking Model for Federated Cloud Computing Environment. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 26(1), 83–92. <https://doi.org/10.4316/AECE.2026.01009>

- Spasenić, I., Tadić, D., Čabarkapa, M., Marinković, D., & Komatina, N.** (2025). Cloud Platform Selection Using Extended Multi-Attribute Decision-Making Methods with Interval Type-2 Fuzzy Sets. *Axioms*, 14(6), 469. <https://doi.org/10.3390/axioms14060469>
- Swathi, V. N. V. L. S., Kumar, G. S., & Vathsala, A. V.** (2025). Adaptive Multi-Level Cloud Service Selection and Composition Using AHP–TOPSIS. *Applied Sciences*, 15(20), 11010. <https://doi.org/10.3390/app152011010>
- Tiwari, K., Sharma, A. K., & Tiwari, R. K.** (2025). An Optimized Framework for Cloud Provider Selection using Best Only Method and RE-TOPSIS. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 18(6), 128–141. <https://doi.org/10.25103/jestr.186.14>
- Uma, S., & Evangelin Geetha, D.** (2022). An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Cloud Service Provider Selection. *International Journal of Decision Support System Technology*, 14(1), 625–639. <https://doi.org/10.4018/IJDSST.286692>
- Uslu, B., Gür, Ş., Eren, T., & Özcan, E.** (2019). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bulut Hizmet Sağlayıcı Sıralaması. *PIBYD*, 6(1), 20–34.
- Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N. B., Shiraz, M., Haque, M. N., & Haque, I. T.** (2014). Cloud Service Selection Using Multicriteria Decision Analysis. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/459375>
- Yan, M., Jia, J., & Chen, Y.** (2024). Research on Accident Early Warning of Metallurgical Enterprises Based on Grey DEMATEL/ISM and Bayesian Network. *Scientific Reports*, 14(1), 18312. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68855-0>
- Yang, Y., & Liu, S.** (Editörler). (2023). *Emerging Studies and Applications of Grey Systems*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-3424-7>
- Yıldırım, B. F., & Önay, O.** (2013). Bulut Teknolojisi Firmalarının Bulanık AHP–MOORA Yöntemi Kullanılarak Sıralanması. *İ.Ü. İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 24(75), 59–77.
- Zhang, W., Liu, S., Du, J., Tao, L., Dong, W., & Nawaz, M.** (2024). The Evaluation of Pension Institution Service Quality in China: A Novel Method Based on BWM and Grey-TOPSIS. *OPSEARCH*, 61(3), 1562–1581. <https://doi.org/10.1007/s12597-024-00739-3>
- Zulqarnain, R. M., Garg, H., Ma, W.-X., & Siddique, I.** (2024). Optimal Cloud Service Provider Selection: An MADM Framework on Correlation-Based TOPSIS with Interval-Valued q-Rung Orthopair Fuzzy Soft Set. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 129, 107578. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107578>



ÖZGEÇMİŞ

Gölce TUNALI:

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2016, Azad University, Şehir ve Bölge Planlama Mühendisliği
- **Yüksek Lisans:** 2018, Azad University, Kentsel Tasarım

MESLEKİ DENEYİMLER VE ÖDÜLLER:

- 2020-2021 yılları arasında GBC Türkiyede Satış ve Pazarlama Uzmanı olarak çalıştı.
- 2022-2025 yılları arasında NTT Data'da SAP Danışmanı olarak çalıştı.
- 2025 yılından itibaren Yataş Grupta SAP Danışmanı olarak çalışıyor.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Tunalı, G., Özcan, T. (2026).** Selection of Cloud Service Providers Using Grey Decision-Making Models. [International Symposium for Production Research 2026], [15 to 17 October 2026], [University of Sarajevo].