
NİCEL KARAR YÖNTEMLERİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr.Yusuf ŞAHİN

Nicel Karar Yöntemleri Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. Yusuf ŞAHİN

yaz
yayınları

2025

Nicel Karar Yöntemleri
Değerlendirmeleri

Editör: Doç.Dr. Yusuf ŞAHİN

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-34-5

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Hastane Memnuniyeti: Korelasyon ve Regresyon Analizleri.....	1
<i>Muhammed BAYDEMİR</i>	
Çok Kriterli Karar Verme Süreçlerinde Klasik ve Bulanık CoCoSo Yöntemlerinin Teorik Temelleri ve Literatürdeki Uygulamaları.....	19
<i>Müslüm ÖZTÜRK</i>	
Şarjlı Dik Süpürge Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme: LODECI ve REF Teknikleri ile Bütünleşik Bir Analiz	39
<i>Erhan ORAKÇI</i>	
Blok Zincir Teknolojisi ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Entegrasyonu: Kavramsal Temeller, Yöntemsel Yaklaşımlar ve Çok Disiplinli Uygulamalar	60
<i>Şeymanur YILMAZ, Serap Pelin TÜRKOĞLU</i>	
A Hybrid Gan Model with ACNN and BI-LSTM for Stock Price Forecasting	80
<i>Zeynep ÇOLAK</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

HASTANE MEMNUNİYETİ: KORELASYON VE REGRESYON ANALİZLERİ

Muhammed BAYDEMİR¹

1. GİRİŞ

Sağlık ve hastalık kavramları toplumdan topluma farklı biçimlerde algılsa da bireylerin yaşam kalitesini etkileyen temel kavramlar olması nedeniyle ortak bir tanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda Dünya Sağlık Örgütü sağlığı; sadece fiziksel ya da zihinsel bir hastalığın ya da engelin bulunmaması değil, bireyin bedensel, ruhsal ve toplumsal açıdan tam bir iyilik durumunda olması olarak tanımlamaktadır (Taşlıyan ve Akyüz, 2019).

Bu tanım, bireyin tüm yönleriyle iyi olma halini esas aldığına göre sağlık hizmetlerinin değerlendirilmesi de bütüncül olarak ele alınmalıdır. Bu kapsamda, bireylerin sağlık hizmeti sürecinde yaşadıkları deneyimlerin ve beklentilerinin ne ölçüde karşılandığını analiz eden hasta memnuniyeti kavramı, günümüzde sağlık sistemlerinin başarısını ölçmede temel bir kriter haline gelmiştir. Hasta memnuniyeti, bireyin sağlık hizmeti alma sürecindeki deneyimlerinin beklentileriyle ne ölçüde örtüştüğüne bağlı olarak şekillenen çok boyutlu ve karmaşık bir kavramdır. Hizmet öncesi beklentiler ile hizmet sonrası algılar arasındaki uyum, memnuniyet düzeyini belirlerken beklentilerin aşılması olumlu, karşılanmaması ise olumsuz bir değerlendirmeye yol açar. Bu memnuniyet düzeyi; hastanın psikolojik ve sosyokültürel özellikleri, sağlık

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Arapgir MYO, muhammed.baydemir@ozal.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4253-6140.

çalışanlarının tutum ve davranışları ile kurumsal ve fiziksel çevrenin niteliğinden etkilenmektedir. Sağlık hizmeti sunanların bilgi ve becerilerinin yanı sıra, hastaya yaklaşım tarzları da memnuniyeti doğrudan etkilemektedir. Ayrıca hastane ortamının temizliği, erişilebilirliği, fiziksel koşulları ve bürokratik işleyişi gibi unsurlar da bu sürecin önemli belirleyicileri arasındadır. Bu nedenle sağlık yöneticileri, hasta geri bildirimlerini dikkate alarak hizmet süreçlerini sürekli iyileştirme yoluna gitmekte, hasta beklentileriyle uyumlu çözümler geliştirme konusunda daha duyarlı bir tutum sergilemektedirler (Özmen ve Ocaktan, 2022; Üstün ve Cezlan, 2021).

Günümüzde sağlık sektöründe teknolojik ilerlemelerin yaygınlaşması ve bireylerin kaliteli sağlık hizmetine yönelik taleplerinin artması, sağlık hizmetlerinin niteliğini artırma yönünde kurumsal baskıları da beraberinde getirmiştir. Son yıllarda özellikle hasta memnuniyeti, sadece hizmetin kalitesine dair bir ölçüm aracı olarak değil, aynı zamanda sağlık sisteminde artan maliyet baskıları karşısında kaynakların etkin ve verimli kullanımını yönlendirecek önemli bir karar destek unsuru olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Modern sağlık sistemlerinde giderek artan biçimde benimsenen hasta odaklı yaklaşım, bireylerin hizmet süreçlerinde daha aktif bir rol üstlenmesini sağlamış ve onların beklentilerini merkeze alan bir hizmet sunum anlayışını zorunlu kılmıştır. Ancak bireyin sağlık gereksinimlerinin dinamik, sürekli ve çoğu zaman karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle, hasta memnuniyetinin ölçülmesi, diğer sektörlerdeki müşteri memnuniyetinden yapısal olarak ayrılmaktadır. Örneğin; ticari hizmetlerde memnun olmayan bir tüketici kolaylıkla hizmet sağlayıcısını değiştirme şansına sahipken, sağlık alanında bu tür tercihler çoğu zaman kısıtlıdır ve çeşitli kurumsal bağlılıklar nedeniyle serbest seçim imkânı sınırlıdır. Bu bağlamda, hasta memnuniyetine yönelik yapılan araştırmalar, sadece sunulan hizmetin değerlendirilmesiyle

sınırlı kalmayıp; hastaların hizmet sağlayıcıyı tercih etme nedenlerini, beklenti düzeylerini, hizmet sürecinde karşılaştıkları olumsuzlukları ve sağlık hizmetlerinin bu beklentilere ne derece yanıt verdiğini ortaya koymayı da amaçlamaktadır. Elde edilen veriler, sağlık kurumlarının hizmet kalitesini artırmalarına ve hasta merkezli bakım süreçlerini daha etkin biçimde yapılandırmalarına önemli katkılar sağlamaktadır (Özcan ve ark., 2008).

Sağlık sistemindeki dönüşüm, özel sağlık hizmetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte belirginleşmiştir. Özel sağlık kuruluşlarının sayısında yaşanan hızlı artış, sağlık sektöründe ciddi bir rekabet ortamı yaratmıştır. Bu artışın yanı sıra, sağlık alanında gerçekleştirilen mevzuat düzenlemeleri sayesinde bireylerin yalnızca kamu hastanelerinden değil, aynı zamanda özel sağlık kurumlarından da serbestçe hizmet alabilmeleri sağlanmıştır. Böylece hastaların sağlık hizmeti sağlayıcıları arasında seçim yapma imkânı genişlemiş, sağlık hizmeti sunan kuruluşlar için hizmet kalitesini sürekli geliştirme ve farklılaşma ihtiyacı daha belirgin hale gelmiştir. Bu dinamik yapının içinde yer alan sağlık kurumlarının; sadece varlıklarını sürdürmeleri değil, aynı zamanda tercih edilir olmaları da hizmet sundukları bireylerin memnuniyet düzeyine bağlı hale gelmiştir. Artan rekabet koşulları karşısında öne çıkmak isteyen kuruluşların hasta merkezli bir anlayış benimsemeleri; bireyin ihtiyaç ve beklentilerine duyarlı, erişilebilir, güvenilir ve tatmin edici bir hizmet sunmaları zorunlu hale gelmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda, hasta memnuniyetini temel alan stratejiler geliştirilmesi ve bu stratejilerin tüm organizasyon süreçlerine entegre edilmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla günümüzde sağlık hizmeti sunan kurumlar açısından hizmet kalitesini artırmak, yalnızca etik bir sorumluluk değil; aynı zamanda rekabet gücünü koruyabilmek, hasta sadakatini sağlamak ve kurum imajını

güçlendirmek için stratejik bir gereklilik haline gelmiştir (Öz ve Uyar, 2014).

1.1. Hasta Memnuniyeti Etkileyen Faktörler

Hasta memnuniyetinin belirleyicilerini analiz edebilmek için sağlık sistemine dair yapısal, hizmete erişim ve kaynak kullanımı gibi göstergeler üzerine odaklanmak gerekmektedir. Sağlık harcaması; bireylerin sağlığını koruma, geliştirme ve sürdürme amacıyla yürütülen tüm önleyici, iyileştirici, beslenme destekli ve acil müdahale programlarına yönelik yapılan mali harcamaları kapsamaktadır. Hem ulusal hem de hane halkı düzeyinde yapılan bu harcamalar, ülkelerin sosyoekonomik gelişmişlik düzeyini yansıtan temel göstergeler arasında yer alır. Sağlık alanına ayrılan kaynak miktarı, genel olarak ülkelerin ekonomik büyüklüğüyle paralel bir artış eğilimi gösterir ve kişi başına düşen gelirle doğrudan ilişkilidir. Birçok ülkede sağlık harcamalarının zamanla artış göstermesinin arkasında nüfusun sağlık ihtiyaçlarındaki çeşitlenme, yaşlanma gibi demografik dinamikler ve bireylerin gelir düzeyine bağlı sağlık hizmetlerine erişim olanaklarındaki farklılıklar yatmaktadır. Özellikle düşük gelirli bireylerin sağlık hizmetlerine ulaşımında yaşanan kısıtlılıklar, sağlık harcamalarının eşit dağılımı konusunda önemli bir politika alanı oluşturmakta ve bu durum, toplumsal refahın sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır (Atasever vd., 2018).

Belirli bir nüfus büyüklüğüne karşılık gelen yatak sayısı, sağlık sisteminin hizmet sunma kapasitesini ve fiziki altyapısının gücünü yansıtan başlıca göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu ölçüt, sağlık kuruluşlarının hasta kabul kapasitesini ve özellikle acil durumlara ne derece etkin müdahale edebileceğini değerlendirmek için sıkça kullanılmaktadır. Ancak yatak sayısı yalnızca altyapının niceliksel düzeyini göstermemekte, aynı zamanda yatakların

etkin kullanımına bağlı olarak hizmetin kalitesi ve verimliliği açısından da kritik bir rol üstlenmektedir. Sağlık kurumlarında yeterli sayıda yatağın bulunması, hastaların zamanında tedaviye erişimini kolaylaştırarak hem tedavi sürecinin hızlanmasına hem de hasta memnuniyetinin artmasına katkı sağlar. Buna karşılık yetersiz yatak kapasitesi; hasta bekleme sürelerinin uzamasına, tedavi süreçlerinde aksamalar yaşanmasına ve genel memnuniyetin düşmesine neden olabilmektedir. Öte yandan, yatak sayısının ihtiyacın üzerinde olması ise farklı bir sorun alanı yaratmaktadır. Bu durum, kullanılmayan yataklar nedeniyle atıl kapasite oluşmasına, sağlık harcamalarının gereksiz şekilde artmasına ve sistemin mali açıdan sürdürülebilirliğinin zedelenmesine yol açabilir. Ayrıca, fazla yatak kapasitesi beraberinde hasta yoğunluğunu artırarak sağlık personelinin her bir hastaya yeterince zaman ayıramamasına ve bireysel ihtiyaçlara duyarlılığın azalmasına neden olabilir. Tüm bu nedenlerle, sağlık kurumlarında yatak kapasitesinin belirlenmesi sürecinde, hem bölgesel nüfus özellikleri hem de sağlık hizmetlerine olan talep göz önünde bulundurularak dengeli ve planlı bir yaklaşım benimsenmesi büyük önem taşımaktadır (Selvi Sarıgül vd., 2024).

Sağlık hizmetlerinin sunumu, belirsizliklerin sıkça yaşandığı, yüksek risk düzeyine sahip ve yoğun tempolu bir çalışma ortamını beraberinde getirir. Bu sektörde görev yapan sağlık çalışanları, sadece fiziksel değil aynı zamanda zihinsel olarak da büyük bir yük altındadır. İş yükünün fazlalığı, zaman baskısı ve hastaların hayatına doğrudan etki etme sorumluluğu, sağlık alanında çalışan bireyleri diğer meslek gruplarından ayıran temel unsurlar arasında yer alır. Sağlık profesyonelleri, insan yaşamının korunması ve iyileştirilmesi gibi hayati görevleri üstlenirken mesleki anlamda hem yoğun stresle hem de sürekli karar alma zorunluluğuyla karşı karşıyadır. Bu yönüyle sağlık sektörü, hem çalışan sağlığı hem de hizmet

kalitesi açısından özel bir dikkat ve özen gerektiren alanlardan biridir (Şeremet ve Ekinci).

Yapılan çalışmalar, hasta memnuniyetinin sağlık sistemlerinin başarısında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ugur ve Tirgil (2018), sağlıkta dönüşüm programlarının kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyetini çalışmışlardır. Orhan ve ark. (2022) hastaların sağlık hizmetlerinden memnuniyetini değerlendiren eleştirel bir inceleme yapmışlardır. Üstüner Top ve ark. (2022) ise, hastanede yatan çocuklarda görülen psikososyal semptomlar ile ebeveynlerin sağlık hizmet sunumu memnuniyetleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Güven (2021), bir devlet hastanesi örneğinde yaptığı çalışmada, sağlık yönetiminde hasta memnuniyetini; Yıldız ve Kanburoğlu (2021) ise çocuk acil servisinde sunulan sağlık hizmetlerinin kalitesi ile hasta memnuniyetini incelemişlerdir. Türkiye sağlık sisteminden memnuniyet düzeyinin belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalarda ise genel olarak sağlık hizmetlerine erişim, hizmet kalitesi ve personel davranışlarının memnuniyet üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Şantaş ve ark., 2021; Aydemir & Eke, 2023). Ayrıca, Yılık ve Beylik (2023) sağlık harcamalarının hasta memnuniyeti ve yaşam süresi ile olan ilişkisini incelemiştir. Bu çalışmalar, hasta memnuniyetinin çok boyutlu yapısını ortaya koyarken sağlık hizmetlerinin kalitesi, erişilebilirliği ve kaynak kullanımının optimizasyonunun önemini doğrulamaktadır.

Bu çalışmada, hasta memnuniyetinin belirleyicilerini daha iyi anlamak amacıyla sağlık sistemine ilişkin yapısal göstergeler, hizmet sunum koşulları ve kaynak kullanımı arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Özellikle; devlet hastanelerinde ölçülen hasta memnuniyeti skorları ile sağlık personeli yoğunluğu, yatak sayısı, sağlık harcamaları ve sağlık kurumlarının sayısı gibi değişkenler arasındaki korelasyonlar

incelenmiştir. Böylece, hasta memnuniyetini etkileyen faktörlerin hem bireysel hizmet sunumu boyutunda (örneğin sağlık personelinin hasta başına düşen yükü) hem de sistem genelindeki yapısal unsurlar (sağlık harcamaları ve altyapı göstergeleri) çerçevesinde nasıl şekillendiği ortaya konulmak istenmiştir.

2. MATERYAL YÖNTEM

Çalışmada, sağlık kuruluşlarının sunduğu hizmetlere yönelik memnuniyet düzeyi, devlet hastaneleri odağında analiz edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından sunulan veriler kapsamında sağlık ocağı, üniversite hastanesi ve diğer sağlık kuruluşları için de memnuniyet değerlendirmeleri bulunmasına rağmen, bu araştırmada yalnızca devlet hastanelerine ilişkin memnuniyet skoru bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Bu skor, “memnun” ve “memnun değil” yanıtları arasındaki fark alınarak oluşturulmuştur. Aynı yöntemle, özel hastanelere yönelik memnuniyet skoru da hesaplanmış ve analizde bağımsız bir değişken olarak yer almıştır (TÜİK-1).

Bağımsız değişkenlerin genel olarak üç ana başlık altında toplandığı söylenebilir. İlk olarak, sağlık personelinin hizmet sunumundaki kapasitesini temsil eden “sağlık personeli başına düşen kişi sayısı” değişkenleri arasında; hekim, hemşire ve diğer sağlık personeli yer almaktadır. İkinci olarak, sağlık altyapısını yansıtan göstergelerden toplam sağlık kurumu sayısı ile 1000 kişi başına düşen hastane yatağı sayısı modele dâhil edilmiştir. Üçüncü olarak ise, sağlık harcamalarına ilişkin göstergeler kapsamında toplam sağlık harcaması, kişi başına sağlık harcaması ve sağlık harcamasının gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) içindeki oranı değerlendirilmiştir (TÜİK-2).

Bunlara ek olarak, bireylerin “bir yıl sonrası için genel olarak yaşama ilişkin beklentileri” değişkeni de modele dâhil

edilmiştir. Bu değişkenin skoru da, “daha iyi olacak” ve “daha kötü olacak” diyen bireylerin oranı farkı üzerinden hesaplanarak oluşturulmuştur (TÜİK-1). Böylece, sağlık hizmetlerine duyulan memnuniyetin yalnızca yapısal ve finansal göstergelerle değil, aynı zamanda bireylerin geleceğe yönelik genel iyimserlik düzeyleriyle de nasıl bir ilişki içinde olduğu analiz edilmiştir. Tüm değişkenler, TÜİK tarafından yayımlanan resmi verilerden elde edilmiştir.

Öncelikle, çalışmada yer alan değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ardından, devlet hastanelerine yönelik memnuniyet skorunu yordayan değişkenleri belirlemek amacıyla çoklu regresyon analizine başvurulmuştur. Analizler, SPSS 21.0 paket programı kullanılarak yürütülmüş ve tüm istatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda, sağlık personeli yoğunluğu, sağlık altyapısı göstergeleri, sağlık harcamaları, özel hastane memnuniyet skoru ve bireylerin geleceğe dair beklenti düzeyleri gibi çeşitli faktörlerin devlet hastanelerine yönelik memnuniyet üzerindeki etkisi istatistiksel olarak test edilmiştir.

3. BULGULAR

Araştırmada kullanılan temel değişkenler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Çalışmada yer alan bağımlı değişken olan sağlık memnuniyeti düzeyi ile bağımsız değişkenler arasında nasıl bir ilişki bulunduğu, öncelikle korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki yön ve güç hakkında fikir vererek regresyon analizine zemin hazırlamaktadır. Elde edilen bulgular, değişkenler arasında anlamlı bir ilişkinin bulunup bulunmadığını ortaya koymakla birlikte, çoklu doğrusal regresyon analizinde

karşılaşılabilecek çoklu doğrusal bağlantı durumlarını önceden tespit etmede de yol gösterici olmuştur.

3.1. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, araştırma kapsamında belirlenen değişkenler arasındaki doğrusal ilişkilerin yönünü ve gücünü belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, bağımsız değişkenler ile bireylerin sağlık hizmetlerinden duydukları memnuniyet düzeyi arasındaki potansiyel ilişkileri ortaya koymak açısından önem taşımaktadır. Analizde Pearson korelasyon katsayısı kullanılmış olup, değişkenler arasındaki pozitif ya da negatif ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirten değerler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Korelasyon Analizi Sonuçları

Değişken	r katsayısı	p değeri
Özel Hast. Memnuniyet skoru	0,833	0,000
Zaman (yıl)	0,601	0,004
Toplam Sağlık Kurum Sayısı	0,775	0,000
Bin kişiye düşen hastane yatağı sayısı	0,458	0,037
Diğer Pers. Hasta Yoğunluğu	-0,753	0,000
Hemşire Hasta Yoğunluğu	-0,711	0,000
Hekim Hasta Yoğunluğu	-0,587	0,005
Toplam Sağlık Harcaması	0,091	0,695
Kişi Başına Düşen Sağlık Harcaması	0,093	0,688
Sağlık Harcamalarının GSYH Oranı	-0,416	0,061

Bulgulara göre devlet hastanelerine yönelik memnuniyet skoru ile bazı yapısal ve hizmet göstergeleri arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

Özel hastanelere yönelik memnuniyet skorundaki artış, devlet hastanelerine yönelik memnuniyet skoru ile de anlamlı ve pozitif yönde ilişkilidir. Bu durum, genel sağlık hizmetlerine yönelik memnuniyet düzeylerinin paralel seyrettiğini göstermektedir.

Zaman içerisinde devlet hastanelerine yönelik memnuniyet skorlarında artış görülmektedir. Bu artış, sistematik bir iyileşmeye işaret ediyor olabilir.

Toplam sağlık kurumu sayısındaki artış, memnuniyet skorlarıyla anlamlı düzeyde pozitif ilişkilidir. Bu durum, hizmete erişimin artmasının memnuniyeti artırabileceğini düşündürmektedir.

Yatak kapasitesindeki artış, hasta memnuniyetini olumlu yönde etkilemektedir. Bu bulgu, altyapı yatırımlarının hasta deneyimi üzerindeki etkisini göstermektedir.

Diğer sağlık personeline düşen hasta sayısı azaldıkça, hasta memnuniyeti artmaktadır. Bu durum, sağlık personelinin iş yükünün hafiflemesinin hasta deneyimini olumlu etkilediğini göstermektedir.

Hemşire başına düşen hasta sayısının azalması, memnuniyet skorunu yükseltmektedir. Bu sonuç, hasta bakım kalitesinde hemşire yoğunluğunun belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Hekim başına düşen hasta sayısı azaldıkça, hasta memnuniyeti artmaktadır. Bu bulgu, hekimlerin hasta başına daha fazla zaman ayırabildiği durumlarda memnuniyetin yükseldiğini göstermektedir.

Bu üç gösterge hekim, hemşire ve diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısı sağlık hizmetlerinde hasta başına düşen insan kaynağı yoğunluğunu yansıtmaktadır. Bu göstergeler, sağlık çalışanlarının hastalara ne ölçüde zaman ve ilgi ayırabildiğini dolaylı olarak ifade eder. Bulgulara göre, bu göstergeler arasında hasta memnuniyeti ile en güçlü ilişki diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısında gözlemlenmiştir. Bu durum, diğer sağlık personelinin (hasta danışmanı, tekniker, yardımcı personel vb.) hastalarla doğrudan temas halinde olması

ve rehberlik, yönlendirme, destek gibi hizmetleri yerine getirmesi nedeniyle açıklanabilir. Hastaların sağlık sisteminde kendilerini daha güvende ve bilgilendirilmiş hissetmeleri, bu personelin etkinliğiyle doğrudan ilişkilidir.

3.2. Sağlık Harcamalarına İlişkin Göstergeler

Toplam sağlık harcaması, kişi başına düşen sağlık harcaması ve sağlık harcamalarının gayrisafi yurt içi hasılaya (GSYH) oranı gibi göstergeler, sistem düzeyinde yapılan genel sağlık yatırımlarını temsil etmektedir. Ancak bu üç değişkenin de hasta memnuniyeti ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki göstermemesi ($p > 0,05$), harcamaların doğrudan hasta deneyimine yansımadığını düşündürmektedir. Her ne kadar bu göstergeler sağlık sisteminin kaynak düzeyini ortaya koysa da bu yatırımların etkin kullanımı, hizmet kalitesi ve hasta ile temas eden süreçlere aktarımı asıl belirleyici faktör olabilir. Örneğin cihaz yenileme, bina yapımı, teknik altyapı gibi sağlık harcamaları hasta tarafından doğrudan gözlemlenememiş olabilir.

3.3. Regresyon Analizi

Regresyon analizinde, devlet hastanelerine yönelik hasta memnuniyeti skoru bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bağımsız değişken olarak sağlık sistemine dair çeşitli yapısal ve hizmet göstergeleri modele dâhil edilmiştir. Analizde çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) durumu dikkate alınmış ve modele dâhil edilen değişkenler özenle seçilmiştir. Örneğin hekim, hemşire ve diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayıları arasında yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmüştür. Teorik olarak da beklenen bu durum nedeniyle modelde sadece “diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısı” değişkenine yer verilmiştir. Böylece çoklu doğrusal bağlantının model üzerindeki etkileri azaltılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda özel hastane memnuniyet

skoru, kişi başına düşen sağlık harcaması, sağlık harcamalarının GSYH içindeki payı, diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısı ve yaşam beklentisi skoru modele dâhil edilen değişkenler arasında yer almaktadır. Tablo 2’de yer alan regresyon bulguları, devlet hastanelerine yönelik memnuniyet skoruna anlamlı katkı sunan değişkenleri ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Regresyon Analizi Sonuçları

Bağımsız Değişkenler	B Katsayısı	Beta (Std.)	p Değeri
(Sabit)	26,936		0,048
Özel Hastane Memnuniyet Skoru	0,488	0,392	0,000
Sağlık Harcaması / GSYH (%)	8,863	0,284	0,010
Diğer Sağ. Per. Baş. Düş. Hasta Say.	-0,063	-1,085	0,000
Yaşam Beklentisi Skoru	0,406	0,338	0,005
Kişi Başına Sağlık Harcaması	-0,001	-0,211	0,016

Çoklu regresyon analizine göre özel hastane memnuniyet skoru, devlet hastanelerindeki memnuniyet düzeyini anlamlı ve pozitif yönde etkilemektedir. Korelasyon analizinde de gözlenen bu paralellik, sağlık sistemine duyulan genel memnuniyetin bütüncül bir yapı arz ettiğini göstermektedir.

Diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısı, negatif ve yüksek düzeyde anlamlı bir katsayıya sahiptir. Bu değişkenin standartlaştırılmış katsayısı tüm modeldeki en güçlü etkiye sahip değişken olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, sağlık hizmetlerinde destekleyici personelin doğrudan hasta deneyimi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını bir kez daha ortaya koymaktadır.

Yaşam beklentisi skoru, pozitif ve anlamlı bir ilişki sergilemektedir. Bu değişkenin etkisi, bireylerin genel yaşamdan duyduğu memnuniyetin ve geleceğe dair beklentilerinin, kamu hastanelerine yönelik memnuniyet algısıyla bağlantılı olabileceğini göstermektedir. Bu durum, bireylerin sağlık hizmetlerini yalnızca tıbbi hizmet düzeyinde değil; yaşam kalitesini destekleyen daha geniş bir refah çerçevesinde değerlendirdiğini düşündürmektedir.

Korelasyon analizinde, kişi başına sağlık harcaması ile devlet hastanesi memnuniyet skoru arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu durum, harcama miktarının doğrudan memnuniyetle bağlantılı olmadığını düşündürmektedir. Ancak çoklu regresyon analizinde bu değişkenin negatif ve anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu sonuç, kişi başına sağlık harcamasının etkisinin diğer değişkenlerin kontrol altına alındığı durumda daha net ortaya çıktığını göstermektedir. Dolayısıyla, yüksek harcama seviyeleri, her zaman hasta memnuniyetini artırmamaktadır. Bu kaynakların ne ölçüde etkin ve hastaların hissedebileceği bir şekilde kullanıldığıdır.

Benzer şekilde, sağlık harcamalarının GSYH'ye oranı pozitif ve anlamlı bir etki göstermektedir. Ancak bu etkinin düşük olması, genel sağlık yatırımlarının hasta memnuniyeti üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bu durum, sadece finansal kaynakların artırılmasının değil, bu kaynakların nasıl kullanıldığının da memnuniyet açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak modelin bulguları; hasta memnuniyetini artırmak için sadece harcama düzeyine değil, sağlık personeli kapasitesinin güçlendirilmesine, hasta başına düşen zamanın artırılmasına ve hizmet kalitesinin bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Özellikle diğer sağlık personelinin yükünü azaltmaya yönelik politikalar, hasta memnuniyetini artırma potansiyeline sahiptir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, devlet hastanelerine yönelik hasta memnuniyetini etkileyen yapısal, finansal ve algısal faktörleri analiz ederek sağlık sistemine ilişkin çeşitli göstergelerin hasta deneyimi üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Elde

edilen bulgular, hasta memnuniyetinin yalnızca sağlık hizmetlerinin niceliksel düzeyiyle değil, hizmetin sunum biçimi, erişilebilirlik düzeyi ve bireylerin sağlık sistemine dair algılarıyla da yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, diğer sağlık personeli başına düşen hasta sayısının memnuniyet üzerindeki güçlü ve negatif etkisidir. Bu sonuç, sağlık sisteminde hasta ile birebir temas kuran, rehberlik ve destek hizmetleri sunan personelin etkinliğinin hasta memnuniyetini belirlemede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Hemşire ve hekim yoğunluğu da memnuniyeti etkileyen diğer önemli göstergeler arasında yer almakta; bu da sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltmanın hasta deneyimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Özel hastane memnuniyet skorunun, devlet hastanelerine yönelik memnuniyet ile pozitif yönde ilişkili olması, sağlık sistemine yönelik memnuniyet algısının bütüncül ve kurumlar arası geçirgen olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, vatandaşların farklı sağlık kurumları arasında kıyaslama yaparak genel sağlık sistemine yönelik algılarını şekillendirdiklerini göstermektedir.

Finansal göstergeler açısından, sağlık harcamalarının GSYH içindeki payı memnuniyet üzerinde sınırlı düzeyde anlamlı ve pozitif bir etki ortaya koyarken, kişi başına sağlık harcaması negatif yönde etkili olmuştur. Bu bulgu, sadece harcama miktarının artırılmasının memnuniyet artışına yol açmayabileceğini; harcamaların nasıl, nerede ve kime yönelik kullanıldığının asıl belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Yaşam beklentisi skoru ise memnuniyet düzeyleriyle pozitif ve anlamlı bir ilişki sergilemiştir. Her ne kadar bu değişken yalnızca sağlıkla ilgili olmasa da bireylerin genel yaşamdan duyduğu tatminin ve geleceğe dair iyimserliğin, kamu

hizmetlerine yönelik değerlendirmeleri de etkileyebileceği görülmektedir.

Sonuç olarak, hasta memnuniyetini artırmaya yönelik politikaların sadece yapısal yatırımlara veya harcama düzeyine odaklanmak yerine; sağlık personelinin iş yükünü azaltmaya, hasta ile temas eden personelin etkinliğini artırmaya ve bireylerin sağlık sistemine yönelik algılarını olumlu yönde geliştirmeye yönelik olması gerektiği görülmektedir. Bu bulgular, sağlık politikalarının daha dengeli, insan odaklı ve bütüncül bir bakış açısıyla yeniden şekillendirilmesine yönelik önemli ipuçları sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Atasever, M., Karaca, Z., Sanisoğlu, S. Y., Alkan, A., vd. (2018). Türkiye’de katastrofik sağlık harcamaları ve sağlık hizmetlerinden memnuniyet oranı ile ilişkisi. *Ankara Medical Journal*, 18(1), 22–30. <https://doi.org/10.17098/amj.409061>
- Aydemir, H. C., & Eke, E. (2023). Yerel yönetimlerin sunduğu sağlık hizmetlerine yönelik bireylerin memnuniyet algısı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(40), 1390–1411. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.1219424>
- Güven, E. (2021). Sağlık yönetiminde hasta memnuniyeti: Bir devlet hastanesi örneği. *OPUS International Journal of Society Researches*, 17(37), 4873–4893. <https://doi.org/10.26466/opus.872579>
- Orhan, S., Gümüş, M., Kızılkaya, E., & Ceylan, A. (2022). Hastaların sağlık hizmetlerinden memnuniyeti: Eleştirel bir inceleme. *Gevher Nesibe Tıp ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(12), 81–97. <https://doi.org/10.46648/gnj.203>
- Öz, M., & Uyar, E. (2014). Sağlık hizmetleri pazarlamasında algılanan hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti üzerinde ağızdan ağıza pazarlamanın etkisini belirlemeye yönelik bir araştırma. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2014(1), 123–132. <https://doi.org/10.18493/kmusekad.86430>
- Özcan, M., Özkaynak, V., & Toktaş, İ. (2008). Silvan Devlet Hastanesine başvuran kişilerin memnuniyet düzeyleri. *Dicle Medical Journal*, 35(2), 96–101.
- Özmen, S., & Ocakdan, U. B. (2022). Hasta ve çalışanların şehir hastanelerine dair memnuniyet durumunun ve görüşlerinin değerlendirilmesi üzerine sistematik bir

- derleme. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(3), 1238–1246.
<https://doi.org/10.37989/gumussagbil.1139814>
- Selvi Sarıgül, S., Konca, M., & Biçer, İ. (2024). Yatak kapasitesinin ve kamu sağlık harcamalarının hasta memnuniyet düzeyi üzerindeki etkisi: Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (65), 269–284.
<https://doi.org/10.30794/pausbed.1445521>
- Şantaş, F., Şantaş, G., & Metin, Ü. (2021). Türkiye sağlık sisteminden memnuniyet düzeyinin belirlenmesine ilişkin bir araştırma. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(3), 244–253.
<https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.927389>
- Şeremet, G. G., & Ekinci, N. (2021). Sağlık çalışanlarında merhamet yorgunluğu, merhamet memnuniyeti ve merhamet korkusu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 12(29), 330–344.
<https://doi.org/10.21076/vizyoner.722874>
- Taşlıyan, M., & Akyüz, M. (2010). Sağlık hizmetlerinde hasta memnuniyet araştırması: Malatya Devlet Hastanesi’nde bir alan çalışması. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2010(2), 61–66.
- TÜİK-1, Türkiye İstatistik Kurumu, (20/07/2025). Gelir, yaşam, tüketim ve yoksulluk.
<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Gelir,-Yasam,-Tuketim-ve-Yoksulluk-107>
- TÜİK-2, Türkiye İstatistik Kurumu, (20/07/2025). Sağlık ve sosyal koruma.

<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=saglik-ve-sosyal-koruma-101&dil=1>

- Ugur, Z., & Tirgil, A. (2018). Sağlıkta dönüşüm programı ve kamunun sağlık hizmetlerinden memnuniyeti. *Ombudsman Akademik*, (1), 295–327.
- Üstün, S., & Cezlan, E. Ç. (2021). Birinci basamak sağlık hizmetlerinde hasta memnuniyeti: İstanbul ilinde bir araştırma. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10(3), 353–364. <https://doi.org/10.37989/gumussagbil.904973>
- Üstüner Top, F., Çam, H. H., & İlyas, N. (2022). Hastanede yatan çocuklarda görülen psikososyal semptomlar, ebeveynlerin sağlık hizmet sunumu memnuniyet durumları ve ilişkili faktörler. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(1), 34–41. <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.949338>
- Yıldız, Y., & Kanburoğlu, M. K. (2021). Çocuk acil servisinde sağlık hizmetleri sunum kalitesi ve hasta memnuniyeti. *Journal of Pediatric Emergency and Intensive Care Medicine*, 8(1), 7–14. <https://doi.org/10.4274/cayd.galenos.2020.08379>
- Yılık, P., & Beylik, U. (2023). Sağlık harcamalarının hasta memnuniyeti ve yaşam süresi ile ilişkisi. *Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Bilimleri Akademik Araştırmalar Dergisi*, 7(17), 31–38. <https://doi.org/10.58202/joecopol.1358514>

THEORETICAL FOUNDATIONS AND LITERATURE APPLICATIONS OF CLASSICAL AND FUZZY COCOSO METHODS IN MULTI- CRITERIA DECISION-MAKING PROCESSES

Müslüm ÖZTÜRK¹

1. INTRODUCTION

Multi-criteria decision-making (MCDM) problems are frequently encountered in today's complex and uncertainty-driven decision environments. Decision-makers are required to simultaneously evaluate multiple quantitative and qualitative criteria—such as cost, quality, delivery time, and sustainability—while balancing the preferences and priorities of different stakeholders and managing uncertainty. In this context, MCDM methods have become indispensable tools not only in academic research but also in practical applications across engineering, supply chain management, finance, and policy-making (Saaty, 2013; Tzeng & Huang, 2011).

The purpose of this chapter is to present the classical Combined Compromise Solution (CoCoSo) method and its fuzzy extensions in detail, to discuss their theoretical foundations, and to highlight both their practical advantages and inherent limitations. The chapter first examines the general characteristics of MCDM problems and their importance in supplier selection. Subsequently, the fundamental distinctions between classical and fuzzy approaches are elaborated, along

¹ Asst. Prof. Dr., Kilis 7 Aralık University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, mozturk@kilis.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1941-3115.

with the rationale for incorporating fuzziness into decision-making processes.

1.1. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Problems)

MCDM problems refer to situations where multiple criteria—often conflicting or expressed in different measurement scales—are considered simultaneously. These problems are generally defined by three components: (i) a set of alternatives (e.g., potential supplier candidates), (ii) a set of criteria (e.g., cost, quality, delivery time, etc.), and (iii) the preference information provided by decision-makers or derived from the case context. Classical MCDM techniques, such as AHP, TOPSIS, VIKOR, and ELECTRE, employ different mathematical and logical approaches to rank alternatives and propose the most suitable or compromise solutions (Saaty, 2013; Tzeng & Huang, 2011).

The common objectives of these methods include structuring the decision space, determining the weights of criteria, normalizing the alternatives, and producing a consistent ranking. However, real-world data often involve uncertainty, vagueness, and incompleteness; expert judgments may be expressed through linguistic terms, measurements may contain noise, and decision-makers' preferences cannot always be represented by precise numerical values. At this point, classical (crisp/linear) methods may fall short in handling such uncertainties, and models enriched with fuzzy logic are therefore preferred.

1.2. The Importance of MCDM in Supplier Selection

Supplier selection is a strategic component of supply chain management. An improperly chosen supplier can trigger a cascade of negative consequences, including production delays, cost increases, quality deterioration, and reputational damage.

Therefore, supplier evaluation is typically multi-criteria and involves multiple stakeholders. While price represents only one criterion, factors such as quality certifications, logistics compatibility, environmental performance, sustainability practices, technical competence, and after-sales support also play a decisive role in the decision-making process.

The heterogeneity and, at times, conflicting nature of criteria used in supplier selection create a need for consensus among decision-makers. With the increasing importance of next-generation criteria—such as sustainability, carbon footprint, and social responsibility—the requirement for decision models to be multidimensional and flexible has become more pronounced. Additionally, deriving criteria weights from both objective and subjective sources (e.g., expert judgments), managing group decision-making processes, and conducting sensitivity analyses are critical steps for practical applications.

1.3. Comparative Value of Classical and Fuzzy Methods

Classical MCDM methods provide powerful and computationally tractable tools based on numerical and precise data. However, linguistic expressions used by decision-makers to describe their preferences (e.g., “high quality”, “reasonable delivery time”) may not be directly compatible with classical methods. Fuzzy set theory, developed by Zadeh (1965), was designed to model such uncertainties and vagueness. Fuzzy logic extends beyond the binary (true–false) approach of classical logic, providing a framework for decision-making processes based on imprecise and gradual information. Consequently, it offers a representation that more closely resembles the human brain’s way of thinking and evaluating under uncertainty.

Fuzzy MCDM approaches can generate quantitative outcomes even when criterion values or weights are expressed in linguistic terms. A notable increase in the application of fuzzy MCDM has been observed in the literature since the late 1990s, particularly throughout the 2000s (Mardani et al., 2015).

The CoCoSo method has emerged as a relatively recent approach in the literature, offering high flexibility in MCDM processes. By combining various additive and multiplicative strategies, this method enables adaptation to different decision-making scenarios. Its original formulation integrates the advantages of Weighted Sum Model (WSM) and Weighted Product Model (WPM) within a single framework. Consequently, CoCoSo considers both additive scores and multiplicative impact mechanisms, providing a more balanced and comprehensive ranking (Yazdani et al., 2019). Nevertheless, the limitations and sensitivity of CoCoSo to application conditions have led to the development of several extensions, such as integration with grey systems, various normalization procedures, and fuzzy adaptations (Kocasakal & Uluçay, 2025).

In the following sections of this chapter, the mathematical structure and computational steps of the classical CoCoSo method will be discussed in detail, followed by an examination of fuzzy extensions, such as Type-1 fuzzy models, and their corresponding calculation rules.

2. THEORETICAL FRAMEWORK OF THE COCOSO METHOD

2.1. Development of the CoCoSo Method

Within MCDM methods, the CoCoSo approach has emerged as a relatively new and innovative technique in the literature. First proposed by Yazdani et al. (2019), the method

combines the classical Weighted Sum Model (WSM) and the Weighted Product Model (WPM) to provide a more balanced and flexible approach to decision-making. In this respect, it does not rely solely on a single additive or multiplicative approach, but rather represents a hybrid framework that integrates the strengths of different methodologies.

In the study conducted by Yazdani et al. (2019), the CoCoSo method was compared with other widely used MCDM techniques. The findings demonstrated that CoCoSo stands out in its ability to produce consistent and coherent results, particularly in numerical decision-making processes and even when different normalization techniques are applied. This feature supports the method's applicability as a flexible and reliable tool in decision-making processes. Its adaptability to multi-criteria structures has led to its application in numerous studies in subsequent years (Razzaq et al., 2024). CoCoSo has thus become a preferred tool in various domains, including sustainability, energy management, supplier selection, risk analysis, and healthcare management.

2.2. Fundamental Concept of the CoCoSo Method

The fundamental concept of the CoCoSo method is based on synthesizing decision-makers' evaluations using both additive and multiplicative approaches to achieve a compromise solution. The method integrates three distinct assessment strategies:

1. **Weighted Sum-Based Assessment (WSM):** The performance of alternatives is calculated using weighted averages across the criteria.
2. **Weighted Product-Based Assessment (WPM):** The relative superiority of alternatives is measured multiplicatively, thereby accounting for the proportional effects among criteria.

3. Combined Compromise Solution: By integrating the above two approaches, a final score is obtained that considers both absolute values and relative superiority.

The primary advantage of this hybrid approach is that it prevents extreme weight distortions that may arise when calculations are based on a single method. For instance, when only WSM is applied, high-valued criteria may dominate, whereas the exclusive use of WPM can result in the excessive influence of small values. Therefore, the CoCoSo method aims to minimize these imbalances and provide decision-makers with a more consistent ranking (Yazdani et al., 2019).

2.3. Computational Steps of the Classical CoCoSo Method

The classical CoCoSo method can be defined step by step as follows (Yazdani et al., 2019; Razzaq et al., 2024):

Adım 1: Construction of the decision matrix. In this step, the alternatives (e.g., suppliers) and criteria (e.g., cost, quality, delivery time) are identified, and the decision matrix $X = [x_{ij}]$ is constructed. Here, x_{ij} represents the performance of the i -th alternative with respect to the j -th criterion.

Adım 2: Normalization of the decision matrix. Depending on the type of criterion (benefit or cost), an appropriate normalization method is applied. For benefit criteria, higher values are preferred, whereas for cost criteria, lower values are considered better. Normalization makes the criterion values comparable across alternatives. In the classical CoCoSo method, the decision matrix is normalized according to the criterion type as follows:

- For benefit criteria:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})}$$

- For cost criteria:

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}}$$

Here:

x_{ij} : the value of the i -th alternative with respect to the j -th criterion,

x_{ij}^* : the normalized value,

$\max_i(x_{ij})$: the highest value for the corresponding criterion,

$\min_i(x_{ij})$: denotes the lowest value for the corresponding criterion.

Step 3: Weighting of normalized values. In this step, the criterion weights w_j are determined by the decision-maker(s). The weighted values are obtained by multiplying the normalized decision matrix r_{ij} by the criterion weights as follows:

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}$$

Step 4: Calculation of weighted sum (WSM) and weighted product (WPM) values. In this step, the WSM and WPM values are calculated as follows:

- Weighted Sum (WSM) value:

$$s_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

- Weighted Product (WPM) value:

$$P_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}$$

Step 5: Calculation of the combined compromise score. In this step, three different score values are calculated for each alternative in the CoCoSo method:

- Average-based score

$$k_i^{(1)} = \frac{1}{n} (S_i + P_i)$$

- Ratio-based score

$$k_i^{(2)} = \frac{S_i}{\max_i(S_i)} + \frac{P_i}{\max_i(P_i)}$$

- Harmonic mean-based score

$$k_i^{(3)} = \frac{2}{\frac{1}{S_i} + \frac{1}{P_i}}$$

Subsequently, the final combined score for each alternative is calculated as follows:

$$C_i = \lambda k_i^{(1)} + (1 - \lambda) k_i^{(2)} + k_i^{(3)}$$

Here, λ is a parameter that can be adjusted according to the decision-maker's preference. Consequently, the alternatives are ranked from highest to lowest based on their C_i values.

3. FUZZY CoCoSo METHOD

3.1. Fuzzy Set Theory and Type-1 Fuzzy Numbers

Fuzzy set theory was first developed by Zadeh (1965) to model concepts that involve uncertainty and cannot be defined with sharp boundaries. In classical set theory, an element either belongs to a set or does not; however, in fuzzy set theory, the membership degree of each element can vary within the interval $[0,1]$. This characteristic provides significant flexibility, particularly in translating human judgments and linguistic assessments into mathematical models.

Fuzzy numbers are special types of fuzzy sets used to represent uncertainty and approximate values. One of the most

commonly used representations is the triangular fuzzy number, defined as $\tilde{A} = (l, m, u)$, where l denotes the minimum value, m the most likely (modal) value, and u the maximum value. Similarly, trapezoidal fuzzy numbers, represented by the parameters (l_1, l_2, u_1, u_2) , offer a more flexible representation (Zimmermann, 2011).

Type-1 fuzzy numbers are frequently used to convert decision-makers' linguistic assessments (e.g., "high," "medium," "low," "short," "long," "cold," "hot," etc.) into quantitative structures. For instance, the expression "high quality" can be represented as a triangular fuzzy number (0.7, 0.9, 1.0) or as a trapezoidal fuzzy number (0.55, 0.65, 0.75, 1.0). This approach provides more realistic results in problems with a high prevalence of qualitative criteria, such as supplier selection.

3.2. An Overview of Fuzzy MCDM Approaches

Fuzzy MCDM methods are derived by extending classical MCDM approaches with fuzzy set theory. These approaches have been developed particularly to model decision-makers' preferences that involve uncertainty or are expressed linguistically (Kahraman et al., 2016). Among the most commonly used methods in the literature are Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, and Fuzzy CoCoSo. The fuzzification process in fuzzy sets generally involves the following steps:

- Collection of decision-makers' assessments using linguistic terms,
- Conversion of these terms into fuzzy numbers,
- Evaluation of alternatives using fuzzy mathematical operations,
- Transformation of fuzzy results into crisp values through defuzzification methods.

3.3. Computational Steps of the Fuzzy CoCoSo Method

The Fuzzy CoCoSo method retains the steps of the classical CoCoSo approach while allowing the criterion values and/or weights to be expressed as fuzzy numbers (Yazdani et al., 2019; Büyüközkan & Güleriyüz, 2016). In this section, the computational steps of the Fuzzy CoCoSo method are presented considering triangular fuzzy numbers. The same procedure applies to other types of fuzzy numbers as well. The computational steps of the Fuzzy CoCoSo method are summarized below:

Adım 1: Step 1: Construction of the Fuzzy Decision Matrix.

In this step, the performance values of alternatives with respect to the criteria are collected using linguistic terms and converted into appropriate fuzzy numbers. In the decision problem, there are m alternatives $(A_i, i = 1, \dots, m)$ and n criteria $(C_j, j = 1, \dots, n)$. Decision-makers evaluate the alternatives with respect to the criteria using fuzzy linguistic expressions. In this study, these expressions are represented as triangular fuzzy numbers as follows:

$$\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

Here:

l_{ij} : The minimum value in the triangular membership function,

m_{ij} : The most likely value (the middle value) in a triangular membership function,,

u_{ij} : Represents the highest value in a triangular membership function. At this step, the fuzzy decision matrix can be expressed as follows:

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

Step 2: Normalization of the decision matrix. In this step, normalization is performed according to benefit and cost criteria.

- For benefit criteria (where a larger C_j is better)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^{max}}, \frac{m_{ij}}{u_j^{max}}, \frac{u_{ij}}{u_j^{max}} \right)$$

- For cost criteria (where a smaller C_j is better)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^{min}}{u_{ij}}, \frac{l_j^{min}}{m_{ij}}, \frac{l_j^{min}}{l_{ij}} \right)$$

Here:

$u_j^{max} = \max_i u_{ij}$ and $l_j^{min} = \min_i l_{ij}$. Thus, the normalized decision matrix is obtained as follows:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$$

Step 3: Weighted normalized decision matrix. In this step, the weight of each criterion is given as $\tilde{w}_j = (l_{wj}, m_{wj}, u_{wj})$. The weighted normalized values are then calculated by multiplying the normalized values obtained in the previous step by the corresponding criterion weights, as follows:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j$$

Step 4: Calculation of the total and multiplicative scores. In this step, the fuzzy total score (WSM) and the fuzzy multiplicative score (WPM) are calculated as follows:

- Total Score (WSM)

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij}$$

- Multiplicative Score (WPM)

$$\tilde{P}_i = \prod_{j=1}^n \tilde{v}_{ij}^{\tilde{w}_j}$$

Step 5: Calculation of the integrated compromise scores. In this step, the fuzzy CoCoSo method includes three different combination approaches. These score values are calculated as follows, respectively:

1. First compromise score (simple average):

$$\tilde{Q}_i^{(1)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\tilde{S}_i}{\max_i \tilde{S}_i} + \frac{\tilde{P}_i}{\max_i \tilde{P}_i} \right)$$

2. Second compromise score (harmonic average):

$$\tilde{Q}_i^{(2)} = \frac{\tilde{S}_i}{\max_i \tilde{S}_i} \times \frac{\tilde{P}_i}{\max_i \tilde{P}_i}$$

3. Third compromise score (weighted combination):

$$\tilde{Q}_i^{(3)} = \left(\lambda \times \frac{\tilde{S}_i}{\max_i \tilde{S}_i} \right) + \left((1 - \lambda) \times \frac{\tilde{P}_i}{\max_i \tilde{P}_i} \right)$$

Here, λ is considered within the range $0 \leq \lambda \leq 1$.

Step 6: Calculation of the final scores and ranking. In this step, the final scores are obtained as the average of the three compromise approaches, as follows:

$$\tilde{Q}_i = \frac{1}{3} \left(\tilde{Q}_i^{(1)} + \tilde{Q}_i^{(2)} + \tilde{Q}_i^{(3)} \right)$$

Here, the fuzzy scores obtained for each alternative are defuzzified using a score function. A commonly used score function for fuzzy numbers is given as follows:

$$SF(\tilde{Q}_i) = \frac{l_i + m_i + u_i}{3}$$

Then, the final scores are compared, and the alternative with the highest score value (SF) is determined as the best choice.

The fuzzy CoCoSo method provides more reliable and realistic results compared to the classical approach, particularly in situations where decision-makers' judgments involve significant uncertainty and are expressed through linguistic assessments. In this regard, it is widely applied in areas such as supplier selection, green logistics, energy investments, and healthcare technology (Büyüközkan & Güleriyüz, 2016).

4. COMPARISON OF CLASSICAL AND FUZZY COCOSO METHODS

In this section, the fundamental differences, advantages, and limitations between the classical (crisp) form of the CoCoSo method and its fuzzy extension are systematically examined, and a comprehensive comparison is provided in light of example applications from the literature. The aim here is to offer decision-makers both a theoretical and practical roadmap regarding which method should be preferred in specific contexts.

4.1. Computational Differences

The fundamental differences between the classical and fuzzy CoCoSo methods emerge in the representation of data, arithmetic operations, ranking mechanisms, and the interpretation of results. These key differences are summarized in Table 1 below.

Table 1. Comparison of classical and fuzzy CoCoSo methods

Comparison Criterion	Classical CoCoSo Method	Fuzzy CoCoSo Method
Data Representation	Numerical (crisp) values	Triangular or trapezoidal fuzzy numbers (modeling linguistic terms)
Normalization	Min–max, vector, or benefit/cost transformations	Division by fuzzy maximum, fuzzy benefit/cost transformations
Arithmetic Operations	Direct addition and exponentiation	Extension principle, α -cut, fuzzy addition/multiplication
Criteria Weights	Multiplied by crisp numbers	Multiplication with fuzzy weights (fuzzy numbers)
Defuzzification	Not required	Mandatory (e.g., center of gravity method, Yager index)
Ranking Mechanism	Direct numerical comparison	Comparison using score functions, center-average, or area-based methods
Computational Cost	Low (simple arithmetic operations)	High (fuzzy arithmetic + defuzzification step)
Interpretation of Results	Direct, crisp scores	Uncertainty intervals and defuzzified scores

This table illustrates that the classical CoCoSo method is simpler and faster, whereas the fuzzy CoCoSo method, despite being more complex, provides more realistic results due to its capability to model uncertainty (Yazdani et al., 2019; Chen & Hsieh, 2000; Zimmermann, 2011).

4.2. Advantages and Limitations

The advantages and limitations of the classical and fuzzy CoCoSo methods are presented in detail below.

4.2.1. Advantages of the Classical CoCoSo Method

- **Simplicity and speed:** Its mathematical structure allows for easy application to problems and rapid results. It provides a practical solution for large-scale problems.

- Reproducibility: When the chosen normalization and parameters are kept constant, the results are highly reproducible.
- Ease of interpretation: Since the obtained scores are crisp numbers, they are easier for managers to understand and interpret.

4.2.2. Limitations of the Classical CoCoSo Method

- Inability to model uncertainty: It cannot capture the fuzzy nature of linguistic data or expert opinions.
- High sensitivity: As it is based on crisp data, even minor changes can impact the ranking (Mardani et al., 2015).

4.2.3. Advantages of the Fuzzy CoCoSo Method

- Managing uncertainty: Models expert opinions through linguistic terms, reducing information loss.
- More realistic results: Incorporating uncertain measurements makes the decision-making process more reliable.
- Flexibility: Can handle diverse opinions simultaneously in group decision-making environments (Zadeh, 1965; Zimmermann, 2011).

4.2.4. Limitations of the Fuzzy CoCoSo Method

- High computational cost: Requires a more complex process due to α -cut and defuzzification steps.
- Risk of subjectivity: The definition of membership functions depends on experts' subjective preferences.

- Dependence on defuzzification: Different defuzzification methods may lead to different rankings (Chen & Hsieh, 2000).

If the data are crisp and reliable, the classical CoCoSo method should be preferred, whereas the fuzzy CoCoSo method is more suitable for uncertain or linguistic data. However, in hybrid models, the strengths of both approaches can be combined to achieve more balanced results (Wan et al., 2023).

4.3. Application Examples from the Literature

Some studies employing the classical and fuzzy CoCoSo methods are presented in Table 2.

Table 2. Literature summary of classical and fuzzy CoCoSo methods

Study Authors	Methods Used	Application Area / Topic
Yazdani et al. (2019)	Grey CoCoSo (CoCoSo-G)	Supplier selection (construction management)
Ecer & Pamucar (2020)	Fuzzy BWM + Fuzzy CoCoSo	Sustainable supplier selection
Demir et al. (2022)	Fuzzy FUCOM + Fuzzy CoCoSo	Sustainable urban transportation
Wan (2023)	Spherical Fuzzy MEREC + CoCoSo	Site selection for solar power plants
Razzaq et al. (2024)	Picture Fuzzy Soft CRITIC + CoCoSo	Supplier selection (Industry 4.0 and circular economy context)
Deveci et al. (2021)	Fuzzy Power-Heronian function-based CoCoSo	Prioritization of autonomous vehicle benefits in traffic management
Zhang et al. (2023)	Spherical Fuzzy CPT-CoCoSo + D-CRITIC	Site selection for electric vehicle charging stations
Parsa et al. (2024)	Fuzzy BWM + Grey CoCoSo (CoCoSo-G)	Sustainable supplier selection in the petroleum/chemical sector
Torkayesh et al. (2021)	BWM-LBWA + Classical CoCoSo	Comparison of healthcare sectors in Eastern Europe
Rasoanaivo et al. (2024)	New CoCoSo variants and applications	General MCDM applications (e.g., supplier selection)

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this section, titled “Theoretical Foundations and Literature Applications of Classical and Fuzzy CoCoSo

Methods in Multi-Criteria Decision-Making Processes,” the methodological structures, advantages, and limitations of both approaches have been examined comparatively. The classical CoCoSo method is more suitable for working with precise and well-defined data, whereas the fuzzy CoCoSo method provides more effective results in decision environments characterized by high uncertainty. Literature applications support this distinction, highlighting the increasing prevalence of hybrid approaches in recent years. Therefore, selecting the appropriate method based on the problem structure and the degree of data uncertainty is critical for the effectiveness of multi-criteria decision-making processes.

In future research, several key areas emerge to enhance the effectiveness of the CoCoSo method in multi-criteria decision-making processes. First, developing new hybrid models through the integration of CoCoSo with other MCDM techniques (e.g., MARCOS, TODIM, ORESTE) is essential. Second, applying advanced fuzzy extensions, such as Interval Type-2 fuzzy sets, Pythagorean fuzzy sets, and spherical fuzzy sets, to the CoCoSo method can enable more accurate modeling of uncertainties. Third, attention can be given to adapting the method for various problem types across diverse application areas, including sustainability, healthcare management, energy technologies, smart cities, and supply chain management. Finally, integrating the CoCoSo method with big data analytics and machine learning techniques holds the potential to improve both computational efficiency and decision-making accuracy. Overall, it is evident that classical and fuzzy CoCoSo methods provide decision-makers with a broad methodological framework. However, tailoring these methods to different data structures, uncertainty levels, and sector-specific needs will offer significant contributions to the MCDM literature.

REFERENCES

- Büyüközkan, G., & Güteryüz, S. (2016). A new integrated intuitionistic fuzzy group decision making approach for product development partner selection. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 383–395.
- Chen, S. H., & Hsieh, C. H. (2000). Representation, ranking, distance, and similarity of LR type fuzzy number and application. *Australian Journal of Intelligent Processing Systems*, 6(4), 217–229.
- Demir, G., Damjanović, M., Matović, B., & Vujadinović, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: The case of the SUMP Podgorica. *Sustainability*, 14(9), 4972.
- Deveci, M., Pamucar, D., & Gokasar, I. (2021). Fuzzy power Heronian function based CoCoSo method for the advantage prioritization of autonomous vehicles in real-time traffic management. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102846. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102846>
- Ecer, F., & Pamucar, D. (2020). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121981. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121981>
- Kocasakal, E. G., & Uluçay, V. (2025). CoCoSo method based on generalized distance measure with trapezoidal fuzzy multi-numbers for solving multi-criteria decision-making method problems. *International Journal of Information Technology*, 1–13.
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014.

- Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>
- Parsa Rad, A., Khalilzadeh, M., Banihashemi, S. A., Božanić, D., Milić, A., & Ćirović, G. (2024). Supplier selection in downstream oil and gas and petrochemicals with the fuzzy BWM and gray CoCoSo methods considering sustainability criteria and uncertainty conditions. *Sustainability*, 16(2), 880.
<https://doi.org/10.3390/su16020880>
- Rasoanaivo, R. G., Yazdani, M., Zaraté, P., & Fateh, A. (2024). Combined Compromise for Ideal Solution (CoCoFISo): A multi-criteria decision-making based on the CoCoSo method algorithm. *Expert Systems with Applications*, 251, 124079.
- Razzaq, A., Riaz, M., & Aslam, M. (2024). Efficient picture fuzzy soft CRITIC-CoCoSo framework for supplier selection under uncertainties in Industry 4.0. *AIMS Mathematics*, 9(1), 665–701.
- Saaty, T. L. (2013). Analytic hierarchy process. In M. J. Rosenwein (Ed.), *Encyclopedia of operations research and management science* (pp. 52–64). Springer.
- Torkayesh, A. E., Pamucar, D., Ecer, F., & Chatterjee, P. (2021). An integrated BWM-LBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe. *Socio-Economic Planning Sciences*, 78, 101052.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101052>
- Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. CRC Press.
- Wan, G., Rong, Y., & Garg, H. (2023). An efficient spherical fuzzy MEREC–CoCoSo approach based on novel score

function and aggregation operators for group decision making. *Granular Computing*, 8(6), 1481–1503.

Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501–2519.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

Zhang, H., & Wei, G. (2023). Location selection of electric vehicles charging stations by using the spherical fuzzy CPT–CoCoSo and D-CRITIC method. *Computational and Applied Mathematics*, 42(1), 60.

Zimmermann, H. J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications* (4th ed.). Springer.

ŞARJLI DİK SÜPÜRGE SEÇİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME: LODECI VE REF TEKNİKLERİ İLE BÜTÜNLEŞİK BİR ANALİZ

Erhan ORAKÇI¹

1. GİRİŞ

Günümüz tüketici elektroniği pazarında şarjlı dik süpürgeler, geleneksel elektrikli süpürgelere kıyasla sağladığı önemli avantajlar nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir. Bu cihazların seçimi, çoğu ev elektroniğinde olduğu gibi tüketiciler için karmaşık bir karar verme sürecini gerektirmektedir çünkü piyasada çok sayıda marka, model ve özellik kombinasyonu bulunmaktadır. Bir kullanıcı için batarya süresi en önemli kriter olabilirken, başka bir kullanıcı için gürültü seviyesi daha öncelikli olabilmektedir. Bu nedenle, şarjlı dik süpürge seçiminde dikkate alınacak kriterlerin sistematik bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Müşterilerin ihtiyaç ve isteklerini doğru bir şekilde ele almaları durumunda şarjlı dik süpürge seçimi hem günlük temizlik rutinini kolaylaştıracak hem de uzun vadede memnuniyeti artıracaktır. Bu nedenle, şarjlı dik süpürge seçimini belirli kriterler çerçevesinde değerlendirmek büyük önem taşımaktadır. Şarjlı dik süpürge seçimi titizlik gerektiren bir süreçtir çünkü bu cihazlar görece yüksek maliyetli olup yanlış seçim durumunda ciddi maddi kayıplara yol açabilir. Günlük temizlik rutininde sık kullanılan bu ürünlerin performansı, kullanım kolaylığı ve güvenilirliği, doğrudan yaşam kalitesini etkiler. Yetersiz bir cihaz, daha fazla

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Hakkari Üniversitesi, İİBF, İşletme, Hakkari, erhanorakci@hakkari.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8468-5710.

efor ve zaman kaybına neden olurken; enerji verimliliği yüksek, uzun ömürlü ve tamir edilebilir bir model çevresel etkileri azaltır (Xiao vd. 2024). Filtreleme sisteminin kalitesi ise iç mekân hava sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, kompakt tasarımlar küçük yaşam alanlarında avantaj sağlarken, gelişen batarya teknolojileri, akıllı sensörler ve mobil entegrasyon gibi yenilikler kullanıcı deneyimini artırmaktadır. Son olarak, en iyi modelden çok, kullanıcının yaşam tarzı ve ihtiyaçlarına en uygun modelin seçilmesi de diğer bir konudur. Bu çalışmada, şarjlı dik süpürge seçiminde dikkate alınacak yedi temel kriter ele alınmıştır: filtre tipi HEPA mı?, hazne kapasitesi, gürültü seviyesi, ağırlık, batarya süresi, fiyat ve şarj süresi. Şarjlı dik süpürge seçiminde yedi temel kriterin belirlenmesi, bu cihazların kullanım değerini ve tüketici memnuniyetini en çok etkileyen faktörlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Her bir kriterin seçim mantığı aşağıda detaylandırılmıştır. Bütün süpürgelerde olduğu gibi şarjlı dik süpürgelerde de filtre tipi, temizlik kalitesi ve iç hava sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek verimli filtrelerin başında gelen HEPA (high efficiency particular air) filtreler en küçük partikülleri yakalayarak özellikle alerji ve astım hastaları için fayda sağlamaktadır (Sokrider, 2022). Yıkanebilir filtreler uzun ömürlü ve çevre dostu bir seçenek sunarken, HEPA filtreler %99.97 verimlilikle en yüksek hijyeni sağlar. Çoklu filtre sistemleri performansı artırıp ömrü uzatırken, maliyet ve değişim sıklığı da seçimde dikkate alınmalıdır (Lioy vd., 1999: 200). Şarjlı dik süpürgelerde hazne kapasitesi, temizlik verimliliği ve kullanım kolaylığını doğrudan etkiler. Büyük hazneler kesintisiz temizlik sağlarken küçük hazneler sık boşaltma gerektirmektedir (Khanna ve Srivastava, 2023). Ancak kapasite arttıkça cihaz ağırlaşabilir, bu nedenle taşıma ve depolama kolaylığıyla denge kurmak gerekmektedir. Ayrıca, şeffaf ve dayanıklı malzemeden üretilmiş, tek tuşla boşaltılabilen hazneler kullanım konforunu artırmaktadır (Salehi Shendi, 2018). Sonuç olarak, doğru kapasite

seçimi kullanıcı memnuniyetinde belirleyici rol oynamaktadır. Şarjlı dik süpürgelerde gürültü seviyesi, kullanım konforu ve yaşam alanındaki uyum açısından kritik bir faktördür. 80 (dB) ve üstü gürültü seviyelerine maruz kalmak; zihinsel stres, yorgunluk, psikolojik bozukluklar, işitme kaybı, yüksek tansiyon, uyku bozukluğu, hipertansiyon, obezite, çocuklarda bilişsel bozukluklar gibi birçok rahatsızlığa neden olmaktadır (Kumar vd., 2021: 245). Yüksek ses, hem kullanıcıların çevresindeki sesleri duymasını engelleyerek güvenlik riski oluşturur hem de uzun vadede işitme sağlığını olumsuz etkiler. Süpürgelerdeki gürültü esas olarak hava akışı gürültüsü ve motor gürültüsünden bileşenlerine bağlıdır (Atemer ve Altınsoy, 2023). Dolayısıyla, gürültü seviyesi motor kalitesi ve ses yalıtımıyla doğrudan ilişkilidir; küçük desibel farkları bile insan kulağında büyük ses değişimleri yaratır. Bu nedenle modern yaşamda düşük gürültülü süpürgeler daha uygun bir seçimdir. Şarjlı dik süpürgelerde ağırlık, kullanım kolaylığı ve manevra kabiliyetini büyük oranda etkilemektedir. Hafif modeller, merdiven temizliği gibi zor işlerde büyük kolaylık sağlamakla beraber uzun süreli kullanımlarda daha geç yorgunluk hissedilmesine neden olabilmektedir. Bununla beraber hafif ve kompakt modeller depolama ve taşımada pratiklik sunmaktadır. Ancak güçlü motor ve büyük batarya ağırlığı artırabileceğinden, üreticiler malzeme teknolojileriyle denge kurmaya çalışmaktadır. Bunun yanında ağırlık merkezinin dengeli olması da cihazın kullanım rahatlığını belirleyen en önemli etkenlerden biridir (Sikder vd., 2024; Kwon ve Shin, 2021). Sonuç olarak, uygun ağırlık seçimi ergonomi, taşınabilirlik ve uzun vadeli memnuniyet için kritik öneme sahiptir. Şarj edilebilir süpürgelerde batarya süresi, kablolu kullanımın en kritik kriterlerinden biridir ve tek şarjla temizlenebilecek alanı belirlemektedir. Uzun batarya süresi, özellikle büyük evlerde kesintisiz temizlik için vazgeçilmezdir; kısa süreli bataryalar ise sık şarj ihtiyacıyla verimliliği düşürebilmektedir (Şimşek vd., 2023). Yüksek emiş gücü modları

bataryayı daha hızlı tüketir. Ayrıca bataryanın ömrü, değişim maliyeti ve hızlı şarj ya da değiştirilebilir batarya gibi özellikler de kullanım kolaylığı açısından önemlidir. Sonuç olarak, batarya süresi, şarjlı süpürgelerin özgürlüğünü ve pratikliğini tanımlayan temel faktördür. Elektrikli dik süpürgeler ve diğer ev aletlerinde fiyat, çoğu tüketici için en önemli kriterlerden biridir; ancak yalnızca ilk alım bedeli değil, filtre, batarya ve yedek parçalar gibi toplam sahip olma maliyeti de dikkate alınmalı ayrıca garanti süresi de uzun vadeli masrafları azaltarak fiyata üzerinde etkili olabilmektedir (Brusselaers vd., 2019). Yüksek fiyat her zaman yüksek kalite anlamına gelmez; bu nedenle fiyat/performans dengesinin önemli olduğu ve çoğu kullanıcı tarafından dikkate alınmaktadır (Visser vd., 2021). Sonuç olarak, fiyat sadece rakam değil, alınan değeri belirleyen çok boyutlu bir faktördür. Elektrikli dik süpürgelerde şarj süresi, batarya süresini tamamlayan ve cihazın ne kadar hızlı kullanılabilir hale geldiğini belirleyen önemli bir kriterdir. Uzun şarj süreleri kullanım sıklığını kısıtlarken, hızlı şarj teknolojisi kısa sürede pratik temizlik imkânı sunar (Saadin, 2021). Sonuç olarak, şarj süresi; kullanım hazırlığı ve esneklik açısından kritik bir faktördür. Filtre tipi ve hazne kapasitesi temizlik etkinliği ve sağlığı; gürültü seviyesi ve ağırlık kullanım konforu ve ergonomiyi; batarya süresi ve şarj süresi kablosuz kullanımın pratikliğini ve esnekliğini; fiyat ise tüm bu özelliklerin ekonomik karşılığını ve erişilebilirliğini temsil eder. Süpürge seçiminin en önemli kriteri olabilecek emiş gücü kriterine ait veriler üreticiler tarafından ya hiç verilememekte ya da farklı ve birbirine çevrilemeyen birimlerle Air Watts (AW), Pascals (Pa), volt-amper (VA) veya yalnızca 'Watt' gibi birbirinden tamamen farklı ve dönüştürülmesi mümkün olmayan birimler kullanılmaktadır. Bu durum, kriterin doğrudan modele dâhil edilmesini engellemiş ve temizlik performansını yansıtan dolaylı değişkenlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu çalışmada detaylandırılan yedi kriter, bir şarjlı dik süpürge kullanım değerini ve tüketiciye sağlayacağı

faydayı bütüncül bir şekilde kavrayabilmek için titizlikle seçilmiştir. Her bir kriter, performans, sağlık, konfor, pratiklik ve maliyet gibi farklı bir boyutu temsil etmekte ve ancak bir arada değerlendirildiklerinde anlamlı bir sonuca ulaşılabilir. Dolayısıyla, bu kriter seti, tüketicinin hem teknik hem de subjektif ihtiyaçlarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla kriterler LODECI (Logarithmic Decomposition of Criteria Importance) ağırlıklandırma tekniği ile ağırlıklandırılmış ve alternatifler REF (Referans En Yakın Çözüm Tekniği) tekniği gibi yapısal bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniği ile analiz edilerek, tüketiciyi en uygun ürün seçimine yönlendirecek güçlü ve güvenilir bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım, tüketicilerin karmaşık ürün kategorilerinde daha bilinçli, rasyonel ve tatmin edici satın alma kararları vermesine olanak tanıyacaktır. Bununla beraber kendi belirledikleri kriter sınırları dahilinde var olan alternatiflerin değerlendirmesinde sınırlandırılmamış ya da yarı sınırlandırılmış birçok probleme cevap vereceklerdir.

Süpürge teknolojilerinin değerlendirilmesi ve optimizasyonu konusunda çeşitli ÇKKV yöntemleri kullanılarak önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak şarjlı dikey süpürgelerle ilgili doğrudan ÇKKV temelli akademik bir çalışmaya literatürde rastlanamamıştır. Ancak genel olarak elektrikli süpürgelerin seçimi ve değerlendirilmesi konularında yapılan araştırmalar, şarjlı dikey süpürge modelleri için uyarlanabilir yöntemsel yaklaşımlar sunmaktadır. Bu kapsamda en yakın çalışma Kumar ve Singh (2020) tarafından gerçekleştirilmiş olup, Hindistan pazarında satışta olan 26 elektrikli süpürge modeli TOPSIS tekniği ile değerlendirilmiştir. Benzer biçimde, Kümcü vd. (2023), Samanlıoğlu vd. (2025), Yelmikheieva ve Norek (2021) Emec (2025), Liu vd. (2024), Güçlü (2024) gibi araştırmacılar da elektrikli süpürge alternatiflerini kullanarak en önemli kriterleri belirlemiş, tüketici ihtiyaçlarına göre en iyi alternatifi belirlemiş ve bu problemler

için uygun ÇKKV tekniğini araştırmışlardır. Sonuç olarak, literatürde doğrudan şarjlı dik süpürgelere odaklanan bir akademik çalışma bulunmamakla birlikte, genel süpürge modellerine ilişkin yapılan bu araştırmalar, konuya metodolojik ve analitik açıdan güçlü bir temel sunmaktadır. Bu çalışmalar, şarjlı dik süpürge seçiminde kullanılabilecek kriter yapılarının ve karar modellerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada alternatiflerin belirlenmesinde, Trendyol çevrimiçi satış platformunda kullanıcı memnuniyetine ilişkin göstergeler dikkate alınmıştır. Buna göre, 4.5 ve üzeri puana sahip ve 500'den fazla kullanıcı değerlendirmesi bulunan şarjlı dik süpürge modelleri örneklem kapsamına dâhil edilmiştir. Bu amaçla 26 Ağustos 2025 Trendyol sitesinde yukarıda belirtilen şartları sağlayan 13 adet şarjlı dik süpürge alternatif olarak belirlenmiştir.

Çalışmada bütünsel bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu amaçla, LODECI tekniği ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve REF tekniği ile alternatifler sıralanmıştır. Aytekin (2020) tarafından önerilen REF tekniği, karar vericilerin belirlenen kriterler için alt ve üst sınırları tanımlayabilmesine olanak tanımakta ve böylece tüketicilerin kendi ihtiyaçları çerçevesinde kriterler üzerinde sınırlandırma yapabilmesine imkân vermektedir. Bu yönüyle REF tekniği, karar verme sürecinde esnekliği artırarak kişisel ya da kurumsal tercihlere uyum sağlamaktadır. Öte yandan, literatürde sıklıkla kullanılan Entropi ve MEREC ağırlıklandırma tekniklerinin birtakım sınırlılıklar içerdiği belirtilmiş ve bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla Pala (2020) tarafından LODECI ağırlıklandırma tekniği geliştirilmiştir. LODECI tekniği, söz konusu tekniklerin yetersiz kaldığı noktalara çözüm getirmeyi hedefleyerek, kriter ağırlıklandırma sürecine daha

bütüncül ve güvenilir bir yaklaşım sunmakta ve kriterleri daha dengeli bir şekilde ağırlıklandırmaktadır. REF ve LODECI tekniklerinin işlem adımları aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

2.1. REF Tekniği

REF tekniği diğer çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinde olduğu gibi birbiriyle çelişen birden fazla kriteri aynı anda kullanarak problemlere çözüm bulmaktadır. REF, nitel kriter değerlerini de analize dahil edebilmesinden dolayı diğer birçok ÇKKV tekniğinden daha etkindir. REF, karar vericinin (KV'nin) istekleri doğrultusunda belirlediği ve farklı ölçüm düzeylerine (sınıflayıcı, sıralayıcı, aralıklı, oran) sahip verileri birlikte değerlendirerek gerçek hayat problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Aytekin, 2020; Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022). REF tekniği, karmaşık kararları, “istediğim her şeye en yakın seçenek hangisi?” sorusunu matematiksel olarak cevaplayan bir tekniktir. Amaç, KV'nin arzu ettiği çözüme veya referansa hangi seçeneğin daha yakın olduğunun belirlenmesidir. Burada, REF'in anti-ideal, ideal veya bunların arasında ya da dışında bir çözüm arayışı için kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, ÇKKV problemleri ağırlıklı olarak ideal çözüm üzerinden çözümlenir. Bu çalışmada da benzer yaklaşımla REF, ideal çözüm bağlamında kullanılacaktır.

REF tekniğinin uygulama adımları öncelikle satırlarda alternatifler ($i = 1, \dots, m$) ve sütunlarda bu alternatiflerin belirlenen kriterlerde ($j = 1, \dots, n$) sahip olduğu değerlerden oluşan bir başlangıç karar matrisinin $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ oluşturulması adımı ile başlamaktadır. Yukarıda belirtildiği üzere KV tarafından belirlenen referans, karar kriterleri için belirlenen değer veya değer aralıklarıdır. Örneğin herhangi bir j kriteri için bu tek değer $x_{(r)j}$ veya aralık olabilir. Referansın aralık biçiminde belirlenmesi durumunda alt sınır için $x_{(r_L)j}$ ve üst sınır için $x_{(r_U)j}$

gösterimi benimsenir (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022; Kırdı ve Aytekin, 2024).

REF, referansın dışında kalan değerlerden veya aralıklardan ikincil derecede önceliğe sahip olanların, referansa göre kabul edilmeme düzeylerinin (tercih edirliliklerinin) problem çözümünde dikkate alınmasını olanaklı kılmaktadır. Bir noktada ikincil referans olarak kabul edilebilecek bu değerlere/aralıklara, ardıl değer/aralık adı verilmektedir. Ardıl tek değer ise $x_{(v)}_j$ ile gösterilir. Aralık biçiminde ardıl belirlenmiş ise alt sınır $x_{(v_L)}_j$ ve üst sınır $x_{(v_U)}_j$ ile gösterilir. Eğer bir problemin çözümünde ardıl/değer aralık belirlenmiş ise $v = 1, \dots, q$ olmak üzere buna ilişkin bir kabulsüzlük değeri $\beta_{(v)}_j$ belirlenir. $\beta_{(v)}_j$ değeri 0 ile 1 arasında değer alırken 0 ilgili ardılın referansa eşit olmasını, 1 ise kendisi dışındaki değerlerden bir farkının bulunmadığını gösterir. $\beta_{(v)}_j$ değerinin belirlenmesi için referans ile yapılacak ikili karşılaştırmalara dayalı ölçeklendirme işleminden yararlanılabilir. Örneğin, $x_{(r)}_j$ referansı $x_{(v)}_j$ ardılından 4 kat daha fazla tercih ediliyor ise $\beta_{(v)}_j = 4/(1 + 4) = 0,80$ olarak belirlenebilir. Bununla birlikte, karar probleminin REF ile çözümü için ardılların belirlenmesine ilişkin bir zorunluluk yoktur ve çoğu problem sadece referanslar üzerinden çözülür (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022).

REF, farklı ölçüm düzeyindeki kriterleri işleyebilen bir yapıya sahiptir. Bu çerçevede, KV'nin belirlediği kriterlerin ölçüm düzeyleri ve referans değerler/aralıklar dikkate alınarak teknik içerisinde belirlenen uygun uzaklık ölçülerine göre hesaplamalar yapılır. Alternatiflerin bir kriterdeki değerleri sınıflayıcı ölçekle belirtilmişse, referanstan uzaklık eşitlik (1) ile hesaplanır. Buna göre uzaklık değeri, bir alternatif iki kategorili bir kriter üzerinden değerlendirildiğinde, alternatifin değeri referans değerle aynı değere sahipse 0, değilse 1 olur (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022; Kırdı ve Aytekin, 2024).

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & x_{ij} = x_{(r)j} \\ 1, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1)$$

Öte yandan, alternatiflerin değerleri bir kriterde nitel (sözel, kategorik) olarak belirtilmiş ise referans değeri, kategorilerin sıklıkları bağlamında belirlenebilir. Alternatiflerin referanslardan uzaklıklarını hesaplanması için öncelikle her bir kategorik değerin gözlenme sıklığı eşitlik (2) ile hesaplanır. Bu çerçevede, nitel yapıları j kriterinin b kategorisinin sıklık oranı $\hat{x}_{(b)j}$ ile gösterilmek üzere her bir kategori için göreceli frekans değerleri hesaplanır. Eşitlik (2)'de, $b = 1, \dots, z$ olmak üzere z kategorinin olduğu bir kriterde $x_{(b)j}$ b. kategorinin gözlenme sayısı ve m alternatif sayısıdır (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022).

$$\hat{x}_{(b)j} = \frac{x_{(b)j}}{m} \quad (2)$$

Bir i alternatifinin j kriterinde b kategorik değere sahip olduğu problemde ($x_{ij} = \hat{x}_{(b)j}$), ilgili kriterin referans değeri $x_{(r)j}$ ile gösterilmek d_{ij} uzaklık değeri eşitlik (3)'te verilmiştir. Burada, $x_{(r)j}$ değeri 0 ile 1 arasında belirlenir. $x_{(r)j}$ değerinin 1'e yakın belirlenmesi daha sık gözlemlenen kategorilerin tercih edildiğini gösterir (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022).

$$d_{ij} = |\hat{x}_{(b)j} - x_{(r)j}| \quad (3)$$

Bir kriterde alternatiflerin sıralamaları üzerinden tercihler/performanslar dikkate alınabilir. Böylesi bir durumda, j kriteri için sıra değeri bağlamında referans belirlenerek çözüme gidilebilir. İlgili kriterdeki sıra sayısı o_j ve referans $x_{(r)j}$ ile gösterilmek üzere, alternatiflerin referanslardan uzaklıkları eşitlik (4) ile hesaplanır. Öte yandan, referans aralık biçiminde belirlenmişse eşitlik (5)'ten yararlanılır (Aytekin ve Durucasu, 2020; Aytekin, 2022).

$$d_{ij} = \frac{|x_{ij} - x_{(r)j}|}{o_j - 1} \quad (4)$$

$$d_{ij} = \begin{cases} \frac{|x_{ij}-x_{(r_L)j}|}{o_j-1}\beta_{(v)j}, & x_{ij} < x_{(r_L)j} \\ 0, & x_{(r_L)j} \leq x_{ij} \leq x_{(r_U)j} \\ \frac{|x_{ij}-x_{(r_U)j}|}{o_j-1}\beta_{(v)j}, & x_{ij} > x_{(r_U)j} \end{cases} \quad (5)$$

Alternatiflerin j kriterindeki tercih/performans değerleri sürekli veya süreksiz olarak sayısal değerlerle ölçülmüş ise referans tek değer ise uzaklık eşitlik (6) ile hesaplanır. Eğer referans aralık biçiminde belirlenmişse eşitlik (7)'den yararlanılır (Aytekin Durucasu, 2020; Aytekin, 2022; Kırdı ve Aytekin, 2024).

$$d_{ij} = |x_{ij} - x_{(r)j}| \quad (6)$$

$$d_{ij} = \begin{cases} |x_{ij} - x_{(r_L)j}|\beta_{(v)j}, & x_{ij} < x_{(r_L)j} \\ 0, & x_{(r_L)j} \leq x_{ij} \leq x_{(r_U)j} \\ |x_{ij} - x_{(r_U)j}|\beta_{(v)j}, & x_{ij} > x_{(r_U)j} \end{cases} \quad (7)$$

Tüm kriterlerde yapılan hesaplamalar neticesinde, uzaklıklar matrisi oluşturulur. Ardından, bu matrisin normalizasyonu eşitlik (8) ile gerçekleştirilir (Aytekin Durucasu, 2020; Aytekin, 2022; Kırdı ve Aytekin, 2024).

$$\eta_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}} \quad (8)$$

Ağırlıklandırılmış normalize değerler ise eşitlik (9) ile hesaplanır. Burada, w_j j kriterinin 0 ile 1 arasında değer alan ağırlık katsayısıdır ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 'dir.

$$\zeta_{ij} = w_j \eta_{ij} \quad (9)$$

Alternatiflerin sıralamaları eşitlik (10) ile oluşturulan referanslardan genel uzaklık değeri ζ_{ij} 'ne göre küçükten büyüğe doğru yapılır.

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^n \zeta_{ij} \quad (10)$$

Alternatiflerden φ_i değeri en küçük olan ilk sırayı alır.

2.2. LODECI Ağırlıklandırma Tekniği

Literatürde sıklıkla kullanılan Entropi tekniği, bilgi teorisine dayalı olarak kriter ağırlıklarını belirlemektedir (Shannon, 1948). Bu tekniğin temelinde, kriterler arasındaki dağılımın çeşitliliği ve farklılığı yer almaktadır. Eğer belirli bir kriterde alternatifler arasında yüksek düzeyde farklılık varsa, özellikle bazı alternatifler diğerlerinden çok daha yüksek performans sergiliyorsa, bu kriter daha bilgilendirici kabul edilmektedir. Dolayısıyla Entropi tekniği, dağılımı heterojen olan ve birkaç alternatifin diğerlerinden belirgin biçimde üstün olduğu kriterleri ön plana çıkarmaktadır (Roszkowska vd., 2024: 2). Buna karşın, MEREC tekniği (Method based on the Removal Effects of Criteria), kriterlerin önemini farklı bir bakış açısıyla ele almakta ve bir kriterin devre dışı bırakılması durumunda karar sürecinde meydana gelen değişiklikleri analiz etmektedir (Keshavarz Ghorabae vd., 2021). Bu yaklaşım, özellikle bazı alternatiflerin çok düşük performans sergilediği kriterlerin karar sürecine etkisini ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, MEREC tekniği, belirli kriterlerin bazı alternatifleri dezavantajlı konuma düşürme gücünü ölçerek kriter önemlerini belirlemekte ve bu nedenle birkaç alternatifin diğerlerinden çok daha zayıf olduğu kriterlere daha yüksek ağırlık atfetmektedir (Rani vd., 2022).

Bu iki tekniğin sınırlılıklarını gidermek amacıyla geliştirilen LODECI ağırlıklandırma tekniğinin uygulanması için öncelikle $X = [x_{ij}]$ karar matrisinin oluşturulması gerekir. İkinci adımda bütün alternatiflerin kriter bazında değerlerini birimsiz hale getirmek amacıyla doğrusal normalizasyon tekniğinin kullanılması gerekmektedir. Fayda temelli kriterler için eşitlik (11) ve maliyet temelli kriterler için eşitlik (12) uygulanır.

$$l_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)} \quad (11)$$

$$l_{ij} = \frac{\min(x_j)}{x_{ij}} \quad (12)$$

LODECI tekniğinde dekompozisyon değerleri, her bir kriter sütununda yer alan değerlerin, o sütundaki en uzak (maksimum fark oluşturan) değerle olan mutlak farkları üzerinden hesaplanır. Bu farklar sütunda bulunan her değer için teker teker hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucunda maksimum fark oluşturan (MFO) matrisi elde edilir. Bu hesaplama eşitlik (13) ile tanımlanmaktadır.

$$MFO_{ij} = \max\{|l_{ij} - l_{rj}|\} \quad r \neq i, r = 1, 2, 3, \dots, n \quad (13)$$

Burada herhangi bir j sütunundaki i satırı ve r satırı arasındaki fark en yüksektir. Bu şekilde en yüksek farklar elde edilir ve matris oluşturulur. eşitlik (13) uygulandıktan sonra Logaritmik MFO değerlerinin her kriter için hesaplanması gerekmektedir. Bu değer eşitlik (14) ile hesaplanmaktadır.

$$LMFO_j = \ln \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^n MFO_{ij}}{n} \right) \quad (14)$$

Son aşamada ise her kriter için ayrı ayrı elde edilem LMFO değerleri toplam LMFO değerlerine bölünerek her kriterin ağırlığı belirlenmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi eşitlik (15) ile yapılmaktadır.

$$w_j = \frac{LMFO_j}{\sum_{j=1}^m LMFO_j} \quad (15)$$

3. BULGULAR

Tablo 1’de Trendyol çevrimiçi alışveriş sitesinde 4.5 puan üzeri puan alan ve 500’den fazla yorum yapılmış 13 adet şarjlı kablosuz dik süpürgeye alternatifi ve bu alternatiflerin değerlendirilmesi için belirlenen yedi kriter Tablo 1’de verilmiştir. En uygun şarjlı kablosuz dik süpürge seçimi için yapılan çalışmada yedi kritere ait önem derecelerinin LODECI

ağırlıklandırma tekniği ile belirlenmesi sonucunda en yüksek ağırlığa sahip kriter “filtre tipi HEPA mı?” kriteri olmuştur. Başlangıç karar matrisi ve LODECI ağırlıklandırma tekniği kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Başlangıç Karar Matrisi

	Filtre Tipi HEPA mı?	Hazne Kapasite	Gürültü Seviyesi	Ağırlık	Batarya Süresi	Fiyat	Şarj Süresi
A1	0	600	84	2730	65	13709	300
A2	1	350	89	2400	60	27999	240
A3	1	600	84	2700	70	23248	300
A4	0	600	84	2730	65	8849	300
A5	1	300	82	2900	40	14500	300
A6	0	400	84	1780	40	25000	300
A7	1	400	83	1540	60	19999	270
A8	1	400	35	1800	35	4999	240
A9	1	500	86	2500	45	7497	240
A10	1	300	85	2400	30	10349	240
A11	1	540	63	2540	40	12999	240
A12	1	500	16	3290	30	14399	60
A13	0	300	40	2300	30	19991	240

MS EXCEL kullanılarak yapılan analizler sonucunda kriter ağırlıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kriter Ağırlıkları

	Filtre Tipi HEPA mı?	Hazne Kapasite	Gürültü Seviyesi	Ağırlık	Batarya Süresi	Fiyat	Şarj Süresi
A1	1	0,500	0,810	0,436	0,500	0,635	0,800
A2	1	0,417	0,820	0,358	0,429	0,821	0,750
A3	1	0,500	0,810	0,430	0,571	0,785	0,800
A4	1	0,500	0,810	0,436	0,500	0,435	0,800
A5	1	0,500	0,805	0,469	0,429	0,655	0,800
A6	1	0,333	0,810	0,397	0,429	0,800	0,800
A7	1	0,333	0,807	0,532	0,429	0,750	0,778
A8	1	0,333	0,543	0,387	0,500	0,821	0,750
A9	1	0,333	0,814	0,384	0,357	0,488	0,750
A10	1	0,500	0,812	0,358	0,571	0,517	0,750
A11	1	0,400	0,746	0,394	0,429	0,615	0,750
A12	1	0,333	0,820	0,532	0,571	0,653	0,800
A13	1	0,500	0,600	0,330	0,571	0,750	0,750
LMFO _j	0,693	0,352	0,571	0,350	0,394	0,514	0,574
w _j	0,201	0,102	0,166	0,101	0,114	0,149	0,166

LODECI tekniği kullanılarak hesaplanan kriter ağırlıkları, karar verme sürecindeki göreceli önem sıralamasını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre, Filtre Tipi (0.201) açık ara en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak öne çıkmakta ve bu nedenle alternatiflerin değerlendirilmesinde en belirleyici faktör olduğunu göstermektedir. Onu takip eden Şarj Süresi (0.166) ve Gürültü (0.166) kriterleri ise eşit önem derecesiyle ikinci sırada yer almakta olup, kullanıcı deneyimi ve pratik kullanım açısından kritik rol oynamaktadır. Fiyat (0.149) kriteri de anlamlı bir ağırlığa sahip olarak maliyet etkinliğinin karardaki önemini vurgulamaktadır. Öte yandan, Batarya Süresi (0.114) orta düzeyde bir öneme sahipken, Hazne Kapasitesi (0.102) ve Ağırlık (0.101) kriterleri en düşük ağırlık değerlerine sahiptir. Bu durum, söz konusu ürün grubunda bu özelliklerin diğer kriterlere kıyasla nispeten daha az belirleyici olduğunu ve karar sürecinde daha az dikkate alınabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu ağırlık dağılımı bir karar verirken önceliğin teknik performans ve kullanım kolaylığına, ardından da fiyat dengelerine verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak; LODECI tekniği objektif bir şekilde kriter önem sıralamasını şu şekilde belirlemiştir: Filtre Tipi > Şarj Süresi $\approx$ Gürültü > Fiyat > Batarya Süresi > Hazne Kapasitesi $\approx$ Ağırlık. Bu sıralama, bir seçim yapılırken hangi kriterlere öncelik verilmesi gerektiğine dair net ve veriye dayalı bir yol haritası sunmaktadır. LODECI ağırlıklandırma tekniği kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları ve kriterlere ilişkin alt ve üst sınırların verildiği REF tekniğine ait başlangıç karar matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. REF Tekniği Kullanımı ve Başlangıç Karar Matrisi

İdeal/ Opt. Yönu	İdeal	Max	Min	Min	Max	Min	Min
Kriter Ağırlıkları	0,201054	0,1020783	0,165559	0,101453	0,114404	0,148977	0,16647
Referans-ÜST Sınır	Evet	600	75	2000	100	15.000	180
Referans-ALT Sınır	Evet	450	0	0	50	7.000	0
Alternatifler	Filtre Tipi HEPA mı?	Hazne Kapasite	Gürültü S	Ağırlık	Batarya Süresi	Fiyat	Şarj Süresi
A1	Hayır	600	84	2730	65	13709	300
A2	Evet	350	89	2400	60	27999	240
A3	Evet	600	84	2700	70	23248	300
A4	Hayır	600	84	2730	65	8849	300
A5	Evet	300	82	2900	40	14500	300
A6	Hayır	400	84	1780	40	25000	300
A7	Evet	400	83	1540	60	19999	270
A8	Evet	400	35	1800	35	4999	240
A9	Evet	500	86	2500	45	7497	240
A10	Evet	300	85	2400	30	10349	240
A11	Evet	540	63	2540	40	12999	240
A12	Evet	500	16	3290	30	14399	60
A13	Hayır	300	40	2300	30	19991	240

Tablo 3'te yer alan "Referans ALT Sınır" ve "Referans ÜST Sınır" satırları, karar vericinin kendi amaçları, kısıtları ve tercihleri doğrultusunda belirlediği sınır değerleri temsil etmektedir. Bu değerler, karar vericinin öznel gereksinimlerine ve önceliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmekte ve her bir karar senaryosuna özgü esnek bir yapı sunmaktadır. REF tekniği, bu esnekliği ve kullanıcı odaklı yapısı nedeniyle uygulanabilirliği yüksek bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Tekniğin, karar vericinin öznel sınırlarını sistematik bir şekilde entegre edebilme kapasitesi, onun pratik kullanım değerini ve akademik geçerliliğini güçlendirmektedir. REF tekniği kullanılarak elde edilen alternatif sıralamaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. REF Tekniği ile Elde Edilen Alternatif Sıralamalar

Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	U_i	Sıralama
A1	0,050	0,000	0,017	0,011	0,000	0,000	0,019	0,098	9
A2	0,000	0,014	0,027	0,006	0,000	0,044	0,009	0,102	11
A3	0,000	0,000	0,017	0,011	0,000	0,028	0,019	0,075	6
A4	0,050	0,000	0,017	0,011	0,000	0,000	0,019	0,098	9
A5	0,000	0,022	0,013	0,014	0,010	0,000	0,019	0,078	8
A6	0,050	0,007	0,017	0,000	0,010	0,034	0,019	0,138	13
A7	0,000	0,007	0,015	0,000	0,000	0,017	0,014	0,054	5
A8	0,000	0,007	0,000	0,000	0,015	0,006	0,009	0,039	2
A9	0,000	0,000	0,021	0,008	0,005	0,000	0,009	0,043	4
A10	0,000	0,022	0,020	0,006	0,020	0,000	0,009	0,077	7
A11	0,000	0,000	0,000	0,008	0,010	0,000	0,009	0,028	1
A12	0,000	0,000	0,000	0,020	0,020	0,000	0,000	0,041	3
A13	0,050	0,022	0,000	0,004	0,020	0,017	0,009	0,124	12

REF tekniği, her bir alternatifi, karar vericinin belirlediği ideal referans noktasına olan genel yakınlığını ölçen bir U_i skoru atayarak değerlendirir. Daha düşük bir U_i skoru, alternatifi referans değerlere (ideal çözüme) daha yakın olduğu ve dolayısıyla daha üstün bir performans sergilediği anlamına gelir. En iyi performans gösteren alternatifler; A11 ($U_i=0.0284$) en düşük skora sahip olarak açık ara en iyi alternatiftir ve karar vericinin tüm kriterlerdeki ideal beklentilerini neredeyse mükemmel bir şekilde karşılar. Onu sırasıyla A8 ($U_i=0.0393$) ve A12 ($U_i=0.0410$) takip etmektedir. Bu üç alternatif, diğerlerine kıyasla belirgin şekilde daha iyi bir performans sergilemektedir. En zayıf performans gösteren alternatifler listenin diğer ucunda, referans noktalarından en uzak alternatifler olan A6 ($U_i=0.1388$) ve A13 ($U_i=0.1243$) bulunmaktadır. Bu yüksek U_i skorları, bu seçeneklerin karar vericinin gereksinimlerini karşılamakta önemli ölçüde zayıf kaldığını göstermektedir. Orta sıradaki alternatifler; A7 ($U_i=0.0542$) ve A9 ($U_i=0.0437$) gibi alternatifler orta sıralarda yer alarak kabul edilebilir performans gösterirken, A1, A4 (her biri $U_i=0.0980$) ve A2 ($U_i=0.1021$) gibi alternatifler ortalamanın altında bir performans sergilemiş ve sıralamada alt sıralara yerleşmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, çok kriterli bir karar problemi, LODECI ağırlıklandırma ve performans değerlendirme için REF tekniklerinin entegre bir şekilde uygulanmasıyla çözüme kavuşturulmuştur. Yapılan analizler neticesinde, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde LODECI tekniğinin, karar vericinin öznel yargılarından arınmış, veriye dayalı ve güvenilir bir önceliklendirme sağladığı gözlemlenmiştir. Elde edilen ağırlık dağılımı, "Filtre Tipi" ve "Şarj Süresi"nin en kritik kriterler olduğunu, buna karşın "Hazne Kapasitesi" ve "Ağırlık"ın nispeten daha az öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Nihai alternatif sıralamasının belirlenmesinde ise REF tekniği etkin bir şekilde kullanılmıştır. Bu teknik, karar vericinin tanımladığı ideal referans sınırlarına dayalı olarak alternatiflerin kapsamlı bir değerlendirmesini yapmayı mümkün kılmıştır. Nitel ve nicel değerlerin birlikte kullanımına uygun bir teknik olması, tekniğin uygulanabilirliğini üst seviyelere çıkarmakta ve karmaşık birçok problemin çözümü için kullanılabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Analizler sonucunda, A11 alternatifinin en düşük U_i skoru ile karar vericinin beklentilerini en iyi şekilde karşılayan en optimal seçenek olduğunu açıkça göstermiştir. A8 ve A12 alternatifleri de bu anlamda oldukça başarılı bulunmuştur.

Dolayısıyla, bu araştırma, söz konusu entegre metodolojinin, karmaşık karar problemlerinde tutarlı, şeffaf ve nesnel bir çözüm sunmak için etkin bir çerçeve oluşturduğunu kanıtlamıştır. Bulgular, karar vericilere dayanıklı ve veriye dayalı bir karar destek önerisi sunmakta olup, benzer nitelikteki diğer seçim süreçleri için de bir model teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

- Atamer, S. ve Altinsoy, M. E. (2023). Vacuum Cleaner Noise Annoyance: An Investigation of Psychoacoustic Parameters, Effect of Test Methodology, and Interaction Effect between Loudness and Sharpness. *Applied Sciences*, 13(10), 6136.
- Aytekin, A. (2020). *Çok kriterli karar problemine uzaklık ve referans temelli çözüm yaklaşımı* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Aytekin, A. (2022). *Çok kriterli karar analizi*. Ankara: Nobel Bilimsel.
- Aytekin, A. ve Durucasu, H. (2021). Nearest solution to references method for multicriteria decision-making problems. *Decision Science Letters*, 10(2).
- Brusselaers, J., Bracquene, E., Peeters, J. ve Dams, Y. (2020). Economic consequences of consumer repair strategies for electrical household devices. *Journal of Enterprise Information Management*, 33(4), 747-767.
- Emec, S. (2025). Unveiling User Preferences in Robotic Vacuum Cleaner Choice: Insights from a FUCOM Approach. In: Kahraman, C., et al. Intelligent and Fuzzy Systems. INFUS 2025. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1528. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-97985-9_45
- Güçlü, P. (2024). Comparative analysis of the MCDM methods with multiple normalization techniques: three hybrid models combine MPSI with DNARCOS, AROMAN, and MACONT methods. *Business and Economics Research Journal*, 15(2), 129-154.

- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. Ve Antucheviciene, J. (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MERECE). *Symmetry*, 13(4), 525.
- Khanna, S. ve Srivastava, S. (2023). An empirical evaluation framework for autonomous vacuum cleaners in industrial and commercial settings: A multi-metric approach. *Empir. Quests Manag. Essences*, 13, 1-21.
- Kırda, K. ve Aytakin, A. (2024). Assessing industrialized countries' environmental sustainability performances using an integrated multi-criteria model and software. *Environment, Development and Sustainability*, 26(7), 17505-17550.
- Kumar, S., Wing, W. S. ve Lee, H. P. (2021, August). Psychoacoustic analysis of vacuum cleaner noise. In *Acoustics* (Vol. 3, No. 3, pp. 545-558). MDPI.
- Kumcu, S., Desticioğlu Taşdemir, B., ve Özyörük, B. (2023). Determination of the Most Suitable New Generation Vacuum Cleaner Type with PFAHP-PFTOPSIS Techniques Based on E-WOM . *12th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, IMSS 2023 (pp.58-68). İstanbul, Turkey
- Kwon, Y. ve Shin, G. (2021, September). Muscular loads associated with floor vacuuming with cordless stick cleaners. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 65, No. 1, pp. 1381-1384). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Lioy, P. J., Wainman, T., Zhang, J. ve Goldsmith, S. (1999). Typical household vacuum cleaners: the collection

- efficiency and emissions characteristics for fine particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49(2), 200-206.
- Liu, Z., Liang, X., Chen, X. ve Wen, X. (2024). Design of a sweeping robot based on fuzzy QFD and ARIZ algorithms. *Heliyon*, 10(19).
- Rani, P., Mishra, A. R., Saha, A., Hezam, I. M. ve Pamucar, D. (2022). Fermatean fuzzy Heronian mean operators and MEREC-based additive ratio assessment method: An application to food waste treatment technology selection. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(3), 2612-2647.
- Roszkowska, E., Filipowicz-Chomko, M., Łyczkowska-Hanćkowiak, A. ve Majewska, E. (2024). Extended Hellwig's method utilizing entropy-based weights and mahalanobis distance: applications in evaluating sustainable development in the education area. *Entropy*, 26(3), 197. <https://doi.org/10.3390/e26030197>
- Saaidin, S. N. S. (2021). Cordless vacuum cleaner.
- Salehi Shendi, J. (2018). Early Phase Product Development for Cyclone Dust Collectors.
- Samanlioglu, F., Sağıroğlu, A. ve Güler, A. Assessment of Vacuum Cleaner Motors with F-AHP-PROMETHEE II.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Sikder, M. A., Begum, S., Bhuiyan, M. R., Princewill, F. A. ve Li, Y. (2024). Effect of Variable Cordless Stick Vacuum Weights on Discomfort in Different Body Parts During

Floor Vacuuming Task. *Physical Ergonomics and Human Factors*, 44.

Sockrider, M. (2022). Managing your asthma: avoiding allergens. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 205(12), P25-P26.

Şimşek, H., Ertürk, F. N. ve Şeker, R. (2023). A fuzzy logic approach and path algorithm for time and energy management of smart cleaning robots. *Gazi University Journal of Science*, 36(3), 1034-1048.

Visser, M., Stevels, A. ve Schoormans, J. (2021). Comparing the recommendations of buyers of energy-efficient and inefficient vacuum cleaners. *Sustainability*, 13(23), 12988.

Xiao, Y., Cui, Y., Raut, N., Januar, J., Koskinen, J., Contractor, N., ... ve Sha, Z. (2024). Survey data on customer two-stage decision-making process in household vacuum cleaner market. *Data in Brief*, 54, 110353.

Yelmikheiev, M. ve Norek, T. (2021). Comparison of MCDA methods based on distance to reference objects-a simple study case. *Procedia Computer Science*, 192, 4972-4979.

BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN ENTEGRASYONU: KAVRAMSAL TEMELLER, YÖNTEMSSEL YAKLAŞIMLAR VE ÇOK DİSİPLİNLİ UYGULAMALAR

Şeymanur YILMAZ¹

Serap Pelin TÜRKOĞLU²

1. GİRİŞ

Günümüzün bilgi ve teknoloji toplumunda dijital dönüşüm hız kazanmıştır. Bu durumun etkisiyle birlikte karar verme süreçleri giderek daha karmaşık ve çok boyutlu bir hâle gelmiştir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin; teknolojik, ekonomik, sosyal ve çevresel değişkenleri sistematik bir şekilde analiz etme imkânı olan güçlü araçlar olduğu görülmektedir. Bir taraftan da blok zincir teknolojisinin ortaya koyduğu güvenlik, şeffaflık, izlenebilirlik, doğrulanabilirlik, gizlilik ve bağımsızlık ilkelerinin, karar destek sistemlerinin yapısını baştan dönüştürme potansiyeli mevcuttur. Blok zincir teknolojisi karar süreçlerinde üretilen bilgilerin sahteliğini engellemekte, sürecin şeffaflığı artırmakta ve taraflar arasında teknolojik bir doğrulama mekanizması geliştirmektedir. Bu entegrasyon, karar vericilerin kullandığı veri kaynaklarının güvenilirliğini sağlaması ve işlemlerin kayıt altına alınabilmesi

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Finans Anabilim Dalı, yilmazseymanur388@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4661-7321.

² Doç. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Şereflikoçhisar Berat Cömertoğlu Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, spturkoglu@aybu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9566-9898.

açısından ciddi bir öneme sahiptir. Blok zincir teknolojisi ÇKKV'nin metodolojik tabanına yeni bir kapsam kazandırarak kararların teknik ve etik kökenlerinin güçlendirilmesini de sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, blok zincir teknolojisi ile çok kriterli karar verme yöntemlerinin entegrasyonunu kavramsal ve yöntemsel açıdan incelemek, bu iki alanın kesiştiği noktalarda ortaya çıkan yeni olanakları ve uygulama örneklerini literatüre sunmaktır. Bu çalışma akademik araştırmacılar ve uygulayıcılar için genel bir bakış açısı sunmakla birlikte, literatürde de yol gösterici bir rol oynayacaktır. Çalışmada; önce blok zincir teknolojisi daha sonra ÇKKV yöntemleri ve son olarak da blok zincir teknolojisi ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu anlatılmaktadır.

2. BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ

2.1. Blok Zincir Teknolojisinin Tanımı

Blok zincir kavramı Bitcoin kripto para birimiyle ilk kez 2008 yılında ortaya çıkmıştır (Atabaş, 2018: 9). Bitcoin ile keşfedilse de blok zincir teknolojisi aslında kripto paradan çok daha fazladır. Bu teknoloji dağıtık, geri dönüşü olmayan ve bozulmayan bir bilgi deposu halindedir (Kakavand, Sevres ve Chilton, 2019). Endüstriyel büyümeler güvenilir ortaklıkların sağlanmasını söylese de günden güne artan sahtecilik ve dolandırıcılık vakaları büyümeyi engellemektedir (Kama, 2023: 25-28). Engelleri aşmak adına blok zincir teknolojisi, değer zincirleri, hızlı ürün yenilikleri ve değişiklikleri, samimi müşteri ilişkileri nesnelerin interneti ve bulut teknolojileri ile hızlı bir şekilde uyum sağlamaktadır (Kama, 2023: 25-28). Blok zincir teknolojisi kullanımı ile işletmelere değer sağlamayan durumlar belirlenir ve üçüncü kişiler dahil olmadan izlenebilen güvenilir bir sözleşmenin kurulmasıyla düşük ticari maliyet

oluşturulmaktadır (Ahram vd., 2017: 137). Blok zincir teknolojisi taraflarının yapacakları işlemlerini kalıcı ve güvenli bir şekilde kaydedebilmesi dağıtılmış defter teknolojisi olarak aktarılmaktadır (Heutger vd., 2018: 3).

2.2. Blok Zincirinin Temel Kavramları

2.2.1. Blok ve Zincir Kavramı

Değer içeren her türlü veri, varlık ve işlemin saklandığı yapıya "blok" denilmektedir. Tamamlanmış bloklar zincirde bir halka gibi sırayla eklenerek bir blok zinciri oluşturur (Sadat, 2023: 7-13). Zincir benzetmesinin esas nedeni her bir bloğun kendisinden önce gelen blokların mesaj özü veya özet değerini içermesidir. Bu sayede bloklar tıpkı bir zincir bağlantısı gibi birbirine bağlanmaktadır (Sadat, 2023: 7-13). Bu bağlantı, blokların sırasını ve bütünlüğünü sağlar. Dolayısıyla bir bloğun verilerine geriye dönük bir değişiklik yapıldığında daha sonraki tüm blokların özet değeri değişebilmektedir. Böylece blok zinciri güvenilir ve değişmez bir veri tabanı sağlamaktadır (Türkmen ve Durbilmez, 2019: 32).

2.2.2. Eşten Eşe Ağ

Türkçede "eşten eşe ağ" olarak adlandırılan bu ağ türü, iki ya da ikiden fazla istemciyle veri paylaşımı ve dağıtımı için yapılan bir iletişim protokolüdür (Sadat, 2023: 7-13). Bu ağ alıcıların ve satıcıların aracıya gerek kalmadan ihtiyaç alım satım yapmalarını sağlamaktadır (Türkmen ve Durbilmez, 2019:32).

2.2.3. Bulut Bilişim

Bulut bilişim en az çabayla hızlı bir şekilde bilgi işlem ağlarına, depolama alanlarına ve hizmetlerine her daim ve her yerden erişim sağlamak adına kurulmuştur (Sadat, 2023: 7-13). Bulut bilişim, bilgi, belge, evrak, kayıt, video veya fotoğraf gibi verilerin depolanabilirliğini ve uygulamalara erişildiğini gösteren, üst düzey sistemi olan her daim ve her yerden hızlı

biçimde bağlantı kurup, hizmeti sağlayan teknolojidir (Özdamar, 2022).

2.2.4. Dağıtık Defter Teknolojisi

Geçmiş dönemlerde defterler muhasebe işlemlerini kaydetme, sözleşmeleri, ödemeleri, ticari anlaşmaları ve varlık veya mal transferlerini belgeleme amacıyla temel bir rol oynamıştır. Ancak, günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, bilgisayarlar da depolanan bilgiler kriptografik olarak giderek daha güvenli, hızlı ve merkezi olmayan bir yapıya evrilmektedir (Sadat, 2023: 7-13). Bu önemli teknolojilerden biri de dağıtık defter teknolojisidir. Dağıtık defterler, farklı coğrafi konumlarda bulunan ve birden fazla kişi veya kuruluş arasında merkezi olmayan bir biçimde işlemlerin veya sözleşmelerin kaydedildiği bir sistem olarak tanımlanabilmektedir. Söz konusu yaklaşım, sahteciliğe karşı denetim sağlamak için merkezi bir otoriteye duyulan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır (Majaski, 2021).

2.2.5. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmeler kod ile yazılmaktadır. 1990'larda bilgisayar bilimcisi Nick Szabo bu fikri oluşturmuştur (Atabaş, 2018: 69). Akıllı sözleşmeler, geleneksel endüstri ve iş vetirelerini değiştirip, üçüncü kişiler dahil olmadan anlaşmanın sözleşme koşullarının otomatik olarak uygulanma durumunu sağlamaktadır. Akıllı sözleşmeler bu sayede maliyet tasarrufu oluştururlar. Bunlar, iş vetirelerindeki verimliliği de yükseltmektedir (Zheng vd., 2020: 475).

2.2.6. Mutabakat Mekanizması

Türkçede "mutabakat" veya "uzlaşma" olarak adlandırılan kavram, bir blok zinciri sisteminde diğer sistemlere de eklenmesi lazım olan işlemleri doğrulanabilir hale getirmek adına kabul edilmiş şartlara uyup uymadığını kontrolü manasına gelmektedir.

Bu süreç işlemin geçerliliğini doğrulama ve sonunda bir fikir birliği sağlama amacı taşımaktadır (Ünal ve Uluyol, 2020:168). Mutabakat yöntemi ilgili tüm ağ katılımcılarının bir işlemi kabul ettiği durumları sağlamak amacıyla kullanılır. Bu durum mutabakat veya uzlaşma yöntemleri kullanılarak sağlanır. Ayrıca blok zinciri teknolojisi araçları devre dışı bırakarak işlemleri doğrulamak ve onaylamak için mutabakat yöntemini kullanmaktadır (Gupta, 2018: 16).

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ

3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Tanımı ve Özellikleri

ÇKKV yöntemleri, karar verme durumlarında birden çok kriterle uygulanan yöntemlerdir. ÇKKV yöntemlerinde, her seçenek çoklu kriterler açısından sistemli olarak değerlendirilir. Böylece her seçeneğe ait olan güçlü ve zayıf yönler karşılaştırılabilir (Linkov ve Moberg, 2012; Geneletti ve Ferretti, 2015). Bu yöntemlerin avantajlarından biri nicel ve nitel kriterler ile seçenekler değerlendirilirken aynı zamanda seçenekler karşılaştırılabilmektedir (Linkov vd., 2006). ÇKKV yöntemleri referans dağıtımından, seçeneklerin ağırlıklandırılmasına birçok zor sorunun çözümü adına etkili araçlar olarak kullanılmaktadırlar (Geneletti ve Ferretti, 2015).

ÇKKV yöntemlerinde seçenekler arasından belli ölçütlerde sınırlı seçenekler seçilir. Ölçütlerin önemine göre çeşitli yöntemlerle belirlenebildiği gibi etki ağırlıklarını karar verici bizzat belirleyebilir. ÇKKV yöntemlerinde genel olarak seçenekler ve ölçütlerin sunulduğu karar matrisleri kullanılır. Sunulan bu matrislerle yöntemler etrafında belli istatistiksel ve matematiksel hesaplamalarla karar vericiler kolayca seçenekler arasından seçme imkânına sahiptir (Cengiz, 2012: 11-12).

3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

3.2.1. AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)

Bu yöntem, 1977 yılında Saaty'nin geliştirdiği ve karmaşık karar verme sorunlarına çözüm için kullanılan ÇKKV yöntemlerindendir. ANP süreci genel olarak nitel ve nicel verileri inceleyebilen, fazla sayıdaki karar vericilerin tecrübe, deneyim ve bilgilerini de kullanarak topluca karar verme katılımlarını sağlamaktadır (Özbek, 2017: 71). AHP'nin en önemli özelliği, kullanım kolaylığı ve nesnel yargıların yanında öznel yargıları da değerlendirip, karar verme sorunlarında en iyi biçimde uygulanabilmesi durumudur (Yıldırım ve Önder (Ed.), 2015: 21).

3.2.2. ANP (Analitik Ağ Süreci)

Bu yöntem, problemi oluşturan elemanların tanımlanması, bunların hedefi etkileyen sınıflara atanması ve aralarındaki bağlantıların belirlenmesi prensibine dayanır (Dikmen, Birgönül ve Özorhon, 2005: 163-164). AHP gibi ANP de, alternatiflerin önceliklerinin belirlenmesinde elemanların oranlanması ve ikili olarak kıyaslanmasını kapsar. Bunun yanında, herhangi bir kriter içindeki bağımlılık ve sınıflar arası bağımlılıklara olanak tanıyarak, kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkiler de değerlendirmede göz önünde bulundurulur (Dikmen, Birgönül ve Özorhon, 2005: 163-164). İkili kıyaslamalar hem kriterlerin hedef üzerindeki ağırlığının hem de elemanlar arası etkileşimin öncelik değerinin hesaplanmasını sağlar. Böylelikle sistemin bütün elemanlarının ağırlıklı öncelik katsayıları elde edilmiş olur (Dikmen, Birgönül ve Özorhon, 2005: 163-164).

3.2.3. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

TOPSIS yöntemini, 1981'de Hwang ve Yoon geliştirmiştir. Bu yöntemde ideal çözüm ve ideal olmayan çözüm

oluşturularak, bu çözümlerin uzaklıkları belirlenir ve seçenekler sıralanır. Seçenekler ideal olmayan çözümden ne kadar uzaktaysa ideal çözüme o kadar yakındır demektir. Bahsedilen uzaklıkların hesaplamalarında Öklid uzaklık hesaplaması kullanılmaktadır (Ömürbek ve Kınay, 2013, s. 352, Özdemir (Ed.), 2018: 175). Bu yöntemin anlaşılması ve yorumlanması kolay olduğundan literatürde sıklıkla kullanılmaktadır.

3.2.4. VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)

Bu yöntemi, 2004`de Opricovic ve Tzeng ÇKKV sorunlarının çözümü için geliştirmişlerdir. 1998`de ise Opricovic ilk kez bu yöntemi, ÇKKV yöntemi olarak sunmuştur (Balkuvar, 2015: 47). Bu yöntemde uzlaşık sıralama listesine ve uzlaşık çözüme karar verilir. Ölçütlerin ağırlıklarıyla uzlaşık çözüm tercihlerinin kararları belirlenmektedir (Yıldırım ve Önder (Ed.), 2015: 117-118). Bu yöntem, basit ve kolaydır. Bundan dolayı karar vericiler bu yöntemi sıklıkla tercih etmektedir (Özbek, 2017: 221).

3.2.5. PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)

PROMETHEE`yi ilk kez 1982`de Brans geliştirilmiştir. Bu yöntemi uygulamak için iki farklı duruma ihtiyaç vardır. Biri karar vericilerin karar fonksiyonunu oluştururken belirlediği ölçütlerin ağırlıklarıdır. Diğeri, karar vericinin seçeneklerinin katkılarını karşılaştırırken kullandığı farklı ölçütler adına tercih edilen fonksiyonların bilgisidir (Yıldırım ve Önder (Ed.), 2015: 178). Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran fark, tercih fonksiyonlarının kullanıldığı değerlendirme sistemiyle sonuçların ortaya çıkarılmasıdır (İmamoğlu, 2015: 26).

3.2.6.ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité)

Yöntem, ilk kez 1965`de Bernard Roy`un yaptığı bir sunumda anlatılmıştır. 1968`de ise bu yöntemin uygulandığı ilk çalışma oluşturulmuştur (Balkuvar, 2015: 47, Yıldırım ve Önder ((Ed.), 2015: 155). ELECTRE yöntemiyle, karar vericiler farklı nitel ve nicel verileri karar verme sorunlarına ekleyebilmektedirler. Ayrıca ölçütler önem derecelerine göre ağırlıklandırılmaktadır (Çiftçi, 2014: 34-35).

3.2.7.DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)

Bu yöntemi ilk kez 1972`de Gabus ve Fontela geliştirmiştir. Bu yöntemle, bir karar sorunu etrafında oluşturulmuş ölçütlerin arasındaki ilişkilerin etkililiğini ve gücünü sayısal bir şekilde ifade etme imkânı sağlanmıştır. Ölçütler arasındaki nedenselliğin yanında ayrıca bu yöntemle ölçütlerin önem dereceleri belirlenmektedir (Özdemir (Ed.), 2018: 5).

4. BLOK ZİNCİR TEKNOLOJİSİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ ENTEGRASYONU

4.1. Entegrasyon Neden Gereklidir?

Bir süreçte çok sayıda paydaş mevcut ise ve bu paydaşların her birinin öncelikleri farklıysa, karar sürecinin şeffaf, doğrulanabilir, izlenebilir, adil ve sahtecilik barındırmayan bir yapıda olması gerekmektedir. Karar kriterleri belirsizlik içeriyorsa, esnek yöntem ve güvenilir veriler kullanılmalıdır. ÇKKV bu durumu düzenleyip, modelleyebilir. Kararların sonucunun önemli etkileri varsa, büyük bir risk taşıyan bir durumsa, bu süreç sorumluluk, denetim ve güvenlik durumlarını

da beraberinde getirmektedir. Blok zincir teknolojisi bu özellikleri desteklemektedir. Veri bütünlüğünün sıkıntıya girdiği durumlarda kayıtların değiştirilemez olması ve geçmişe dönük inceleme yapılıyor olması yine bu entegrasyona ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Yine birden fazla paydaşın mevcut olduğu durumlarda bu entegrasyon sayesinde daha demokratik kararlar alınmaktadır. Bu durumu blok zincir teknolojisinin kimlik doğrulama ve kriptografik gibi işlemlerle dağıtık mekanizmaları desteklemektedir. Karar verme süreçlerinde kriter sayısının artması değerlendirme aşamasını karmaşık hale getirmektedir. ÇKKV yöntemleri bu karmaşıklığı analiz ederek ve modelleyerek çözmektedir. Blok zincir ile entegrasyonu ise analizlerin ve kriter ağırlıklarının şeffaf ve izlenebilir hale gelmesini sağlamaktadır.

4.2. Entegrasyonun Uygulama Alanları

Enerji yönetimi ve sürdürülebilirlik alanı blok zincir teknolojisi ve ÇKKV yöntemleri entegrasyonunun en çok kullanıldığı alandır. Sahoo ve Pamucar (2025) çalışmalarında, enerji dağıtım sistemlerinde blok zincir destekli veri şeffaflığının, bulanık DEMATEL ve TOPSIS yöntemleriyle karar doğruluğunu artırdığını ifade etmişlerdir. Ranjbari ve Nazari (2022), yenilenebilir enerji zincirlerinde sürdürülebilir blok zincir çerçevelerini değerlendirmek için bulanık TOPSIS yaklaşımını kullanmışlardır. Bu sayede enerji verimliliğini ve maliyet dengesini öne çıkarmışlardır. Enerji alanında bu entegrasyon, karbon nötr stratejiler geliştirilmesinde de etkili bir rol oynamıştır. Tedarik zincirlerinde ise blok zincirin izlenebilirliği ve güvenliği sağlaması açısından çok kriterli karar verme yöntemleriyle entegre olması durumunda güçlü bir mekanizma ortaya çıkmaktadır. Zhang ve Lee (2020), blok zincir tabanlı tedarik zinciri şeffaflığını değerlendirmek adına AHP-TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışma sonucunda; tedarikçi güvenilirliği, veri bütünlüğü ve maliyet verimliliği öncelikli kriterler olarak ortaya çıkmıştır. Li ve Chen (2024) ise

sürdürülebilir tedarik zinciri performansını blok zincir destekli AHP-TOPSIS yöntemleriyle incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, çevresel sürdürülebilirlik ve operasyonel verimlilik arasında güçlü bir ilişki bulmuştur. Finans sektöründe bu entegrasyon, yatırım, risk yönetimi ve regülasyon kararlarını destekleyen yeni bir oluşum kurmuştur. Ahmad ve Khan (2023), finansal blok zincir platformlarının performansını değerlendirmek için BWM ve VIKOR yöntemlerini kullanarak işlem hızına ve regülasyon uyumuna bakarak güvenlik faktörlerini en kritik değişken olarak saptamıştır. Hussain ve Alrasheed (2023) ise dijital finans sistemlerinde blok zincir benimseme kararlarını bulanık BWM-VIKOR yöntemleriyle incelemiştir. Bunun sonucunda karar niteliklerinin güvenlikle ve şeffaflıkla doğrudan ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Torkayesh vd. (2022), blok zincir uygulamalarının sağlık sektöründe kabul edilme seviyesini bulanık AHP-TOPSIS yöntemleriyle analiz etmiştir. Bu entegrasyonlar, hastanelerin veri yönetimlerinde, ilaç takip sistemlerinde ve klinik araştırma kayıtlarının doğrulanmasında kullanılmaktadır. Akıllı şehirlerde ise El Aziz vd. (2024), blok zincir tabanlı projelerin öne çıkarılması adına AI-ÇKKV yöntemlerinden oluşan hibrit bir yöntem geliştirmiştir. Bu model, sensör verilerini blok zincir ağına bütünleştirerek trafik yönetimi, şehir planlaması ve enerji dağıtımı gibi konularda daha adil ve veri odaklı karar mekanizmaları oluşturmuştur. Benzer şekilde, Rejeb vd. (2025), dijital ekosistemlerde risk değerlendirmesi için blok zincir-ÇKKV entegrasyonunu önermektedir. Merkeziyetsiz karar modellerinin adaptif kapasiteyi artırdığını da anlatmaktadır. Blok zincir-ÇKKV entegrasyonu, kamusal karar süreçlerinde ise doğrulanabilir, izlenebilir ve güvenilir vatandaş odaklı bir yönetim anlayışını doğurmaktadır. DEMATEL-AHP tabanlı yöntemler, kamu ihalelerinde tarafsızlık ve şeffaflık temin etmek adına kullanılmaktadır (Gupta ve Singh, 2020).

4.3. Entegrasyonun Sağlayacağı Avantajlar

Blok zincir tabanlı karar sistemlerinin en önemli avantajı, verilerin değiştirilemez şekilde kaydedilmesi sonucunda oluşan şeffaflık ve güvenilirlik getirisidir. Gupta ve Singh (2020), blok zincir destekli AHP-MICMAC yöntemlerinin analizinde kararların izlenebilirliğini, özellikle tedarik zinciri yönetiminde güven seviyesini arttırdığını anlatmıştır. Li ve Chen (2024), blok zincir-AHP-TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonunun sürdürülebilir tedarik zinciri başarısında doğruluğu ve veri güvenliğini artırdığını ifade etmiştir. Bu sayede karar vericiler, çeşitli paydaşlardan gelen verilere güvenebilir ve sonuçların bütünlüğüne inanabilmektedirler. Nguyen vd. (2024), blok zincir ve bulanık ÇKKV yöntemini entegre ederek akıllı sözleşmelerdeki risklerin güvenilir bir şekilde değerlendirilebildiğini göstermektedir. Bu durum, öncelikle çok paydaşlı projelerde kararların tarafsızlığını güçlendirmektedir. Rejeb vd. (2025), blok zincir-ÇKKV entegrasyonunun dijital ekosistemlerde katılımcı karar kültürü oluşturduğunu vurgulamıştır. Bu karar kültürünün paydaş güvenini artırdığını da belirtmiştir. Bu model, akıllı şehirler ve dijital yönetim alanlarında izlenebilir, güvenilir ve demokratik karar yöntemlerine olanak tanımaktadır. Blok zincir, çeşitli kaynaklardan gelen verileri gerçek zamanlı olarak sistemde güncelleyebilmektedir. El Aziz vd. (2024), akıllı şehir uygulamalarında blok zincir ile entegre edilmiş AI-ÇKKV yöntemlerinin, veri akışını anlık olarak analiz edip, karar süresini %40'a kadar indirdiğini raporlamıştır. Bu avantaj, trafik yönetimi, acil durum koordinasyonu ve enerji dağıtımı gibi hızlı tepkiye ihtiyaç duyulan alanlarda kritik önem arz etmektedir. Nguyen vd. (2024), bulanık ÇKKV destekli akıllı sözleşmelerin risk değerlendirmesinin doğruluğu artırdığını belirtmektedir. Bu sayede insan hatası oranı azalmakta ve kararların yürütülme sürecinde güven esaslı otomasyonlar sağlanmaktadır. Kumar ve

Pamucar (2025), blok zincir tabanlı karar sistemlerinin sürdürülebilirlik merkezli stratejik planlamada etik değerlere dayanan karar verme yeteneğini kuvvetlendirdiğini anlatmaktadır. Blok zincir sayesinde kriterlerin şeffaf bir şekilde değerlendirildiği, ÇKKV ise bu kriterleri dengeleyerek optimum çözümler ürettiği için kararlar daha sürdürülebilir hâle gelmektedir. Hussain ve Alrasheed (2023), finans sektöründe bulanık BWM-VIKOR entegrasyonu ile blok zincir tabanlı kararların risk düzeyini azalttığını göstermektedir. Bu bulgulara göre, sistematik risk analizinin blok zincir güvenliğiyle birleştiğinde karar kalitesini ve organizasyonel performansını yükselttiği görülmektedir. Kararların blok zincir üzerine kaydedilmesi, tüm sürecin denetlenebilir ve olmasını sağlamaktadır. Bu durum, kamu yönetimi ve kurumsal sürdürülebilirlik raporlamasında şeffaflık kültürünü arttırmaktadır (Gupta ve Singh, 2020).

4.4. Entegrasyonun Zorlukları ve Çözüm Önerileri

Blok zincir teknolojisinin ÇKKV yöntemleriyle entegrasyonu, uygulama düzeyinde yönetsel, kültürel ve teknik engellerle karşılaşmaktadır (Sahoo ve Pamucar, 2025; Rejeb vd., 2025; Li ve Chen, 2024). Bu bölümde bu zorluklar, literatür bulgularına dayanarak anlatılmakta ve uygulanabilecek çözüm önerileri sunulmaktadır.

4.4.1. Teknik Zorluklar

Blok zincir üzerinden gerçekleştirilen ÇKKV analizlerinde büyük veri hacmi, özellikle AHP, TOPSIS veya VIKOR gibi algoritmaların çalışmasını zorlaştırmaktadır. Nguyen vd. (2024), akıllı sözleşme temelli bulanık ÇKKV yöntemlerinde işlem hacmi arttıkça hesaplama maliyetinin ciddi bir şekilde arttığını belirtmektedir. Bu durum, karar yöntemlerinin zincir üzerinde değil, zincir dışında işlenmesini ve sadece sonuçların zincire kaydedilmesi gerektiğini

göstermektedir. Torkayesh vd. (2022), sağlık sistemlerinde blok zincir-ÇKKV entegrasyonunun yüksek enerji tüketimi ve işlem gecikmesi gibi sınırlamalara sebep olduğunu ifade etmektedirler. Hibrit blok zincir mimarileri olarak off-chain hesaplama ile veri depolamanın ayrılması, enerji verimli konsensüs algoritmalarıyla ilgili; Proof-of-Stake protokollerinin benimsenmesi, akıllı sözleşme optimizasyonu ile ilgili olarak; bulanık ÇKKV yöntemlerinin hesaplamalarının ön-işleme katmanında yapılması (Nguyen vd., 2024) gibi çözüm önerileri sunulabilir.

4.4.2. Yönetişim ve Mevzuat Problemleri

Blok zincir-ÇKKV entegrasyonunda, özellikle gizlilik, veri paylaşımı ve kimlik doğrulama konularında yasal boşluklarla karşılaşmaktadır. Gupta ve Singh (2020), blok zincir tabanlı karar sistemlerinin ülkeler arasında farklı yasal çerçeveler sebebiyle regülasyon riski ve veri uyumsuzluğu yaşadığını belirtmektedir. Li ve Chen (2024) ise sürdürülebilir tedarik zincirlerinde blok zincir karar yöntemlerinin, mevzuat eksikliği sebebiyle endüstriyel ölçekte benimsenemediğini vurgulamaktadır. Kuruluşlar, karar süreçlerinin dağıtık yapılara taşınmasından tedirgindir. Bu durum, özellikle kamu ve finans kurumlarında kontrol kaybı algısını oluşturmaktadır (Rejeb vd., 2025). ISO 23257 (Blockchain Framework) gibi çerçevelerin ÇKKV yöntemlerine entegre edilmesi, uyumlaştırılmış mevzuat geliştirmeye ilgili; Avrupa Birliği'nin MiCA düzenlemesi örnek alınarak karar sistemleri için veri paylaşım standartlarının belirlenmesi, kurumsal yönetim modelleri oluşturulmasıyla ilgili; blok zincir karar ağlarının yarı-merkezi biçimde yönetilmesi gibi çözüm önerileri sunulabilir.

4.4.3. Kullanıcı Adaptasyonu ve Bilgi Eksikliği

Hussain ve Alrasheed (2023), finans sektöründe blok zincir-ÇKKV tabanlı karar sistemlerinin benimsenmesindeki en büyük engelin kullanıcı bilgi eksikliği olduğunu aktarmaktadır.

Kriptografik kavramlar, algoritmik ağırlıklandırma mekanizmaları ve karmaşık terminoloji, yöneticilerin bu sistemleri anlamasını ve çözmesini zorlaştırmaktadır. Torkayesh vd. (2022), sağlık sektöründe kullanıcıların blok zincir tabanlı karar sistemlerinde karar sürecinin soyutluğu sebebiyle güvenmekte zorlandıklarını aktarmaktadır. Eğitim ve farkındalık programları olarak; karar vericilere yönelik blok zincir ve ÇKKV temelli eğitim modüllerinin geliştirilmesi, kullanıcı arayüzünün basitleştirilmesiyle ilgili olarak; ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarını görselleştiren grafiksel panel sistemlerinin tasarlanması, güven artırıcı denetim mekanizmalarıyla ilgili; akıllı sözleşmeler sonuçlarının harici denetim kurumları tarafından doğrulanması gibi çözüm önerileri sunulabilir.

4.4.4.ÇKKV-Blok Zincir Entegrasyonunun Güvenlik Üzerindeki Etkileri

Bu entegrasyona sahip mekanizma, karar vericilerin kullandığı ölçüt ve ağırlık verilerinin değiştirilemez olmasını sağlamaktadır. Nguyen vd. (2024), akıllı sözleşme tabanlı bulanık ÇKKV yöntemlerinde blok zincirin veri sahteciliği riskini yok ederek kararların güvenilirliğini yükselttiğini göstermektedir. Benzer olarak Gupta ve Singh (2020), tedarik zinciri yönetiminde blok zincir-AHP entegre modellerinin veri bütünlüğü garantisi sayesinde daha güvenli karar süreçleri oluşturduğunu aktarmaktadır. Blok zincir, her işlemi kriptografik bir şekilde doğrulayarak, ağdaki tüm katılımcılar arasında paylaşmaktadır. Bu da çok kriterli karar modellerinde kullanılan verilerin doğrulanabilirliğini sağlamaktadır.

4.4.5.ÇKKV-Blok Zincir Entegrasyonunun İzlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

Blok zincir, her bir işlemi veya karar adımını kronolojik olarak kaydetmektedir. Li ve Chen (2024), sürdürülebilir tedarik zincirlerinde blok zincir-AHP-TOPSIS entegrasyonunun karar

süreçlerini uçtan uca izlenebilir bir şekle getirdiğini, böylece paydaşlar arası güven ve denetim kolaylığının yükseldiğini göstermiştir. Kumar ve Pamucar (2025), enerji ve çevre yönetimi alanlarında blok zincir-ÇKKV entegrasyonunun etik karar alma süreçlerini kuvvetlendirdiğini ve sürdürülebilirlik kriterlerinin doğruluğunu artırdığını vurgulamıştır.

4.4.6. ÇKKV-Blok Zincir Entegrasyonunun Doğrulanabilirlik Etkileri

ÇKKV modellerinde ağırlıklar ve sonuçlar çoğu zaman öznel olarak belirlenmektedir. Blok zincir entegrasyonu, bu değerlerin kriptografik bir şekilde imzalanmasını ve üçüncü taraflarca doğrulanmasını sağlamaktadır. Doğrulanabilirlik, sadece verinin değil, yöntemin bütünlüğünün de denetimini içermektedir. Gupta ve Singh (2020), blok zincir-AHP yöntemlerinde model tutarlılığının blok zincir üzerinde otomatik olarak denetlenebilmesinin, karar doğruluk oranını %20'ye kadar yükseldiğini rapor etmiştir. Blok zincir sistemlerinde akıllı sözleşmeler, kararın nasıl alındığını bağımsız gözlemciler tarafından doğrulanabilir şekle getirmektedir (Hussain ve Alrasheed, 2023).

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Blok zincir teknolojisi ile ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu, dijital dönüşüm çağında karar destek sistemlerine yeni bir alan açmıştır. Blok zincirin güvenlik, izlenebilirlik ve doğrulanabilirlik gibi esas nitelikleri, ÇKKV'nin analitik ve sistematik yapısıyla entegre edildiğinde, karar verme süreçlerinin doğruluğu ve güvenilirliği önemli bir biçimde artmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde incelenmiş olan literatür ve örnek uygulamalar, bu entegrasyonun sadece teknik bir entegre sistemi olmadığını; aynı zamanda etik, yönetim ve metodolojik boyutlarında da dönüştürücü olduğunu göstermektedir. Bu

entegrasyonun bazı tekniksel, yönetsel ve kişisel engeller oluşturduğu da görülmektedir. Özellikle yüksek enerji tüketimi, işlem gecikmesi ve mevzuat eksiklikleri bu sistemin önünde duran engellerdir. Bu noktada, hibrit blok zincir yöntemlerinin oluşturulması, enerjiyle ilgili mutabakat mekanizmalarının kabul edilmesi, uluslararası regülasyon standartlarının düzenlenmesi ve karar vericilere yönelik eğitimlerin hazırlanması çözüm olarak ön plandadır.

Sonuç olarak, blok zincir-ÇKKV entegrasyonu, karar destek sistemlerinin geleceğine yön veren yenilikçi bir yapı sunmaktadır. Bu sistem sadece karar süreçlerinin teknik doğruluğunu değil, aynı zamanda etik, demokratik ve sürdürülebilir yönlerini de kuvvetlendirmektedir. Gelecekte, yapay zekâ, büyük veri analitiği, gizlilik arttırıcı kriptografi, yeşil blok zincir, kuantum güvenliği ve nesnelerin interneti (IoT) ile birlikte düşünüldüğünde, blok zincir tabanlı çok kriterli karar verme sistemleri; finansal yönetimden sürdürülebilir kalkınmaya, endüstriyel planlamadan kamu yönetimine kadar pek çok alanda güvenilir, şeffaf, adil ve izlenebilir karar ekosistemlerini oluşturacaktır. Bu bağlamda, entegrasyonun sadece bir teknik yenilik değil, dijital çağın gerekliliklerine yanıt veren bütüncül bir dönüşüm olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, M., & Khan, M. (2023). Performance evaluation of blockchain platforms using BWM and VIKOR methods. *Journal of Blockchain Research*, 5(2), 45–60.
- Ahram, T., Sargolzaei, A., Sargolzaei, S., Daniels, J., & Amaba, B. (2017). *Blockchain technology innovations*. In 2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference (TEMSCON 2017) (pp. 137–141).
- Atabaş, H. (2018). *Blok zinciri teknolojisi ve kripto paraların hayatımızdaki yeni yeri*. Ceres Yayınları.
- Cengiz, H. (2012). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulamaları*. Gazi Kitabevi.
- Çiftçi, C. (2014). *Alternatifler arasından optimal olanı seçme süreci olan karar verme problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı (Yüksek lisans tezi)*. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Dikmen, İ., Birgönül, M. T., & Özorhon, B. (2005, Eylül). *Uluslararası pazar seçiminde bir ANP (Analytic Network Process) uygulaması*. *Seminer/Bildiri*, 162–171.
- Elaziz, E. A. A., El Şafi, M. A., & [Diğer yazarlar]. (2024, Ekim). Üçüncü basamak merkez hastanesinde pediatrie komplikasyonsuz apandisit için konservatif tedavi. *SVU-Uluslararası Tıp Bilimleri Dergisi*, 7(2), 594–602.
- Geneletti, D., & Ferretti, V. (2015). Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(2), 133–142.
- Gupta, A., & Singh, S. K. (2020). Using blockchain to improve decision making that benefits the public good. *Frontiers in Blockchain*.

- Gupta, S. (2018). Blockchain consensus algorithms and platforms: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 179(16), 16–22.
- Hussain, M., & Alrasheed, A. (2023). An analysis of blockchain adoption decisions in digital finance systems using fuzzy BWM and VIKOR methods. *Journal of Digital Finance*, 9(1), 22–35.
- İmamoğlu, G. (2015). Analitik ağ süreci ve Promethee teknikleri ile hastane yer seçimi: Trabzon örneği (Yüksek lisans tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kakavand, H., Chilton, B., & Kost de Sevres, N. (2018, 13 Ağustos). Blockchain won't cut out intermediaries after all. Investopedia.
- Kakavand, H., Kost de Sevres, N., & Chilton, B. (t.y.). The blockchain revolution: An analysis of regulation and technology related to distributed ledger technologies. SSRN.
- Kandemir, T., Arifoğlu, A., & Güneş, E. (2024). Blok zinciri teknolojisine ait özelliklerin ve sektörler arası kıyaslamaların DEMATEL ve WASPAS ile analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 15(42), 404–421.
- Kumar, R., & Pamucar, D. (2025). Blockchain-based decision systems in sustainable strategic planning: Enhancing ethical decision-making capabilities. *Journal of Sustainable Development*, 13(2), 45–59.
- Kumar, R., Sahoo, S. K., & Tripathi, P. (2025). Financial literacy and retirement planning: A global bibliometric analysis of research trends and influential contributions. *Management Science Advances*, 2(1), 117–132.

- Li, X., & Chen, Y. (2023). Blockchain-driven supply chain transparency and trust building in the digital era. *Journal of Supply Chain Management*, 60(4), 1–15.
- Linkov, I., & Moberg, E. (2012). Multi-criteria decision analysis: *Environmental applications and case studies*. CRC Press.
- Majaski, C. (2021). What is a distributed ledger? How it works and types. *Investopedia*.
- Nguyen, T., Tran, T., & Le, D. (2024). Evaluating smart contract risks using blockchain and fuzzy MCDM integration. *Journal of Blockchain Technology*, 12(2), 45–58.
- Ömürbek, M., & Kınay, M. (2013). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama alanları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 351–362.
- Özbek, A. (2017). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve Excel ile problem çözümü. Seçkin Yayıncılık.
- Özdamar, K. (2019). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi Cilt 1*. Nisan Kitabevi.
- Özdemir, M. (Ed.). (2018). *Türk eğitim sisteminin sorunlarının DEMATEL ve analitik ağırlıklı toplam puanlama (AAS) yöntemleri ile analizi*. Gazi Kitabevi.
- Rejeb, A., Rejeb, K., Zrelli, I., & Süle, E. (2025, Nisan). Industry 5.0 as seen through its academic literature: An investigation using co-word analysis. *Discover Sustainability*, 6(1).
- Sadat, S. N. (2023). Blok zinciri (Blockchain) teknolojisinin muhasebe, denetim ve finans alanlarına etkileri (Yüksek lisans tezi). *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.

- Tanrıverdi, M., Uysal, M., & Üstündağ, M. T. (2019). Blok zinciri teknolojisi nedir? Ne değildir?: Alanyazın incelemesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(3), 203–217.
- Torkayesh, A. E., (2022). A systematic review of waste management practices in smart city healthcare waste management: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 839.
- Türkmen, S. Y., & Durbilmez, S. E. (2019). Blockchain teknolojisi ve Türkiye finans sektöründeki durumu. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 30–45.
- Ünal, G., & Uluyol, Ç. (2020). Blok zinciri teknolojisi. *Gazi Üniversitesi Bilimsel Dokümantasyon Dergisi*, 2020(1), 167–175.
- Yapıcı, S., Oral, N., Yumuşak, R., & Eren, T. (2021). Blok zincir teknolojisi ile merkezi ve dağıtık veri tabanının karşılaştırılması. *Journal of Industrial Engineering*, 32(3), 457–472.
- Yıldırım, B. F., & Önder, E. (Eds.). (2015). *Yönetmel ve stratejik problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri*. Dora Yayıncılık.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., Chen, W., Chen, X., Weng, J., & Imran, M. (2020). An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms. *Future Generation Computer Systems*, 105, 475–491.
- Zhang, S., & Lee, J. H. (2020). Analysis of the main factors affecting blockchain adoption in the education sector. *Journal of Computer Science and Technology*, 35(1), 1–10.

A HYBRID GAN MODEL WITH ACNN AND BI-LSTM FOR STOCK PRICE FORECASTING¹

Zeynep ÇOLAK¹

1. INTRODUCTION

Successful stock price forecasting in finance provides the necessary information for making informed decisions and effectively managing risk (Yun et al., 2021). However, forecasting financial time series is challenging due to their high volatility and complex non-linear patterns (Mushunje, 2023; Li and Xu, 2025). While traditional statistical methods (e.g., ARIMA, GARCH) can capture certain trends and seasonality, they fail to accurately reflect complex market dynamics (Li and Xu, 2025).

This study proposes a new hybrid model based on the Generative Content Network (PCN) for forecasting complex and dynamic time series such as stock prices and comprehensively evaluates its performance. The application was made using General Electric (GE) stock data. The proposed TSGAN architecture consists of a Generator model, which includes an Attention-Based Convolutional Neural Network (ACNN) encoder and a Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM) decoder to capture important features and temporal dependencies in the input time series, and various Discriminator models that evaluate the outputs of this Generator. Different architectures based on Convolutional Neural Networks (CNN), standard Recurrent Neural Networks (RNN), Long Short Term

¹ Dr. Öğr. Üyesi., Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, BİİBF, İşletme Bölümü, zolak.84@gmail.com.

Memory (LSTM), and Gated Recurrent Units (GRU) are empirically investigated for the discriminator.

2. ATTENTION MECHANISM

The attentional mechanism was first introduced as a classical feature integration theory to simulate human visual analysis processes (Treisman & Gelade, 1980). In neural network-based models, especially in sequential data processing tasks, attention mechanisms have improved performance by enabling the model to assign different importance levels to different parts of the input sequence (Bahdanau et al., 2015). In time series analyses, such as stock price forecasting, traditional neural network models often overlook the varying influence weights of all values in the input sequence on the context vector at each time point. The Attention Mechanism is often added to neural network architectures to overcome this limitation. The mechanism filters important information from large amounts of advanced data and assigns greater weight to this important information by calculating the likelihood of distraction.

Given an input sequence $S = [s_1, s_2, \dots, s_T]$ and a query vector q associated with a task, how to compute the attention value (value) with the corresponding key from the attention distribution is described in Equation (1) and represents a fitness or scoring function

$$\alpha_i = p(Z = i|S, q) = \frac{\exp(f(s_i, q))}{\sum_{j=1}^T \exp(f(s_j, q))}$$

This expression can be written in a shorter form using the softmax function as follows:

$$\alpha_i = \text{softmax}(f(s_i, q))$$

Attention score calculated using the scaled dot-product:

$$(f(s_i, q)) = \frac{s_i^T q}{\sqrt{d_k}}$$

Where s_i is the key vector, q is the query vector, and d_k is the dimension of these vectors. Scaling by $\sqrt{d_k}$ alleviates the problem of vanishing gradients.: The resulting attention weights α_i are used to calculate the weighted sum of the value vectors, which forms the context vector C :

$$C = \sum_{i=1}^T \alpha_i v_i$$

where v_i and s_i are the value vectors.

On the other hand, the Multi-Head Attention mechanism can more easily capture the relationships between sequences (Vaswani et al., 2017). The basic idea is to compute the attention function multiple times in parallel in different subspaces. Input key-value pairs given $(K, V) = [(k_1, v_1), \dots, (k_T, v_T)]$ and query q , the attention function for each “head” is calculated similarly to Equation (4).

Multi-head mechanism, M different queries

$$Q_{heads} = [q_1, q_2, \dots, q_M]$$

(or projecting a single query in M different ways) to produce M different attention outputs. These outputs are then concatenated and usually undergo a linear transformation:

$$MultiHeadAtt((K, V), Q_{input}) = \\ Concat(head_1, \dots, head_M)W^O$$

$$head_m = Attention((KW_M^K, VW_m^V), Q_{input}W_m^Q)$$

W_M^K, W_m^V, W_m^Q in Equation (6) and W_O in Equation (5) are learnable weight matrices.

This study used the Attention Mechanism to obtain weights for each prediction step. In particular, attention is applied

to the feature representations obtained from the CNN layers, as described in specific components of the proposed model.

3. PROPOSED MODEL

This model aims to preserve the advantages of neural network methods in non-linear feature extraction and to generate realistic time series using Generative Adversarial Networks (GANs). Our methodology is presented in Figure 1.

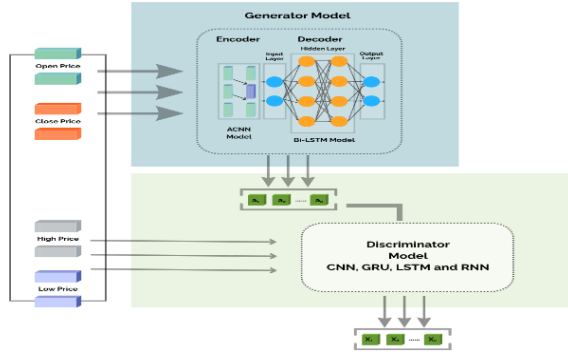


Figure 1. Architecture of the proposed TSGAN

Our model's initial input data includes daily opening and closing prices as well as high and low prices. Unlike traditional statistical pre-processing steps, our model is designed to work directly with raw or scaled time series data. In the proposed model, the Attention-Based Convolutional Neural Network (ACNN) in the encoder part of the generator model generates the weight signal matrix for the deep features. In this way, the model can focus on the most important parts of the input sequence. The Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM) network then acts as a decoder capable of revealing long-term time series features and complex dependencies. These prediction sequences generated by the generator are then transmitted to the Discriminator model. In its distinctive structure, instead of being

tied to a single model type, a flexible architecture including various deep learning layers, such as Convolutional Neural Networks (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, Gated Recurrent Units (GRU), and general Recurrent Neural Networks (RNN), is used to assess whether the Generative model generates the data or is real (by comparing it with real historical high and low price data). This diversity is intended to enable the Discriminator to capture different types of patterns and temporal features more efficiently. The process described above is inspired by the principles of the GAN model, as shown in Figure 1.

3.1. Generator Model

The generative model is designed as a hybrid structure combining an Attention-Based Convolutional Neural Network (ACNN) and a Bidirectional Long Short-Term Memory (Bi-LSTM) network. In order to predict the future closing price, 70% of the daily data from the past period is used. In particular, the producer receives the opening and closing price sequences as input. In order to predict the future closing price, 70% of the daily data from the past period is used. In particular, the producer receives the opening and closing price sequences as input. The Deep Learning (DL) architecture used in this study is the Attention-Based CNN-LSTM model, which is structured within a sequence-to-sequence framework. This architecture utilizes a CNN as the encoder and a Bidirectional LSTM as the decoder. The model uses convolutional operations and an attention mechanism to extract deep and meaningful features from stock data. While the convolutional layers extract local patterns and features from time series, the attention mechanism decides which features are more important for prediction. These weighted features are then fed into the Bi-LSTM networks. By processing past and future information, Bi-LSTM networks are used to reveal long-term time series characteristics and their complex dependencies, and to generate the final price prediction. This

model aims to generate a synthetic time series ($a_1, a_2, \dots, a_n$) representing future price movements from the input historical time series data (in this study, usually the 'Open Price' and 'Close Price' sequences of length `seq_length` and containing features).

Encoder - Attention-Based Convolutional Neural Network (ACNN): The encoder part of the generative model is designed as an Attention-Based Convolutional Neural Network (ACNN). This structure uses a layered 1D Convolutional Neural Network (Conv1D) architecture to efficiently extract complex temporal patterns and important features from the input time series. The encoder consists of two main Conv1D layers. The first Conv1D layer, with 64 filters, and the second Conv1D layer, with 128 filters, yield the best results. Both convolution layers apply sliding filters to the input sequence using a kernel size of 3 (`kernel_size=3`) and the same padding, thus preserving the sequence length while learning local dependencies and feature hierarchies. To enable nonlinear transformations and improve gradient flow, ReLU (Rectified Linear Unit) activation was chosen after each Conv1D layer. Then, to improve performance and ensure the model focuses on the most relevant parts of the input sequence, an attention mechanism is incorporated into the model. In this work, a type of attention based on the scaled dot-product attention principle (Vaswani et al., 2017) was applied. This mechanism dynamically weights the contribution of the feature to the final context vector by using the feature sequence obtained from CNN layers as keys, values, and queries. As a result, the attention mechanism creates a weighted summary of the CNN outputs, helping the encoder select the most informative features. The output of the ACNN encoder is a condensed and contextually enriched representation of the input sequence.

Decoder - Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM): The context vector (or weighted feature sequence) obtained from the encoder is fed as input to the decoder part of

the Generative model. The decoder consists of Bidirectional Long Short Term Memory (Bi-LSTM) networks, which can efficiently model temporal dependencies. In this work, the decoder is configured with a single Bi-LSTM layer. This Bi-LSTM layer contains 128 effective units in total and 64 units in each direction (forward and reverse). Bi-LSTMs, unlike standard LSTMs, process time series data in both forward (past to future) and backward (future to past) directions, allowing the output at each time step to benefit from both past and future context. In order to generate a prediction sequence $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ for n future time steps, the Bi-LSTM layer is enabled to generate an output at each time step with the parameter `return_sequences=True`. This output sequence is then given to a TimeDistributed Dense layer to convert the forecast at each time step into a single value (for example, the closing price). This TimeDistributed Dense layer consists of a single neuron and usually uses a linear activation function. This structure generates the future price series step by step using the enriched information from the encoder. This combination of ACNN encoder and Bi-LSTM decoder enables the Producer to both efficiently extract important features from the input data and, based on these features, produce realistic price series that include complex and long-term temporal dependencies.

3.2 Discriminator Model

The main task of the discriminative model is to assess the distinguishability of the price forecast sequences generated by the producer from the actual market data. The discriminant processes two types of data streams:

- 1- Historical sequences of high and low prices representing actual market movements
- 2- Synthetic price series created by the Producer and presented in the same format as the actual price movements (these

synthetic series may also be presented to the Distinguisher together with or with reference to the actual high/low prices).

Unlike uniform discriminators in traditional GAN structures, the discriminator used in our model is a hybrid approach that combines various feature extraction and pattern recognition capabilities. In this context, the discriminative architecture is designed to include different deep learning blocks such as Convolutional Neural Networks (CNN) layers, Long Short Term Memory (LSTM) networks, Gated Recurrent Units (GRU), and general Recurrent Neural Networks (RNN). CNN layers effectively capture local and short-term patterns in price sequences, while LSTM, GRU and RNN components are used to model temporal dependencies and sequential structure in the data. The combination of these layers aims to enable the discriminator to better grasp the subtle nuances in both generated and real data, thus forcing the generator to produce more realistic outputs. The separator's output is a value that indicates whether the input provided to it is true.

The primary objective of the discriminator model is to create a differentiable D function that can distinguish data generated by the generator from real data. The discriminator produces a value of 0 when fake data generated by the generator is presented, and a value of 1 when real data is presented. This idealised output state can be formulated in Equation (7) as follows:

$$D(S^l) = \begin{cases} 0, & \text{if } d(S^l) = d(X_{fake}) \\ 1, & \text{if } d(S^l) = d(X_{real}) \end{cases}$$

Where S^l is a sequence of analysed data, $d(\cdot)$ is a specific output or feature representation of the Distinguisher, X_{real} is the real data sequence, and X_{fake} is the fake data sequence created by the Producer. While in the reference work, a specific CNN architecture was chosen as the Discriminator model D , in this

work, the architecture of the Discriminator adopts a more comprehensive and hybrid approach. Rather than sticking to a single model type, our Discriminator is designed to incorporate various deep learning layers such as Convolutional Neural Networks (CNN), Long Short Term Memory (LSTM) networks, Gated Recurrent Units (GRU), and general Recurrent Neural Networks (RNN).

This hybrid structure aims to enable the Discriminator to more effectively capture different types of features and patterns in the time series data it receives as input (both the real market data 'High Price' and 'Low Price' series and the synthetic price series generated by the Manufacturer):

CNN layers: Especially effective in extracting local patterns and short-term fluctuations in time series.

LSTM and GRU layers: These recurrent neural network types excel at modelling long-term dependencies and sequential information in time series.

General RNN layers: The Discriminator can also incorporate simpler recurrent structures.

The data passing through various layers is ultimately processed in the last layer of the discriminator, typically using a sigmoid activation function. This allows the Discriminator $D(S')$ to recognize that S' produces a differentiable value between 0 and 1, reflecting the probability that the array is 'real'. This probability value $D(\cdot)$ is utilized in the loss function, and suitable activation functions can be selected in the intermediate layers to minimize the risk of gradient bursting.

In particular, we determine whether the data in the array $S=[s_1, s_2, \dots, s_t]$ is fake.

The main objective of the GAN architecture proposed in this study is to maximize the discriminator's ability to distinguish

and minimize the difference between the data generated by the generator and the real data. The loss function of the model that manages this adversarial learning process is given by the Equation.

It is as shown in (8):

$$\min_G \max_D \mathcal{L}(G, D) = E[\log D(X_{real})] + E[\log 1 - D(X_{fake})]$$

Here $p_{data}(X_{real})$ is the distribution of the real data, and $p_G(X_{fake})$ is the distribution of the data generated by the Generator (i.e. $X_{fake}=G(z)$, where z is a noise vector). $E(\cdot)$ is the expected value operator. The Discriminator D tries to maximise this expression, while the Generator G tries to minimise it.

4. MODEL CONFIGURATION

In the proposed TSGAN framework, the architecture of the discriminative model is critical to effectively distinguish the time series submitted by the Producer from the actual market data. In order to optimise the performance of the model in this key task, instead of sticking to a single discriminator architecture, various architectures have been designed and experimentally evaluated to compare the effectiveness of different deep learning approaches. As a result of extensive hyperparameter tuning and performance analyses on the validation set, the structures and training parameters of the discriminant variations detailed below were determined to provide the most promising results.

All Discriminant models basically take as input time series sequences of four basic financial characteristics (Opening, Closing, High, Low) in the form of (lot_size, sequence_length, 4). The default sequence length (seq_length) is usually set to 30, although other lengths have been tested in some architecture experiments. All Discriminant models were compiled with the

binary_crossentropy loss function, which is standard for the binary classification task, and the probability of the input being "true" (a value between 0 and 1) was generated using a sigmoid activation function in the output layers.

4.1. GRU-Based Discriminator

The first architecture evaluated for the Discriminator is based on Gated Recurrent Units (GRU). This model consists of two GRU layers followed by a Dense output layer. The input sequence is (batch_size, 30, 4), and the first GRU layer processes the entire temporal sequence with 64 units (return_sequences=True) and passes it to the next layer. The second GRU layer contains 32 units and outputs only the last time step (return_sequences=False) to extract a final feature representation from the sequence. Finally, the dense layer, consisting of a single neuron, calculates the probability of accurate data with a sigmoid activation function. Adam optimiser (1×10^{-4} learning rate, ($\beta_1 = 0.5$) and a batch size 32 were used for training this model.

4.2. LSTM-Based Discriminator

A Long Short-Term Memory (LSTM) based Discriminator was tested as another recurrent neural network approach. This architecture includes two LSTM layers and one dense output layer. The input sequence is 50 time steps long for this variant (batch_size, 50, 4), the first LSTM layer is configured with 64 units, and the second LSTM layer with 32 units; the return_sequences parameters are the same as in the GRU model. The output layer is a single neuron, also with sigmoid activation. The model was trained with the Adam optimiser (2×10^{-4} learning rate, ($\beta_1 = 0.5$), and different batch sizes, such as 8 and 32 were tested experimentally.

4.3. Simple RNN Based Discriminator

A Distinguisher model was also created with standard Recurrent Neural Networks (RNN), a basic form of recurrent network. This model consists of two RNN layers and one dense output layer. Similar to the LSTM-based discriminator, input sequences of 50 time steps in length (batch_size, 50, 4) are used. The first RNN layer contains 64 units; the second RNN layer contains 16 units; the return_sequences settings are parallel to other RNN-based models. A single neuron provides the output with sigmoid activation. For the optimisation of this model, the Adam optimiser (2×10^{-4} learning rate, ($\beta_1 = 0.4$)) was preferred, and batch sizes of 8 and 32 were tried in training.

4.4. CNN Based Discriminator

Finally, a Discriminator based on Convolutional Neural Networks (CNN), known for its ability to capture local patterns and hierarchical features in time series, is also evaluated. This model takes sequences of the form (batch_size, 30, 4) as input. The architecture consists of two 1D Convolutional Neural Network (Conv1D) layers, one GlobalMaxPooling1D layer, and two Dense layers for feature classification. The first Conv1D layer contains 64 filters, and the second Conv1D layer includes 128 filters, both with kernel size 3, relu activation function, and same padding. The GlobalMaxPooling1D layer extracts the most salient features from the convolutional feature maps. A 64-unit follows this relu-activated Dense layer to further process the features, and finally, a single sigmoid-activated output neuron. This CNN-based discriminator is trained with the Adam optimiser (learning rate 2×10^{-4} , ($\beta_1 = 0.5$)) and a batch size of 8. The systematic testing of these different discriminator architectures and comparing their performance allowed us to understand how effectively the proposed TSGAN model can discriminate various temporal and structural patterns and

determine the most appropriate discriminator structure. The discriminator used in the final model, or the best-performing discriminator, was selected based on these extensive experimental studies.

5. APPLICATION

5.1. Data Acquisition and Characterisation

The empirical data set used in this study includes daily stock prices of General Electric Company, which is traded on the New York Stock Exchange (NYSE) under the ticker symbol GE. The time series data included in the analysis was obtained from vesting.com, starting from the beginning of the period between March 18, 1980, and May 9, 2025. This extensive time range provides the necessary depth and diversity of data required for training deep learning models. The daily observation includes five key financial indicators: date, opening price, intraday high price, intraday low price, and closing price.

5.2. Data Preprocessing and Partitioning

Stock price data undergoes rigorous preprocessing to ensure that deep learning models can learn effectively and produce reliable results. First, missing values in the dataset were identified and managed. In the analyzed time series, a few missing data points were observed in the early periods corresponding to the first years. To address these missing values, an imputation model was applied that calculates the median value of the existing observations for the month in which each missing value occurs (Little and Rubin, 2019). The median value was preferred to the mean value because it is more resistant to outliers and less distorts the data distribution (Gelman & Hill, 2007). This approach aims to minimise biases that may arise from missing data while maintaining the continuity of the time series. In the data scaling

phase, a normalisation technique was applied in order to eliminate the negative effects of different ranges of selected features (Opening, Closing, High, Low) on model training and to improve the convergence process. Although the commonly used Min-Max scaling method compresses the data to a certain range (usually [0, 1]), it is known that it can misleadingly improve the generalisation performance of the model, especially by leaking information about the test data (data leakage) (Goodfellow et al., 2016). To avoid this potential problem, the Standard Scaler was used in our study. The Standard Scaler transforms each feature to have a mean of 0 and a standard deviation of 1 (i.e. $z = (x - \mu) / \sigma$). This transformation was applied to both training and test data using only the mean (μ) and standard deviation (σ) values calculated on the training data. In this way, any information from the test data was prevented from leaking into the training process, and the model's actual performance on unseen data was evaluated more reliably.

The four scaled key features (Opening, Closing, High, Low) are arranged in a sliding window technique to form input sequences (X) containing the past w time steps and the target value (usually the closing price, y) at the following time step, preserving the time series structure. Finally, the data set was divided into three subsets in chronological order, as a generally accepted practice, with 70% training data, 10% validation data and 20% test data. In the model's training process, an early stopping mechanism was used to prevent the overfitting problem and to increase the model's generalization ability on unseen data (Prechelt, 1998; Goodfellow et al., 2016). In this technique, the model's performance is monitored on a validation dataset at the end of each epoch. The training process is automatically terminated when the performance on the validation set (e.g. validation loss or a specific metric) does not improve for a certain number of epochs (patience parameter). In this way, it is aimed to

prevent the model from memorising the training data and underperforming on the test data. The best performing model weights were saved and used as the final model.

5.3. Error Metrics Used In The Study

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE calculates the mean absolute percentage of forecast errors, helping to understand the relative size of errors, expressed as a percentage. This metric is especially useful for comparing errors across datasets with different scales. MAPE is calculated as follows:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100$$

where:

y_i represents the actual value,

$\hat{y}_i$ represents the predicted value,

n denotes the number of data points.

In many studies, model predictions are considered accurate if the MAPE is below 10% (Makridakis et al., 1998).

Mean Absolute Error (MAE)

MAE measures the average absolute difference between predicted values and actual values, indicating the overall magnitude of errors. Unlike MSE, MAE treats all errors equally, calculated as:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

where:

y_i represents the actual value,

$\hat{y}_i$ represents the predicted value,

n is the number of data points.

MAE is measured in the same units as the data, which aids in interpretation (Willmott and Matsuura, 2005).

Root Mean Squared Error (RMSE)

RMSE is obtained by taking the square root of MSE, which normalizes the error metric to the same units as the data. RMSE is calculated as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

RMSE is sensitive to large errors, making it useful for understanding how well a model can handle significant deviations. It is often easier to interpret than MSE because it is in the same units as the predicted variable (Willmott & Matsuura, 2005).

R-squared (R^2)

R^2 is a statistical measure that indicates how well the independent variables explain the variance in the dependent variable. It ranges from 0 to 1, where a higher R^2 suggests that the model better explains the variability in the dependent variable. The formula for R^2 is:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

where:

y_i represents the actual value,

$\hat{y}_i$ represents the predicted value,

$\bar{y}$ represents the mean of the actual values.

R^2 measures the model's explanatory power, making it useful for comparing model performance. A high R^2 value indicates that the model can effectively account for the influence

of the independent variables on the dependent variable (Montgomery et al., 2012).

6. RESULTS

In this section, the performance of the proposed TSGAN model with different Discriminator architectures is first evaluated in terms of internal variations (examining the Discriminator effect with an ablation study-like approach). According to various evaluation criteria defined in Section 4, the results of TSGAN models with different Discriminator architectures (CNN, RNN, LSTM, GRU) are presented comparatively.

Table 1. Performance Evaluation of Models

Model	MAE	RMSE	MAPE	R ²
TSGAN-CNN	0.027	0.030	13.63%	0.954
TSGAN-RNN	0.218	0.029	73.51%	0.958
TSGAN-LSTM	0.282	0.035	78.27%	0.948
TSGAN-GRU	0.035	0.040	17.85%	0.922

When Table 1 is analysed, it is clear that the TSGAN-CNN model (TSGAN using CNN as a discriminator) shows an overall superior performance compared to the other variants. TSGAN-CNN achieved the lowest error rates and the highest R² score with 0.027 MAE, 0.030 RMSE, 13.63% MAPE, and 0.954 R² values. These metrics show that the model's predictions on the test data are quite close to the actual values and can explain a large part of the variance. In contrast, the TSGAN-RNN and TSGAN-LSTM models exhibited significantly higher error rates, especially in the MAE and MAPE metrics. The TSGAN-RNN model achieved 0.218 MAE and 73.51% MAPE values, while the TSGAN-LSTM model achieved the highest error rates with 0.282 MAE and 78.27% MAPE. Although the TSGAN-RNN model achieved one of the lowest RMSE values with 0.029 RMSE and the highest R² score with 0.958 R², the high MAE and MAPE values suggest that the model may have large biases in some

predictions or that the overall error distribution is wider. A high R^2 indicates that the model may successfully capture the overall trend, but the accuracy in individual predictions is better reflected by MAE and MAPE.

The TSGAN-GRU model exhibited slightly higher error rates compared to TSGAN-CNN, with MAE of 0.035, RMSE of 0.040, and MAPE of 17.85%, but it significantly outperformed TSGAN-RNN and TSGAN-LSTM. The R^2 value of 0.922 indicates that the model explains a significant portion of the variance, but not as high as TSGAN-CNN and TSGAN-RNN.

Potential Reasons for the Superiority of CNN-Based Discriminant: There are several potential reasons why the TSGAN-CNN model outperforms other recurrent neural network-based discriminator variations:

Effective Detection of Local Patterns and Feature Hierarchies: CNNs are particularly effective in detecting short- and medium-term local patterns, trends, and structural features (e.g., certain price patterns) in time series. Convolutional filters hierarchically learn such features by sliding over the input sequence. Stock price movements often involve such local dynamics, and the CNN-based Discriminator may have better assessed the realism of such subtle patterns in the sequences produced by the Generator.

Attribute Learning Capacity: CNNs are powerful in learning meaningful features directly from the raw data. This allows the Discriminator to identify key discriminative features in input sequences without manual intervention. These attributes may have provided a stronger feedback signal for the Generator to produce more realistic series.

Computational Efficiency and Parameter Sharing: Parameter sharing in CNNs (using the same filter across the entire input) allows the model to learn complex patterns with fewer

parameters, which can lead to better generalisation performance on certain data sets. Also, in certain applications, their more parallel processing compared to RNNs may affect their training process.

Robustness to Noise: Pooling layers in CNNs (GlobalMaxPooling1D is used in this study) can provide some robustness to noise while making feature representations more compact. This may have helped the discriminator focus on more stable signals.

Nature of the Distinguisher Task: The main task of the Discriminator is to determine whether a sequence is "real" or "fake". For this task, the overall statistical properties of the sequence, its local coherence, and the presence of certain characteristic patterns may be more important than the complex long-term dependencies of the overall temporal flow in the sequence. CNNs may be more advantageous than RNNs in capturing such features, whereas RNNs are more prominent in situations where complex modelling of sequential dependencies is required.

7. CONCLUSION

In conclusion, our experimental findings show that using a CNN-based Discriminator in the proposed TSGAN framework provides lower prediction errors and better model fit for complex time series data such as stock price.

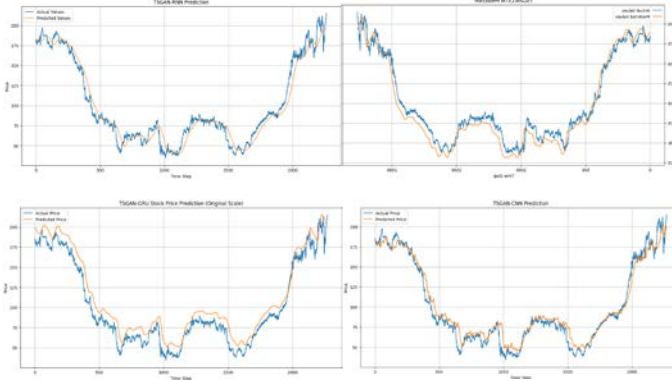


Figure 2. Prediction plots of the models

In addition to the quantitative evaluation of the prediction performance of the proposed TSGAN model with different Discriminator architectures, Figure 2 visualises the actual and predicted price series to qualitatively examine the model's behaviour on the test dataset. When the four sub-graphs in Figure 2 are analysed, it is observed that all models tend to follow the general direction of the stock price to a certain extent during the test period. However, the fit of the predicted series to the actual price movements and the success of capturing the details vary significantly from model to model. In the TSGAN-RNN Prediction and TSGAN-LSTM Prediction graphs (top left and top right, respectively), it can be seen that the predicted price series (orange line) exhibits a smoothed character compared to the actual price series (blue line) and has difficulty in capturing short-term fluctuations and sudden price changes. Although these models try to follow the general trend, they show deviations from actual values, especially during periods of high volatility or sharp turning points. This is consistent with the high MAE and MAPE values presented in Table 1, which indicate that the average error magnitude and percentage error are high. The TSGAN-GRU Stock Price Prediction (Original Scale) plot (bottom left) shows that the GRU-based Discriminant model produces predictions slightly closer to the actual price movements than the RNN and

LSTM. Although the forecast line tries to reflect some short-term fluctuations better, there is still some lag and divergence from the actual values in certain periods. The TSGAN-CNN Prediction graph (bottom right) shows the most remarkable performance. The predictions produced by the TSGAN model trained with the CNN-based Discriminator are much closer to the actual price series than the other models. This model seems to capture both general trends and short-term price movements more successfully. In particular, it appears to react more quickly to sudden rises and falls in prices and to better model volatility. The lowest MAE, RMSE, and MAPE values in Table 1 also support the visual agreement between predicted and actual values. This qualitative analysis suggests that the CNN-based Discriminator may be more effective than other recurrent network-based Discriminators in encouraging the Producer to produce more realistic and detailed price series. CNNs' ability to extract local patterns and features has played an important role in capturing the subtle dynamics in financial time series. However, all models may have limitations, especially in unpredictable market shocks or unusual events.

REFERENCES

- Bahdanau, D., Cho, K., & Bengio, Y. (2015). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR).
- Fan, Y., Tang, Q., Guo, Y., & Wei, Y. (2024). BiLSTM-MLAM: A multi-scale time series prediction model for sensor data based on Bi-LSTM and local attention mechanisms. *Sensors*, 24(12), 3962. <https://doi.org/10.3390/s24123962>
- Gelman, A., & Hill, J. (2007). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Lee, M.-C., Chang, J.-W., Yeh, S.-C., Chia, T.-L., Liao, J.-S., & Chen, X.-M. (2022). Applying attention-based BiLSTM and technical indicators in the design and performance analysis of stock trading strategies. *Neural Computing and Applications*, 34(16), 13267–13279. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06828-4>
- Li, P., Wei, Y., & Yin, L. (2025). Research on stock price prediction method based on the GAN-LSTM-Attention model. *Computers, Materials & Continua*, 82(1), 609–625. <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.056651>
- Little, R. J. A., & Rubin, D. B. (2019). *Statistical analysis with missing data* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Liu, Y., Huang, X., Xiong, L., Chang, R., Wang, W., & Chen, L. (2025). Stock price prediction with attentive temporal convolution-based generative adversarial network. *Array*, 25, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100374>

- Lu, W., Li, J., Wang, J., & Qin, L. (2021). A CNN-BiLSTM-AM method for stock price prediction. *Neural Computing and Applications*, 33, 4741–4753. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05532-z>
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: methods and applications*. John Wiley & Sons.
- Mushunje, L., Allen, D., & Peiris, S. (2023). Volatility and irregularity Capturing in stock price indices using time series Generative adversarial networks (TimeGAN). *arXiv preprint arXiv:2311.12987*.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Prechelt, L. (1998). Early stopping-but when?. In *Neural Networks: Tricks of the Trade* (pp. 55-69). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Somuncu, E., & Atasoy, N. A. (2022). Realization of character recognition application on text images by convolutional neural network. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ*, 37(1), 17-27. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.866552>
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in neural information processing systems (NIPS)*, 30.
- Wang, J., & Chen, Z. (2024). Factor-GAN: Enhancing stock price prediction and factor investment with Generative Adversarial Networks. *Plos one*, 19(6), e0306094. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103126>

- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>
- Yoon, J., Jarrett, D., & Van der Schaar, M. (2019). Time-series generative adversarial networks. *Advances in neural information processing systems*, 32.
- Yun K, Yoon S, Won D (2021) Prediction of stock price direction using a hybrid ga-xgboost algorithm with a three-stage feature engineering process. *Expert Syst Appl* 186:115716. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115716>
- Zhou, X., Pan, Z., Hu, G., Tang, S., and Zhao, C. (2018). Stock market prediction on high-frequency data using generative adversarial nets. *Math. Probl. Eng.* 1,1-11. doi: 10.1155/2018/4907423

NİCEL KARAR YÖNTEMLERİ DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com