

LOJİSTİK

DERGİSİ

www.loder.org.tr Basılı ISSN: 2564-7245 Elektronik ISSN: 2630-5704

YIL 21 • Sayı 59 • Haziran 2024

LOJİSTİK DERNEĞİ'NİN (LODER) RESMİ YAYIN ORGANI

**KÖRFEZ ÜLKELERİNDE DEMİRYOLU ULAŞTIRMASI VE
LOJİSTİĞİNİN GELECEĞİ: SİSTEMATİK BİR ANALİZ**

**YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN ESNEK
İŞLEMSEL ZEKA YAKLAŞIMI**

**E-TİCARET İLE SATILAN ÜRÜNLER İÇİN STOK KONTROL
MODELİ OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA**

**TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ AÇISINDAN
ENDÜSTRİ 5.0'I MÜMKÜN KILAN ETMENLERİN SÜT
TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN ANALİZİ**

LODER adına sahibi

Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (LODER Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı)

Editör

Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN (LODER Yönetim Kurulu Başkanı)

Yayın Kurulu

Prof. Dr. A. Zafer ACAR (İstanbul Bilgi Üniversitesi)
Prof. Dr. Birdoğan BAKİ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN (Galatasaray Üniversitesi)
Prof. Dr. Orhan FEYZİOĞLU (Galatasaray Üniversitesi)
Prof. Dr. Elif KONGAR (New Haven Üniversitesi)
Prof. Dr. İskender PEKER (Gümüşhane Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ (Maltepe Üniversitesi)
Prof. Dr. Okan TUNA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Umut Rifat TUZKAYA (Yıldız Teknik Üniversitesi)
Prof. Dr. Füsün ÜLENGİN (Sabancı Üniversitesi)

Yayın Türü

Yerel Süreli Yayın
Yılda İki Sayı (Haziran - Aralık)
Basılı ISSN: 2564-7245
Elektronik ISSN: 2630-5704

Dizinlenme

Lojistik Dergisi 2021 yılı itibari ile TUBİTAK-ULAKBİM TR Dizin Veri Tabanında
dizinlenmektedir.

Yayın Adresi

Lojistik Derneği, Barbaros Mah. İhlamur Bul. Ağaoğlu My Newwork No:3/15 Ataşehir 34746
İstanbul, Türkiye
Telefon: 0536 379 80 80
Faks: 0850 522 34 03
www.lojistikdergisi.org

Lojistik Derneği'nin (LODER'in) yayını olan Lojistik Dergisi, hakemli bir bilimsel araştırma dergisidir.
Bilimsel makale gönderimi ile ilgili gerekli bilgilere <https://lojistikdergisi.org/makale-gonder>
adresinden ulaşabilirsiniz.

Değerli Okuyucular,

Dergimizin bu sayısında araştırma türünde dört makale yer almaktadır.

Doç. Dr. Sedat Yüksel, Körfez İşbirliği Konseyi üyesi ülkelerde demiryolu ulaşımının geleceğini uzman ve sektör temsilcilerinin görüşleri yardımıyla analiz etmiştir. SWOT yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve sınıflandırılmıştır. Çalışma, Körfez Bölgesi için geniş bir karar verme ve operasyonel etkinlik çerçevesi sunmaktadır. Analiz sonucunda, demiryolu ulaşımının güçlü yanları ve fırsatları vurgulanırken, Avrupa Birliği'ne kıyasla daha zorlu bir başlangıç ve süreç yönetimi gerektirdiği tespit edilmiştir.

Doç. Dr. Fethullah Göçer makalesinde, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliği sağlamak ve verimliliği artırmak için yeşil tedarik zinciri yönetimi ile bulanık temelli çok kriterli karar verme yaklaşımlarını entegre etmiştir. Esnek işlemsel zeka modeli çok kriterli karar verme ortamında kullanılmış ve tedarikçi adayları yeşil tedarik zinciri yönetimi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın son bölümünde önerilen modelin geçerliliği ve güvenilirliği, açıklayıcı bir örnekle ve mevcut karar verme yöntemleriyle karşılaştırılarak gösterilmiştir.

Ekin Fırat Kaplan ve Dr. Öğr. Üyesi Emin Başar Baylan makalelerinde e-ticaret aracılığıyla satış yapan depo sahibi firmalar için talebin olasılıksal olduğu bir stok kontrol modelinin geliştirilmesine odaklanmışlardır. Bu doğrultuda (Q,R) stok kontrol modeli kullanılarak bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen stok kontrol modelinin mevcut duruma kıyasla daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Ayça Maden makalesinde, süt tedarik zincirindeki kritik sorunların Endüstri 5.0 teknolojileri ile nasıl çözülebileceğini ve hangi teknolojilerin en etkili olduğunu araştırmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, süt üretimi yapan bir firmanın tedarik zincirinde karşılaşılan sorunlar Delphi yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve en kritik problemler tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise, belirlenen sorunlara yönelik Endüstri 5.0'ın uygulanabilirliğini sağlayan etmenler ARAS yöntemi ile önceliklendirilmiştir.

Makalelerin yazarlarına ve makalelerin değerlendirilme sürecinde kıymetli zamanlarını ayırarak destek veren hakemlere teşekkür ederiz.

Dergimizin tüm okuyucular için faydalı olmasını ve ilgili araştırmacıların bilimsel çalışmalarına katkıda bulunmasını temenni ederiz.

Saygılar.

Prof. Dr. Gülçin Büyüközkan
Lojistik Dergisi Editörü

İÇİNDEKİLER

KÖRFEZ ÜLKELERİNDE DEMİRYOLU ULAŞTIRMASI VE LOJİSTİĞİNİN GELECEĞİ: SİSTEMATİK BİR ANALİZ

[Araştırma Makalesi]

Sedat YÜKSEL

1

YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN ESNEK İŞLEMSEL ZEKA YAKLAŞIMI

[Araştırma Makalesi]

Fethullah GÖÇER

17

E-TİCARET İLE SATILAN ÜRÜNLER İÇİN STOK KONTROL MODELİ OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA

[Araştırma Makalesi]

Ekin Fırat KAPLAN, Emin Başar BAYLAN

40

TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ AÇISINDAN ENDÜSTRİ 5.0'I MÜMKÜN KILAN ETMENLERİN SÜT TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN ANALİZİ

[Araştırma Makalesi]

Ayça MADEN

56

KÖRFEZ ÜLKELERİNDE DEMİRYOLU ULAşTIRMASI VE LOJİSTİĞİNİN GELECEĞİ: SİSTEMATİK BİR ANALİZ

Sedat YÜKSEL

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Afyonkarahisar, Türkiye,
s.yuksel@aku.edu.tr
ORCID: 0000-0001-8321-4861

ÖZET

Bu çalışmada, Körfez İşbirliği Konseyi Üyesi Ülkelerde demiryolu ulaştırmasının geleceğinin, hem ulusal hem de bölgesel bazda uzman ve sektör temsilcilerinin görüşlerinden hareketle eleştirel bir analizi amaçlanmıştır. İkincil veri kaynaklarından elde edilen akademisyen, uzman, sektör temsilcisi, kamu yetkilisi ve profesyonellerin konu özelindeki görüşleri, SWOT Analizi kullanılarak tematize edilmiş, yorumlanmış, sınıflandırılmıştır. Çalışmanın çıktıları, henüz yeterli araştırma ve çalışmanın olmadığı Körfez Bölgesi için geniş bir perspektifle karar verme ve operasyonel etkinlik çerçevesi sunmaktadır. Analiz sonucunda demiryollarının diğer modellere karşı açık ve net güçlü yanları ve fırsatları bir yana, Körfez İşbirliği Konseyi'nin demiryolu ulaştırmasında ilham ve motivasyon kaynağı olan Avrupa Birliği'nin tecrübesine göre daha zor bir başlangıç, zorlu bir süreç yönetimi ve zorlu rakiplerle karşı karşıya olduğu kapsamlı ve detaylı olarak görülebilmektedir. Bu bağlamda, üye ülkelerin ülke çapındaki projeleri, Körfez bölgesi için ortak bir demiryolu koridoru veya ağ projesinden daha ileriye dönük ve umut verici görünmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, Demiryolu Koridoru, Körfez İşbirliği Konseyi, Lojistik, Ulaştırma.

A SYSTEMATIC ANALYSIS ON RAILWAY TRANSPORTATION AND LOGISTICS IN THE GULF COUNTRIES

ABSTRACT

In this study, a critical analysis of the future of railway transportation in the Gulf Cooperation Council Member Countries is aimed, based on the opinions of experts, professionals etc. both nationally and regionally. The opinions of academicians, experts, public officials, and professionals obtained from secondary data sources were thematized, interpreted and classified using SWOT Analysis. The outcomes of the study provide a decision-making and operational framework within a broad perspective for the Gulf Region, where there is not yet sufficient research and study. As a result of the analysis, aside from the clear strengths and opportunities of the railways against other modes, it seems that, the Gulf Cooperation Council has a more challenging start and process management as well as tougher competitors than the European Union, which is the source of inspiration and motivation in regional railway network. In this context, nationwide projects of member countries seem more forward-looking and promising than the Gulf railway corridor project.

Keywords: Railway, Rail Corridor, Gulf Cooperation Council, Logistics, Transportation.

Yayın Künyesi: S. YÜKSEL, "Körfez Ülkelerinde Demiryolu Ulaştırması ve Lojistiğinin Geleceğİ: SistematiK Bir Analiz", Lojistik Dergisi, Yıl 21, Sayı 59, Sayfa 1-16, Haziran 2024.

Makale Geçmişi: Geliş: 14.05.2023 / Kabul: 22.12.2023
Article History: Received: 14.05.2023 / Accepted: 22.12.2023

1. GİRİŞ

Görece olarak daha gelişmiş lojistik kapasite ve yeteneklere sahip ülkelerin daha fazla doğrudan yabancı yatırım çekebildikleri, işlem maliyetlerini düşürebildikleri, ihracat yapılarını çeşitlendirebildikleri ve daha hızlı büyüdükleri gözlenmektedir (Memedovic vd., 2008). Genel lojistik üstünlükten daha spesifik olarak demiryolu lojistiğinin özellikle diğer ekonomik sektörlerin gelişmesine katkı sağlaması, aynı zamanda büyük bir iş gücü istihdamı yaratması, ulusal ekonomiyi güçlendirmesi (Jianjun, 2012), büyümeyi hızlandırması ve tüm bunları sağlarken diğer lojistik formlarından farklı olarak karbon emisyonlarını azaltması (Asensio, 2000), ulusal hedeflere ulaşmada yararlı bir araç olarak dikkat çekmesine neden olmaktadır. Demiryolu lojistiğinin rekabetçi üstünlüğü, özellikle operasyonel anlamda kamu ve özel sektörlerinin birlikte gelişmesine de imkan sağlamaktadır (Tome vd., 2014).

Körfez İşbirliği Konseyi (KİK) 1981 yılında Bahreyn, Kuveyt, Umman, Katar, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) tarafından kurulmuştur. KİK Tüzüğü, KİK'in temel amaçlarını "Üye Devletler arasında tüm alanlarda birliği sağlamak için koordinasyon, entegrasyon ve karşılıklı bağlantıyı etkin hale getirmek" ve " halkları arasında halen çeşitli alanlarda devam eden işbirliği, ilişkileri ve bağları derinleştirmek" olarak belirtmektedir (the Gulf Cooperation Council, 1981: Md.4). Bu hedefler doğrultusunda, 2001 yılında üye devletler tarafından imzalanan KİK Ülkeleri Arasındaki Ekonomik Anlaşma, "altyapı projeleri ve ulaşım, iletişim, elektrik, bilgi teknolojisi, sağlık, eğitim, turizm, petrol ve gaz endüstrisi gibi temel projeler için entegre ekonomik politikaların adapte edilmesini" (the Gulf Cooperation Council, 2001: Bölüm 4. Md.12); ve ulaşım, iletişim ve altyapı alanındaki projelerin öncelikli alanlar olduğunu deklare etmiştir (the Gulf Cooperation Council, 2001: Bölüm 7, Md.21-23).

Kuruluşundaki motivasyon ve yüksek hedefler KİK Üyesi Ülkeleri, AB sürecinden aldıkları esinle birleşince, Körfez Bölgesinde birçok ortak projenin gündeme gelmesine neden olmuştur. Bu projelerden birisi ve belki en iddialı ve maliyetli olanlarından birisi KİK Ortak Demiryolu Ağı Projesidir.

KİK Demiryolu Projesi, KİK'in en yüksek organı olan Yüksek Konsey tarafından 2009 yılında onaylanmıştır. Resmi adı KİK Demiryolu olan proje tamamlandığında, altı KİK Ülkesini 2177 km'lik bir demiryolu hattı ile birbirine bağlayacaktır. Kuzeyde Kuwait City'den (Kuveyt) başlayan demiryolu hattı tamamlandığında, Jubail ve Dammam'dan (Suudi Arabistan) geçerek Manama (Bahreyn) ve Doha'ya (Katar) ulaşacaktır. Aynı hattın yine Suudi Arabistan topraklarından, BAE'nin Abu Dhabi, Dubai ve Fujairah şehirlerini dolaşarak, Muscat'taki (Umman) terminal istasyonuna ulaşması planlanmıştır. KİK Demiryolu Projesinin 2028 yılında faaliyete geçmesi beklenmektedir (Mahendran ve Pillai, 2016; Tayyeb vd., 2019).

Demiryolu lojistiği ile ilgili, hem firma hem de son kullanıcı açısından maliyetleri düşürdüğü ve dünya çapında tedarik zinciri operasyonlarını basitleştirdiği için etkili tedarik zincirleri için gerekli olduğuna dair dünya genelinde bir çok çalışma olsa da (Maes ve Vanelstlander, 2011), Körfez Bölgesi'nde nispeten yeni bir ulaşım şekli (Mahendran ve Pillai, 2016) olduğundan bu alana ve bölgeye özgü oldukça az sayıda akademik çalışmaya rastlanmaktadır.

Çeşitli yayın organlarında yayınlanan uzman, akademisyen ve profesyonellerin görüşlerine dayanarak, genelde KİK Üyesi Ülkelerde demiryolu ulaştırmasının geleceğini hem ulusal hem de bölgesel bazda lojistik yönetimi perspektifiyle ortaya koymaya çalışırken, daha yakın planda bu geleceği şekillendirebilecek bir realite olarak KİK Demiryolu Projesinin rasyonelliğini objektif bir metodoloji ile tematize edip karar vericilere sistematik bir bakış açısı sunmaya dönük bu çalışma, öncelikle global ölçekten bölgeye demiryolu lojistiği ile ilgili literatürün gözden geçirilmesi ile başlamaktadır. Bir sonraki aşamada, akademik çalışmaların yanısıra erişilebilir ikincil açık veri kapsamında olan, Körfezde demiryolu taşımacılığı ve lojistiği ile ilgili son yirmi yıldır sahada devam eden tartışmalar tematik olarak analiz edilerek, benzerlikler ve farklılıklar SWOT Analizi sistemiyle içerisinde tablolatırılmıştır.

Detaylı tematik analiz; farklı zamanlarda, mecralarda ve motivasyonlarla ortaya konulmuş uzman ve paydaş görüşlerinin, hem birarada

holistik bir bakış açısı ile hem de sınıflandırılmış olarak analitik bir bakış düzlemde değerlendirilebilmesi imkanı sağlamıştır. Körfez ekosisteminin yanı sıra siyasi, fiziksel, coğrafi özellikler açısından, demiryolu koridorları ve demiryolu lojistik operasyonlarının değerlendirilebilmesi, hem genel perspektifte hem de özel bağlamlarda demiryolu lojistiğine ilişkin uzman görüşlerini deneyim ve uygulamalarının analiz edilmesi için tematik bir karar çerçevesi sunabilecektir.

Makale beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünün ardından 2. Bölümde literatür araştırması, 3. Bölümde çalışmanın amacı, yöntemi ve analiz çıktıları, 4. Bölümde çalışma ile ilgili tartışma ve 5. Bölümde son değerlendirme verilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ulusal ekonomilerde verimlilik ve küresel rekabet gücünü artırmanın bir yolu olarak demiryolu taşımacılığının önemi vurgulanırken (Giusti vd., 2019), demiryolu taşımacılığı ile diğer ilgili hizmet sağlayıcılar arasında entegre hizmetlerin rolü ve potansiyeli de önemli bir koşul olarak ileri sürülmektedir (Cantelmo vd., 2022). Korovyakovsky ve Szoltysek'in (2006) belirttiği gibi, piyasalar genellikle endüstri ihtiyaçlarını karşılamak için yeniden yapılandırılmış demiryolu hizmetlerine olumlu tepki verse de, endüstri beklentileri ile demiryolları tarafından sağlanan hizmet standartları arasındaki boşluk kısa vadede doldurulamamaktadır. Jarašūnienė vd. (2020), demiryolu taşımacılığı ve lojistik endüstrilerini geliştirmek, dolayısıyla rekabet gücünü ve ekonomik değeri artırmak amacıyla ekonomik araştırmaların yürütülmesi için temel bir çerçeve sunarken, demiryolu taşımacılığı ve buna entegre hizmetlerin, hem yerel hem de global ölçekte lojistik sektöründeki uluslararasılaşma çabalarında çok önemli işlevler üstlenebileceğini ifade etmektedirler.

Demiryolu lojistiğinin küresel pazarı özümsemesi ve sınırötesi operasyonlarını genişletmesi önem arz etmektedir (Yan, 2022). Bu kapsamda Yüksek Hızlı Tren (YHT) demiryolu ulaştırması ve lojistiği açısından çarpıcı açılımlar sağlama potansiyeline

sahiptir. YHT ulaşım sistemi, dünya çapında önemli bir ekonomik öneme sahip olup, elverişli bir gelişimsel bağlamdan ve sağlam bir altyapıdan avantajlar sağlamaktadır (Zhong vd., 2021). Bununla birlikte YHT sistemlerinin güvenlik, verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik, kolaylık ve konfor açısından önemli iyileştirmelerden geçmesi beklenmektedir (Zhong vd., 2021; Jabłoński, 2022). Demiryolu lojistiğindeki ilerlemeler, tüm yüksek hızlı demiryolu endüstrisini akıllı teknolojiye geçmeye zorlamaktadır (Rana vd., 2020). Bunun nedenlerinden olarak teslimat hızı, yakın işbirliği ve operasyonel esneklik gibi kriterlerin yanı sıra etkin risk yönetimi ve bilgi teknolojilerinin entegrasyonu gibi kriterlerin günümüzün yeni lojistik yetenekleri olarak değerlendirildiği ve salt düşük fiyat sunmanın önem derecesinin azaldığı ileri sürülmektedir (Özbekler ve Güçlü, 2021). Akıllı teknolojiye geçme nosyonu YHT operasyon ve hizmetlerine nesnelerin internetinin (IoT) entegre edilmesi, sensör teknolojisi, gömülü sistem teknolojisi, iletişim teknolojisi ve bulut bilişim dahil olmak üzere gelişmiş bilgi teknolojilerinin entegrasyonunu içermektedir (Zhong vd., 2021; López-Aguilar vd., 2022; Lin vd., 2023). Mevcut uygulamalar nesnelerin interneti ve büyük veri kullanımını ön plana çıkarırken, lojistikte blok zinciri ve siber fiziksel sistemlere artan eğilim de açıktır (Serdarasan vd., 2019).

Lakshmanan ve Anderson (2002), verimliliğin lojistik sistem için en önemli gösterge olduğunu belirtmektedir. Sürdürülebilirlik dikkate alındığında, sürdürülebilir yük taşımacılığı, verimli, çevre ve sosyal açıdan dost ulaşım anlamına gelir (Lopez-Ruiz, 2020). Dünyada karayolu ile taşınan yük, ton/kilometre hesabına göre toplamın sadece yüzde 20'sini oluştursa da, diğer modlara göre yüzde 70 daha fazla enerji tüketmektedir (International Energy Agency, 2019). Bu, demiryollarının karayollarına ve kamyonlara karşı rekabet avantajıdır. Ancak demiryollarının finansal sürdürülebilirliği dikkate alındığında, işletme maliyetlerini karşılayacak, yatırım yapacak, kaynak sağlayacak ve finansman ihtiyaçlarını karşılayacak uzun vadeli yeterli finansal kaynağa sahip olmadığı söylenebilir.

Sınırlı terminal erişimleri nedeniyle, demiryolları neredeyse her zaman diğer modellere ve

çoğunlukla karayolu taşımacılığına bağımlıdır (Kunaka ve Carruthers, 2014). Bu nedenle ülkeler arası koridor projeleri karayolu ve demiryolu birlikte düşünülerek planlanabilir. Her birinin avantajları birleştirilebilir ve etkili, çevre ve toplum dostu bir çözüm oluşturulabilir (Nazarko vd., 2006). Örneğin, demiryolu taşımacılığı hizmetlerinin, ticari yükleri şehir merkezlerine yönlendirmeye ve toplamaya, ardından daha uyarlanmış modeller kullanarak diğer nihai teslimat hizmetlerini planlamaya odaklanması gerekmektedir (Gonzalez-Feliu, 2014).

Genel olarak lojistik hizmetlerin verimliliği ve performansı düşünüldüğünde, serbest bölgeleri birbirine bağlayan koridorlar, uluslararası tedarik zincirlerinde lojistik faaliyetlere değer katmaktadır (Ziadah, 2018). Bir koridor projesiyle, ihracatı teşvik ederek ve ithalat maliyetlerini azaltarak veya verimli lojistikle desteklenen koridor boyunca ekonomik faaliyet kümeleri geliştirerek altyapı bağlantısını iyileştirmek, yükün verimli hareketini kolaylaştırmak ve ekonomik büyümeyi hızlandırmak amaçlansa da, ticaret koridorları ticari rekabet gücü ile ilgilidir ve bir alt bölgenin artan akışlardan fayda sağlayacak bir stratejisi yoksa, ticaret koridoru geliştirmekten beklediği faydayı elde edemeyebilir (Kunaka ve Carruthers, 2014).

Lojistik kapasitesi daha iyi olan ülkeler daha fazla doğrudan yabancı yatırım çekebildikleri, işlem maliyetlerini azaltabildikleri, ihracat yapılarını çeşitlendirebildikleri ve daha yüksek büyüme oranlarına ulaşabildikleri için (Memedovic vd., 2008), Körfez Ülkelerinin serbest ticaret bölgelerini birbirine bağlayacak olan Körfez demiryolu koridoru projesi gibi bir hedeflerinin olması şaşırtıcı değildir.

Durugbo vd. (2020), KİK Bölgesindeki tedarik zincirlerinin "ağ kaynaklarını stratejik olarak seçme ve entegre etme", "güvenilir bir şekilde sözleşme yapma ve yüksek kaliteli çözümler sunma" ve "operasyonel genişlemeleri uygun maliyetli bir şekilde kontrol etme ve finanse etme" dahil olmak üzere üç karmaşık yönetim zorluğuna sahip olduğunu belirtmektedir. Amerika Birleşik Devletleri gibi lojistik gelişmişlik düzeyi yüksek ülkelerde yerli ürünler için lojistik maliyetlerinin

yüzde 10 olduğu tahmin edilirken, lojistiği az gelişmiş ülkelerde yüzde 20 ve üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle Körfez'de diğer bazı lojistik modellerden demiryoluna geçiş kolay bir karar olmayacaktır. Örneğin, demiryolları deniz ulaşımından daha hızlıdır, ancak özellikle üye olmayan ülkelere yapılan deniz taşımacılığına kıyasla yük hacmi daha küçük ve maliyeti daha yüksektir (Mukhtarova ve Ospanov, 2018). Tayyeb vd. (2019), nakliyecileri model seçimlerini değiştirmeye teşvik ederken, üye devletlere kamyonlardan trenlere geçişi hızlandırıcı olarak vergilendirme ve geçiş ücretleri önermektedir.

KİK ülkelerinin çoğu lojistik performansta nispeten iyi durumdadır (International Monetary Fund, 2019). Önden vd. (2016), lojistik performansın bir ülkenin rekabet gücünü hızlandıran bir faktör olduğunu ve bu nedenle Dünya Bankası tarafından hazırlanan Lojistik Performans Endeksi (LPI) dahil olmak üzere çeşitli göstergeler kullanarak konumlarını değerlendirmeleri gerektiğine dikkat çekmiştir. Dünya Bankası'nın Lojistik Performans Endeksi, ticaretin ve ulaşım ile ilgili altyapının (örn. limanlar, karayolları, demiryolları, bilgi teknolojisi vb.) niteliğine ilişkin ülkelerin, gümrük, altyapı, uluslararası sevkiyat kolaylığı, lojistik hizmet kalitesi, izleme ve takip, vaktindelik gibi altı kriterin ve bunların ortalamasının anketeye dayanan 1 (en kötü) ile 5 (en iyi) arasında bir ölçekle derecelendirildiği, puanlandığı bir karşılaştırma sunmaktadır (the World Bank, 2022). Yakın zamanda Stojanović ve Puška (2021), çalışmalarında MABAC ve CRITIC yöntemlerini kullanarak KİK ülkelerini LPI'lerine göre karşılaştırmıştır.

Körfez Bölgesi, tüm ulaşım araçları arasında öncelikle kara taşımacılığına, daha sonra ise uçak ve deniz hareketlerine bağımlı hale gelmiştir (Mahendran ve Pillai, 2016). Bu nedenle Körfez demiryolu lojistiğinin, koridor geçişleri, sürdürülebilir teknolojiler ve malzeme uyumluluğunun sağlanması gibi konuları ele alacak ve hem farklı taşıma modlarının entegrasyonu (intermodal) hem de aynı lojistik operatör tarafından yönetilebilecek bir esneklikte (multimodal) olması gerekmektedir (Saif vd., 2016). KİK bölgesindeki demiryolu sektörünün ulusal düzeylerde farkındalık, motivasyon ve teşviklerle ilerlediğini görmek ve söylemek mümkündür.

Tablo 1: Körfez Ülkelerinin Lojistik Performans Endeks (LPI) Karşılaştırması (The World Bank, 2022)

Ülke		Ortalama	Gümrük	Altyapı	Gönderi Kolaylığı	Lojistik Hizmet Kalitesi	İzleme ve Takip	Vaktindelik
BAE	D. Sıra.	11	15	10	5	13	13	4
	Skor	3.96	3.63	4.02	3.85	3.92	3.96	4.38
Katar	D. Sıra.	30	38	27	9	31	30	36
	Skor	3.47	3.0	3.38	3.75	3.42	3.56	3.7
Umman	D. Sıra.	43	44	39	36	49	66	29
	Skor	3.2	2.87	3.16	3.3	3.05	2.97	3.8
Suudi Arabistan	D. Sıra.	55	66	43	56	57	46	67
	Skor	3.01	2.66	3.11	2.99	2.86	3.17	3.30
Bahreyn	D. Sıra.	59	63	68	55	58	60	68
	Skor	2.93	2.67	2.72	3.02	2.86	3.01	2.29
Kuveyt	D. Sıra.	63	56	45	98	67	96	59
	Skor	2.86	2.73	3.02	2.63	2.8	2.66	3.37

Projenin gündeme gelmesinin ardından bazı üye ülkeler demiryolu altyapıları için önemli adımlar attılar. İlk ve en güçlü örnek olarak Suudi Arabistan ve BAE, bölgede demiryolu inşaatına öncülük etmektedir (Whitetaker, 2022). Bölgenin ilk ve en uzun demiryolu hattı ve tecrübesiyle Suudi Arabistan, demiryolu altyapısını yenilemeye devam etmektedir. Kuzey Demiryolu Hattı (Başkent Riyad'dan Ürdün sınırına yakın Al Qurayyat'a 1215 km); Harameyn Yüksek Hızlı Tren Hattı (Jeddah üzerinden Makka - Madina'ye giden 450 km uzunluğundaki Kral Abdülaziz Uluslararası Havalimanı ve Kral Abdullah Ekonomik Şehri ile bağlantılı); Landbridge Demiryolu Projesi (ülkenin batısını Körfez'den Kızıldeniz'e kadar doğuya bağlayacak) vb. büyük yatırım projeleri tamamlanmış veya tamamlanma yolundadır (Lloyd ve Al- Ali, 2022; Oxford Business Group, 2022).

BAE, demiryolu altyapısına büyük yatırımlar yapan bir başka Körfez Ülkesidir. Yerel metro ve tramvay sistemlerine (2013-2014) ek olarak BAE, güneydeki gaz sahalarını batı kıyısına bağlayan bir demiryolu yük hattını da hizmete almıştır. BAE'nin demiryolu planı, her yıl 36,5 milyon insan ve milyonlarca ton yük taşımak için 200 km/s hıza ulaşan tren filosunu hedeflemektedir. 2019'da Doha Metrosu'nu açtıktan sonra Katar, demiryolu ile toplu taşımayı iyileştirmeye öncelik vermiştir.

Tam olarak faaliyete geçtiğinde 25 istasyondan geçen dört hattan oluşması planlanan Lusail Tramvayı'nın ilk hattı Ocak 2022'de hizmete açıldı. Buraya kadar sayılan önemli adımlara rağmen, Kuveyt'te KİK Demiryoluna bağlanması planlanan 160 km'lik ulusal demiryolu ağı projesi, 2009'dan beri halen bekleme aşamasındadır. Bununla birlikte Ocak 2020'de Kuveyt, demiryolu ile başka bir iç hat geçiş planına geçtiğini duyurmuştur.

Umman, BAE sınırından doğu kıyısındaki Salalah limanına üç liman kenti Sohar, Muscat ve Duqm'dan geçen bir demiryolu ağı (2100 km) inşa etmeyi planlamıştır (Oxford Business Group, 2022). Bu planın bir parçası ve gereği olarak, 2022'de Abu Dhabi'yi Muscat'a demiryolu ile bağlamak için 3 milyar ABD Doları tutarında bir ortak girişim projesi imzalanmıştır. Umman 2040 Vizyon Belgesi, Lojistik Stratejisi olarak, Umman'ı, Orta Doğu ve Kuzey Afrika Bölgesi'nin (MENA) en iyi 10 lojistik merkezi arasına sokma hedefini deklare etmiştir. (Umman 2040, 2020). Farklı modların bir arada kullanıldığı bir lojistik model, Umman'ı deniz limanlarını, havaalanlarını, demiryolunu ve karayolunu birbirine bağlayan entegre bir lojistik alan oluşturmaya itmektedir (Ziadah, 2018).

KİK Ülkeleri, petrol dışı ihracatlarını çok aşan sürdürülebilir bir açıkla, tüketim ve yatırım

ihtiyaçlarını karşılamak için ithalata bağımlıdır. Üye devletlerdeki benzer ekonomik yapıların bir sonucu olarak, bölgesel ticaret engelleri olmamasına hatta birçok kolaylaştırıcı teşvik olmasına rağmen üye devletler arasındaki ticaret nispeten zayıftır (Keynoush, 2020). Bu noktada KİK demiryolu projesi, 2025 yılına kadar KİK genelinde tam olarak ulaşılması hedeflenen gümrük birliği ve ortak pazar için bir trafo gücü olarak görülmektedir (Whitetaker, 2022). Hatta koridorun Irak, Suriye ve Türkiye'yi de içine alarak Körfez'den Avrupa'ya kadar genişletilebileceğine dair bazı tahminler bulunmaktadır (Middle East Monitor, 2022).

Uluslararası piyasalardaki petrol fiyatlarının 2014-2020 döneminde oldukça düşük seyrine bağlı olarak görülen petrole bağımlı Körfez ekonomilerinde mali daralmalar, 2017-2020 döneminde Suudi Arabistan liderliğindeki koalisyon ile Katar arasında yaşanan siyasi ve ekonomik gerilimler ve Kovid-19 dönemine mahsus olağandışı kısıtlamalar KİK içindeki demiryolu projesi konusunda en üst düzeyde kararlılığa rağmen harekete geçmek için yeterli olamamıştır. Aralık 2021'de altı üye ülkenin liderinin, projenin işletilmesini ve denetimini sağlayacak ortak bir kuruluş olarak KİK Demiryolları İdaresi'nin kurulmasını onaylaması ile proje yeniden KİK programına dahil edildi (Oxford Business Group, 2022). Her ne kadar ortak demiryolu projesine 2021 KİK Liderler Zirvesi'nde siyasi ivme kazandırılmış olsa da, bölgesel engeller, zorluklar ve kritik eşikler projenin önünde durmaya devam etmektedir. Sorumlulukların paylaşılması programın merkezinde olsa da, her üye devletin projede üzerine düşeni yapma kapasitesi büyük ölçüde farklılık göstermektedir (Whitetaker, 2022).

Son on yılda, düşük petrol gelirlerinin devlet harcamalarını etkileyerek ulusal ekonomik istikrarsızlığa neden olması ve lojistik projeler gibi uzun vadeli özel yatırımlar için tehlike oluşturması, ekonomik şoklar yaratmış (Moawad, 2016) olsa da, Üye devletlerin ülke çapındaki demiryolu altyapıları KİK Demiryolu koridoru/ağı ile birbirine bağlanabilir ve entegre edilebilirse, milli gelirlerinin ve altyapı varlıklarının verimliliğinin artması, istihdam yaratması (Tayyeb vd., 2019), ekonomik uyum ve hatta birlik yolunda (Lloyd ve Al-Ali, 2022) KİK'te ticaret hacmini artırarak ekonomik çeşitlilik

sağlaması ve ekonomik kalkınmayı hızlandırması (Oxford Business Group, 2022) beklenmektedir.

Geçen 13 yılın ardından, Körfez'deki demiryolu projesinin ilk gününden bu yana, sahadaki risk ve güçlüklerin etkisini koruduğu gözlenmektedir. Projenin yerleşimi, mühendislik ve teknik karmaşıklığından doğabilecek inşaat ve mühendislik riskleri; maliyet kontrolü ve üçüncü taraf finansmanı gibi konulardan doğabilecek finansal riskler, kamuoyu algısı ve projenin kabulü ile ilgili sosyal riskler; ve politikadaki değişkenlikten doğabilecek siyasi riskler, düzenleyici kurum ve işleyişine ilişkin belirsizlikler, karar alma süreçlerini geciktiren, zorlayan rollerine devam etmektedir (Lloyd ve Al-Ali, 2022). Körfez Hükümetleri ayrıca, demiryolu taşımacılığı hizmetlerinin az karlı olduğunu ve başlangıçtaki sermaye maliyetlerini telafi etme umudu olmaksızın, özelleştirilse bile sürekli sübvansiyonlar gerektirdiğini kabul etmelidir (the World Bank, 2011).

Projenin en zayıf noktalarından biri, fiziki ve coğrafi olarak birbirine yakın ancak siyasi olarak uzak iki rakip ülke olan Katar ve Bahreyn'in deniz üzerinden bir demiryolu hattı ile birbirine bağlanabilmesi ve ortak işletim yeteneği kazanabilmeleridir. Zorlu çöl koşulları ve iklimi, altı farklı ülkenin ulusal raylı sistemlerini aynı standart ve özelliklere göre inşa etmeleri, koordinasyon içinde çalışabilme, bağlantıları yönetebilme, teknik personel ihtiyacı, diplomatik çeviklik, gerekli ortak siyasi irade (MEED, 2010) ve ortak operasyon yeteneği (MEED, 2009), 13 yıl önce olduğu gibi bugün de KİK demiryolu projesinin zorluklarıdır.

Buraya kadar gözden geçirilen çalışmalar ülkelerarası demiryolu koridorlarının taşıdığı potansiyel fayda ve katkıları, özelde lojistik genelde ise ekonomik çeşitlilik ve verimlilik açısından ortaya koymaktadır. Daha spesifik bir gözlem alanı olarak Körfez Bölgesi ile ilgili az sayıda akademik çalışma ise, ulusal (Mahendran ve Pillai, 2016; Saif vd., 2016) ya da entegrasyon düzeyinde (Ziadah, 2018; Tayyeb vd., 2019) demiryolu ulaştırması ve lojistiğinin Körfez özelinde potansiyel risk ve faydaları üzerinde bazı öngörülerde bulunmaktadır. Bu çalışma ise demiryolu ulaştırmasının lojistik bir perspektifle Körfez Bölgesine getireceği risk ve

fırsatları, sahip olduğu avantaj ve dezavantajları, bugüne kadar akademik literature dahil edilmemiş olan uzman, profesyonel ve paydaşların görüşlerini ve bölge koridorlarından alınacak dersleri de analiz ederek, hem ulusal hem de bölgesel ölçeklerde mevcut bakış açısına farklı bakış açıları eklemek ve holistik bir düzleme taşımak çabasında olacaktır.

3. ÇALIŞMANIN TASARIMI

3.1. Problem ve Amaç

Körfez Bölgesinde demiryolu ulaştırması, ilk olarak 2009 yılında gündeme gelmesine rağmen, konjonktür bu konuda yürütmecilerin mesafe kat etmeleri için müsait olamamıştır. Yasama ve yürütmedeki bu yavaşlık, akademik çalışmalara da sirayet etmiş ve demiryolu ulaştırması ve lojistiğinin bölge açısından ne ifade edebileceği ile ilgili akademik çalışmalar yeterli ilgi ve çabadan uzak kalmıştır. KİK Liderler Zirvesinin 2021 yılı Aralık ayında yeniden ortak demiryolu projesini gündemine almasıyla, bölgede lojistik sektörünün medya yansımalarında büyük bir heyecan ve tartışma başlamıştır. Bilimsel amaç ve metodoloji ile üretilmeyen, dağınık, kısmi ve farklı ortam ve zamanlarda olmakla birlikte, dinamik bir sektör bilinci ve vizyonu ile paylaşılan ve yayınlanan görüşlerin, kamu otoritelerine ve karar alıcılara sistematik ve bilimsel bir metod ile sunulması gerektiği bir araştırma problemi olarak görülmüştür. Bu problemten yola çıkılarak araştırma sorusu “KİK Bölgesinde Demiryolu Ağı Projesi özelinde Demiryolu ulaştırması ve lojistiğinin güçlü ve zayıf yönleri, beraberinde getireceği fırsatlar ve tehditler nelerdir?” şeklinde tanımlanmıştır.

Bu çalışmayla genelde KİK Üyesi Ülkelerde demiryolu ulaştırmasının geleceğini hem ulusal hem de bölgesel bazda lojistik yönetimi perspektifiyle ortaya koymaya çalışırken, daha yakın planda bu geleceği şekillendirebilecek bir realite olarak KİK Demiryolu Projesinin rasyonelliğini sistematik ve objektif bir metodoloji ile analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma çıktılarının karar vericilere analitik ve stratejik bir karar çerçevesi, konu ile ilgili bundan sonraki araştırmalar için yeni araştırma alanlarının görülebileceği teorik bir düzlem ve paydaşlar

açısından stratejik işbirliği zemin ve platformlarının belirgin hale gelmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

3.2. Yöntem

Körfez bölgesindeki lojistik operatörlerinin demiryolu lojistiği konusunda çok az deneyime sahip olması (Suudi Arabistan ve BAE’de olduğu gibi) veya hiç deneyimi olmaması nedeniyle, birincil kaynaklardan veri toplamak daha ileriki çalışmalara ertelenmiştir. Körfez Ülkelerinin büyük bir kısmında kamusal örgütlenmenin bu çalışmanın yapıldığı 2022-2023 döneminde henüz tamamlanmamış olması nedeniyle demiryolu ulaştırması ile ilgili kamu otoriteleri tarafından duyurulan resmi veriler bulunmamaktadır. İkincil kaynaklardan elde edilen girdiler tematik analize tabi tutularak yorumlanmış ve sistematik olarak gruplandırılmıştır. Bu kapsamda ikincil veri kaynakları olarak, yayınlanan tüm bilimsel bilgiler, hükümet ve hükümet dışı raporlar, uzmanların, sektör profesyonellerinin ve iş sektörü analiz ajanslarının görüşleri dikkate alınmış ve toplanmıştır.

Bölge özelinde demiryolu lojistiği alanında bilimsel metodoloji ile üretilmiş çalışma çok nadirdir. Bu çalışma, yapılan az sayıda bilimsel çalışmaya ilave olarak, özel sektör raporları, uzman görüşleri, mesleki veya profesyonel yayınlar ile genel okuyucuya hitap eden gazete ve dergilerde yer alan haber, analiz, röportaj gibi doğrudan bilimsel bir amaç ve yöntemle üretilmemiş olmakla birlikte konuya ve bölgeye özel ve erişime açık görüşleri ikincil veri olarak analize dahil etmiştir. Erişilebilir yayınlardan toplanan ikincil verilerin bir avantajı, bir araştırma enstrümanının güvenilirlik ve geçerlilik endişelerinden arındırılmış olmasıdır.

İkincil verilerin kullanıldığı bu çalışmada tematize etme, sınıflandırma ve yorumlama amacıyla SWOT Analizi kullanılmıştır. SWOT Analizi genelden özele doğru yol gösteren, makro değerlendirmeleri mümkün kılan etkileşimli bir analiz tekniği hatta yol haritası olabilir. SWOT Analizi bir yaklaşım ve analiz tekniği olarak, yönetsel bir düşünce modeliyle, bilgi toplama ve yorumlama adımlarında gündemi sınırlama fırsatı vermekte ve kararların dayanabileceği noktaları göstermektedir. Bir diğer

ifade ile SWOT Analizi stratejik kararların altyapısını hazırlamaktadır (Gürel ve Tat, 2017).

3.3. Analiz Çıktıları

Yayımlanan bilimsel çalışmalar, kamusal ve sivil toplum raporları, uzmanların, sektör profesyonellerinin ve sektör/endüstri analistlerinin görüşleri, haber, rapor, makale ve röportajlar SWOT sistematığı içerisinde önce güçlü yönler, zayıf

yönler, fırsatlar ve tehditler şeklinde tematize edilerek yorumlanmış ve ardından benzer görüşler gruplandırılmıştır. Bazı yazarların/ uzmanların/ profesyonellerin demiryolu ve/veya lojistiğin genel perspektifi ve dünyanın diğer bölgelerindeki deneyimler ile ilgili görüşleri de, araştırmacı tarafından Körfez bağlamı dikkate alınarak yorumlanmış ve kategorize edilmiştir. Eleştirel ve sistematik bir yaklaşımla yorumlanan görüşler sırasıyla Tablo 2, 3, 4 ve 5'te verilmektedir.

Tablo 2: Körfez Bölgesel Demiryolu Lojistiğinin Yorumlanmış ve Sınıflandırılmış Güçlü Yönleri

Güçlü Yön	Referans
Enerji tüketimi bakımından en ekonomik ulaşım modlarından biridir (karayolu taşımacılığından en az %50 daha düşük).	Nazarko vd., 2006; Kunaka ve Carruthers, 2014; Mukhtarova ve Ospanov, 2018; Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Daha kısa sınır geçiş süresine ve rotada daha az sıklıkta gecikmelere sahiptir	Kunaka ve Carruthers, 2014.
Güvenli ve emniyetli ulaşım sağlar (karayolu taşımacılığı kazalarının %0,5'inden azı)	Nazarko vd., 2006; Kunaka ve Carruthers, 2014.
Daha çevre dostu, daha düşük sera gazı emisyonlarına sahiptir (karayolu taşımacılığı seviyesinin %10 ila %20'si arasında)	Nazarko vd., 2006; Kunaka ve Carruthers, 2014; Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Potansiyel olarak, özellikle dökme ve konteynerli yük olmak üzere, yük taşımacılığı için tek seferde önemli ölçüde yüksek kapasite taşıyabilme (bir tren, 100 ağır tonajlı taşıtın toplam eşdeğerini taşıyabilir).	Nazarko vd., 2006; Kunaka ve Carruthers, 2014.
Piyasayı stabilize eder. Karayolu lojistik firmalarının yük taşıma ücretlerini dengeler.	Kunaka ve Carruthers, 2014.
Bazı KİK ülkelerinde (Suudi Arabistan, BAE, Umman, Katar gibi) halihazırda ülke düzeyinde demiryolları için yatırımlar ve projeler bulunmaktadır.	Keynoush, 2020; Lloyd ve Al-Ali, 2022; Oxford Business Group, 2022; Whitetaker, 2022.
Demiryolunun en büyük rakibi olan tırlar şu anda yavaş, verimsiz ve pahalı çalışmaktadır.	Lloyd ve Al-Ali, 2022
KİK Üyelerinin çoğunluğu, lojistik performans açısından dünya ortalamasının üzerindedir.	International Monetary Fund, 2019; the World Bank, 2022.

Tablo 3: Körfez Bölgesel Demiryolu Lojistiğinin Yorumlanmış ve Sınıflandırılmış Zayıf Yönleri

Zayıf Yön	Referans
Karmaşık gümrük prosedürleri vardır.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
Körfez Bölgesi'ndeki demiryolu altyapısı emekleme aşamasında veya daha geri bir durumdadır.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
Tüm KİK Ülkelerinin deniz taşımacılığına doğrudan erişimi vardır.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
Demiryollarının karşılaşması gereken bir minimum mesafe eşiği vardır. Bazı Körfez Ülkeleri bu eşiği karşılamamaktadır.	Kunaka ve Carruthers, 2014.
Demiryolu koridorları boyunca yüksek terminal maliyetleri kaçınılmazdır.	Kunaka ve Carruthers, 2014.
Demiryolları, ancak işletme maliyetlerini karşılamak, yatırım yapmak ve borç servisi ve finansman ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli uzun vadeli mali kaynaklara sahip olduklarında mali sürdürülebilirliğe ulaşabilir.	MEED, 2009; the World Bank, 2011.
Sevkiyat süresi, hizmetin güvenilirliği ve sıklığı ile teslim alma ve teslim etme maliyetleri gibi hizmet seviyesi faktörlerinin dikkate alınması, demiryollarının rekabet gücünü zayıflatmaktadır.	Kunaka ve Carruthers, 2014.
Demiryolları neredeyse her zaman diğer modlara ve çoğunlukla karayolu taşımacılığına bağımlıdır. Yükü şehir merkezlerine yönlendirmek ve birleştirmek için başka tür nihai teslimat hizmetlerine ihtiyaç vardır.	Gonzalez-Feliu, 2014; Kunaka ve Carruthers, 2014.
Demiryolu lojistiğinin tamamlayıcı birimleri olan koridorun diğer bileşenleri (konteyner depoları, yük konsolidasyon ve dağıtım merkezleri vb.) da toplam yatırım ve işletme maliyeti içinde değerlendirilmelidir.	Kunaka ve Carruthers, 2014
KİK Üye Devletlerinin proje aşamasını kendi ülkelerinde yürütme kapasite ve yeterlilikleri birbirinden farklıdır.	Whitetaker, 2022.
Arazi sahiplerini tapu ve kadastro işlemleri, kamulaştırma ve kendilerine referans sağlayacak zayıf tapu kadastro sistemi altyapısından etkilenmeye ikna etmek gerekmektedir	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Demiryollarının ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.	MEED, 2010.
Demiryolu hızlı geri dönüş sağlayan bir yatırım alanı değildir. Zarar veren ve sürekli sübvansiyon gerektiren, özelleştirilse bile ilk sermaye maliyetlerini telafi etme ümidi olmayan zorlu bir işletme planıdır.	MEED, 2009; Whitetaker, 2022.
KİK ihraç ürünleri ağırlıklı olarak boru ve/veya deniz taşımacılığına ağırlık veren hidrokarbon ürünlerinden oluşmaktadır.	MEED, 2009.
Nüfus yoğunluğu düşüktür. Bu durum, hatların yolcu taşımacılığında da kullanılması ile maliyet etkinliğinin ve daha hızlı yatırım geri dönüşünün önünde engel teşkil etmektedir.	MEED, 2009.
Yetkili düzenleyici kurumlar veya aslında düzenlemelerin kendisi açısından bir düzenleyici tasarımcı yoktur.	MEED, 2009.
Körfez Bölgesi'nde kalifiye ve tecrübeli demiryolu personeli açığı bulunmaktadır.	MEED, 2009
KİK Üye Devletleri arasındaki ticaret hacmi, Körfez demiryolu koridorunu çekici kılacak kadar yüksek değil.	Keynoush, 2020.

Tablo 4: Körfez Bölgesel Demiryolu Lojistiği İçin Yorumlanmış ve Sınıflandırılmış Tehditler

Tehdit	Referans
Müşterileri deniz taşımacılığından vazgeçip demiryolu taşımacılığına ikna edebilmek güç görünmektedir.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
Küçük araçlardaki nihai teslimatlar, beklenenden daha yüksek maliyetler gerektirebilir.	Gonzalez-Feliu, 2014.
Körfez Ülkelerinde karayolu taşımacılığı için birleşik vergilendirme ve navlun lisans ücretleri uygulanmaz. Bu aynı zamanda karayolu taşımacılığını yenmek için bir risk faktörüdür.	Tayyeb vd., 2019.
Demiryolu, Körfez'de son derece yaygın ve uygun bir kamyon taşımacılığı ile rekabet etmek zorundadır.	MEED, 2009; Kunaka ve Carruthers, 2014.
Körfez Ülkeleri genellikle derinlemesine analitik değerlendirmeye dayalı tahminler yerine piyasa sinyallerine göre hareket etme eğilimindedir.	Whitetaker, 2022.
Körfez Bölgesi'nin arazi ve hava koşulları dünyanın geri kalanına göre daha çetin ve zordur.	Whitetaker, 2022.
Körfez'de tren tekerlekleri on kata kadar daha hızlı aşınabilir ve ağır tüm parçaları kum fırtınalarından kaynaklanan hızlı aşınma tehdidi altındadır.	Whitetaker, 2022.
KİK politikaları ve programları kısa vadede hızlı ve beklenmedik değişiklikler gösterebileceğinden, siyasi belirsizlik yüksektir.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Projenin tasarımı, mühendisliği ve teknik karmaşıklığı ile ilgili inşaat ve mühendislik riskleri vardır.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Maliyet aşırımları ve üçüncü taraf finansmanı ile ilgili finansal risklerin güvence altına alınması gerekir.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Proje, bölgedeki toplumsal algı ve kabullenme açısından sosyal riskler içermektedir.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Sözleşme tarafları ile kilit üçüncü taraflar/paydaşlar (diğer yükleniciler, mevcut demiryolu operatörleri ve kullanıcılar gibi) arasındaki ilişkiler risklidir.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
KİK demiryolu koridorunun, çok yüksek inşaat ve finansal maliyetleri olan Katar ve Bahreyn'i deniz yoluyla birbirine bağlaması gerekmektedir.	MEED, 2010.
Demiryolu koridoru için çok önemli olan müşterek hareket kabiliyeti Körfez Ülkeleri için çok yeni bir olgudur. Trenler hudutlardan geçerken gabari, güç kaynağı ve parametrelerde herhangi bir değişiklik olmamalıdır.	MEED, 2009.
Demiryolu lojistiği genellikle garantisiz teslimat süresi, gecikmelerle birlikte anılmaktadır.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
Körfez'de lojistikte kamu-özel sektör ortaklığının kurulması kolay görünmemektedir.	MEED, 2009.
Maliyet etkin olmak, lojistikteki en önemli karmaşık faktördür. Verimsiz raylı sistemler, karayolu taşımacılığından daha yüksek birim maliyet oranlarına sahip olabilir.	Lakshmanan ve Andersen, 2002; Kunaka ve Carruthers, 2014.

Tablo 5: Körfez Bölgesel Demiryolu Lojistiği İçin Yorumlanmış ve Sınıflandırılmış Fırsatlar

Fırsat	Referans
KİK demiryolu koridoru, üye devletlerin ulusal ulaşım altyapısını genişletebilir.	Oxford Business Group, 2022.
KİK demiryolu koridoru emisyonları azaltabilir.	Oxford Business Group, 2022.
KİK demiryolu koridoru, üye devletlerin birbirine bağlanmasını ve buna bağlı olarak üyeler arasındaki ekonomik uyumu, bölgesel işbirliğini ve ticareti geliştirebilir.	Keynoush, 2020; Oxford Business Group, 2022.
KİK demiryolu koridoru üye ülkelerin gelirlerini artırabilir, ekonomilerini çeşitlendirebilir ve GSYİH büyümesini hızlandırabilir.	Tayyeb vd., 2019; Lloyd ve Al-Ali, 2022.
KİK demiryolu koridoru üye ülkelerde altyapı varlık verimliliğini artırabilir	Tayyeb vd., 2019.
KİK demiryolu koridoru yeni istihdam yaratabilir.	Tayyeb vd., 2019.
KİK demiryolu koridoru, bölgenin uluslararası tedarik zincirlerinin lojistik faaliyetlerine katma değer sağlamaktadır.	Ziadah, 2018.
KİK demiryolu koridoru bölgedeki mal ve hizmet maliyetlerini azaltabilir ve fiyat istikrarına katkıda bulunabilir.	Mukhtarova ve Ospanov, 2018.
KİK genelinde bir gümrük birliği ve ortak pazar hedefine yönelik çok önemli bir adım sağlayabilir.	Whitetaker, 2022.
Irak, Suriye ve Türkiye'yi de içine alan demiryolu koridoru, Körfez'den Avrupa'ya genişleme imkanı sunabilir.	Middle East Monitor, 2022.
Az gelişmiş bölgelerde demiryolu taşımacılığının gelişimi, örneğin şehir merkezlerini uzak kırsal alanlara bağlayarak, yenilenme için bir katalizör görevi görebilir.	Lloyd ve Al-Ali, 2022.
Aynı altyapı yolcu taşımacılığı ve turizm gelişimi için kullanılabilir.	Kunaka ve Carruthers, 2014; Lloyd ve Al-Ali, 2022;Whitetaker, 2022.
Kırsal alanlarda yerel yatırımları ve ekonomik büyümeyi hızlandırabilir	Lloyd ve Al-Ali, 2022

4. TARTIŞMA

Bu çalışma ile paralel olarak, bundan önceki çalışmalar da ülkelerarası demiryolu koridorlarının taşıdığı potansiyel fayda ve katkıları, özelde lojistik genelde ise ekonomik çeşitlilik ve verimlilik açısından ortaya koymaktadır. Daha spesifik bir gözlem alanı olarak Körfez Bölgesi ile ilgili az sayıda akademik çalışma ise, ulusal (Mahendran ve Pillai, 2016; Saif vd., 2016) ya da entegrasyon düzeyinde (Ziadah, 2018; Tayyeb vd., 2019) demiryolu ulaştırması ve lojistiğinin Körfez özelinde potansiyel risk ve faydaları üzerinde bazı öngörülerde bulunmaktadır.

Genelde KİK Üyesi Ülkelerde demiryolu lojistiğinin geleceğini hem ulusal hem de bölgesel bazda lojistik yönetimi perspektifiyle ortaya koymaya çalışırken, daha yakın planda bu geleceği şekillendirebilecek KİK Demiryolu Projesinin rasyonelliğini sistematik ve objektif bir metodoloji ile analiz edilmesi amaçlanmış ve araştırma sorusu “KİK Bölgesinde Demiryolu Ağı Projesi özelinde Demiryolu ulaştırması ve lojistiğinin güçlü ve zayıf yönleri, beraberinde getireceği fırsatlar ve tehditler nelerdir?” şeklinde tanımlanmıştır.

Bu çalışma ile araştırma sorusu ikincil veriler kullanılarak cevaplanmış ve demiryolu

ulaştırmasının lojistik bir perspektifle Körfez Bölgesine getireceği risk ve fırsatlar, sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar, bugüne kadar akademik literature dahil edilmemiş olan uzman, profesyonel ve paydaşların görüşleri ve bölge koridorlarından alınacak dersler de analiz edilerek, hem ulusal hem de bölgesel ölçeklerde mevcut bakış açısına farklı bakış açıları eklenmekte ve tartışma holistik bir düzleme taşınmaktadır. Bu katkıya ilave olarak, bazı uzman ve yazarların temsil ettikleri kurum, kuruluş ve misyondan ya da kişisel özelliklerinden kaynaklanan aşırı iyimser veya kötümser görüşleri, analiz sırasında tematize edilirken ve yorumlanırken herhangi bir değişikliğe uğratılmamışsa da, çoklu bakış açılarının aynı sistematik ile analiz edilmesi, olası aşırı ve ekstrem görüşlerin genel bütünlük içerisinde etkisini azaltan bir işlev icra ederek daha sistematik ve rasyonel bir görünüm sağlamıştır.

Körfez bölgesindeki veya Körfez bağlamına aşına olan akademisyen, uzman ve profesyonellerin KİK demiryolu projesine ilişkin görüşlerinde zayıflıkların ve tehditlerin fırsatlardan ve avantajlardan daha baskın olduğu görülmüştür (Örneğin: MEED, 2009; MEED, 2010; Mukhtarova ve Ospanov, 2018; Tayyeb vd., 2019; Keynoush, 2020; Lloyd ve Al-Ali, 2022; Oxford Business Group, 2022; Whitetaker, 2022). Analizin sonuçları, demiryollarının diğer modellere göre bariz avantajlarının yanı sıra, KİK'in nispeten zor bir başlangıca, daha zorlu bir süreç yönetimine ve Körfez demiryolu projesi için ilham ve motivasyon kaynağı olan Avrupa Birliği demiryolu koridoru deneyiminden daha zorlu rakip modlara sahip olduğunu göstermektedir. Coğrafi, iklimsel ve fiziki koşullar, KİK'in demiryolu projesi konusunda daha titiz bir fizibilite ve karar süreci yürütmekten başka seçeneği olmadığını ortaya koymaktadır. Buna üye ülkelerdeki mevcut altyapının durumundaki farklılıklar, hazırlık düzeyi ve demiryollarına verdikleri nisbi önem ve öncelik eklendiğinde, birlikte hareket edebilme yeteneği önemli ve kritik bir eşik ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, demiryollarını engelleyebilecek çevresel tehditlerin, küresel ısınma, çok sıcak iklim şartları, engebeli arazi ve kum fırtınaları vb., KİK üyeleri için ortak zorluklar olarak öne çıktıkları görülmektedir. Körfez ülkelerinin petrol rezervleri, diğer ulaşım modelleri ve lojistik alanlarda rekabet avantajı

sağlarken, lojistik sektöründe karayolu ve tırları, demiryollarına karşı çok güçlü kılmakta, demiryolu taşımacılığı ve lojistiğinin elini zayıflatmaktadır. Ayrıca tüm üye ülkelerin denize doğrudan erişiminin olması; ihracatlarının çoğunun hidrokarbon ürünlerden oluşması; ithalatlarının çoğunun doğrudan Uzak Doğu ülkelerinden yapılması gibi realiteler intermodal lojistik ve taşımacılığı, KİK Bölgesi için bir seçenek değil, zorunluluk haline getirmektedir.

Demiryolu lojistiğini optimize etmek için minimum mesafe eşiği dikkate alınırken, Katar, Kuveyt ve Bahreyn'in karasal yüzölçümlerinin diğerlerine göre daha küçük olması, bu ülkelerinin demiryolu altyapısına yapılan yatırımların geri dönüşünü de uzatacaktır. Bu durum söz konusu ülkelerin ortak demiryolu projesinden beklentilerini ve buna bağlı olarak kararlılıklarını diğerlerine kıyasla olumsuz etkilemektedir.

5. SONUÇ

Ekonomik büyüme ve demiryolları arasındaki ilişkinin, önceki tüm çalışmalarda güçlü bir şekilde vurgulandığı görülmektedir. Tüm Körfez Ülkeleri, özellikle son on yıldır ekonomik çeşitliliğe çok büyük önem ve öncelik atfetmektedir. Dolayısıyla bu evre, sadece demiryollarını lojistik ağına entegre ederek değer katmak için değil, tüm sektörlerde atıl üretim kabiliyetlerini uyandırarak ve zorlayarak değer yaratmak için stratejik planlar geliştirme zamanıdır. KİK Ülkeleri arasında işbirliği ve dayanışmayı artırmak yoluyla, demiryollarını engelleyebilecek çevresel tehditler küresel ısınma, engebeli arazi ve kum fırtınaları gibi zorlukların üstesinden gelmek kolaylaşabilecektir.

KİK demiryolu projesi, gündeme gelmesinin üzerinden uzun zaman geçmesine ve günümüzde yaşanan siyasi, mali ve teknik sorunlara rağmen son dönemde yeniden dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. Sadece ekonomik değil aynı zamanda sosyal ve ekolojik etkileri de düşünüldüğünde önemli avantajlar sağlayabilecek KİK demiryolu ağı projesi tamamen göz ardı edilebilecek bir proje değildir. Ancak KİK, ortak bir demiryolu projesini uygulamaya hazır görünmemektedir. Dikkat çekici bir gösterge olarak, 2009 yılında başlayıp 2021 yılında KİK Liderler Zirvesi'nde yeniden gündeme

gelmesine rağmen, bu çalışmanın tamamlandığı Nisan 2023'te KİK'in resmi internet sitesinde eski tarihli bir basın açıklaması dışında demiryolu projesine ilişkin herhangi bir bilgi ve belgeye rastlanmamıştır.

Coğrafi özellikleri ve arazi büyüklükleri itibarıyla Suudi Arabistan ve Umman; artan ticaret hacmiyle BAE, ortak bir demiryolu projesinin önünü açacak, diğerlerini motive edecek ve harekete geçirecek ve Körfez demiryolu koridorunu gerçeğe dönüştürecek lider ülkeler olarak öne çıkmaktadır. Bu ülkelerin milli demiryolu projeleri sadece kendileri için değil diğer ülkelerin çıkarları için de çok önemlidir. Olumlu gösterge, ilgili ülkelerin de bu fırsatı ve gerçeği fark etmiş olmalarıdır.

Bugün KİK için ortak bir demiryolu koridoru projesinden daha uygulanabilir ve işletilebilir olan, üyelerin ülke çapındaki projeleridir. Demiryolu altyapısının ülke düzeyinde gelişmesi, işletme kabiliyetinin artması, iş dünyasının ve dış ticaretin beklentilerini karşılayabilecek standartlara ulaşması ve demiryolu lojistiği performansının yakalanması ile tüm üyeler Avrupa Birliği'nde olduğu gibi Körfez demiryolu koridoru projesini gerçekleştirme noktasında uyum içinde hareket etmeye başlayabilmektedir.

5.1. Çalışmanın Kısıtları

Körfez Bölgesinde demiryolu ulaştırması ve lojistiği ile ilgili deneyim ve birikim ve bununla ilişkili olarak insan kaynaklarının nitel ve nicel profili oldukça zayıftır. Birincil veri kaynağı olarak başvurulabilecek özel sektör çalışanı göreceli olarak çok az sayıda iken, kamu çalışanlarının odak ve çalışma alanları da lojistik sektörünün işleyişinden uzaktır. Bu genel duruma, daha önce bir Körfez ülkesi özelinde yapılan bir birincil veri çalışmasında (Yuksel vd., 2023) görülen oldukça düşük geri dönüş oranı (%12) da eklenince bu çalışma ikincil veri çalışması olarak tasarlanmıştır.

Çalışmanın bir diğer kısıtı olarak, sadece online erişime açık veriler toplanabilmiştir. Bu çalışmada sadece İngilizce yayınlanmış görüşleri analize dahil edebilmiş, Arapça görüş ve yorumlar analize dahil edilememiştir.

5.2. İleri Araştırmalar İçin Öneriler

Körfez demiryolu lojistiği ile ilgili bundan sonraki araştırma alanları arasında çevresel, jeoteknik zorluklar, ortak işletim, sınır geçişleri, sinyalizasyon, verimlilik vb. alanlar akademik ve endüstriyel araştırmacıları beklemektedir. Ayrıca, hem akademi hem de sektörden araştırmacılar, Körfez'deki yönetim ve operasyon organının mülkiyeti ve yapısal tasarımına cevap verebilecek açılımlar sunabilirler. Başka bir deyişle, Körfez demiryolu operasyonlarında Kamu-Özel Sektör Ortaklığının nasıl gerçekleşeceğine cevap ararken aynı zamanda farklı veya aynı sektör içinde entegrasyon modelleri üzerine de odaklanmak gerekmektedir. Ortak işletim sistemleri Körfez için yeni ve karmaşık yapısıyla, akademik araştırmalardan oldukça önemli katkılar beklemektedir.

Körfez'deki demiryolu lojistiğine ilişkin eğitim ihtiyaçlarının, programlarının, müfredatlarının, ortamlarının vb. analizi, teknik ve mesleki eğitim ve öğretimde ortaya çıkan diğer araştırma alanlarıdır. Bir tarafta demiryolu lojistiğinin binlerce iş yaratması beklenirken, diğer tarafta katılımcılar vasıflı insan kaynağı eksikliğinin Körfez demiryolu lojistiği için oluşturabileceği tehlikelerden bahsetmektedirler. Bu nedenle daha ileri araştırmalar için, Körfez'deki demiryolu lojistiğinin eğitim ihtiyaçlarının, programlarının, müfredatlarının, ortamlarının vb. analizi, uygulamalı bilimler ve teknik ve mesleki eğitimde de incelenecek ana alanlardır.

Hızlı takip edilen ve uygun maliyetli bir uygulama olarak Körfez kurumları, demiryolu lojistiği yönetimi, işletimi ve eğitimi konusunda geniş uzmanlığa sahip diğer ülkelerle işbirliği yapabilir ve çalışabilir.

Teknik ve uygulamalı araştırma gündemi olarak bu çevresel ve jeoteknik zorluklar, akademi ve endüstriden araştırmacılar için fırsatlar oluşturacaktır. Kıt kaynak kullanımını optimize edebilmek için Körfezin kendine mahsus bağlamı ve coğrafi özellikleri, bilimsel araştırma metodolojisi içinde sistematik yaklaşımlarla ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Asensio, J. (2000), "The Success Story Of Spanish Suburban Railways: Determinants Of Demand And Policy Implications", *Transport Policy*, 7(4), pp. 295-302. [https://doi.org/10.1016/S0967-070x\(00\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0967-070x(00)00030-5)
- [2] Cantelmo, G., Amini, R. E., Monteiro, M. M., Frenkel, A., Lerner, O., Tavory, S. S., Antoniou, C. (2022), "Aligning Users' and Stakeholders' Needs: How Incentives Can Reshape The Carsharing Market", *Transport Policy*, 126, pp. 306-326.
- [3] Durugbo, M.C., Amoudi, O., Al-Balushi, Z., Anouze, A. L. (2020), "Wisdom From Arabian Networks: A Review And Theory Of Regional Supply Chain Management", *Production Planning and Control*, pp. 1-17.
- [4] Giusti, R., Iorfida, C., Li, Y., Manerba, D., Musso, S., Perboli, G., Yuan, S. (2019), "Sustainable And De-Stressed International Supply-Chains Through The SYNCHRO-NET Approach", *Sustainability*, 11(4), p.1083.
- [5] Gonzalez-Feliu, J. (2014), "Costs And Benefits Of Railway Urban Logistics", A Prospective Social Cost Benefit. *Hall Open Science*: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01056135> (05.09.2022).
- [6] Gürel, E., Tat, M. (2017), "SWOT Analysis: A Theoretical Review", *The Journal Of International Social Research*, 10(51), pp. 1-13.
- [7] Jabłoński, M. (2022), "Emerging Modern Trends and Technologies Increasing the Level of Rail Transport Safety," in: *Digital Safety in Railway Transport—Aspects of Management and Technology*, pp. 77-97, Springer.
- [8] Jarašūnienė, A., Sinkevičius, G., Čižiūnienė, K., Čereška, A. (2020), "Adaptation Of The Management Model Of Internationalization Processes In The Development Of Railway Transport Activities", *Sustainability*, 12(15), p. 6248.
- [9] Jianjun, W. (2012), "The Research On Efficiency And Effectiveness Of Rail Transport", *IERI Procedia*, 3, pp. 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2012.09.021>
- [10] International Energy Agency (2019), *Tracking Transport*. IEA. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019> (19.08.2022).
- [11] International Monetary Fund (2019), *Trade and Foreign Investment—Keys to Diversification And Growth in GCC*. IMF.
- [12] Keynoush, B. (2020), *GCC Railway Project Held Up By Financial Problems And Qatar's Exclusion*. <https://insidearabia.com>: <https://insidearabia.com/gcc-railway-project-held-up-by-financial-problems-and-qatars-exclusion/> (02.08.2022).
- [13] Korovyakovsky, E., Szoltysek, J. (2006), "Creating International Supply Chains In Europe And Russia", in O.-P. Hilmola (Ed.), *Contemporary Research Issues in International Railway Logistics*, Kouvola. Lappeenranta University Of Technology, pp.43-52.
- [14] Kunaka, C., Carruthers, R. (2014), *Trade And Transport Corridor Management Toolkit*. The World Bank. Washington DC. [doi:10.1596/978-1-4648-0143-3](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0143-3) (10.10.2022).
- [15] Lakshmanan, T. R., Anderson, W.P. (2002), *Transportation Infrastructure, Freight Services. Sector and Economic Growth*. Center For Transportation Studies, Boston University. Boston.
- [16] Lin, C., Liu, J., Li, W. (2023), "Influence Of The High-Speed Railway (HSR) Construction On Industrial Structure Transformation", *Enterprise Information Systems*, 17(2), 1942998.
- [17] Lloyd, E., Al-Ali, L. (2018), *The Development Of Rail Infrastructure Projects In GCC*. <https://www.tamimi.com/law-update/articles/the-development-of-rail-infrastructure-projects-in-the-gcc/> (18.08.2022).
- [18] López-Aguilar, P., Batista, E., Martínez-Ballesté, A., Solanas, A. (2022), "Information Security and Privacy In Railway Transportation: A Systematic Review", *Sensors*, 22(20), 7698.
- [19] Lopez-Ruiz, H. G., Nezamuddin, N.N., Muhsen, A. (2020), *Designing Transport Policy For Sustainable Freight Movement In Saudi Arabia*. KAPSARC. Riyadh.
- [20] Maes, J., Vanelander, T. (2011), "The Use Of Rail Transport As Part Of The Supply Chain In An Urban Logistics Context", *City Distribution And Urban Freight Transport*. <https://doi.org/10.4337/9780857932754.00018> (24.01.2023).
- [21] Mahendran, Y., Pillai, R. (2016), "The Impact Of The GCC/Etihad Railway On The Aviation Sector in The UAE", in A. H. Obaide (Ed.), *Proceedings Of The 3rd International Aviation Management Conference, IAMC, Dubai, UAE, November 2016*, pp.106-116.

- [22] MEED. (2009), GCC Railway: Dispelling Doubts Down The Line. <https://www.meed.com/Gcc-Railway-Dispelling-Doubts-Down-The-Line/> (08.12.2022).
- [23] MEED. (2010), Joining The Dots Of GCC Rail. <https://www.meed.com/Joining-The-Dots-Of-Gcc-Rail/> (10.11.2022).
- [24] Memedovic, O., Ojala, L., Rodrigue, J., Naula, T. (2008), Fuelling The Global Value Chains: What Role For Logistics Capabilities? *International Journal Of Technological Learning, Innovation And Development*, 1(3), pp. 353-374
- [25] Middle East Monitor (2022), GCC Railway Project Could Link Qatar, Türkiye. <https://www.middleeastmonitor.com/20220919-Gcc-Railway-Project-Could-Link-Qatar-Turkiye/> (19.09.2022)
- [26] Moawad, A.S. (2016), The Impact Of Oil Prices On The Economic Growth And Development In The MENA Countries. MPRA. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/ld/eprint/89073> (05.10.2022)
- [27] Mukhtarova, K.S., Ospanov, S.S., Sharapiyeva, M.D., Antoni Alfonz. (2018), "The Evaluation Of The Efficiency Of Transport And Logistics Infrastructure Of Railway Transport", *Multidisciplinary Scientific Journal Of Maritime Research*, 32, pp. 88-101.
- [28] Nazarko, J., Dobrzyński, M., Ryciuk, U. (2006), "From Road To Rail: Polish Perspective", in O.-P. Hilmola (Ed.), *Contemporary Research Issues In International Railway Logistics*. Lappeenranta University Of Technology. Kouvala. pp. 5-20.
- [29] Oman Vision 2040 Implementation Follow-Up Unit (2020), Vision Document, <https://www.oman2040.om/assets/books/oman2040-en/index.html#P=1> (22.01.2023)
- [30] Oxford Business Group (2022), How GCC Railway Could Revolutionise Trade And Transport Gulf. <https://oxfordbusinessgroup.com/news/how-gcc-railway-could-revolutionise-trade-and-transport-gulf> (1.10.2022)
- [31] Onden, I., Acar, A.Z., Eldemir, F. (2016), "Evaluation Of The Logistics Center Location Using A Multi-Criteria Spatial Approach", *Transport*, 33, pp. 322-334.
- [32] Özbekler, T.M., Güçlü, İ. (2021), "Tedarikçi Seçiminde Güncel Eğilimler: Lojistik Yeteneklerin Dönüşümü", *Lojistik Dergisi*, 18(54), pp. 82-93.
- [33] Rana, P. B., Ji, X. (2020), *China's Belt and Road Initiative Impacts On Asia And Policy Agenda*, Palgrave-MacMillan.
- [34] Saif, M. A., Ghulman, B.A., Ahmed, I., Khalil, H. (2016), "Challenges To The Development Of Railway Infrastructure In Remote And Formidable Terrain: A Case Study From Saudi Arabia", in J. Pombo (Ed.), *Proceedings Of The Third International Conference On Railway Technology: Research, Development And Maintenance*, Civil-Comp Press. Stirlingshire, pp.1-22.
- [35] Serdarasan, Ş., Gürel, Ö., Karadayı-Usta, S. (2019), "Endüstri 4.0 Kapsamında Lojistik Faaliyetler", *Lojistik Dergisi*, 16 (50), pp. 34-44.
- [36] Stojanović, I., Puška, A. (2021), "Logistics Performances Of Gulf Cooperation Council Countries in Global Supply Chain", *Decision Making: Applications in Management And Engineering*, 4, pp. 174-193.
- [37] Tayyeb, H., Kassim, A., Al-Falahi, M. (2019), "Modelling Freight Transportation Impacts Of The Gulf Cooperation Council Region", *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, pp. 1-12. Doi:10.1088/1757-899X/603/5/052015
- [38] The Gulf Cooperation Council (1981), The Charter. From <https://www.gcc-sg.org/En-Us/Aboutgcc/Pages/Primarylaw.aspx> (01.09.2022)
- [39] The Gulf Cooperation Council (2001), Gulf Cooperation Council (GCC) Economic Agreement (2001). <https://edit.wti.org/app.php/document/show/D444ad42-56fc-4a5f-b886-34023158dad1#:~:Text=Education-1,GCC%20universities%20in%20all%20fields.> (01.09.2022).
- [40] The World Bank (2011), *Railway Reform: Toolkit For Improving Rail Sector Performance*. The World Bank. Washington DC.
- [41] The World Bank (2022), *Logistics Performance Index*. <https://lpi.worldbank.org/>: <https://lpi.worldbank.org/> (26.10.2022).
- [42] Tomeš, Z., Kvizda, M., Nigrin, T., Seidenglanz, D. (2014), "Competition In The Railway Passenger Market In The Czech Republic", *Research In Transportation Economics*, 48, pp. 270-276. <https://doi.org/10.1016/J.Retrec.2014.09.052>
- [43] Whiteaker, J. (2022), The GCC Railway Really Should Be Built (But Might Not Be). <https://www.railway-technology.com/analysis/gcc-railway-built-infrastructure/> (10.09.2022).

[44] Yan, K. (2022), "Rethinking China's Quest For Railway Standardization: Competition And Complementation", Journal Of Chinese Governance, 7(1), pp. 111-136.

[45] Yuksel, S, Al-Majrafi, R., Shaukat, M.R. (2023), "Railway Logistics in Oman: Perceptions And Expectations Of Experts", Journal Of Transportation And Logistics, Article in Press Dec 2023.

[46] Ziadah, R. (2018), "Constructing A Logistics Space: Perspectives From The Gulf Cooperation Council", Environment And Planning D: Society And Space, 36, pp. 666-682.

[47] Zhong, G., Xiong, K., Zhong, Z., Ai, B. (2021), "Internet Of Things For High-Speed Railways", Intelligent and Converged Networks, 2(2), pp. 115-132.

Doç.Dr. Sedat YÜKSEL



Sedat YÜKSEL, Dokuz Eylül Üniversitesi Turizm İşletmeciliği lisans; Hacettepe Üniversitesi, İşletme yüksek lisans ve Ankara Üniversitesi, İşletme doktora programlarını tamamlamıştır. 1993-2010 yılları arasında Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi'nde sırasıyla araştırma görevlisi, öğretim görevlisi ve öğretim üyesi olarak görev yapmıştır. 2007-2023 yılları arasında, Umman'da, University of Technology and Applied Sciences, CEBA, İşletme Bölümü'nde öğretim üyesi olarak bulunmuştur. Halen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turizm Fakültesi öğretim üyesidir. 1993 yılından beri, hizmet, turizm ve ulaştırma ekonomileri, lojistik yönetimi; sivil toplum kuruluşları için stratejik yönetim üzerinde çalışmalar yapmakta, dersler vermekte, bilimsel ve özel sektör projeleri yürütmekte; bilimsel dergilerde yardımcı editör ve alan editörü olarak destek sağlamaktadır.

YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN ESNEK İŞLEMSEL ZEKA YAKLAŞIMI

Fethullah GÖÇER

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş,
gocer.fethullah@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9381-4166

ÖZET

Yeşil kavramların tedarik zinciri yönetimine entegrasyonu, sürdürülebilir çevresel süreçlerin geleneksel tedarik zincirlerine dahil edilmesini içerir ve üretim yönetimi, operasyonel yönetim ve kullanım ömrü sonu yönetimini kapsar. Bu katma değer, azaltma, yeniden kullanma, geri dönüştürme, geri kazanma ve biyolojik parçalanabilirliği artırma gibi ilkeleri benimser. Ancak, bu ilave katkı, çevresel faktörler ve ürünün kullanım ömrünün sonuna ilişkin hususlar nedeniyle belirsizliğin artmasına neden olur. Çoklu nitelikleri ve belirsizlikleri hesaba katarak yeşil tedarik zinciri teknolojilerini ve karar almayı değerlendirmek için bulanık matematiksel yaklaşımlar da dahil olmak üzere çeşitli modeller araştırılmaktadır. Geleneksel hesaplamanın aksine, esnek işlemsel zeka yaklaşık modellerle ilgilenir ve karmaşık gerçek hayat sorunlarına çözümler sunar. Esnek işlemsel zeka, belirsizliğe, muğlaklığa, kısmi gerçeğe ve tahminlere karşı daha dayanıklı bir direnç gösterir. Aslında, esnek işlemsel zeka insan zihninin yapısından ipuçları alır ve bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, makine öğrenimi ve kaos teorisi gibi tekniklere dayanır. Bu çalışma, önerilen esnek işlemsel zeka modelini çok kriterli karar verme ortamında kullanarak tedarikçi adaylarını yeşil tedarik zinciri yönetimi kriterlerine göre değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ek olarak, açıklayıcı bir örnekle önerilen modelin geçerliliği ve güvenilirliği, güncel bir karar verme yöntemiyle karşılaştırılarak gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar Verme, Esnek İşlemsel Zeka, Tedarikçi Seçimi, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi.

SOFT COMPUTING APPROACH FOR GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

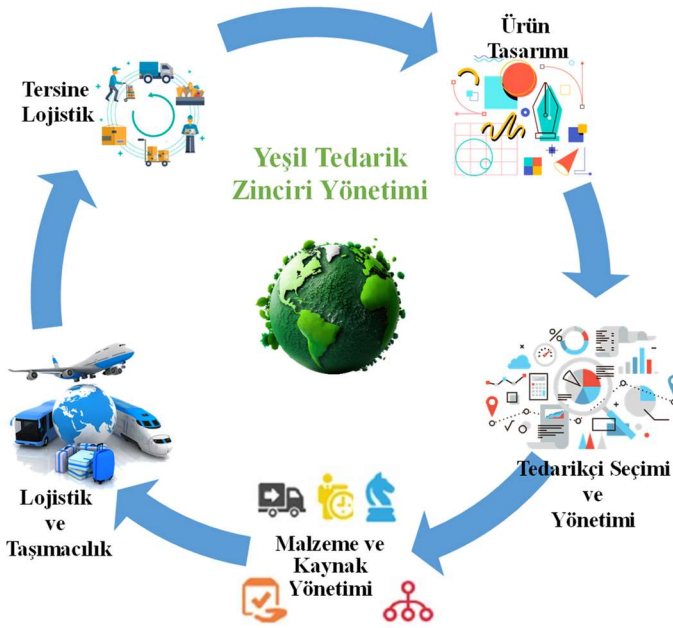
ABSTRACT

Integration of green concepts into supply chain management involves embedding sustainable environmental processes into traditional supply chains, covering production, operations and end-of-life management. This incorporation adopts principles such as reducing, reusing, recycling, recovering and increasing digestibility. However, this addition introduces increased uncertainty due to environmental factors and end-of-life considerations for the product. Various models, including fuzzy mathematical approaches, are being explored to evaluate green supply chain technologies and decision making by accounting for multiple attributes and uncertainties. Unlike traditional computing, Soft computational intelligence deals with approximate models and provides solutions to complex real-life problems. Flexible operational intelligence is more resilient to uncertainty, ambiguity, partial truth, and guesswork. In fact, flexible computational intelligence takes cues from the structure of the human mind and relies on techniques such as fuzzy logic, genetic algorithms, artificial neural networks, machine learning and chaos theory. This study aims to evaluate supplier candidates according to green supply chain management criteria by using the proposed flexible operational intelligence model in a multi-criteria decision-making environment. Additionally, an illustrative example will demonstrate the validity and reliability of the proposed model in comparison with a current decision-making method.

Keywords: Green Supply Chain Management, Flexible Operational Intelligence, Fuzzy Logic, Multi-Criteria Decision Making, Supplier Selection.

1. GİRİŞ

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, ürün tasarımı ve hammadde tedarikinden üretim, dağıtım ve kullanım ömrü sonu imha veya geri dönüşüme kadar tedarik zincirinin her aşamasına çevresel hususları entegre eden bütünsel bir yaklaşımdır (Dhumras ve Bajaj, 2024). Temel amaç, tedarik zincirinde verimliliği ve karlılığı korurken çevresel etkiyi en aza indirmektir. Bu kavram, artan çevresel kaygılara ve geleneksel tedarik zinciri uygulamalarının bıraktığı önemli ekolojik ayak izinin tanınmasına bir yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, tüm tedarik zinciri süreci boyunca sürdürülebilir uygulamaları, atıkların azaltılmasını, enerji tasarrufunu ve çevre dostu malzemelerin kullanımını vurgulamaktadır (Yu vd., 2014). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminin temel bileşenleri Şekil 1 de görsel olarak ifade edilmiş ve şunları içermektedir (Abdullah vd., 2018):



Şekil 1: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminin Temel Bileşenleri

- **Ürün Tasarımı:** Yaşam döngüleri boyunca minimum çevresel etkiye sahip ürünler yaratmak için eko-tasarım ilkelerini birleştirmeyi.
- **Tedarikçi Seçimi ve Yönetimi:** Çevre dostu uygulamaları, etik kaynak kullanımını ve

sürdürülebilir üretim yöntemlerini takip eden tedarikçilerin seçilmesini.

- **Malzeme ve Kaynak Yönetimi:** Kaynakların verimli kullanımı, atıkların en aza indirilmesi, geri dönüşüm ve üretim süreçlerinde enerji tüketiminin azaltılmasını.
- **Lojistik ve Taşımacılık:** Ulaşım rotalarının optimize edilmesi, emisyonların azaltılması ve karbon ayak izinin azaltılması için çevre dostu ulaşım yöntemlerinin benimsenmesini.
- **Tersine Lojistik:** Ürün iadelerini, geri dönüşümünü ve imhasını çevreye duyarlı bir şekilde yönetmeyi.

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin uygulanması çeşitli avantajlar sunar (Zaman vd., 2024). Bu avantajlar arasında:

- 1. Atıkların Azaltılması ve Maliyet Tasarrufu:** Enerji verimliliği ve optimize edilmiş süreçler sayesinde maliyetler düşer.
- 2. Geliştirilmiş Marka İmajı:** Çevre dostu ürünler ve sorumlu kurumsal uygulamalara yönelik tüketici taleplerinin karşılanması, markanın itibarını artırır.
- 3. Uyumluluk ve Risk Azaltma:** Gelişen çevresel düzenlemelere uyum sağlamak, uyumsuzluktan kaynaklanan yasal riskleri en aza indirir.
- 4. Yenilik ve Verimlilik:** Sürdürülebilir teknolojiler ve uygulamalarda yeniliği teşvik ederek uzun vadeli rekabet gücüne katkı sağlar.

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin başarılı bir şekilde uygulanması, tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve tüketiciler de dâhil olmak üzere çeşitli paydaşlar arasında iş birliğini gerektirir. Kaynakların verimli kullanıldığı, atıkların en aza indirildiği ve tedarik zinciri boyunca çevresel etkinin azaltıldığı daha döngüsel bir ekonomiye doğru geçişi içerir. Kuruluşlar, yeşil tedarik zinciri yönetiminde esnek işlemsel zekadan yararlanarak sürdürülebilir kararlar alma yeteneklerini geliştirebilir, çevresel etkileri azaltabilir ve genel kurumsal sosyal sorumluluğa katkıda bulunabilirler. Bu teknikler, yeşil tedarik zinciri operasyonlarıyla ilgili karmaşıklık ve belirsizliklerin ele alınmasında esneklik ve sağlamlık sağlar (Hemmati ve Pasandideh, 2021).

Esnek işlemsel zeka teorisi ve teknikleri ilk kez 1980'lerde tanıtılmış olmasına rağmen, artık mühendislik alanlarında önemli bir araştırma ve çalışma alanı haline gelmiştir (Liang ve He, 2020). Esnek işlemsel zeka teknikleri günümüzde birçok bireysel, ticari ve endüstriyel uygulamada başarıyla kullanılmaktadır. Düşük maliyetli ve çok yüksek performanslı dijital işlemcilerin ortaya çıkması ve bellek yongalarının maliyetinin azalmasıyla birlikte, esnek hesaplama tekniklerinin ve uygulama alanlarının genişlemeye devam edeceği açıktır. Karar verme problemleri de dâhil olmak üzere çözülmesi gereken matematik problemleri belirsiz bilgiler içerdiğinde bu problemlerin klasik modellerle çözülmesi mümkün değildir. Belirsizliği istenmeyen bir durum olarak gören ve olası her durumda kaçınılması gerektiğine inanan geleneksel yöntemlerin aksine, bilim insanları belirsizlikle başa çıkan alternatif bakış açıları oluşturmakta ve bilimde bundan kaçınmanın imkânsız olduğunu kabul etmektedirler (Pal vd., 2023). Bu bakış açısıyla literatürde matematik problemlerindeki belirsizliği ele alan farklı küme teorileri bulunmaktadır. İlk olarak Zadeh (1965), bir noktanın bir kümeye pozitif üyelik derecesinin tartışıldığı bulanık küme (Fuzzy Set) teorisini başlattı. Bulanık küme teorisinin yapay zeka, mühendislik, ekonomi, istatistik, bilgisayar bilimi vb. gibi bilimin hemen her alanında uygulamaları vardır. Bulanık Küme teorisi alanındaki çalışmalar ve gelişmeler devam ederken, Atanassov (1986) bu teoride bazı eksikliklerin olduğunu ortaya koymuş ve Bulanık Küme'lerin bir genellemesi olarak Sezgisel Bulanık Küme (SBK) kavramını tanımlamıştır. SBK teorisinde tüm unsurlar pozitif üyelik derecesi ve negatif üyelik derecesi ile ifade edildiğinden, bu teori belirsizlikle başa çıkmada bulanık küme teorisinden daha kullanışlı ve etkili bir araçtır. Daha sonra Yager (2013), pozitif üyelik derecesi ve negatif üyelik derecesinin karelerinin toplamının 1'den küçük veya ona eşit olması koşulunu dikkate alarak SBK teorisini Pisagor bulanık küme (PiBK) teorisine genişletti. SBK ve PiBK teorileri pek çok farklı konuda yaygın olarak kullanılmaktadır ancak "evet, hayır, çekimser, ret" gibi daha fazla yanıt içeren fikirlerle karşılaştığımızda bu teorileri kullanmak yeterli değildir. Demokratik bir seçimde oy vermek böyle bir konuya en iyi örnektir çünkü seçmenler oy verenler, oylamayı reddedenler, çekimser kalanlar ve aleyhte oy kullananlar şeklinde dört gruba

ayrılabilir. Bu nedenle Cuong, SBK'nin bir uzantısı olan Picture Bulanık Kümesi (PBK) kavramını önermiştir (Cuong, 2013, 2014; Cuong ve Kreinovich, 2013). PBK, bir kümeye bir noktanın pozitif üyelik derecesini, negatif üyelik derecesini ve nötr üyelik derecesini verir. PBK teorisi oylama problemini başarılı bir şekilde çözmüş ve birçok yazar tarafından karar verme problemlerine uygulanmıştır (Göçer, 2021; Gül, 2022; Li vd., 2017). Ancak bazı belirsiz ve kararsız bilgilerde PBK teorisinin ele alınamayacağı durumlar da vardır. Örneğin duruma ilişkin görüşleri evet 0,6, çekimser 0,4 ve hayır 0,2 denilirse $0,6 + 0,4 + 0,2 \neq 1$ sonucunu elde ederiz. Yani PBK teorisi bazı vakalarda bu tür işlevleri yerine getiremez. Senapati ve Yager (2020), üyelik ve üyelik dışı derecelerle karakterize edilen, SBK ve PiBK kümelerinin yeni bir uzantısı olan Fermatlı Bulanık Küme (FBK) teorisini tanıttı. FBK, elemanların bulanık karakterlerini daha kapsamlı bir şekilde tanımlayabildiği ve belirsizlik ile muğlaklıkla daha iyi başa çıkabildiği için birçok Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) probleminde başarıyla uygulanmaktadır (Senapati ve Yager, 2019a, 2019b, 2020).

Yeşil tedarik zinciri yönetimi için FBK tabanlı ÇKKV yaklaşımlarının birleşimi, çevresel ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada güçlü bir yöntem sunar. Yeşil tedarik zinciri yönetiminde, tedarik zincirinin her aşamasında birçok kriterin değerlendirilmesi gerekir ve bu kriterler genellikle belirsizlik ve muğlaklık içerir. FBK, bu belirsizlikleri ve muğlaklıkları yönetmek için etkili bir araçtır; belirsiz verileri daha net ve anlamlı hale getirir. ÇKKV ise, farklı kriterlerin ve bunların önem derecelerinin dikkate alınarak en uygun kararların verilmesini sağlar. Bu iki yaklaşımın entegrasyonu, çevresel etkileri minimize etmek, enerji verimliliğini artırmak, atık yönetimini optimize etmek ve sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarını geliştirmek için kapsamlı ve esnek bir çerçeve sunar. Sonuç olarak, Bulanık Mantık ve ÇKKV'nin bir arada kullanılması, yeşil tedarik zinciri yönetiminde daha bilinçli, etkili ve sürdürülebilir kararlar alınmasını sağlar.

Çalışmanın amacı, yeşil tedarik zinciri yönetimi ile ÇKKV metodolojilerini birleştirerek, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik ve verimliliği artırmaktır. Bu çalışmanın özgünlüğü, belirsizlik ve çok kriterli karar problemlerine esnek işlemsel

zeka yaklaşımı ile çözüm getirmesidir. Önceki çalışmalar, yeşil tedarik zinciri yönetimini genellikle deterministik veya tek kriterli modellerle ele almışken, bu çalışma bulanık mantık ve ÇKKV entegrasyonu ile daha kapsamlı ve esnek bir model sunmaktadır. Böylece literatüre, çevresel sürdürülebilirlik ve karar verme süreçlerinde belirsizliklerin yönetimi konusunda yenilikçi bir katkı sağlanmıştır.

Araştırma şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de yeşil tedarik zinciri yönetimi ve esnek işlemsel zeka yaklaşımlarına ilişkin mevcut yazın taraması tanımlanmaktadır. Bölüm 3'te yeşil tedarik zinciri tedarikçi seçimi için kullanılan yaklaşım ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Bölüm 4'te model, bir uygulama örneği eşliğinde ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Son olarak Bölüm 5'te bu araştırmadan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

2. YAZIN TARAMASI

Kapsamlı bir yazın taraması, esnek işlemsel zeka yaklaşımı için yeşil tedarik zinciri yönetimini derinlemesine incelemiştir. Bu inceleme, son beş yıl için Thomson Reuters'in Web of Science'ı, Elsevier'in Scopus'u ve Google Akademik'i içeren veri tabanlarındaki mevcut literatürün kapsamlı incelemesinden elde edilen içeriği, kapsamı ve bulguları sentezlemektedir. Seçilen çalışmalar titizlikle tematik bölümlere ayrılarak kapsamlı bir genel bakış sunar ve bu alanlarda devam eden araştırmalardaki en son gelişmeleri vurgular.

2.1. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi ve Additive Ratio Assessment (ARAS) (Zavadskas ve Turskis, 2010) ÇKKV metodolojisine ilişkin son literatür, önemli gelişmeler ve uygulamalar ortaya koymuştur. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, çevresel hususları tedarik zinciri operasyonlarına entegre ederek sürdürülebilirliği artırma potansiyeli nedeniyle artan ilgi görüyor. Son çalışmalar, atık yönetimi, enerji verimliliği ve sürdürülebilir tedarikçi seçimi gibi Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin çeşitli yönlerini optimize etmeye odaklandı (Seyhan vd., 2024). Sistematiik incelemeler, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'ndeki karmaşık karar verme senaryolarını ele almak için ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasına yönelik artan eğilimi vurgulamaktadır. Bu yöntemler ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler gibi

birden fazla sürdürülebilirlik boyutunun değerlendirilmesine ve dengelenmesine yardımcı olur (Pamucar vd., 2024).

Sürdürülebilirlik ve kapsamlı karar alma çerçevelerine odaklanarak, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nde tedarikçi seçimine yönelik gelişen metodolojileri ve kriterleri toplu olarak vurgulayan bazı çalışmalar şunlardır: Konys (2019), yeşil tedarikçi seçim kriterlerine ilişkin kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. Çalışma, etkili karar vermeyi desteklemek için bu kriterlerin doğru bir şekilde tanımlanmasının ve yapılandırılmasının önemini vurgulamaktadır. Sürdürülebilir tedarikçilerin değerlendirilmesi ve seçilmesi için sistematik bir yaklaşım sunarak, yeşil tedarikçi seçimi hakkındaki bilgiyi yakalamak ve işlemek için bir ontoloji sunar. Meena vd. (2023), Tedarik Zinciri Operasyonları Referansı (SCOR) modelini sürdürülebilirlik ve müşteri hizmetleri nitelikleriyle bütünleştiren bir çerçeveyi tartışıyor. Yaklaşımları, tedarikçileri planlama, üretim, teslimat ve sürdürülebilirlik gibi kriterlere göre sıralamak için bulanık analitik hiyerarşi sürecini ve bulanık TOPSIS'i kullanıyor. Çalışma, tedarikçi seçiminde operasyonel verimliliğin maliyetten daha önemli olduğunu vurguluyor (Meena vd., 2023). Dewi ve Zagloel (2023), sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi konusunda sistematik bir inceleme yaparak alanda sıklıkla uygulanan yöntem ve kriterleri belirlemiştir. İnceleme, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliğe artan vurguyu yansıtan, çevresel hususların geleneksel tedarikçi seçim süreçlerine dahil edilmesine yönelik bir eğilimi ortaya koyuyor.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları

ARAS metodolojisi Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi bağlamında yaygın olarak uygulanmıştır. Çeşitli kriterleri göz önünde bulundurarak ve bir temele göre performanslarının kapsamlı bir değerlendirmesini sağlayarak alternatifleri değerlendirmek özellikle yararlıdır (Alvandi Ghasvand vd., 2024). ARAS metodolojisinin Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'ndeki son uygulamaları arasında tedarikçilerin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi, yeşil teknolojilerin seçilmesi ve lojistik ağlarının optimize edilmesi yer alıyor (Chen vd., 2023). Bu çalışmalar, ARAS yönteminin Yeşil Tedarik Zinciri

Yönetimi kararlarındaki doğal karmaşıklığı ve belirsizliği etkili bir şekilde yönetebildiğini göstermektedir (Liao vd., 2016). Araştırmacılar, karar verme doğruluğunu artırmak için ARAS'ı diğer ÇKKV yöntemleriyle ve bulanık mantıkla giderek daha fazla entegre ediyor (Büyükoçkan ve Göçer, 2018; Göçer ve Şener, 2022; Göçer, 2024). Bu hibrit modeller, belirsiz veya kesin olmayan veriler ile uğraşmak gibi Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi sorunlarının nüanslarını daha iyi yakalamak için farklı metodolojilerin güçlü yönlerini birleştirir (Tsai vd., 2023). Örneğin, ARAS'ı FBK ile birleştirmek, belirsizliklerin daha incelikli bir şekilde ele alınmasına olanak tanır ve bu da onu sürdürülebilir tedarik zinciri kararları için güçlü bir araç haline getirir (Göçer, 2024).

ÇKKV yöntemleri için Grup Karar Verme (GKV) çok sayıda çalışmada uygulanmıştır. Bu araştırmanın özgünlüğü, ARAS tekniğini FBK ortamına entegre ederek GKV tabanlı bir ÇKKV yöntemini Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi planlamasını sunma gücünden kaynaklanmaktadır. ARAS yaklaşımının bu uygulamasında, bir grup karar verici (KV)'nin değerlendirme kararları FBK değerlerinde sağlanır. Bu yöntem, diğer yöntemlere kıyasla çok daha fazla esneklik ve grup performansına ilişkin kararların çok daha iyi belirlenmesini sağlar. Bir FBK ortamında ARAS metodolojisinin uygulanması, karmaşık karar problemlerini çözmek için daha basit ve daha etkili bir yaklaşıma yol açar (Göçer, 2024). Bu uygulama, KV'lerin karar verme süreçlerinde daha mantıklı, rasyonel ve etkili çözümler elde etmelerini sağlıyor. FBK'lerin belirsiz ve bulanık ortamları tanımlamadaki önemli avantajı, kesin form, bulanık form veya SBK formuna göre büyük bir gelişme sunmaktadır (Chen vd., 2022; Erdogan ve Ayyildiz, 2022).

Özetle, ARAS ÇKKV metodolojisinin Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi uygulamalarıyla birleşimi, bilinçli ve sürdürülebilir kararlar almak için güçlü bir yaklaşım olduğunu kanıtıyor. Bu entegre metodoloji, ekonomik performans ile çevresel sorumluluk arasında bir denge sağlayarak, işletmeleri sürdürülebilirliğin çok yönlü zorluklarını ele alma konusunda destekler. Böylece yazında oluşan boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve GKV ortamında ARAS yaklaşımını FBK değerleriyle birleştirerek Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nde tedarikçi planlaması için bir çerçeve önermektedir.

3. ÖNERİLEN METODOLOJİ

Doğadaki karar verme süreçleri genellikle karmaşıktır ve çoğunlukla belirsiz, muğlak ve kesin olmayan bilgilerle karakterize edilir. Bu belirsizlik, insanlar, makineler veya sistemik sorunlar gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Etkili bir karar verme metodolojisi, bu belirsizliklerin üstesinden gelebilecek esnekliğe sahip olmalıdır. KV'ler genellikle seçenekleri değerlendirirken deneyimlerine ve içgüdülerine güvenirler. Ayrıca, seçimleri karşılaştırırken kesin sayısal değerler vermekte tereddüt edebilirler. Bu çalışmada, belirsizliği karar modellerine dahil etmek için FBK teorisini bir çerçeve olarak benimsiyoruz.



Şekil 2: Önerilen Metodoloji Adımları

ARAS tekniği, uzman görüşlerinin karar verme sürecine entegrasyonunu kolaylaştırırken, kriter değerlendirmeleri sırasında doğrudan göreceli karşılaştırmalara olanak tanıyan umut verici bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde uzmanların sağladığı bilgiler, ağırlıkların belirlenmesinde ve çeşitli kriterlerin önemlerinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Göçer, 2024).

Sonraki alt bölümler, FBK teorisine kısa bir giriş sunmakta ve önerilen ÇKKV metodolojisine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Önerilen metodoloji adımları, Şekil 2 de görselleştirilmiştir.

3.1. Ön Hazırlık: Aralık Değerli FBK

Sezgisel Bulanık Kümeler (SBK) kavramının öncülüğünü yapan Atanassov (1986), bir X kümesi içindeki elemanları tanımlamak için üyelik ve üyelik dışı değerleri kullanmıştır. Bu çerçevede, X 'teki herhangi bir x elemanı için üyelik ve üyelik dışı değerlerin toplamının 1'i aşmaması gerekmektedir. Dolayısıyla, SBK'nin temel tanımları aşağıdaki Denklem (1) ile belirlenmiştir.

$$\tilde{A} = \{\langle x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x) \rangle : x \in X\} \quad (1)$$

Yukarıda bahsedilen Denklem, $x \in X$ elemanının $\mu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1]$ üyeliği ve $\nu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1]$ üyeliksizlik dereceleriyle X kümesine aşağıdaki durumdaki gibi ifade edilir:

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1, \forall x \in X \quad (2)$$

Kararsızlık derecesi $\pi_{\tilde{A}}$ ile temsil edilir ve hesaplanması Denklem (3) ile gösterilir.

$$\pi_{\tilde{A}} = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) - \nu_{\tilde{A}}(x) \quad (3)$$

Yager tarafından tanıtilan bulanık küme teorisindeki yeni bir gelişme, PiBK teorisi olarak bilinir (Yager ve Abbasov, 2013; Yager, 2014). Geleneksel SBK'lerden farklı olarak PiBK'ler, bir küme içindeki öğeler için üyelik ve üyeliksizlik derecelerini tanımlayarak yeni bir yaklaşım sunar. Ancak PiBK'lerde bu dereceler karelerinin toplamı maksimum bir (1) ile sınırlandırılmıştır.

Boş olmayan bir sabit X kümesi için, X içindeki bir PiBK değeri (P) aşağıdaki gibi gösterilir (Yager, 2013; Yager ve Abbasov, 2013):

$$P = \{\langle x, \mu_P(x), \nu_P(x) \rangle : x \in X\}, \quad (4)$$

Yukarıdaki Denklem, $x \in X$ öğesinin P kümesine $\mu_P: X \rightarrow [0,1]$ üyeliği ve $\nu_P: X \rightarrow [0,1]$ üyeliksizlik dereceleri ile aşağıdaki durumla bilinir:

$$0 \leq (\mu_P(x))^2 + (\nu_P(x))^2 \leq 1 \quad \forall x \in X, \quad (5)$$

buna göre tereddüt derecesi $\pi_P(x)$ ile temsil edilir ve hesaplanması Denklem (6) ile gösterilir.

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - (\mu_P(x))^2 - (\nu_P(x))^2} \quad \forall x \in X, \quad (6)$$

Yakın zamanda Senapati and Yager (2020), FBK olarak adlandırılan ve ayrıntıları aşağıda verilen bir bulanık kümenin başka bir uzantısını öne sürdüler:

X bir söylem evreni olsun. X 'teki bir FBK F , şu forma sahip bir nesnedir:

$$F = \{\langle x, \mu_F(x), \nu_F(x) \rangle : x \in X\}, \quad (7)$$

Yukarıdaki Denklem, $x \in X$ öğesinin F kümesine $\mu_F: X \rightarrow [0,1]$ üyeliği ve $\nu_F: X \rightarrow [0,1]$ üyeliksizlik olmamasıyla ve sonraki şu durumla bilinir:

$$0 \leq (\mu_F(x))^3 + (\nu_F(x))^3 \leq 1 \quad \forall x \in X, \quad (8)$$

Sonuç olarak, π_F ile gösterilen FBK'lerin tereddüt derecesi Denklem (9) ile hesaplanabilir.

$$\pi_F(x) = \sqrt[3]{1 - (\mu_F(x))^3 - (\nu_F(x))^3}, \forall x \in X, N \quad (9)$$

Aşağıdaki satırlarda Aralık Değerli FBK seti ve aritmetik işlem operatörlerinin temel kavramları sunulmaktadır (Rani ve Mishra, 2022).

X üzerinden tanımlanan Aralık Değerli FBK Seti F şu şekilde verilir:

$$F = \{\langle x, [\mu_F^L(x), \mu_F^U(x)], [\nu_F^L(x), \nu_F^U(x)] \rangle : x \in X\} \quad (10)$$

Burada $0 \leq \mu_F^L(x) \leq \mu_F^U(x) \leq 1$, $0 \leq v_F^L(x) \leq v_F^U(x) \leq 1$ ve $(\mu_F^U(x))^3 + (v_F^U(x))^3 \leq 1$ tüm $x \in X$ için.

Tereddüt derecesi şu şekilde verilir:

$$\pi_F(x) = [\pi_F^L(x), \pi_F^U(x)] = \left[\sqrt[3]{1 - (\mu_F^U(x))^3 - (v_F^U(x))^3}, \sqrt[3]{1 - (\mu_F^L(x))^3 - (v_F^L(x))^3} \right] \quad (11)$$

$$F_1 = \langle [\mu_{F_1}^L(x), \mu_{F_1}^U(x)], [v_{F_1}^L(x), v_{F_1}^U(x)] \rangle, F_2 = \langle [\mu_{F_2}^L(x), \mu_{F_2}^U(x)], [v_{F_2}^L(x), v_{F_2}^U(x)] \rangle,$$

İki Aralık Değerli FBK değeri ve $\lambda > 0$ skaler değer olsun, Aralık Değerli FBK değerlerindeki aritmetik işlemler şu şekilde tanımlanır:

$$F_1 \oplus F_2 = \left\langle \left[\sqrt[3]{(\mu_{F_1}^L(x))^3 + (\mu_{F_2}^L(x))^3 - (\mu_{F_1}^L(x))^3 (\mu_{F_2}^L(x))^3}, \sqrt[3]{(\mu_{F_1}^U(x))^3 + (\mu_{F_2}^U(x))^3 - (\mu_{F_1}^U(x))^3 (\mu_{F_2}^U(x))^3} \right], \left[v_{F_1}^L(x) v_{F_2}^L(x), v_{F_1}^U(x) v_{F_2}^U(x) \right] \right\rangle \quad (12)$$

$$F_1 \otimes F_2 = \left\langle \left[\mu_{F_1}^L(x) \mu_{F_2}^L(x), \mu_{F_1}^U(x) \mu_{F_2}^U(x) \right], \left[\sqrt[3]{(v_{F_1}^L(x))^3 + (v_{F_2}^L(x))^3 - (v_{F_1}^L(x))^3 (v_{F_2}^L(x))^3}, \sqrt[3]{(v_{F_1}^U(x))^3 + (v_{F_2}^U(x))^3 - (v_{F_1}^U(x))^3 (v_{F_2}^U(x))^3} \right] \right\rangle \quad (13)$$

$$\lambda \otimes F_1 = \left\langle \left[\sqrt[3]{1 - (1 - (\mu_{F_1}^L(x))^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (\mu_{F_1}^U(x))^3)^\lambda} \right], \left[(v_{F_1}^L(x))^\lambda, (v_{F_1}^U(x))^\lambda \right] \right\rangle \quad (14)$$

$$F_1^\lambda = \left\langle \left[(\mu_{F_1}^L(x))^\lambda, (\mu_{F_1}^U(x))^\lambda \right], \left[\sqrt[3]{1 - (1 - (v_{F_1}^L(x))^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (v_{F_1}^U(x))^3)^\lambda} \right] \right\rangle \quad (15)$$

$$\text{negation}(\tilde{A}) = \{ \langle x, [v_{F_1}^L(x), v_{F_1}^U(x)], [\mu_{F_1}^L(x), \mu_{F_1}^U(x)] \rangle \mid x \in X \} \quad (16)$$

Aralık Değerli FBK Ağırlıklı Ortalama (ADFBAO) operatörü Denklem (17)'de tanımlanmıştır.

$$\text{ADFBAO}(F_1, F_2, \dots, F_n) = \left\langle \left[\sqrt[3]{1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\mu_{F_j}^L(x))^3)^{\omega_j}}, \sqrt[3]{1 - \prod_{j=1}^n (1 - (\mu_{F_j}^U(x))^3)^{\omega_j}} \right], \left[\prod_{j=1}^n (v_{F_j}^L(x))^{\omega_j}, \prod_{j=1}^n (v_{F_j}^U(x))^{\omega_j} \right] \right\rangle \quad (17)$$

Burada $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$, $F_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 'nin $\omega_j > 0$ and $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ ile ağırlık vektörüdür.

Herhangi bir Aralık Değerli FBK değeri için $[\mu_F^L(x), \mu_F^U(x)], [v_F^L(x), v_F^U(x)]$ skor fonksiyonu $sc(f_i) \in [-1, 1]$ ve doğruluk fonksiyonu $ac(f_i) \in [-1, 1]$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$sc(f_i) = \frac{1}{2} \left((\mu_F^L(x))^3 + (\mu_F^U(x))^3 - (v_F^L(x))^3 - (v_F^U(x))^3 \right), \quad (18)$$

$$ac(f_i) = \frac{1}{2} \left((\mu_F^L(x))^3 + (\mu_F^U(x))^3 + (v_F^L(x))^3 + (v_F^U(x))^3 \right), \quad (19)$$

$$f_1 = (\mu_{f_1}(x), v_{f_1}(x)) \text{ ve } f_2 = (\mu_{f_2}(x), v_{f_2}(x))$$

İki Aralık Değerli FBK değeri olsun, aralarındaki sıralama şu şekilde gerçekleşir:

1. Eğer $sc(f_1) < sc(f_2)$, o zaman $f_1 < f_2$
2. Eğer $sc(f_1) > sc(f_2)$, o zaman $f_1 > f_2$
3. Eğer $sc(f_1) = sc(f_2)$, t o zaman
 - a. $ac(f_1) < ac(f_2)$, o zaman $f_1 < f_2$
 - b. $ac(f_1) > ac(f_2)$, o zaman $f_1 > f_2$
 - c. $ac(f_1) = ac(f_2)$, o zaman $f_1 \approx f_2$

3.2. Aralık Değerli FBK ARAS Metodolojisi

Karar verme süreçleri, çeşitli ortamlarda uygulanabilir stratejilerin seçimine rehberlik eden bilimsel ve mantıksal yolların omurgasıdır. Seçimler tek bir kritere göre yönetildiğinde, karar verme süreci, tek kriterli karar verme olarak bilinen sürece basitleşir, çünkü bu tek kritere göre en yüksek değere sahip adayın seçilmesini gerektirir. Bununla birlikte, gerçek dünyada karar verme süreci çoğu zaman birden fazla kriteri içerir ve bu da ÇKKV süreçlerinin karmaşıklığına yol açar.

Bu çalışmada, kullanıcı dostu yapısı ve hesaplama verimliliği nedeniyle Aralık Değerli FBK yaklaşımıyla belirlenen değerlendirme kriterlerinin önemi vurgulanarak ÇKKV sorunlarının ele alınmasına odaklanılmaktadır. Burada geliştirilen Aralık Değerli FBK ARAS yöntemi (Göçer, 2024), bir dizi alternatif arasından en uygun çözümü değerlendirmek ve seçmek için kriter ağırlıklarını entegre eder. Bu yöntem, FBK ARAS çerçevesinde optimalite derecesini tanımlamak için toplam oran tekniğini kullanarak kriter değerlerinin rasyonel bir değerlendirmesini kullanır.

Ek olarak, özneliği ve önyargıyı azaltmak için hesaplamalara GKV dahil edilerek daha objektif bir karar alma süreci sağlanır.

Önerilen yaklaşım adım adım özetlenmiştir:

Adım 1: K katılımcıdan oluşan bir grup KV belirlenmesi;

Adım 2: Hedefleri, alternatifleri ve kriterleri tanımlanması;

K KV'ler, bir dizi alternatifi $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ birden fazla kritere $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ göre değerlendirmekle görevlendirilir.

Adım 3: Uzmanlardan değerlendirmeler toplanması;

Karar problemine ilişkin bir anlayışa sahip belirli sayıda KV, Tablo 1'te özetlenen dilsel ifadeleri kullanarak ilgili her faktör için kendi dilsel yargılarını sağlar.

Adım 4: Her KV öneminin belirlenmesi;

KV'lerin ilgili önem derecelerini belirlemek için dilsel terimleri kullanarak birbirlerini değerlendirdiği bir değerlendirme sürecini içerir. Bu dilsel yargılar daha sonra Aralık Değerli FBK değerlerine dönüştürülür ve Denklem (20) ile açıklandığı gibi ADFBAO operatörü kullanılarak birleştirilir.

Özellikle ağırlık vektörü (ω) , $\omega = \frac{1}{K-1}$ 'de sabit kalır.

KV'ler tarafından sağlanan toplu görüşler, Denklem (21)'de gösterildiği gibi her bir KV'ye atanan ağırlıkları $(\lambda^k, \text{burada } \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1)$ belirlemek için kullanılır.

Tablo 1: Dilsel Yargılar (Göçer, 2024)

Dilsel Terimler		Aralık Değerli FBK Değerleri					
		$\mu_F(x)$		$v_F(x)$		$\pi_F(x)$	
		$[\mu^L, \mu^U]$	$[\mu^L, \mu^U]$	$[v^L, v^U]$	$[v^L, v^U]$	$[\pi^L, \pi^U]$	$[\pi^L, \pi^U]$
Son Derece İyi	SDİ	[0,90	0,95]	[0,10	0,15]	[0,52	0,65]
Çok İyi	Çİ	[0,80	0,85]	[0,20	0,25]	[0,72	0,78]
İyi	İ	[0,70	0,75]	[0,30	0,35]	[0,81	0,86]
Orta İyi	Oİ	[0,60	0,65]	[0,40	0,45]	[0,86	0,90]
Orta	O	[0,50	0,55]	[0,50	0,55]	[0,87	0,91]
Orta Kötü	OK	[0,40	0,45]	[0,60	0,65]	[0,86	0,90]
Kötü	K	[0,30	0,35]	[0,70	0,75]	[0,81	0,86]
Çok Kötü	ÇK	[0,20	0,25]	[0,80	0,85]	[0,72	0,78]
Son Derece Kötü	SDK	[0,10	0,15]	[0,90	0,95]	[0,52	0,65]

$$ADFBAO(\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^K) = \left\langle \sqrt[3]{1 - \prod_{k=1}^K \left(1 - (\mu_{F_k}^L(x))^3\right)^{\frac{1}{K-1}}}, \left[\prod_{k=1}^K (v_{F_k}^L(x))^{\frac{1}{K-1}}, \prod_{k=1}^K (v_{F_k}^U(x))^{\frac{1}{K-1}} \right] \right\rangle \quad (20)$$

$$\lambda^k = \frac{\left((\mu_{F_k}^L(x))^3 + (\mu_{F_k}^U(x))^3 - (v_{F_k}^L(x))^3 - (v_{F_k}^U(x))^3 \right)}{\sum_{k=1}^K \left((\mu_{F_k}^L(x))^3 + (\mu_{F_k}^U(x))^3 - (v_{F_k}^L(x))^3 - (v_{F_k}^U(x))^3 \right)} \quad (21)$$

$$ADFBAO(w_1, w_2, \dots, w_n) = \left\langle \sqrt[3]{1 - \prod_{k=1}^K \left(1 - (\mu_{F_{kj}}^L(x))^3\right)^{\lambda^k}}, \left[\prod_{k=1}^K (v_{F_{kj}}^L(x))^{\lambda^k}, \prod_{k=1}^K (v_{F_{kj}}^U(x))^{\lambda^k} \right] \right\rangle \quad (22)$$

$$w_j = \frac{\left((\mu_{F_j}^L(x))^3 + (\mu_{F_j}^U(x))^3 - (v_{F_j}^L(x))^3 - (v_{F_j}^U(x))^3 \right)}{\sum_{j=1}^n \left((\mu_{F_j}^L(x))^3 + (\mu_{F_j}^U(x))^3 - (v_{F_j}^L(x))^3 - (v_{F_j}^U(x))^3 \right)} \quad (23)$$

Adım 5: Her bir kriterin önem ağırlıklarını belirlenmesi;

burada ($j = 1, 2, \dots, n$, ve $w_1, w_2, \dots, w_n, w_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$) her bir kriterin göreceli önemini belirlemeyi amaçlamaktadır. KV'ler, niteliklerin

önem derecelerini belirlemek için dilsel terimleri kullanarak her bir kriteri değerlendirmeye çalışırlar. Daha sonra dilsel yargıları Aralık Değerli FBK değerlerine dönüştürülür ve Denklem (22) ile tanımlandığı gibi ADFBAO operatörü kullanılarak birleştirilir. Özellikle, ağırlık vektörü (ω_j), kriterlere

ilişkin değerlendirmelerde bulunan KV'ler tarafından atanan ilgili ağırlıklarla belirlenir ($\omega_j = \lambda^k$). KV'lerin toplu görüşleri, Denklem (23)'te gösterildiği gibi kriterlerin kesin önem ağırlıklarının belirlenmesinde temel oluşturur.

Adım 6: Aralık değerli FBK değerleri için karar matrisi oluşturma;

Karakteristik bir Aralık Değerli FBK yaklaşımının oluşturulması, m alternatifi ve n kriterin dikkate alınmasını içerir. Bunun sonucunda Denklem (24) olarak temsil edilen bir Aralık Değerli FBK değer matrisinin formülasyonu sağlanır.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{01} & \cdots & \tilde{x}_{11} & \cdots & \tilde{x}_{i1} & \cdots & \tilde{x}_{m1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{02} & \cdots & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{i2} & \cdots & \tilde{x}_{m2} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{0j} & \cdots & \tilde{x}_{1j} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{mj} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{0n} & \cdots & \tilde{x}_{1n} & \cdots & \tilde{x}_{in} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (24)$$

m ile gösterilen alternatif sayısı ve n ile gösterilen kriter sayısı Aralık Değerli FBK değer matrisinin yapısını belirler. Bu Aralık Değerli FBK değerleri $\tilde{x}_{ij} = [\mu_F^L(\tilde{x}_{ij}), \mu_F^U(\tilde{x}_{ij})], [v_F^L(\tilde{x}_{ij}), v_F^U(\tilde{x}_{ij})]$ olarak gösterilen her giriş, j kriterine ilişkin i alternatifi performans değerini temsil eden bir Aralık Değerli FBK değerini kapsar; burada i , 0 ile m arasında değişir ve j , 1 ile n arasında değişir. Bu kriterler için en uygun skor Denklem (25) ve Denklem (26) kullanılarak belirlenir.

Daha yüksek değerlerin istendiği fayda kriterleri için:

$$\begin{bmatrix} \mu_F^L(\tilde{x}_{0j}), \\ \mu_F^U(\tilde{x}_{0j}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} v_F^L(\tilde{x}_{0j}), \\ v_F^U(\tilde{x}_{0j}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \max_i \mu_F^L(\tilde{x}_{ij}), \\ \max_i \mu_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \min_i v_F^L(\tilde{x}_{ij}), \\ \min_i v_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix} \quad (25)$$

Daha düşük değerlerin tercih edildiği maliyet kriterleri için:

$$\begin{bmatrix} \mu_F^L(\tilde{x}_{0j}), \\ \mu_F^U(\tilde{x}_{0j}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} v_F^L(\tilde{x}_{0j}), \\ v_F^U(\tilde{x}_{0j}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \min_i \mu_A^L(\tilde{x}_{ij}), \\ \min_i \mu_A^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \max_i v_A^L(\tilde{x}_{ij}), \\ \max_i v_A^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix} \quad (26)$$

Adım 7: normalleştirilmiş aralık değerli FBK karar matrisinin oluşturulması;

Karar matrisinin başlangıç değerleri, Denklem (16)'da açıklandığı gibi olumsuzlama operatörü kullanılarak normalleştirmeye tabi tutulur. Bu normalleştirme süreci Denklem (27) ve Denklem (28) aracılığıyla gerçekleştirilir ve normalleştirilmiş Aralık Değerli FBK karar matrisi $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ oluşmasıyla sonuçlanır, burada $\tilde{r}_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U], [b_{ij}^L, b_{ij}^U]$, $i = 0, 1, \dots, m$ ve $j = 1, \dots, n$ e kadar değişir.

Fayda kriterleri için:

$$\begin{bmatrix} a_{ij}^L, a_{ij}^U \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_{ij}^L, b_{ij}^U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_F^L(\tilde{x}_{ij}), \mu_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} v_F^L(\tilde{x}_{ij}), v_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix} \quad (27)$$

Maliyet kriterleri için:

$$\begin{bmatrix} a_{ij}^L, a_{ij}^U \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} b_{ij}^L, b_{ij}^U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_F^L(\tilde{x}_{ij}), v_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \mu_F^L(\tilde{x}_{ij}), \mu_F^U(\tilde{x}_{ij}) \end{bmatrix} \quad (28)$$

Adım 8: Ağırlıklı aralık değerli FBK matrisinin geliştirilmesi;

Ağırlıklı karar matrisi, Adım 5'te tahmin edilen kriterlerin ağırlıklarının Denklem (23) kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi ile çarpılmasıyla oluşturulur. Denklem (10)'da belirtilen skaler çarpım için Aralık Değerli FBK operatörü, j 'inci kriterle ilişkin i 'inci alternatifi ağırlıklı derecelendirmelerini elde etmek için uygulanır:

$$\tilde{R} = w_j \otimes \tilde{r}_{ij} \quad (29)$$

Adım 9: Optimallik fonksiyonu için değerlerin tanımlanması;

Optimumluk fonksiyonu $\tilde{P}_i$ 'nin değeri, tüm alternatifler için Denklem (30) kullanılarak Aralık Değerli FBK toplama operatörü (Denklem (12)) kullanılarak hesaplanır:

$$\tilde{P}_i = \oplus_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} \quad (30)$$

$\tilde{P}_i$ değeri Denklem (18) ile ayrıca değerlendirilir:

$$P_i = sc(\tilde{P}_i) = \frac{1}{2} \left((\mu_F^L(x))^3 + (\mu_F^U(x))^3 - (v_F^L(x))^3 - (v_F^U(x))^3 \right) \quad (31)$$

Adım 10: Alternatif fayda değerlerinin tahmin edilmesi;

Q_i ile gösterilen alternatif faydanın derecesi Denklem (32) ile belirlenir:

$$Q_i = \frac{P_i}{P_0} \quad (32)$$

Adım 11: Her alternatifin sıralanması;

Q_i değerleri, alternatifleri sıralamak için artan sırada düzenlenir. Daha yüksek bir Q_i değeri daha iyi bir adaya işaret ederken, daha düşük bir Q_i değeri tüm alternatifler arasında daha az tercih edilen bir adaya işaret eder.

4. UYGULAMA

Yeşil tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimi çeşitli nedenlerden dolayı çok önemlidir. Bir şirketin çevresel, operasyonel ve ekonomik sonuçlarını şekillendiren önemli bir süreçtir. Tedarikçi seçiminde sürdürülebilirliğe öncelik veren şirketler, çevresel etkinin azaltılması, verimliliğin artırılması, düzenlemelere uyum, marka itibarının iyileştirilmesi ve uzun vadeli maliyet tasarrufları dahil olmak üzere önemli faydalar elde edebilir. Bu stratejik yaklaşım yalnızca şirketin sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemekle kalmıyor, aynı zamanda daha geniş küresel çevre koruma çabalarına da katkıda bulunuyor. Bu tedarikçiler ve hizmet sağlayıcılar, çeşitli yenilikçi ve pratik çözümler aracılığıyla kuruluşların daha sürdürülebilir, çevre dostu tedarik zincirleri oluşturmalarına yardımcı

olabilir. Bu amaçla bu bölümde, Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi için tedarikçilerin seçilmesi aşamasını aralık değerli FBK ARAS yöntemi kullanarak, bir dizi alternatif arasından en uygun çözümü değerlendirmek ve seçmek için kriter ağırlıklarını entegre edildiği bir uygulama gösterilecektir.

Adım 1: Bu çalışmada, farklı geçmişlere sahip üç Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi uzmanı değerlendirmeci olarak yer almış ve yeşil tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimi ile ilgili yardımcı olmuştur. Her bir KV'nin kısa özgeçmişi aşağıda belirtilmiştir.

Yeşil tedarik zinciri yönetiminde, üç farklı KV profili tedarikçi seçim sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Çevresel Sürdürülebilirlik Görevlisi **KV₁**, tedarikçilerin yenilenebilir enerji kullanımı, atıkların azaltılması ve karbon ayak izlerinin en aza indirilmesi gibi çevre dostu uygulamalara bağlı kalmasının sağlanmasına ve tedarikçi seçimlerinin şirketin sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesine odaklanır.

Tedarik Müdürü **KV₂**, sürdürülebilir seçeneklerin genel iş verimliliğinden ödün vermemesini sağlamak için finansal hususları çevresel kriterlerle dengeleyerek tedarikçileri maliyet verimliliği ve operasyonel performansa göre değerlendirir.

Son olarak Mevzuata Uyum Uzmanı **KV₃**, tüm çevresel düzenleme ve standartları karşılayan tedarikçilere öncelik vererek yasal riskleri azaltır ve şirketin gelişen çevre yasalarına uyumlu kalmasını sağlayarak olası cezalara ve operasyonel aksaklıklara karşı koruma sağlar. Bu profiller hep birlikte tedarikçi seçimine yönelik kapsamlı ve dengeli bir yaklaşım sağlar; çevresel sorumluluğu, maliyet yönetimini ve mevzuata uygunluğu entegre eder.

Adım 2: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi için tedarikçilerin seçilmesi, onların çevresel sürdürülebilirliği ve genel verimliliği sağlayan bir dizi kapsamlı kriterle göre değerlendirilmesini içerir. Yeşil tedarikçi seçimi için yaygın olarak kullanılan ve son literatürden alınan bir dizi kriter aşağıda verilmiştir (Konys, 2019; Dewi ve Zagloel, 2023; Meena vd., 2023):

Çevresel Performans C_1 :

- Çevre Yönetim Sistemi C_{11} : ISO 14001 gibi sertifikalı bir Çevre Yönetim Sistemi'nin varlığı.
- Kirlilik Kontrolü C_{12} : Su ve hava kirliliği kontrol sistemleri dâhil olmak üzere emisyonları ve atıkları azaltmak için alınan önlemler.
- Kaynak Verimliliği C_{13} : Enerji, su ve hammaddeler dâhil olmak üzere doğal kaynakların verimli kullanımı.
- Yeşil Ürün Tasarımı C_{14} : Geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması ve tehlikeli maddelerin azaltılması gibi çevre dostu ürünler tasarlama çabaları.

Ekonomik Performans C_2 :

- Maliyet Rekabetçiliği C_{21} : Çevre standartlarından ödün vermeden uygun maliyetli çözümler sunma yeteneği.
- Finansal İstikrar C_{22} : Uzun vadeli işbirliği ve desteği sağlamak için tedarikçinin mali sağlığı.
- İnovasyon Yeteneği C_{23} : Sürdürülebilirliği geliştirebilecek yeşil teknolojilere ve yeniliklere yatırım.

Sosyal Performans C_3 :

- Kurumsal Sosyal Sorumluluk C_{31} : Topluluğa fayda sağlayan ve etik iş uygulamalarına bağlı kalan Kurumsal Sosyal Sorumluluk faaliyetlerine katılım.
- Çalışan Refahı C_{32} : Güvenli çalışma koşullarının ve çalışanlara adil muamelenin sağlanması.
- Paydaş Katılımı C_{33} : Sürdürülebilirliği teşvik etmek için müşteriler, çalışanlar ve yerel topluluklar dahil olmak üzere paydaşların aktif katılımı.

Operasyonel Performans C_4 :

- Kalite Yönetimi C_{41} : Kalite standartlarına bağlılık ve yeşil uygulamaları uygularken yüksek ürün kalitesini koruma yeteneği.

- Teslimat Güvenilirliği C_{42} : Çevre standartlarından ödün vermeden ürün ve hizmetlerin zamanında teslimi.
- Esneklik ve Yanıt Verme C_{43} : Değişen gereksinimlere uyum sağlama ve yeşil yenilikleri hızlı bir şekilde dahil etme yeteneği.

Mevzuata Uygunluk C_5 :

- Çevre Düzenlemelerine Uyum C_{51} : Yerel ve uluslararası çevre yasa ve düzenlemelerine uyum.
- Sertifikalar ve Akreditasyonlar C_{52} : Yeşil uygulamalarını doğrulayan ilgili çevre sertifikalarına ve akreditasyonlara sahip olmak.

Sürdürülebilirlik Girişimleri C_6 :

- Karbon Ayak İzini Azaltılması C_{61} : Yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimli süreçler gibi çeşitli girişimlerle karbon emisyonlarını en aza indirme çabaları.
- Atık Yönetimi C_{62} : Atık malzemeleri azaltmak, yeniden kullanmak ve geri dönüştürmek için etkili stratejiler.
- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi C_{63} : Ürün ve süreçlerinin yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi.

Bu kriterler, çevresel, ekonomik ve sosyal yönlerin etkili bir şekilde dengelenmesini sağlayarak tedarikçinin yeşil tedarik zincirine katkıda bulunma kapasitesine ilişkin bütünsel bir görünüm sağlar.

Her biri sürdürülebilir ve çevre dostu tedarik zinciri yönetiminin çeşitli yönlerinde uzmanlaşmış beş farklı yeşil tedarik zinciri tedarikçi alternatifi aşağıda verilmiştir:

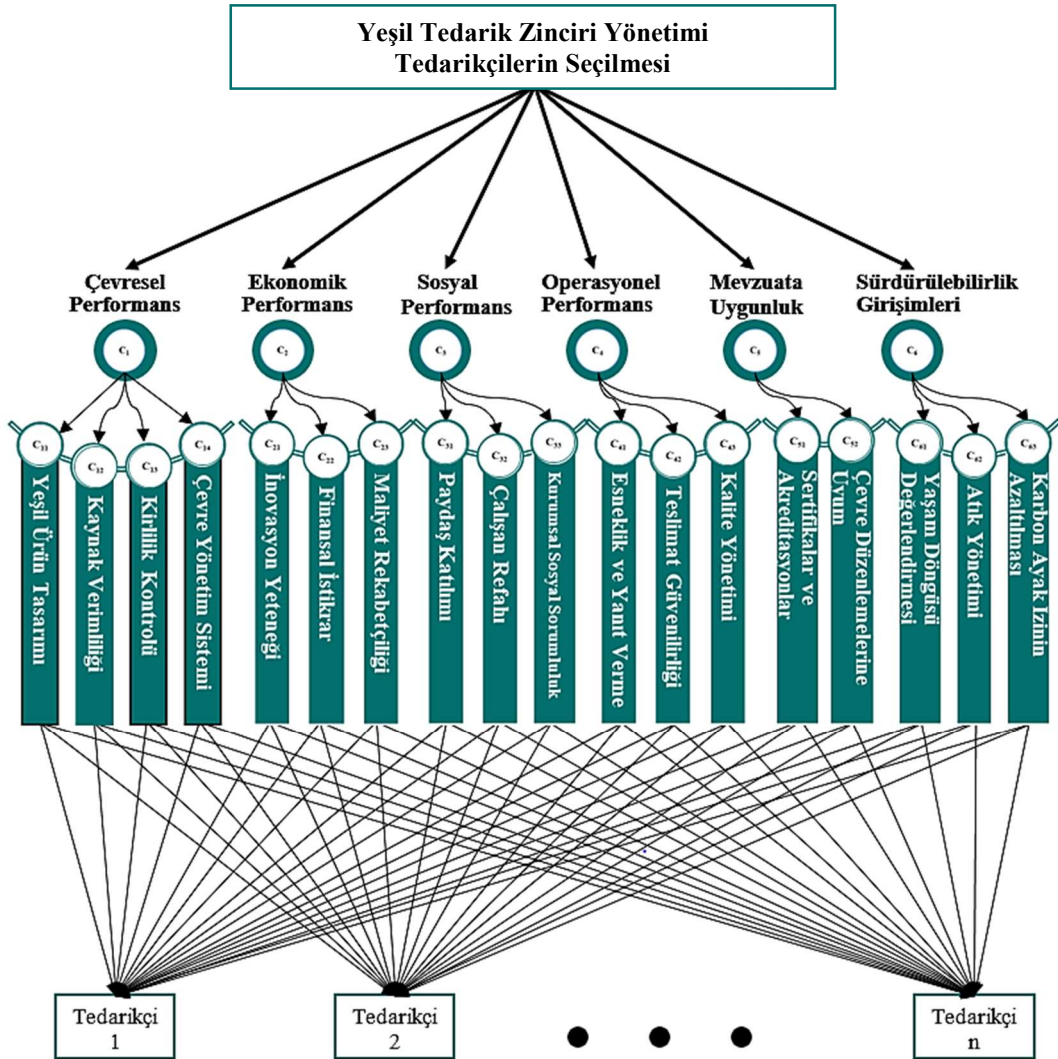
- A_1 : tedarikçileri çok çeşitli çevresel, sosyal ve etik performans göstergelerine göre değerlendirerek sürdürülebilirlik derecelendirmeleri ve puan kartları sağlar. Şirketlerin tedarik zincirlerinin

sürdürülebilirlik performansını izlemelerine ve iyileştirmelerine yardımcı olurlar.

- **A₂**: ürünleri için yeniden kullanılabilir ambalajlar sağlamak amacıyla markalarla ortaklık kurarak döngüsel bir tedarik zinciri modeli sunuyor. Bu, israfı azaltır ve malzemelerin yeniden kullanımını teşvik ederek daha sürdürülebilir bir tedarik zincirine katkıda bulunur.
- **A₃**: geri dönüştürülmesi zor malzemeler konusunda uzmanlaşmış olup atıkları yeniden kullanılabilir ham maddelere dönüştüren geri dönüşüm programları sunmaktadır. Tedarik zincirlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yardımcı olmak için özel geri dönüşüm çözümleri geliştirmek için işletmelerle birlikte çalışırlar.

- **A₄**: işletmelerin yenilenebilir enerji ve karbon dengeleme çözümleri elde etmesine yardımcı olur. Şirketler yenilenebilir enerjiyi tedarik zincirlerine entegre ederek karbon ayak izlerini azaltabilir ve sürdürülebilirlik profillerini geliştirebilirler.
- **A₅**: tedarik zincirlerini daha sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlayan danışmanlık hizmetleri sunmaktadır. Sürdürülebilir kaynak kullanımı, atık azaltma ve enerji verimliliği gibi alanlarda uzmanlık sunarak şirketlerin daha yeşil tedarik zinciri stratejileri tasarlamasına ve uygulamasına yardımcı olurlar.

Bu tedarikçiler ve hizmet sağlayıcılar, çeşitli yenilikçi ve pratik çözümler aracılığıyla kuruluşların daha sürdürülebilir, çevre dostu tedarik zincirleri oluşturmalarına yardımcı olabilir.



Şekil 3: Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Tedarikçi Planlama Hiyerarşisi

Adım 3: Uzmanların dilsel değerlendirmesi Tablo 1'deki dilsel terimlere göre alınmıştır. Tablo 2, her bir kritere ilişkin verilen yargı için KV'lerin dilsel değerlendirmesini göstermektedir. Tablo 3, kriterlere göre bütün alternatiflere ilişkin karar yargısı için KV'lerin dilsel değerlendirmesini göstermektedir.

$$\begin{aligned}\lambda^1 &= \langle [0,90,0,95], [0,10,0,15] \rangle, & \text{ve} \\ &\langle [0,80,0,85], [0,20,0,25] \rangle, \\ \lambda^2 &= \langle [0,90,0,95], [0,10,0,15] \rangle, & \text{ve} \\ &\langle [0,70,0,75], [0,30,0,35] \rangle, \\ \lambda^3 &= \langle [0,80,0,85], [0,20,0,25] \rangle, & \text{ve} \\ &\langle [0,70,0,75], [0,30,0,35] \rangle.\end{aligned}$$

Tablo 2: Her Bir Kritere İlişkin Karar İçin KV'lerin Dilsel Değerlendirmesi

Kriterler	KV_1	KV_2	KV_3
Çevre Yönetim Sistemi C_{11}	K	Çİ	O
Kirlilik Kontrolü C_{12}	Çİ	Oİ	İ
Kaynak Verimliliği C_{13}	O	İ	O
Yeşil Ürün Tasarımı C_{14}	İ	O	Oİ
Maliyet Rekabetçiliği C_{21}	Oİ	İ	Oİ
Finansal İstikrar C_{22}	İ	Oİ	İ
İnovasyon Yeteneği C_{23}	Oİ	İ	İ
Kurumsal Sosyal Sorumluluk C_{31}	OK	O	İ
Çalışan Refahı C_{32}	O	Oİ	Oİ
Paydaş Katılımı C_{33}	O	O	OK
Kalite Yönetimi C_{41}	Oİ	Oİ	İ
Teslimat Güvenilirliği C_{42}	O	Oİ	İ
Esneklik ve Yanıt Verme C_{43}	Çİ	O	K
Çevre Düzenlemelerine Uyum C_{51}	İ	K	Çİ
Sertifikalar ve Akreditasyonlar C_{52}	Çİ	Çİ	İ
Karbon Ayak İzinin Azaltılması C_{61}	Oİ	Çİ	İ
Atık Yönetimi C_{62}	İ	İ	İ

Adım 4: Tüm KV'lerin farklı önemleri Adım 4'te tanımlanan süreçle hesap edilir. KV'lerin birbirleri hakkındaki yargıları şu şekilde ifade edilmektedir:

KV_1 'in KV_2 ve KV_3 hakkındaki yargıları sırasıyla 'SDİ', 'Çİ'dir,

KV_2 'in KV_1 ve KV_3 hakkındaki yargıları sırasıyla 'SDİ', 'İ'dir,

KV_3 'in KV_1 ve KV_2 hakkındaki yargıları sırasıyla 'Çİ', 'İ'dir,

Dilsel değişkenlerin Tablo 1 değerlerine göre dönüşümü şu şekildedir:

KV'lerin değerlendirmeleri Denklem (20)'deki ADFBAO toplama operatörü ile birleştirilmiştir. Bilinmeyen ağırlıkları dengelemek için ' ω ' değeri '0,5' olarak ayarlanmıştır ($\omega=1/(3-1)$). Tablo 4'de KV ağırlıkları ve bunların ilgili önem değerleri sunulmaktadır.

k'inci KV'nin ağırlığı Denklem (21) ile hesap edilir. KV_1 için örnek bir hesaplama aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \frac{((0,8601)^3 + (0,9147)^3 - (0,1414)^3 - (0,1936)^3)}{1,3916 + 1,2598 + 0,9208} \\ &= 0,3896\end{aligned}$$

Tablo 3: Her Bir Kritere Göre Her Alternatife İlişkin Karar İçin KV'lerin Dilsel Değerlendirmesi

		A_1			A_2			A_3			A_4			A_5		
	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	
C_{11}	Çi	i	Çi	OK	Çi	i	Çi	Çi	Çi	O	Çi	i	K	Oİ	OK	
C_{12}	i	i	i	K	i	Çi	Oİ	i	Çi	i	Çi	OK	O	K	K	
C_{13}	Çi	Oİ	Oİ	OK	OK	Çi	i	Çi	i	OK	Çi	OK	K	K	OK	
C_{14}	O	i	Çi	OK	K	Çi	K	Çi	Çi	OK	Çi	ÇK	ÇK	i	K	
C_{21}	i	i	i	ÇK	K	Çi	O	i	Çi	K	O	ÇK	OK	Oİ	O	
C_{22}	OK	i	O	K	K	Çi	Oİ	i	i	OK	Çi	OK	OK	Çi	Oİ	
C_{23}	O	i	Oİ	O	i	Çi	OK	i	O	ÇK	Çi	OK	ÇK	Çi	O	
C_{31}	K	i	Oİ	O	ÇK	i	OK	Çi	O	ÇK	i	K	K	Çi	ÇK	
C_{32}	i	i	i	O	O	Çi	Oİ	i	i	ÇK	O	K	O	i	ÇK	
C_{33}	Çi	i	Çi	OK	O	Çi	i	i	i	K	K	K	K	i	OK	
C_{41}	i	i	Oİ	O	i	Çi	i	Çi	Oİ	O	i	O	K	i	K	
C_{42}	i	O	i	K	O	Çi	Oİ	Oİ	i	K	i	O	OK	Oİ	K	
C_{43}	i	Çi	Çi	K	Çi	Çi	O	Çi	Oİ	i	Çi	O	O	Oİ	ÇK	
C_{51}	i	Çi	i	OK	Çi	Çi	O	i	O	i	Çi	O	O	i	K	
C_{52}	Çi	i	i	OK	OK	Çi	O	Çi	O	i	Çi	O	K	i	OK	
C_{61}	K	i	Çi	K	K	Çi	i	i	Oİ	K	Çi	O	ÇK	i	K	
C_{62}	O	Çi	Çi	K	O	Çi	i	i	i	OK	O	K	OK	Çi	OK	

Tablo 4: KV Ağırlıkları ve Bunların Önem Değerleri

KV	$[\mu^L, \mu^U]$	$[\nu^L, \nu^U]$	λ^k
λ^1	0,8601	0,9147	0,1414
λ^2	0,8330	0,8933	0,1732
λ^3	0,7570	0,8081	0,2449

Adım 5: Tablo 5'te her kriterin nihai ağırlıkları gösterilmektedir. Sertifikalar ve Akreditasyonlar C_{52} , Kirlilik Kontrolü C_{12} , Karbon Ayak İzinin Azaltılması C_{61} kriterleri en yüksek önem derecesine sahip kriterler, Paydaş Katılımı C_{33} ise en az önem derecesine sahip olan kriter olarak çıkmıştır.

Adım 6: Kriterlere göre her alternatif için Aralık Değerli FBK matrisi oluşturulur. Yer sınırlaması nedeniyle, Tablo 6 da yalnızca Aralık Değerli FBK

Optimal Karar Matrisi (A_0), Normalleştirilmiş Optimal Karar Matrisi ($\tilde{r}_{0j}$) ve Ağırlıklandırılmış Optimal Karar Matrisi ($\tilde{r}_{0j}^*$) değerleri verilmektedir.

Her alternatife için karar matrisi, Tablo 3'deki KV'ler tarafından verilen değerlendirmelere göre oluşturulur. Elde edilen Aralık Değerli FBK değerleri, ADFBAO toplama operatörü tarafından GKV matrisine birleştirilir. Böylece Optimal Karar matrisi (A_0) Adım 6'da tanımlanan süreçle oluşturulur.

Tablo 5: Kriter Ağırlıkları

	$[\mu^L,$	$\mu^U],$	$[v^L,$	$v^U]$	w_j	Sıra
C_{11}	0,636	0,691	0,070	0,104	0,056	10
C_{12}	0,723	0,775	0,023	0,038	0,081	2
C_{13}	0,594	0,644	0,073	0,103	0,046	14
C_{14}	0,621	0,671	0,058	0,084	0,052	12
C_{21}	0,641	0,691	0,047	0,070	0,057	9
C_{22}	0,670	0,720	0,037	0,056	0,065	6
C_{23}	0,667	0,717	0,038	0,058	0,064	7
C_{31}	0,549	0,599	0,104	0,143	0,036	16
C_{32}	0,566	0,616	0,083	0,115	0,040	15
C_{33}	0,479	0,528	0,144	0,189	0,024	17
C_{41}	0,631	0,681	0,051	0,075	0,054	11
C_{42}	0,602	0,652	0,066	0,095	0,047	13
C_{43}	0,657	0,711	0,056	0,084	0,062	8
C_{51}	0,670	0,723	0,048	0,074	0,065	5
C_{52}	0,779	0,830	0,011	0,020	0,100	1
C_{61}	0,715	0,768	0,025	0,040	0,079	3
C_{62}	0,700	0,750	0,027	0,043	0,073	4

Tablo 6: Optimal Matris, Normalleştirilmiş-Optimal Matris ve Ağırlıklı-Normalleştirilmiş-Optimal Matris

	A_0				$\tilde{r}_{0j}$				$\hat{r}_{0j}$			
	$[\mu^L,$	$\mu^U],$	$[v^L,$	$v^U]$	$[\mu^L,$	$\mu^U],$	$[v^L,$	$v^U]$	$[\mu^L,$	$\mu^U],$	$[v^L,$	$v^U]$
C_{11}	0,800	0,85	0,008	0,016	0,800	0,850	0,008	0,016	0,341	0,652	0,043	0,836
C_{12}	0,706	0,759	0,027	0,043	0,706	0,759	0,027	0,043	0,325	0,554	0,135	0,654
C_{13}	0,742	0,793	0,018	0,030	0,742	0,793	0,018	0,030	0,287	0,564	0,102	0,699
C_{14}	0,712	0,766	0,035	0,056	0,712	0,766	0,035	0,056	0,284	0,539	0,163	0,625
C_{21}	0,700	0,750	0,027	0,043	0,700	0,750	0,027	0,043	0,287	0,526	0,150	0,624
C_{22}	0,667	0,717	0,038	0,058	0,667	0,717	0,038	0,058	0,282	0,495	0,197	0,569
C_{23}	0,684	0,736	0,036	0,056	0,684	0,736	0,036	0,056	0,289	0,516	0,180	0,596
C_{31}	0,645	0,700	0,059	0,088	0,645	0,700	0,059	0,088	0,224	0,448	0,281	0,505
C_{32}	0,700	0,750	0,027	0,043	0,700	0,750	0,027	0,043	0,255	0,507	0,160	0,604
C_{33}	0,771	0,822	0,012	0,022	0,771	0,822	0,012	0,022	0,244	0,564	0,084	0,727
C_{41}	0,725	0,777	0,022	0,036	0,725	0,777	0,022	0,036	0,295	0,554	0,121	0,671
C_{42}	0,649	0,699	0,046	0,069	0,649	0,699	0,046	0,069	0,247	0,461	0,242	0,523
C_{43}	0,767	0,818	0,013	0,023	0,767	0,818	0,013	0,023	0,331	0,614	0,069	0,771
C_{51}	0,742	0,793	0,018	0,03	0,742	0,793	0,018	0,030	0,323	0,585	0,094	0,719
C_{52}	0,746	0,797	0,017	0,029	0,746	0,797	0,017	0,029	0,374	0,614	0,081	0,75
C_{61}	0,679	0,729	0,034	0,052	0,679	0,729	0,034	0,052	0,307	0,519	0,172	0,601
C_{62}	0,729	0,782	0,023	0,039	0,729	0,782	0,023	0,039	0,328	0,578	0,114	0,691

Adım 7: Normalleştirilmiş matris $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ Denklem (27) ve Denklem (28) ile hesap edilir. Tablo 6, optimal alternatifin (A_0) normalleştirilmiş değerlerine ilişkin matrisi göstermektedir.

Adım 8: Ağırlıklı matris $\tilde{\hat{R}} = [\hat{r}_{ij}]_{m \times n}$ Denklem (29) ile hesap edilir. Tablo 5'te gösterilen her bir kriterin ağırlıkları ve alternatiflerin normalleştirilmiş değerlerine yönelik matris kullanılarak, ağırlıklı matris değerlerini hesaplamak için skaler çarpım ile Aralık Değerli FBK operatörü kullanılır. Tablo 6'da Optimal matris, Normalleştirilmiş-Optimal matris ve Ağırlıklı-Normalleştirilmiş-Optimal matris için Aralık Değerli FBK Karar Matrisi sunulmaktadır.

Adım 9: Optimallik Fonksiyonu Değerleri $\tilde{P}_i$, alternatifler için Denklem (30) ile ağırlıklı performans derecelerinin Aralık Değerli FBK toplamı (Denklem (12)) olarak hesaplanır. Tablo 7 ilgili $\tilde{P}_i$ değerlerini göstermektedir. Bu değerler daha sonra Denklem (18) ile puanlanır. İlgili indeks değerleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Adım 10: Alternatif Fayda Derecesi, bir varyantın Denklem (32) ile karşılaştırılmasıyla belirlenir. Tablo 11 ilgili indeksleri göstermektedir.

Adım 11: Tahmin edilen Q_i değerleri Adım 11'de açıklandığı gibi artan sırada düzenlenir. En yüksek Q_i değerine sahip aday en iyi alternatif olarak seçilir ve en düşük Q_i değerine sahip aday son alternatif olarak seçilir.

Dolayısıyla A_1 alternatifi geliştirilen yaklaşımla en iyi olarak gösterilen adaydır. Nihai sıralamaya ilişkin alternatif sıralaması Tablo 7'de sunulmaktadır.

5. YÖNETİMSEL ÇIKARIMLAR VE TARTIŞMA

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve kaynak tükenmesi konusundaki artan endişeler nedeniyle günümüz dünyasında giderek daha hayati hale geliyor. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, çevre dostu uygulamaları geleneksel tedarik zinciri operasyonlarına entegre ederek kuruluşların karbon ayak izlerini azaltmalarına, atıkları en aza indirmelerine ve doğal kaynakları korumalarına yardımcı olur. Bu yaklaşım, yalnızca sürdürülebilir ürünlere yönelik artan tüketici talebini karşılamakla kalmıyor, aynı zamanda şirketlerin sıkı çevre düzenlemelerine uyum sağlamasına, dolayısıyla cezalardan kaçınmasına ve kurumsal imajını güçlendirmesine de yardımcı oluyor. Ayrıca Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, artan verimlilik ile azaltılmış malzeme ve enerji kullanımı sayesinde önemli maliyet tasarrufları sağlayabilir. Rekabetçi bir pazarda yeşil tedarik zinciri uygulamalarını benimseyen şirketler kendilerini farklılaştırabilir, çevreye duyarlı tüketicileri çekebilir ve stratejik avantaj elde edebilir. Küresel farkındalık ve düzenleyici baskılar arttıkça, uzun vadeli ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin önemi göz ardı edilemez.

Yeşil tedarik zinciri yönetimi için tedarikçi seçimi ve yönetimi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir bileşendir. Bu süreç, tedarikçilerin çevresel performanslarını değerlendirerek başlar ve yalnızca çevre dostu üretim süreçleri ve malzemeler kullananların seçilmesini sağlar. Tedarikçi yönetimi ise, seçilen tedarikçilerin belirlenen çevresel standartlara sürekli uyumunu sağlamak için düzenli denetimler ve performans değerlendirmelerini içerir.

Tablo 7: Alternatif Sıralamalar ve İlgili Endeksler

A_i	$\tilde{P}_i$				P_i	Q_i	Rank
	$[\mu^L, \mu^U]$	$[\nu^L, \nu^U]$	$[\mu^L, \mu^U]$	$[\nu^L, \nu^U]$			
A_0	0,720229	0,985491	5,88E-16	0,000679	0,6654		
A_1	0,702018	0,978700	1,51E-14	0,000236	0,6417	0,9645	1
A_2	0,632441	0,935547	1,17E-09	1,12E-05	0,5359	0,8054	3
A_3	0,684724	0,971692	1,57E-13	0,000114	0,6192	0,9307	2
A_4	0,630461	0,929785	3,6E-09	1,4E-05	0,5272	0,7924	4
A_5	0,549191	0,846214	1,83E-06	1,33E-06	0,3858	0,5798	5

Ayrıca, tedarikçilerle işbirliği yaparak sürdürülebilir yeniliklerin teşvik edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenir. Böylece, tedarikçi seçimi ve yönetimi, yeşil tedarik zincirinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde işlemlerini sağlayarak, genel çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesine önemli katkı sağlar. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi için esnek işlemsel zeka yaklaşımı kullanmanın önemi, esnek hesaplama tekniklerinin Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin doğasında bulunan karmaşıklığı, muğlaklığı ve belirsizliği ele alma konusundaki benzersiz yeteneğinde yatmaktadır. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi, ekonomik verimliliği koruyarak ve müşteri ihtiyaçlarını karşılarken tedarik zinciri faaliyetlerinin çevresel etkisini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Tedarik zincirleri, doğası gereği tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve müşteriler de dâhil olmak üzere birbiriyle etkileşim halinde olan birçok bileşenden oluşan karmaşık sistemlerdir. Çevresel etki, karbon ayak izi, atık üretimi ve kaynak kullanımı gibi faktörlerin dikkate alınmasını gerektiren başka bir karmaşıklık katmanı daha ekler. Bulanık mantık, genetik algoritmalar ve sinir ağları gibi esnek işlemsel zeka teknikleri bu karmaşıklığın yönetilmesine çok uygundur. Belirsiz, muğlak veya eksik bilgilerle baş edebilme yetenekleri nedeniyle geleneksel hesaplama yöntemleriyle ele alınması çok zor veya imkânsız olan sorunları modelleyebilir ve çözebilirler. Esnek işlemsel zeka yaklaşımları, çevresel hedefleri ekonomik performansla dengelemek için çok önemli olan çok amaçlı optimizasyona olanak tanır. Örneğin, emisyonların azaltılması ile maliyetlerin en aza indirilmesi arasındaki en iyi dengeyi bulmak için genetik algoritmalar kullanılabilir. Bulanık mantık, çevresel kriterler ve paydaş tercihleriyle ilgili belirsizliği giderebilir. Esnek işlemsel zeka yaklaşımları, daha doğru ve gerçekçi modeller sunarak Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nde karar almayı geliştirebilir.

Bulanık mantık, insan benzeri akıl yürütmeyi modelleyebilir ve belirsizliği giderebilir; bu da onu, öznel yargıların söz konusu olduğu tedarikçi seçimi ve değerlendirmesinde faydalı hale getirir. Sinir ağları gelecekteki talebi tahmin edebilir ve kalıpları belirleyebilir, böylece daha iyi envanter yönetimine ve israfın azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu yaklaşımlar çevresel hedefleri tedarik zinciri

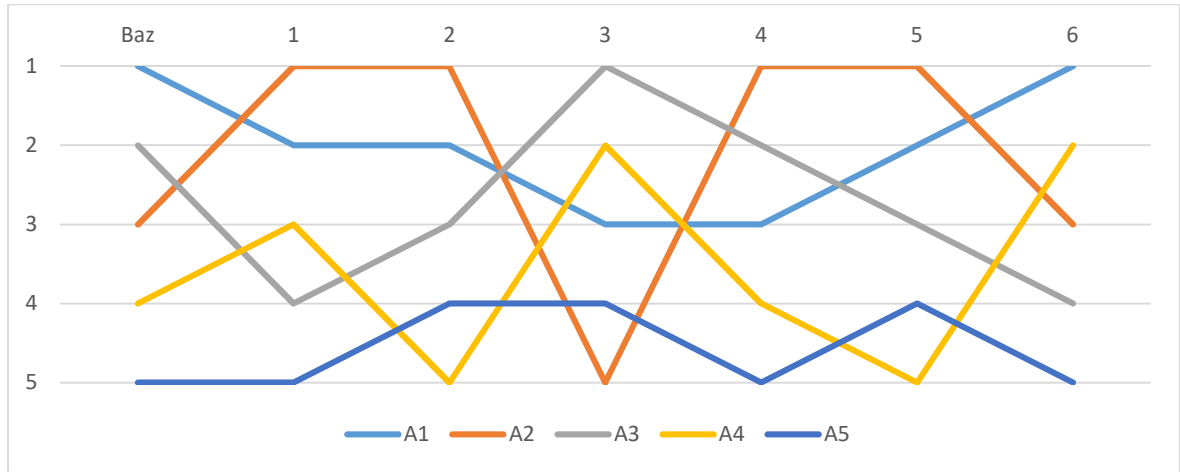
planlamasına ve operasyonlarına daha etkili bir şekilde entegre edebilir. Esnek işlemsel zeka teknikleri, dinamik ve duyarlı yeşil tedarik zincirleri için gerekli olan gerçek zamanlı, uyarlanabilir çözümler sağlama kapasitesine sahiptir. Tedarik zincirlerinde yeşil uygulamaların uygulanması maliyetli olabilir. Tedarikçileri çevresel performans, maliyet, kalite ve teslimat güvenilirliği dâhil olmak üzere birden fazla kritere göre değerlendirmek ve seçmek için bulanık mantığın kullanılması çevresel etkiyi aynı anda azaltan verimli atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerinin tasarlanmasına yardımcı olabilir. Önerilen metodoloji, yeşil tedarik zinciri yönetiminde belirsizliklerin ve ÇKKV süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar genellikle deterministik veya tek kriterli modeller üzerinde yoğunlaşırken, bu çalışma bulanık mantık ve ÇKKV tekniklerinin entegrasyonu ile daha esnek ve kapsamlı çözümler sunmaktadır. Bu sayede, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma potansiyeli artırılmakta ve çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sağlanmaktadır. Önerilen metodoloji, tedarik zinciri yönetiminde esneklik ve adaptasyon kabiliyeti sağlayarak, literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Özetle, esnek işlemsel zeka yaklaşımları yeşil tedarik zinciri yönetiminin verimliliğini, etkinliğini ve sürdürülebilirliğini arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi'nin doğasında bulunan karmaşıklıkları ve belirsizlikleri ele almak için güçlü araçlar sağlayarak kuruluşların çevresel ve ekonomik hedeflerine dengeli ve entegre bir şekilde ulaşmalarına yardımcı olurlar.

5.1. Duyarlılık Analizi ve Karşılaştırma

Bu bölümde, öncelikle ağırlık değişimlerinin sonuçlara etkisini incelemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmaktadır. Karar verme sürecinin son aşaması olan alternatiflerin önceliklendirilmesi büyük ölçüde kriterlerin ağırlıklarına bağlıdır. Bu nedenle, göreceli ağırlıklardaki olası değişikliklerin nihai sıralamayı nasıl etkileyeceği araştırılmalıdır. Kriter ağırlıkları genellikle uzmanların subjektif değerlendirmelerine dayandığından, farklı ağırlıklandırmalarla alternatiflerin sıralanması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, kriterlerin göreceli önemlerini içeren ve farklı görüşleri

yansıtan senaryolar incelenmelidir. Her bir ana kritere artan veya azalan ağırlık verilerek sonuçlardaki değişiklikler analiz edilmeli ve alternatiflerin sıralaması dikkatle değerlendirilmelidir. Sonuç olarak, bu duyarlılık analizi, alternatif sıralamanın doğruluğunu sağlamak için önemli bilgiler sunmaktadır. Altı farklı senaryo çerçevesinde değerlendirilen alternatiflerin son sıralamaları incelenmiş ve bu verilere dayanarak alternatiflerin performansları yeniden hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kriterlerdeki değişikliklerin bazı alternatiflerin sıralamasında belirli düzeyde farklılıklar yarattığı görülmektedir. Farklı durumlar için bu performans değerlerinin özetleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

SBK, üyelik derecesi (μ), ret derecesi (v) ve belirsizlik derecesini (π) içerir. $\mu + v + \pi = 1$ olacak şekilde tanımlanır. Örneğin, yaşlılar kümesinde Ahmet'in yaşı 85 ise, Ahmet'in üyelik derecesi 0,5, ret derecesi 0,3 ve belirsizlik derecesi 0,2 olabilir. PiBK, üyelik derecesi (μ) ve ret derecesinin (v) karelerinin toplamının 1'den küçük veya eşit olduğu bir modeldir. Yani, $\mu^2 + v^2 \leq 1$. Örneğin, Yaşlılar kümesinde Ahmet'in yaşı 85 ise, Ahmet'in üyelik derecesi 0,6, ret derecesi 0,6 olabilir (çünkü $0,6^2 + 0,6^2 = 0,72 \leq 1$). FBK ise, belirsizlik ve üyelik derecelerini ifade etmek için geliştirilmiş bir modeldir. FBK, üyelik derecesi (μ) ve ret derecesinin (v) küplerinin toplamının 1'den küçük veya eşit olduğu bir modeldir.



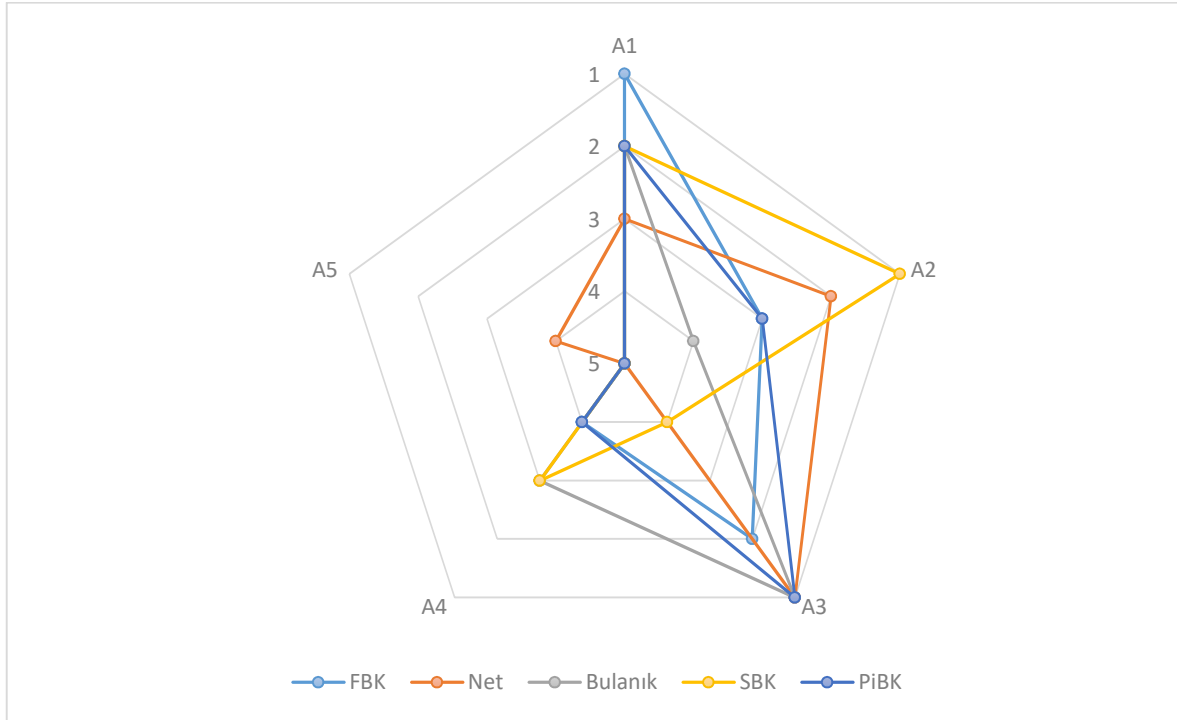
Şekil 4: Temel Kriterlere Göre Baz Senaryonun Duyarlılık Analizi

Farklı ÇKKV yöntemleri, farklı ama benzer sonuçlar verebilir. Bu çalışmada önerilen Aralık Değerli FBK yöntemi, çeşitli nesnel çevre ortamlarında (Net, Bulanık, SBK, PiBK) karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin farklı nesnel çözüm ortamları bulunmaktadır, bu nedenle aynı girdi verileri diğer yöntemlerle farklı şekillerde kullanılır. Yani; net kümelerde, bir öğenin ya tamamen bir kümeye ait olduğu ya da olmadığı klasik küme teorisine dayanmaktadır. Örneğin, $A = \{x \mid x \geq 81\}$ (81 yaş ve üstü kişilerin kümesi) ise ve Ahmet'in yaşı 90 ise Ahmet tamamen bu kümeye aittir (üyelik değeri 1). Bulanık küme, bir öğenin belirli bir dereceye kadar bir kümeye ait olmasına izin verir; üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değerdir. Örneğin, yaşlılar kümesi (yaş 60 ile 90 arasında) ve Ahmet'in yaşı 85 ise, Ahmet'in üyelik derecesi 0.5 olabilir (kısmen yaşlı).

Yani, $\mu^3 + v^3 \leq 1$. Örneğin, Yaşlılar kümesinde Ahmet'in yaşı 85 ise, Ahmet'in üyelik derecesi 0,7, ret derecesi 0,7 olabilir (çünkü $0,7^3 + 0,7^3 = 0,343 + 0,343 = 0,686 \leq 1$). FBK, diğer yöntemlerden daha esnek bir modeldir çünkü üyelik ve ret derecelerinin küplerinin toplamı dikkate alınır, bu da daha geniş bir değer aralığına izin verir. Özetleyecek olursak, Net Küme: Üyelik derecesi 0 veya 1 (Ahmet, Yaşlı mı? Evet ya da hayır). Bulanık Küme: Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında (Ahmet, %50 Yaşlı). SBK: Üyelik, ret ve belirsizlik dereceleri toplamı 1 (Ahmet, %50 Yaşlı, %30 Yaşlı değil, %20 belirsiz). PiBK: Üyelik ve ret derecelerinin kareleri toplamı ≤ 1 (Ahmet, %60 Yaşlı, %60 Yaşlı değil). FBK: Üyelik ve ret derecelerinin küplerinin toplamı ≤ 1 (Ahmet, %70 Yaşlı, %70 Yaşlı değil). Bu örnekler, farklı bulanık küme modellerinin aynı durumu nasıl

farklı şekillerde ifade edebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla nesnel çevrelerin çeşitli değerlendirmeleri farklı sonuçlar verebilir. Şekil 5, önerilen yöntem ile karşılaştırılan diğer yöntemler arasında en iyi alternatif için anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Diğer alternatiflerin sıralaması değişir. KV'lerin analiz üzerindeki gözlemleri, önerilen yöntemle elde edilen sonuçların makul olduğunu açıkça doğrulamaktadır.

hedeflerle ekonomik performansın dengelenmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışma, tedarikçi seçiminde bulanık mantık ve ÇKKV yaklaşımlarının entegrasyonunun, daha sürdürülebilir ve etkili kararlar alınmasına katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Model uygulama örneğiyle de gösterildiği gibi, uzman görüşleri ve göreceli karşılaştırmaların kullanımı, tedarikçi seçim süreçlerini daha esnek ve duyarlı hale getirmektedir.



Şekil 5: Farklı Nesnel Çevre Ortamlarında Karşılaştırma Analizi

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, yeşil tedarik zinciri yönetiminde esnek işlemsel zeka yaklaşımlarının etkinliği ve uygulanabilirliği incelenmiştir. Araştırma sonuçları, esnek işlemsel zekanın yeşil tedarik zinciri yönetiminde belirsizlik ve muğlaklıkların üstesinden gelmekte önemli avantajlar sağladığını göstermektedir. Bulanık mantık, genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları gibi esnek işlemsel zeka teknikleri, geleneksel yöntemlerle ele alınması zor olan karmaşık çevresel ve ekonomik sorunları çözme yeteneğine sahiptir. Özellikle, esnek işlemsel zeka tekniklerinin çok amaçlı optimizasyon yapabilme kapasitesi, çevresel

Yeşil tedarik zinciri yönetiminde esnek işlemsel zekanın kullanılması, atık yönetiminin optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, bu yaklaşımlar, çevresel kriterler ve paydaş tercihleriyle ilgili belirsizliklerin giderilmesine yardımcı olarak, daha gerçekçi ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Sonuç olarak, yeşil tedarik zinciri yönetiminde esnek işlemsel zeka yaklaşımlarının kullanılması, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarında kritik bir rol oynamaktadır. Bu yaklaşımlar, tedarik zinciri operasyonlarının çevresel ve ekonomik

performansını iyileştirirken, daha bilinçli ve etkili kararlar alınmasını sağlamaktadır.

Bu çalışma, yeşil tedarik zinciri yönetimi ve ÇKKV metodolojilerini birleştirerek, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik ve verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, belirsizliklerin ve ÇKKV süreçlerinin yönetimine yönelik esnek işlemsel zeka yaklaşımı sunarak, mevcut literatürdeki boşlukları doldurmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, yeşil tedarik zinciri yönetimini daha dinamik ve uyarlanabilir hale getirmekte, böylece çevresel sürdürülebilirlik ve operasyonel verimliliği aynı anda sağlamaya yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, bu metodoloji bulanık mantık ve ÇKKV entegre ederek daha esnek ve kapsamlı çözümler sunmaktadır. Çalışmada kullanılan bulanık mantık ve ÇKKV, belirli avantajları nedeniyle tercih edilmiştir. Bulanık mantık, belirsizlikleri ve kesin olmayan bilgileri modellemekte üstünlük sağlar. Bu, tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılan belirsizliklerin daha gerçekçi ve esnek bir şekilde ele alınmasına olanak tanır. ÇKKV ise geniş çözüm uzaylarında etkin arama yapabilme yeteneği ile bilinir. Bu özellik, ÇKKV süreçlerinde optimal çözümlere ulaşmayı kolaylaştırır. Bu yöntemlerin entegrasyonu, hem belirsizliklerin yönetiminde hem de ÇKKV süreçlerinde daha etkili ve uyarlanabilir bir yaklaşım sunar, bu da tedarik zinciri performansının iyileştirilmesine katkıda bulunur.

Gelecek araştırmalar, bu çalışmanın bulgularını genişletmek ve derinleştirmek için birkaç yönde ilerleyebilir. Öncelikle, modelin doğruluğu ve genellenebilirliği, kullanılan veri kümelerinin kalitesine ve çeşitliliğine bağlıdır. Sınırlı veri erişimi, sonuçların genelleştirilebilirliğini kısıtlayabilir. Ayrıca, modelin uygulanabilirliği ve etkinliği belirli bir sektör ve tedarik zinciri dinamikleri ile sınırlıdır. Gelecekteki çalışmalar, farklı sektörlerde ve daha geniş tedarik zinciri yapılarında esnek işlemsel zeka tekniklerinin uygulanabilirliği ve etkinliğini araştırabilir. Ayrıca, esnek işlemsel zeka yaklaşımlarının gerçek zamanlı veri ve büyük veri analitiği ile entegrasyonu üzerinde çalışılabilir. Bu, tedarik zinciri yönetiminde daha dinamik ve uyarlanabilir çözümler sunabilir. Son olarak, paydaşların (örneğin, tedarikçiler, müşteriler ve regülatörler) katılımını ve iş birliğini

artırmaya yönelik stratejiler araştırılabilir ki bu da yeşil tedarik zinciri yönetiminin etkinliğini artırabilir.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gelişmesine katkıları, değerli yorumları ve düzeltmeleri için Hakemlere ve Editöre içtenlikle teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Abdullah, M. I., Sarfraz, M., Qun, W., Javaid, N. (2018), "Drivers of Green Supply Chain Management", Logforum, 14(4), pp. 437–447.
- [2] Alvandi Ghiasvand, M., Khalaj, M., Dolatabadi, A. H. K. (2024), "Introducing an integrated method for assessing supply chain sustainability based on HF-ARAS and IT2F-BWM", OPSEARCH, pp. 1-51.
- [3] Atanassov, K. . (1986), "Intuitionistic fuzzy sets", Fuzzy Sets and Systems, 20(1), pp. 87–96.
- [4] Büyüközkan, G., Göçer, F. (2018), "An extension of ARAS methodology under Interval Valued Intuitionistic Fuzzy environment for Digital Supply Chain", Applied Soft Computing, 69(C), pp. 634–654.
- [5] Chen, Q.-Y., Liu, H.-C., Wang, J.-H., Shi, H. (2022), "New model for occupational health and safety risk assessment based on Fermatean fuzzy linguistic sets and CoCoSo approach", Applied Soft Computing, 126, pp. 109262.
- [6] Chen, X., Zhou, B., Štilić, A., Stević, Ž., Puška, A. (2023), "A Fuzzy-Rough MCDM Approach for Selecting Green Suppliers in the Furniture Manufacturing Industry: A Case Study of Eco-Friendly Material Production", Sustainability, 15(13), pp. 10745.
- [7] Cuong, B. C. (2013), "Picture fuzzy sets-first results. Part 2", içinde Seminar Neuro-Fuzzy Systems with Applications, Hanoi: Institute of Mathematics, pp. Preprint 04/2013.
- [8] Cuong, B. C. (2014), "Picture fuzzy sets", Journal of Computer Science and Cybernetics, 30(4), pp. 409–420.
- [9] Cuong, B. C., Kreinovich, V. (2013), "Picture fuzzy sets - A new concept for computational intelligence problems", içinde 2013 Third World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2013), IEEE, pp. 1–6.

- [10] Dewi, A. C., Zagloel, T. Y. M. (2023), "Sustainable supplier selection and order allocation: A systematic literature review", içinde AIP Conf. Proc. Volume 2693, Issue 1, pp. 030025.
- [11] Dhumras, H., Bajaj, R. K. (2024), "On potential strategic framework for green supply chain management in the energy sector using q-rung picture fuzzy AHP & WASPAS decision-making model", Expert Systems with Applications, 237, pp. 121550.
- [12] Erdogan, M., Ayyildiz, E. (2022), "Comparison of hospital service performances under COVID-19 pandemics for pilot regions with low vaccination rates", Expert Systems with Applications, 206, 117773.
- [13] Göçer, F. (2021), "A Novel Interval Value Extension of Picture Fuzzy Sets Into Group Decision Making: An Approach to Support Supply Chain Sustainability in Catastrophic Disruptions", IEEE Access, 9, pp. 117080–117096.
- [14] Göçer, F. (2024), "A Novel Extension of Fermatean Fuzzy Sets into Group Decision Making: A Study for Prioritization of Renewable Energy Technologies", Arabian Journal for Science and Engineering, 49(3), pp. 4209–4228.
- [15] Göçer, F., Şener, N. (2022), "Spherical fuzzy extension of AHP-ARAS methods integrated with modified k-means clustering for logistics hub location problem", Expert Systems, 39(2), pp. e12886.
- [16] Gül, S. (2022), "Picture Fuzzy Extension of DEMATEL and its Usage in Educational Quality Evaluation", İçinde New Perspectives in Operations Research and Management Science. International Series in Operations Research & Management Science, Springer, Cham, pp. 471–497.
- [17] Hemmati, M., Pasandideh, S. H. R. (2021), "A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12(8), pp. 8205–8228.
- [18] Konys. (2019), "Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Comprehensive Knowledge Base", Sustainability, 11(15), pp. 4208.
- [19] Li, D.-X., Dong, H., Jin, X. (2017), "Model for evaluating the enterprise marketing capability with picture fuzzy information", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 33(6), pp. 3255–3263.
- [20] Liang, Y., He, T. 2020. "Survey on soft computing", Soft Computing, 24(2), pp. 761–770.
- [21] Liao, C.-N., Fu, Y.-K., Wu, L.-C. (2016), "Integrated FAHP, ARAS-F and MSGP methods for green supplier evaluation and selection", Technological & Economic Development of Economy, 22(5), pp. 651–669.
- [22] Meena, P. L., Katiyar, R., Kumar, G. (2023), "Supplier performance and selection from sustainable supply chain performance perspective", International Journal of Productivity and Performance Management, 72(8), pp. 2420–2445.
- [23] Pal, R., Das, P., Chattaraj, P. K. (2023), "Global Optimization: A Soft Computing Perspective", The Journal of Physical Chemistry Letters, 14(14), pp. 3468–3482.
- [24] Pamucar, D., Ulutaş, A., Topal, A., Karamaşa, Ç., Ecer, F. (2024), "Fermatean fuzzy framework based on preference selection index and combined compromise solution methods for green supplier selection in textile industry", International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 11(1), pp. 2319786.
- [25] Rani, P., Mishra, A. R. (2022), "Interval-valued fermatean fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework", Neural Computing and Applications, 34(10), pp. 8051–8067.
- [26] Senapati, T., Yager, R. R. (2019a), "Fermatean fuzzy weighted averaging/geometric operators and its application in multi-criteria decision-making methods", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 85, pp. 112–121.
- [27] Senapati, T., Yager, R. R. (2019b), "Some New Operations Over Fermatean Fuzzy Numbers and Application of Fermatean Fuzzy WPM in Multiple Criteria Decision Making", Informatica, 30(2), 391–412.
- [28] Senapati, T., Yager, R. R. (2020), "Fermatean fuzzy sets", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(2), pp. 663–674.
- [29] Seyhan, M., Çiğdem, Ş., Meidute-Kavaliauskiene, I. (2024), "Evaluating the nexus of HRM and sustainability in green supply chains: A comprehensive literature review", Strategic Management, (00), pp. 71–71.
- [30] Tsai, J.-F., Shen, S.-P., Lin, M.-H. (2023), "Applying a Hybrid MCDM Model to Evaluate Green Supply Chain Management Practices", Sustainability, 15(3), pp. 2148.

[31] Yager, R. R. (2013), "Pythagorean fuzzy subsets". İçinde 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), IEEE, pp. 57-61.

[32] Yager, R. R., Abbasov, A. M. (2013), "Pythagorean membership grades, complex numbers, and decision making", International Journal of Intelligent Systems, 28(5), pp. 436-452.

[33] Yager, R. R. (2014), "Pythagorean membership grades in multicriteria decision making", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 22(4), pp. 958-965.

[34] Yu, W., Chavez, R., Feng, M., Wiengarten, F. (2014), "Integrated green supply chain management and operational performance", Supply Chain Management: An

International Journal, 19(5/6), 683-696.

[35] Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy sets", Information and Control, 8(3), pp. 338-353.

[36] Zaman, S. I., Ali, M. R., Khan, S. A. (2024), "Exploring interrelationships among barriers and enablers of green procurement for a sustainable supply chain", International Journal of Procurement Management, 19(2), pp. 226-252.

[37] Zavadskas, E. K., Turskis, Z. (2010), "A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making", Technological and Economic Development of Economy, 16(2), pp. 159-172.

Doç.Dr. Fethullah GÖÇER



Fethullah GÖÇER, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. 2010 yılında Girne Amerikan Üniversitesi'nde Endüstri Mühendisliği lisans eğitimini, 2014 yılında üretim ve yeniden üretim sistemleri için envanter analizi üzerine yaptığı tez çalışmasıyla yüksek lisansını ve 2018 yılında dijital tedarik zincirlerinin modellenmesi ve tasarımı üzerine yaptığı tez çalışmasıyla Galatasaray Üniversitesi'nden Endüstri Mühendisliği alanında doktorasını tamamlamıştır. Hem akademide hem endüstride araştırma, eğitim ve proje yönetimi konularında katkılarda bulunmuş bir geçmişe sahiptir. Lisans ve lisansüstü düzeyde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nde dersler vermekte ve birçok yüksek lisans tezinde danışmanlık yapmaktadır. Uzmanlık alanları arasında yenilenebilir enerji, dijital tedarik zinciri, karar mühendisliği, esnek işlemsel zeka ve bulanık kümeler yer almakta olup araştırmaları prestijli dergilerde yayımlanmıştır.

E-TİCARET İLE SATILAN ÜRÜNLER İÇİN STOK KONTROL MODELİ OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA

Ekin Fırat KAPLAN¹, Emin Başar BAYLAN²

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul,
ekinkaplaan@hotmail.com
ORCID: 0009-0000-8135-2929

²Piri Reis Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul,
ebbaylan@pirireis.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4581-2478

ÖZET

Elektronik ticaret veya kısaca e-ticaret, ürün izleme, sipariş verme, tedarik ve ödeme işlemlerinin internet üzerinden gerçekleştirildiği ticaret modelidir. E-ticaret alanında faaliyet gösteren işletmeler, hızla değişen tüketici talepleri, dalgalanan tedarik zincirleri ve dinamik pazar koşullarıyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu etkenler, işletmelerin stok yönetimi süreçlerini karmaşıktırır ve stok seviyelerini etkin bir şekilde kontrol etmelerini zorlaştırır. İşletmeler, hızlı değişen tüketici taleplerine karşı rekabet avantajı sağlamak, stok maliyetlerini minimize etmek, müşteri memnuniyetini artırmak ve operasyonel süreçleri etkin bir şekilde yönetmek için stok kontrol stratejileri uygularlar. Çalışma kapsamında, Q,R stok kontrol modeli oluşturularak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Uygulama için belirlenen ürün üzerinden yapılan modelleme çalışması, stok kontrolünün etkin bir biçimde nasıl yönetilebileceğini ortaya koymaktadır. Model sonrası elde edilen bulgulara göre, belirlenen ürünün toplam maliyetinde %16,58'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmada önerilen stok kontrol yönteminin, geleneksel yöntemle kıyasla daha düşük maliyetli olduğu ve işletmeye kâr ve avantajlar sağlayabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Envanter, Olasılıksal Stok Modeli, Stok, Stok Kontrol, Stok Yönetimi.

CONSTANTING AND APPLICATION AN STOCK CONTROL MODEL FOR PRODUCTS SOLD WITH E-COMMERCE

ABSTRACT

Electronic commerce, or e-commerce for short, is a trade model in which product tracking, ordering, supply and payment transactions are carried out over the internet. Businesses operating in the field of e-commerce face rapidly changing consumer demands, fluctuating supply chains and dynamic market conditions. These factors complicate the inventory management processes of businesses and make it difficult for them to effectively control inventory levels. At this point; businesses apply inventory control strategies to provide competitive advantage against rapidly changing consumer demands, minimise inventory costs, increase customer satisfaction and manage operational processes effectively. Within the scope of the study, a Q,R inventory control model was created and an optimisation study was carried out. The modelling study conducted on the product determined for the application reveals how inventory control can be managed effectively. According to the findings obtained after the model, a 16.58% reduction in the total cost of the specified product was observed. As a result, it has been determined that the inventory control method proposed in the study is less costly than the traditional method and can provide additional profits and advantages to the business.

Keywords: Inventory, Probabilistic Stock Model, Stock, Stock Control, Stock Management.

1. GİRİŞ

Giderek artan rekabet ortamı ve küreselleşen ekonomi hedefleri göz önünde bulundurularak, tedarik zinciri ağlarında son müşterilere ürün satan şirketler, ayakta kalabilmek için farklı satış kanallarına yönelmektedirler. İşletmeler, yalnızca fiziksel mağazalar veya bayilerde satış yapmakla kalmayıp çevrimiçi platformlara da yatırım yapmaktadır. Günümüzde hızla dijitalleşen ticaret dünyasında, e-ticaret platformları tüketicilere geniş bir ürün yelpazesi sunmaktadır. Ancak, bu avantajın yanında, doğru ve etkili stok yönetimi kritik hale gelmiştir. E-ticaret ile satış yapan şirketler, müşteri taleplerini karşılamak, rekabet avantajı sağlamak ve operasyonel süreçleri optimize etmek için stok kontrol modellerine yönelmektedirler. Stok kontrol modeli, doğru miktarda ürünün doğru zamanda mevcut olmasını sağlamak için tedarik zinciri yönetiminin önemli bir unsuru olarak tasarlanmıştır. Çoğu firmanın bir stok politikası bulunmamaktadır. Stok politikasının olmaması, özellikle e-ticaret üzerinden satış yapan işletmeler için sorun yaratmakta; dinamik ve hızla değişen taleplere etkili bir şekilde yanıt vermeyi zorlaştırmaktadır. Bu durum, işletmelerin rekabet avantajlarını kaybetmelerine ve müşteri memnuniyetlerini tehlikeye atmalarına neden olabilmektedir. Stok takibi, e-ticaret işletmeleri için sadece bir depo yönetimi meselesi değil; aynı zamanda müşteri memnuniyeti, operasyonel verimlilik ve sürdürülebilir rekabet sağlayan önemli bir faktördür. Sezgisel yöntemler, işletmelerin talep öngörüsünde bulunamamasına neden olurken aynı zamanda stok fazlası veya eksikliği gibi sorunlara beraberinde getirerek müşteri memnuniyetini azaltma riski doğurmaktadır. İşletmenin, tüm malzemeleri önceden stoklaması durumunda ortaya çıkacak olan sınırsız maliyetin altından kalkması da mümkün değildir. Bundan dolayı, işletmeler stoklarını belirli periyotlarda ve ihtiyaçları doğrultusunda temin etmek zorundadırlar (Yamak, 2007). Optimal stok yönetimi uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi, yalnızca stokların etkili bir biçimde idare edilmesiyle mümkündür. Tanıma göre, etkin stok yönetimi, müşteri istek ve beklentilerini en iyi şekilde karşılamak şartıyla siparişlerin en uygun zaman ve miktarlarda verilmesini sağlamak amacıyla stok faaliyetlerinin

planlanması, koordine edilmesi, yürütülmesi ve kontrol edilmesini içerir. Aynı zamanda sipariş ve stok maliyetlerinin en düşük düzeyde tutulmasını hedefler (Küçük, 2009).

İşletmelerdeki en büyük maliyet unsurlarından biri stok yönetim maliyetleridir. Bununla birlikte müşteri taleplerinin eksiksiz ve zamanında karşılanması faktörü, işletme başarısında kritik bir rol oynamaktadır. İşletmeler, ölçek ekonomisi, belirsizlik ortamı ve tedarik süreleri gibi faktörlerden kaynaklanan zorluklarla başa çıkabilmek adına stok bulundurmaya tercih etmektedirler (Thonemann, 2015). Bir işletmenin yüksek stok düzeyini tercih etmesi, stokla ilgili maliyetlerinin artmasına, şirketin uyum yeteneğinin azalmasına ve değer zincirinde verimsizliklere neden olabilir. Tersine, düşük stok seviyesini koruma kararı, daha sık sipariş ve üretime yol açabilir; sipariş verme ve hazırlık prosedürleri üzerinde ek yük oluşturabilir. Özellikle talebin veya üretim süresinin öngörülemez olduğu endüstrilerde için, müşteri taleplerinin karşılanmasında zorluklar doğurabilmektedir. Stok yönetimi, bu zıt tercihler arasında denge sağlama gerekliliğiyle karşı karşıyadır (Bilgin ve Ulusoy, 2021).

Bu çalışmanın temel amacı, e-ticaret yoluyla satış yapan depo sahibi firmalar için talebin olasılıksal olduğu bir stok kontrol modeli tasarlamaktır. Bu kapsamda, (Q,R) stok kontrol modeli kullanılarak bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen stok kontrol modelinin, mevcut duruma göre daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu çalışma, gelecekte stok kontrol modelleri üzerine çalışmak isteyen araştırmacılar için katkı sağlayacaktır.

Makale, yedi bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde konuya giriş yapılarak araştırmanın amacı belirtilmiştir. İkinci bölümde e-ticarette stok yönetimine dair yapılmış çalışmaların bulunduğu literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise tedarik zinciri yönetiminde önemli bir karar alanı olarak kabul gören stok yönetimine değinilmiştir. Dördüncü bölümde modelin uygulandığı işletme ve kullanılan yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde e-ticaret aracılığıyla ürünlerini satan bir işletmenin ürünü üzerinden modelleme çalışması yapılmıştır. Altıncı bölümde elde edilen bulgular değerlendirilmiş,

model öncesi ve model sonrası oluşan maliyetler karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları ve önerileri sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Binglei ve diğ. (2005) tarafından sunulan çalışma, B2C e-ticaret ortamında Stokastik Envanter Rotalama Problemi'ni ele almaktadır. Geleneksel B2C işletme modelinde müşterilerin stoklarını kontrol ettiği ve tedarikçilerin müşteri taleplerini karşılamak için ürünleri zamanında gönderdiği durumda, envanter yönlendirme probleminin önemi vurgulanmaktadır. Çalışmada, bir heuristik algoritma kullanılarak stokastik envanter rota probleminin çözümüne odaklanılmıştır. Müşterilerin stok talepleri düzenli taleplere dönüştürülerek, her müşterinin dağıtım süresi değiştirilmiş ve EOQ yöntemiyle hesaplanmış ve periyodik araç yönlendirme problemi çözülerek stokastik envanter rota probleminin yaklaşık bir çözümü elde edilmiştir. Bu çalışma, tedarikçilerin işletme maliyetlerini azaltmalarına, verimliliği artırmalarına ve müşteri memnuniyetini artırmalarına yardımcı olabilecek önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bir başka çalışmada ise, Zhang ve diğ. (2008), e-ticarete birden fazla tedarikçi bulunan bir ortamda Tedarikçi Yönetimli Stok (VMI) uygulamasının stok maliyet modelleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Çalışma, perakendeci ve tedarikçiler arasındaki sipariş süreçlerini ve envanter maliyetlerini ele alarak, VMI'nın stok maliyetlerini azaltmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Genetik algoritma kullanılarak yapılan analizler, VMI'nın stok maliyetlerini optimize etmede etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Chodak ve Suchacka (2012), e-ticaret alanında maliyet odaklı bir öneri modeli geliştirmiştir. Bu model, online mağazaların karşılaştığı donmuş sermaye ve yüksek envanter maliyeti sorunlarına çözüm getirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmacılar, müşteri ihtiyaçları ile ürün maliyetini dikkate alarak öneri modeli oluşturmuşlardır. Model, popüler ürünlerin yanı sıra daha az popüler veya niş ürünleri de müşterilere önererek satışları artırmayı hedeflemektedir. Çalışmanın sonuçları, maliyet odaklı öneri modelinin online mağazalar için potansiyel faydalarını vurgulamaktadır. Bu modelin uygulanmasıyla müşteri memnuniyetinin

artırılabilceği, envanter maliyetlerinin azaltılabilceği ve satışların artırılabilceği belirtilmektedir. Sonuç olarak, maliyet odaklı öneri modelinin e-ticaret işletmeleri için önemli bir rekabet avantajı sağlayabileceği vurgulanmaktadır. Espinós (2014) ise çalışmada, e-ticaret perakendeciliğinde sipariş penceresi esnekliğini göz önünde bulunduran özelleştirilmiş bir envanter politikasının uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Çalışma, stokastik müşteri talebi ve sipariş penceresinin etkilerini hesaba katarak, karanlık mağazalarda kullanılabilecek bir (s, Q) envanter politikası modeli geliştirmektedir. Bu model, analitik ifadeler ve simülasyonlar yoluyla doğrulanmıştır ve geleneksel politikaya kıyasla önemli maliyet avantajları sağladığı ortaya konmuştur. Sonuçlar, e-ticaret perakendeciliğinde sipariş penceresini dikkate alan envanter politikalarının uygulanabilirliğine ve maliyet etkinliğine işaret etmektedir. Zhang ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilen araştırma, B2C e-ticaret ortamında şampuan ürünlerinin talep özelliklerini incelemektedir. Çalışma, perakendecilerin müşterilere geçici fiyat indirimi sunması ve tedarikçilerin de perakendecilere geçici fiyat indirimi sağlaması konusunu ele almaktadır. Müşterilerin sipariş teslim süresi ve ödeme koşullarının envanter maliyetleri üzerindeki etkisini göz önünde bulundurarak bir envanter kontrol modeli geliştirilmiştir. Araştırma, geçici fiyat indirimlerinin şampuan ürünlerinin talebi üzerindeki etkisini ve müşteri sipariş teslim süresinin envanter maliyetleri üzerindeki önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, perakendecilerin ve tedarikçilerin geçici fiyat indirimlerinin yanı sıra müşteri sipariş teslim süresi ve ödeme koşullarının envanter yönetimi stratejilerine olan etkisi incelenmiştir. Araştırma, B2C e-ticaret sektöründe envanter optimizasyonu için yeni modellerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Fan ve Wang (2015) tarafından yapılan çalışma, e-ticaret ortamında özel ürünlerin envanter maliyeti üzerine odaklanmaktadır. Araştırmacılar, kesikli sistem simülasyon yöntemini kullanarak özel ürünlerin siparişlerinin rastgele ve dalgalı doğasını incelemişlerdir. Çalışma, geleneksel ve özel ürünlerin (s, S) envanter stratejisi altında maliyet etkinliğini değerlendirmekte ve özel ürünlerin envanter maliyetinin daha düşük olabileceği ve

değişkenlere karşı daha az duyarlı olduğu sonucuna varmaktadır. Diğer yandan, Li ve Li (2016) çalışması, e-ticaretin yaygınlaşmasıyla birlikte artan iade ve envanter kontrolü zorluklarını ele almaktadır. Bulanık kümeler ve bulanık sayılar kullanılarak geliştirilen modeller, belirsizlikleri ele almak ve daha gerçekçi çözümler sunmak amacıyla önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bulanık EOQ modeli, iade oranları ve eksiklikleri dikkate alarak envanter kontrolü problemlerini başarıyla çözebilecek uygun bir yöntem olarak görülmektedir. Bu çalışma, e-ticaretteki iade ve envanter yönetimi zorluklarına bulanık teori temelli bir yaklaşım getirerek, belirsizliklerin ele alınmasında önemli bir ilerleme kaydetmektedir.

Chan ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışma, e-ticaretin gelişimiyle doğrudan tüketiciye yönelik bir eğilimin ortaya çıkmasının, geleneksel envanter yönetimi stratejilerinin yeniden değerlendirilmesini gerektirdiğini vurgulamaktadır. Bu değişim, envanter politikalarında ve yönetiminde yeni bir yaklaşımın benimsenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tanaka ve Sagawa (2018)'nin çalışması, e-ticaretin artan önemine rağmen, mevcut envanter yönetim yöntemlerinin lojistik maliyetlerde etkili olmadığını göstermektedir. Bu durum, e-ticaretin dinamizmiyle başa çıkacak daha esnek ve adaptif envanter stratejileri geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sun ve diğ. (2019) tarafından yapılan araştırma ise, e-ticarette taze ürün perakendeciliğinde maliyet kontrolünün önemine odaklanmaktadır. Bu çalışma, tedarik zinciri içindeki envanter yönetiminin karmaşıklığını anlamak ve optimize etmek için veri odaklı yaklaşımların benimsenmesi gerektiğini belirtmektedir.

Dai ve diğ. (2019) çalışması, Alibaba'nın iki kademeli dağıtım sistemine yönelik yeni bir envanter kontrol politikası önermektedir. Bu politika, birden fazla ürünün minimum ve maksimum ikmal miktarları ile ortaklaşa ikmal edildiği senaryoları ele almaktadır. Önerilen politika, her ürün için stok bitiş envanterinin belirlenen güvenlik stok seviyesinin altına düşmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Araştırma, bu yeni politikanın bir karma tamsayı programlama modeliyle tanımlandığını ifade etmektedir. Model ve politikanın etkinliği, Alibaba'nın gerçek verilerine dayanarak yapılan sayısal deneylerle değerlendirilmiştir. Elde edilen

sonuçlar, güvenlik stoku politikasının genellikle mevcut (s, S) politikasından daha düşük lojistik maliyetlerine ve daha yüksek müşteri hizmet seviyelerine yol açtığını göstermektedir. Diğer yandan Nabavieh ve Lorentsson (2019) tez çalışmasında, bir e-ticaret şirketinin İsveç'teki deposu için temel envanter kontrol politikası ve tahmin modeli oluşturmuştur. Araştırma, depo envanter politikasının iyileştirilmesi ve satın alma departmanı için uygun bir tahmin modelinin belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Çalışmada, sürekli inceleme (R, Q) politikası benimsenmiş ve gelecekte kullanılacak tahmin modeli için Alternatif Tahmin Uygulama Modelleri (AFAMs) geliştirilmiştir.

Li ve diğ. (2020) tarafından sunulan çalışma, hızlı tüketim malları için online kanallardan etkili envanter-sipariş stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Araştırma, çok dönemli bir envanter modeli kullanarak her promosyon dönemi için optimal iki eşikli bir sipariş politikasının olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, e-ticaret ortamında sıkça yapılan promosyonların envanter yönetimine olan etkisini inceleyerek literatüre katkı sağlamaktadır. Hasan ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışma, e-ticaret platformları üzerinden bozulmaya uğrayan ürünlerin satışını gerçekleştiren perakendecilerin karar verme yöntemlerini incelemektedir. Çalışma, müşterilere ön sipariş döneminde ve çevrimiçi sistem aracılığıyla ödeme yapmaları durumunda çoklu indirim politikasının uygulandığı durumlarda optimum fiyatı ve yenileme döngüsünü incelemektedir. Önerilen ekonomik sipariş miktarı modeli, bozulmaya uğrayan ancak anında bozulmayan ürünler için çalışır ve toplam karı maksimize eder. Ayrıca, satış fiyatının ve reklamın müşteri talebi üzerindeki etkisini de dikkate almaktadır. Sonuçlar, çevrimiçi ödeme sistemiyle geleneksel ödeme sistemine göre sistemin faydasını göstermektedir. Ayrıca, toplam karın, reklam sıklığı, bankacılık şirketinden gelen faiz, konum çevresi ve bozulmama süresinin artmasıyla arttığını gösteren bir duyarlılık analizi yapılmıştır. İzmirli ve diğ. (2022) çalışmasında, e-ticaretin hızla gelişen ortamında, çok kanallı perakendeciliğin önemi ve müşteri taleplerine hızlı yanıt vermenin gerekliliği vurgulanmaktadır. Çalışma, stok ve talep belirsizliğini azaltmak amacıyla çok kanallı bir ağ

için envanter paylaşım politikasını ele almaktadır. Bu politika, (s, S) modeline dayalı olarak geliştirilmiştir ve envanter seviyelerini optimize etmeyi hedeflemektedir. Araştırmada, ARENA 16.0 ve OptQuest yazılımları kullanılarak modelleme ve optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Selukar ve diğ. (2022) çalışması, çabuk bozulabilen ürünlerin envanter yönetimi için Derin Takviyeli Öğrenme (RL) tekniklerini önermektedir. Bu makale, taze ürünler gibi çabuk bozulabilen ürünlerin e-ticaret projelerinde giderek önemli hale geldiğini vurgulamaktadır. Pandemi zamanlarında, envanter kontrolünün sürdürülebilir bir ortam için daha da önemli olduğu göz önüne alındığında, bu yöntem önemli bir araç olabilir. Çalışma, perakendecilerin envanter sınırlama faktörlerini ve gerçek dünya parametrelerini modellemekte ve önerilen RL modellerinin envanter maliyetini azaltma potansiyeline işaret etmektedir. Qin (2022), e-ticaret ambalaj geri dönüşümü ve tersine lojistik envanter kontrolünü optimize etmek için BP sinir ağını kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, sistemin donanım yapılandırma yapısını iyileştirerek geliştirilebilirlik ve etkinlik açısından iyileştirmeler sağlamıştır. Çalışmanın sonuçları, e-ticaret ambalaj geri dönüşümü ve tersine lojistik envanter kontrolünün pratik uygulama sürecinde etkili olduğunu ve araştırma gereksinimlerini karşıladığını göstermektedir. Berling ve diğ. (2023) çalışması, e-ticaret ve çok kanallı perakendecilikte ortaya çıkan zorluklara odaklanmaktadır. Çalışma, merkezi depolarda hizmet farklılaştırması için birleşik stok yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem, (R, Q) politikası kullanarak tek depolu çoklu perakendeci envanter sistemlerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Yapılan sayısal çalışma, önerilen yöntemlerin mevcut modellere kıyasla toplam envanter maliyetlerini düşürmede etkili olduğunu ve optimal çözümler sunduğunu göstermektedir.

Ekren ve diğ. (2023), e-ticaret tedarik zinciri ağında eklemeli imalatın (AM) rolünü araştırmaktadır. Bu çalışma, özellikle COVID-19 salgını sonrası artan e-ticaret faaliyeti bağlamında AM'nin tedarik zinciri esnekliği, kârlılığı ve rekabet gücü üzerindeki etkisini incelemektedir. Araştırma, maliyet performansı ve yanıt verme yeteneğini artırmaya odaklanarak, tedarik zinciri yönetimindeki rekabet zorluklarına değinmektedir. Çalışmada, envanter optimizasyonu, 3D baskı ve AM'nin e-ticaret tedarik

zincirlerindeki rolü detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Gökbayrak ve Kayış (2023) tarafından sunulan çalışma, e-ticaret sektöründe artan ürün iadelerinin perakendeciler üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Çalışma, perakendecilerin optimal envanter kontrol politikalarını belirlemek için dinamik programlama yöntemini kullanmaktadır. Satışlara bağlı olarak değişen iade miktarlarını dikkate alan bu politikalar, detaylı iade süreçlerinin envanter yönetimindeki önemini vurgulamaktadır. Analizler, bu süreçlerin hesaba katılmasının perakendecilerin kar marjlarını artırabileceğini göstermektedir. Mo ve diğ. (2024) çalışmasında ise , kitle kaynaklı e-ticaret ortamında dinamik ve belirsiz pazar taleplerini ele almak için envanter yönetiminde pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir yaklaşımı önermektedir. Bu yöntem, envanter kontrol politikalarını talep belirsizliğine uyum sağlayacak şekilde geliştirerek, maliyet tasarrufu ile geliştirilmiş hizmet kalitesi hedeflemektedir. Yapılan deneysel analizler, önerilen yöntemin çeşitli maliyet oranları ve teslim süreleri koşullarında etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Mevcut literatür taraması, Türkiye'deki e-ticaret sektöründe stok yönetimi üzerine yapılan araştırmaların kısıtlı olduğunu ortaya koymaktadır. Yerel işletmelerin, stok yönetimi alanında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Ayrıca, genel olarak dünya çapında stokastik stok kontrol modelleriyle e-ticarette stok yönetimi üzerine yapılan çalışmaların az olduğu gözlemlenmektedir. Bu noktada araştırmacılara, stokastik modellerin e-ticaret stok yönetimindeki potansiyelini daha derinlemesine incelemeleri önerilebilir. Bu çalışmaların, e-ticaret işletmelerinin verimliliğini artırması ve rekabet avantajı sağlaması beklenmektedir.

3. STOK YÖNETİMİ

Stok, işletmelerin belirli bir zaman diliminde ihtiyaçlarını karşılamak için ellerinde bulundurdıkları hammadde, malzeme, yarı mamul ve son ürün gibi fiziksel varlıkları ifade etmektedir. Bu varlıklar, işletmenin talepleri karşılamak, üretim süreçlerini sürdürmek veya satış yapmak gibi faaliyetlerinde kullanılmak üzere depolanan malzemeleri kapsamaktadır. İşletmeler, talep miktarındaki değişkenlikler, tedarik sürelerindeki belirsizlikler, fiyat dalgalanmaları ve maliyet

artışları gibi faktörlerle başa çıkmak için stok tutma yoluna giderler. Stokların sağladığı bu avantajlara rağmen; stokların tutulmasından kaynaklanan maliyetler, sipariş verme ve teslimatla alakalı maliyetler ve stoksuz kalmanın getireceği maliyetler gibi bir dizi maliyet de söz konusudur (Küçük, 2009). Stok yönetimi, işletmelerin başarısı için hayati bir öneme sahiptir. Uygun bir stok kontrol modelinin belirlenmesi, etkili maliyet yönetimiyle sıkı bir şekilde bağlantılıdır. Bu çalışma devamında maliyetler detaylandırılacaktır.

Elde tutma maliyetleri, işletmelerin belirli bir zaman dilimi için belirlediği stok miktarını elde bulundurmasıyla ortaya çıkan maliyetlerdir. Depo giderleri, kira, elektrik, ısıtma/soğutma, sigorta, hasarlı veya bozulmuş mallar ve stok süresince bu stok için bağlanan paranın uğradığı faiz kaybı gibi maliyetleri içermektedir.

Sipariş maliyetleri, bir siparişi yerine getirmek için ortaya çıkan tüm maliyetleri içerir, aynı zamanda ürünlerin depoya ulaşana kadar olan taşıma maliyetlerini de kapsamaktadır. Stoksuzluk maliyetleri, mevcut talebin stoklardan karşılanamaması durumunda ortaya çıkan veya işletmenin talebi karşılamak için gerekli stoklara ulaşana kadar geçen zaman dilimi boyunca oluşan maliyetleri içermektedir.

İşletmelerin, üretim ve satış faaliyetlerini sürdürülebilir kılmak adına stok bulundurması gerekmektedir. Birçok sektörde, stok miktarı işletmelerin bilançolarında önemli bir yatırımı temsil eder ve dönen değerler ile sabit değerlerin büyük bir bölümünü oluşturur. İşletmelerde en uygun stok miktarının korunmalı; stoklar üretime entegre edilirken ise işletmeye en düşük vergi yükümlülüğünü getirecek stok politikası seçilmelidir. Modern işletmeler, bilgisayarlar ve diğer teknolojik araçları kullanarak stok yönetimini satış faaliyetleriyle daha uyumlu hale getirme çabasıdadır (Öndeş ve Çiftçi, 2020).

İşletmeler, fazla stok seviyeleriyle faaliyet gösterdiğinde, stok bulundurma maliyetlerini artırma riski taşır. Bu durum, firmanın adaptasyon yeteneğini sınırlandırabilir ve değer zincirinde gereksiz kaynak kullanımına neden olabilir. Öte yandan, düşük stok seviyesini benimsemek, sipariş verme sıklığını arttırarak, hazırlık maliyetlerinin

artışına neden olacaktır. Bilhassa, tedarik süresinin ve talebin belirsiz olduğu işletmelerde müşteri taleplerinin karşılanmasında problemler yaşanabilmektedir. Etkin bir stok yönetimi, bu zıt tercihler arasında denge sağlama gerekliliğiyle karşı karşıyadır. Stok yönetimi kararlarıyla ilgili olarak, genellikle iki ana soru üzerinde odaklanılır: "Ne miktar?" ve "Ne zaman?" şeklindeki bu temel sorular, işletmelerin stok seviyelerini etkili bir şekilde yönetmeleri ve operasyonel süreçlerini optimize etmeleri için önem taşır. Bu soruların cevaplanmasında hem belirlilik hem de belirsizlik durumlarına uygun stok kontrol yöntemleri kullanılır (Bilgin ve Ulusoy, 2021).

3.1. Deterministik Stok Kontrol Modelleri

Stok kontrol politikalarındaki temel hedef, yıl bazında toplamdaki stok maliyetlerini minimize eden karar verici parametrelerin değerlerini belirlemektir. Burada özen gösterilmesi gereken nokta, karar verici parametrelerin değerleri elde edildiğinde üretimin durmayacağı, işletmenin stoksuz kalmayacağı sonuçları yansıtan bir stok düzeyini ifade etmesidir.

Deterministik modellerde, talep ile ilgili tüm değişkenler önceden belirlenmiştir ve rastlantısal faktör içermezler. Bu modellerle %100 müşteri hizmet düzeyine ulaşmak mümkündür. Ancak, gerçek hayatta karşılaşılan durumlarla tam bir örtüşme gösterme olasılığı çok düşüktür (Aslantaş, 2019).

Kullanılan bütün modellerdeki esas amaç; yıllık bazda toplam maliyeti en aza indirmek, aynı zamanda tek bir seferde ne kadar sipariş verileceği ve ne zaman veya ne sıklıkta sipariş verileceği gibi tüm soruların cevaplarını bulmaktır.

3.2. Stokastik Stok Kontrol Modelleri

Stokastik stok kontrol modelleri, talebin ve temin süresinin belli olmadığı, olasılıksal dağılımların bulunduğu modelleri kapsamaktadır. Bu tür modellerde dönemsel olarak ürüne olan talep değişkendir (Karahana ve Aslan, 2016). Gündelik hayatta teslim süresi, sipariş sayısı ve talep gibi değişkenlerin tam olarak belirlenmesi oldukça zordur. Stokastik stok modellerindeki belirsizlik, talep üzerinde net olarak görülmektedir. Bir ürüne yönelik talep, zaman içinde değişkenlik gösterebilir.

Bazı durumlarda (ekonomik koşullar, trend gibi etkenlerden dolayı) talep miktarı günlük, aylık ve yıllık dönemlere bakıldığında sabit olmayabilir; aksine artabilir veya azalabilir (Arat, 2020). Stokların takip edilebilirliğini mümkün kılmak, zamanla ortaya çıkabilecek dalgalanmalar göz önünde bulundurulduğunda, işletmeleri stok politikalarını değiştirmeye zorlamaktadır. Bu durum, kullanılacak stok modelleri için aranan belirlilik durumunda belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, taleplerin belirsiz olduğu bu tür durumlarda stokastik modellerin kullanılması daha uygun olacaktır (Çekiç, 2015). Fakat, belirsiz talep durumlarında, geçmişteki talep verilerinden yararlanarak geleceğe yönelik tahmin yapılması olanaklıdır. İşletme sahipleri, bu verilerden yararlanarak stoksuz kalmamak adına ellerinde fazladan stok bulundurlar. Belirsizliğin hâkim olduğu durumlarda işletmeler, gelen talepleri karşılayabilmek adına emniyet stoğu bulundurabilirler. Emniyet stoğu; talep tahminlerindeki belirsizlikler, beklenmeyen artışlar veya tedarik zinciri sorunları gibi faktörlere karşı bir tampon görevi görmektedir. Belirsizlik içeren durumlarda talep dalgalanmalarının etkisiyle ortaya çıkan stoksuz kalma riskinin, emniyet stoku maliyetine oranla daha fazla maliyetli olması, işletmeler açısından emniyet stoklarının önemini yükseltmektedir.

4. METODOLOJİ

Bu çalışma, bir lojistik firmasının deposunu kullanan ve sağlık hizmeti alanında faaliyet gösteren GlucoPro firmasının ürün stoklarının yönetimini ele almaktadır. Glucopro, Almanya'dan getirdiği ürünleri Türkiye'de dağıtmaktadır. Firma, dünya genelinde sağlık alanında sunduğu yenilikçi ürünler ve hizmetlerle tanınan köklü bir şirkettir. İnsanların sağlıklı ve iyi yaşamaları misyonu biçen bu firma faaliyetlerine devam etmektedir.

Firma, ürünlerini Storify adında lojistik ve tedarik zinciri yönetimi, e-ticaret çözümleri gibi lojistik hizmetleri sağlayan bir firmanın deposunda stoklamaktadır. Storify firması, tedarik zinciri yönetimi, depolama, sipariş toplama, dağıtım yönetimi ve katma değerli lojistik hizmetleri gibi lojistik operasyonlarına odaklanmaktadır.

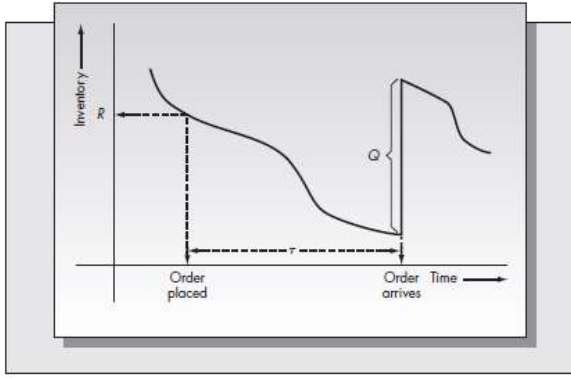
Storify, İstanbul Tuzla'da bulunan 15.000 m²'lik tesisinde faaliyetlerini sürdürmektedir. GlucoPro, ürünlerini Storify'nin deposunda stoklayarak, siparişler geldiğinde bu ürünlerin hazırlık ve dağıtım işlemlerini Storify üzerinden gerçekleştirmektedir.

GlucoPro firmasının ürün yelpazesinde bulunan sensör ürünü seçilmiş, bu ürün üzerinden modelleme çalışması yapılmıştır. Sensör ürünü, şeker seviyelerini sürekli olarak izleyen ve şekerin hızlı bir şekilde yükselip düşmesi durumunda uyarılar sağlayan bir tıbbi cihazdır. Yukarıda da bahsedildiği üzere GlucoPro firması, Storify firmasını lojistik iş süreçlerini yönetmesi için dış kaynak olarak kullanmaktadır. GlucoPro firması, Storify firması ile iletişimde olarak stok seviyelerini takip etmekte ve tamamen sezgisel olarak Storify firmasının deposuna ürünlerini göndermektedir.

Ürün kabulleri belirli bir stok kontrol modeli ve parti büyüklüğü metotları kullanılmadan yapılmaktadır. Bu durum, GlucoPro'nun zaman zaman stoksuz kalmasına ve müşteriye gönderilen ürünlerin teslimatında gecikmelerin yaşanmasına neden olmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler GlucoPro ve Storify firmaları ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir.

4.1. Parti Büyüklüğü/Sipariş Seviyesi (Q,R) Modeli

Sürekli gözden geçirme altında stokastik envanter kontrol modellerine ilişkin kararlar, ekonomik sipariş miktarı (Q) ve yeniden sipariş seviyesini (R) içerir. Yeniden sipariş seviyesi (R) ve ekonomik sipariş miktarı (Q), sürekli gözden geçirme envanterinde karar verilmesi gereken parametrelerdir. Bir (r, Q) stok kontrol sisteminde, ürünün stokları sürekli olarak gözden geçirilir ve stok seviyesi yeniden sipariş noktası r'ye düştüğünde sabit bir miktar Q sipariş edilir. Çoğu durumda, Q ve R için ayrı ifadeler türetilemediğinden, bunların optimal değerlerine iteratif olarak yaklaşılması gerekmektedir. Diğer yandan, bu uygulama işletmeye kar sağlayabileceği gibi iyi tasarlanmaması durumunda önemli bir maliyet cezası da getirebilir (Vasconcelos ve Marques, 2000). Sistemin işleyişi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Sürekli gözden geçirme (Q, R) sistemi için envanterde zaman içinde meydana gelen değişiklikler (Nahmias ve Olsen, 2005)

Varsayımlar ve Notasyon

Modelde ve çalışmada kullanılan notasyonlar ve yapılan varsayımlar aşağıda verilmiştir.

1. Sistem sürekli gözden geçirilir. Yani, talepler oluştuğu kaydedilir ve eldeki envanter seviyesi her zaman bilinir.
2. Talep rastgele ve durağandır. Bu, talebin değerini tahmin edemesek de, sabit uzunluktaki herhangi bir zaman aralığında talebin beklenen değerinin sabit olduğu anlamına gelmektedir.
4. Talebin olasılık dağılımı normal dağılım için uygundur. Bu sebeple, talebin olasılık dağılımı normal bir dağılım karakterine sahipse, tedarik süresindeki taleplerin dağılımı da normal bir dağılım özelliği gösterir.
5. Sipariş vermek için sabit bir pozitif teslim süresi vardır.

Modelde kullanılan notasyonlar:

- K: sipariş verme maliyeti
h: elde tutma maliyeti / yıl
L: her sipariş için teslim süresi
c: birim ürün maliyeti
Q: ekonomik sipariş miktarı
 λ : yıllık talep
p: stoksuzluk maliyeti
 σ : yıllık talebin standart sapması

μ : tedarik süresince beklenen ortalama talep

σ_x : talebin tedarik süresindeki standart sapması

R: yeniden sipariş noktası

S: emniyet stoku

Z: servis düzeyine göre standart sapmaların değeri

5. UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında firmanın sensör ürününe ait veriler incelenmiş, stok modelinin oluşturulması için kullanılmıştır. Sensör için alınan değerler Tablo 2'de verilmiştir. Stok modeli için işletmeden elde edilen veriler, ürünlerin teslim süresinin sabit olduğunu ancak talebin değişken olduğunu göstermektedir. Bu değişkenler dikkate alındığında stokastik bir model kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1: Sensör İçin Stok Modeli Verileri

Sensör	
λ	123714
K	4.808,05 ₺
h	27,85 ₺
L	7 gün
c	220,00 ₺
p	44,00 ₺
σ	1930,55

1. Adım: Ekonomik sipariş miktarı bulunur.

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 * K * \lambda}{h}} \quad (1)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 * 123714 * 4808,05}{27,85}} = 6536 \text{ adet}$$

2. Adım: Teslim süresi boyunca ortalama talep ve talebin teslim süresindeki standart sapması hesaplanır.

$$\mu = \lambda * L \quad (2)$$

$$\mu = \frac{1}{52} * 123714 = 2379 \text{ adet}$$

$$\sigma L = \sigma * \sqrt{L} \quad (3)$$

$$\sigma_x = 1930,55 * \sqrt{\frac{1}{52}} = 267,72$$

3. Adım: Servis düzeyi hesaplanır, 0,9666 sonucu elde edilir. Yani, İşletmenin talepleri karşılama başarısı %96,66 seviyesindedir ve %3,34'lük bir stoksuzluk oranı mevcuttur. Servis düzeyi, tedarik süresi sırasında talebin mevcut stoktan karşılanabilmesi olasılığıdır.

$$1 - F(R) = \frac{Qh}{p\lambda} \quad (4)$$

$$1 - F(R) = \frac{6536 * 27,85}{44 * 123714} = 0,9666$$

4. Adım: Bulunan servis düzeyine göre standart saplamaların değeri olan z değeri, Excel'in =NORMSTERS fonksiyonu kullanılarak elde edilir ve z değeri 1,83 olarak bulunur. $z = (R - \mu) / \sigma * L$ eşitliğinden yararlanarak $R = \sigma * z + \mu = 2870$ olarak elde edilir. Bu, sensör ürünü stok miktarı 2870 adet veya altına düştüğünde $Q_0 = 6536$ adet ürün sipariş edileceği anlamına gelmektedir.

$$z = \frac{R - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

$$z = \frac{R - 2379}{267,72} \text{ ise } R = 267,72 * 1,83 + 2379 = 2870$$

5. Adım: Normal olasılık dağılım ve kısmi beklentiler tablosundan $L(z)$ değeri 0,0132 olarak bulunur. $L(z)$, standartlaştırılmış kayıp fonksiyonudur. Bir döngüde meydana gelen beklenen stoksuz kalma sayısı $n(R)$ ile gösterilmektedir. $n(R)$ hesaplandığında 3,53 değeri elde edilir. Yani, $(Q, R) = (6640, 2868)$ olduğu bir döngüde 3,53 kez stoksuz kalma riski bulunmaktadır.

$$n(R) = \sigma_x L\left(\frac{R - \mu}{\sigma_x}\right) = \sigma * L(z) \quad (6)$$

$$n(R) = \sigma * L(z) = 267,72 * 0,0132 = 3,53$$

6. Adım: Çözüm prosedürü, Q ve R'nin ardışık iki değeri aynı olana kadar yineleme yapılmasını gerektirir. Amaç, $G(Q, R)$ 'yi minimize etmek için optimum Q ve R değerlerini seçmektir. Çözüm prosedürü, Q ve R'nin iki ardışık değeri (esasen) aynı olana kadar Denklem (4) ve (7) arasında iterasyon yapılmasını gerektirir.

$$1 - F(R) = \frac{Qh}{p\lambda}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda[K + pn(R)]}{h}} \quad (7)$$

6.1. Adım: Sensör ürünü için optimal Q ve R değerlerini bulmak amacıyla iterasyonlar gerçekleştirilecektir. İterasyonun ilk adımı olarak, Q_1 değeri hesaplanacaktır.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2 * 123714 * [4808,05 + 4 * 3,53]}{27,85}} = 6640 \text{ adet}$$

Q_1 'in bu değeri ilk bulunan Q_0 değeri olan 6536 ile karşılaştırılır ve hesaplamayı durduracak kadar yakın olmadığı görülür, bu iterasyona devam edileceği anlamına gelmektedir. Q_1 için servis düzeyi hesaplaması yapılırsa:

$$1 - F(R_1) = \frac{Q_1 h}{p\lambda} = \frac{6640 * 27,85}{44 * 123714} = 0,9660$$

Yani, işletmenin talepleri karşılama başarısı %96,60 seviyesindedir ve %3,40'lık bir stoksuzluk oranı mevcuttur. Servis seviyesinin z değeri Excel'deki =NORMSTERS formülü aracılığıyla 1,83 belirlenmiştir. normal olasılık dağılım ve kısmi beklentiler tablosundan, z değerine karşılık gelen $L(z) = 0,0132$ olarak elde edilir. $n(R) = \sigma * L(z) = 267,72 * 0,0132 = 3,53$ bulunur.

6.2. Adım: Q_0 ve Q_1 değerleri birbirlerine yeterince yakın olmadığı için iterasyona devam edilir. İterasyonun ikinci adımı olarak, Q_2 değeri hesaplanacaktır.

$$Q_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 123714 \cdot [4808,05 + 3,53]}{27,85}} = 6640 \text{ adet}$$

Q_2 için hesaplama yaptığımızda Q_1 ile çok yakın değer verdiği görülür. Bu optimal ekonomik sipariş miktarına ulaştığımız anlamına gelmektedir. Bundan sonraki yapılacak olan, iterasyonlar birbirlerini tekrarlayacaklardır.

$Q_2 = 6640$ değeri için servis düzeyi hesaplaması yapılırsa:

$$1 - F(R_2) = \frac{Q_2 h}{p \lambda} = \frac{6640 \cdot 27,85}{44 \cdot 123714} = 0,9660$$

1. iterasyondaki gibi işletmenin talepleri karşılama başarısı %96,60 seviyesindedir ve %3,40'luk bir stoksuzluk oranı mevcuttur. Servis seviyesinin z değeri Excel'deki =NORMSTERS formülü aracılığıyla 1,83 belirlenmiştir. Normal olasılık dağılım ve kısmi beklentiler tablosundan, z değerine karşılık gelen $L(z) = 0,0132$ olarak elde edilir. $n(R) = \sigma \cdot L(z) = 267,72 \cdot 0,0132 = 3,53$ bulunur.

$Q_2 = 6640$ değeri için yeniden sipariş noktası hesaplanırsa:

$$R = \sigma \cdot z + \mu$$

$$R = \sigma \cdot z + \mu = 267,72 \cdot 1,83 + 2379 = 2898$$

Sensör ürünü için emniyet stoku ise yeniden sipariş noktasından, tedarik süresindeki ortalama beklenen ortalama talep değerinin çıkarılmasıyla elde edilir.

$$s = R - \mu \quad (8)$$

$$s = 2868 - 2379 = 489$$

Emniyet stoku, talep tahminlerindeki belirsizlikler, beklenmeyen artışlar veya tedarik zinciri sorunları gibi faktörlere karşı bir tampon görevi görmektedir. Q ve R 'nin optimal değerleri $(Q, R) = (6640, 2868)$ olarak bulunur. GlucoPro firması, sensör için stok seviyesi 2868 adet ve altına düştüğünde 6640 adet kadar sipariş vermelidir.

7. Adım: Siparişlerin verilmesi arasındaki ortalama süre hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$T = \frac{Q}{\lambda} \quad (9)$$

$$T = \frac{6640}{123714} = 0,054 \text{ yıl} = 0,64 \text{ ay} \\ = 19,59 \text{ gün}$$

8. Adım: Yukarıdaki hesaplamalar dikkate alındığında $G(Q, R)$ 'yi elde tutma, sipariş ve stoksuzlukların beklenen ortalama yıllık maliyeti olarak tanımlarsak, bu terimlerin her biri için hesaplama yapmak gerekir:

Yıllık Elde Tutma Maliyeti:

Yıllık elde tutma maliyetin hesaplamasını yaparken ortalama stok miktarlarından yararlanılmıştır. Tablo 2'de kurulan model sonrasında 2023 yılına ait aylar, ay başı stoklar ve ay sonu stokların ortalamalarının toplamı verilmiştir. 2023 yılı sonrasında yıl boyunca depoda tutulan stok miktarının 82.201 adet olacağı öngörülmüştür. 1 birim ürünün depoda tutulmasının maliyeti 27,85 ₺ olduğuna göre yıllık elde tutma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h \cdot (OS + R - \mu) \quad (10)$$

$$27,85 \cdot (82201 + 2868 - 2379) \\ = 2.303.085,17 \text{ ₺}$$

Tablo 2: 2023 Yılı Sensör Ortalama Stok Miktarları

2023 Yılı Sensör Ortalama Stok			
Aylar	Ay Başı Stok	Ay Sonu Stok	Ortalama Stok
Ocak	10335	6945	8640
Şubat	6945	4194	5570
Mart	4194	4458	4326
Nisan	4458	11087	7773
Mayıs	11087	6851	8969
Haziran	6851	8817	7834
Temmuz	8817	4667	6742
Ağustos	4667	6744	5705
Eylül	6744	4190	5467
Ekim	4190	6382	5286
Kasım	6382	8339	7360
Aralık	8339	8720	8529
Yıllık Ortalama Stok			82.201

Sipariş Verme Maliyeti:

$$\frac{K\lambda}{Q} \quad (11)$$

$$\frac{4808,05 * 123714}{6640} = 89.576,85 \text{ ₺}$$

Stoksuzluk Maliyeti:

$$\frac{p\lambda n(R)}{Q} \quad (12)$$

$$\frac{44 * 123714 * 3,53}{6640} = 2.896,89 \text{ ₺}$$

Toplam Yıllık Maliyet:

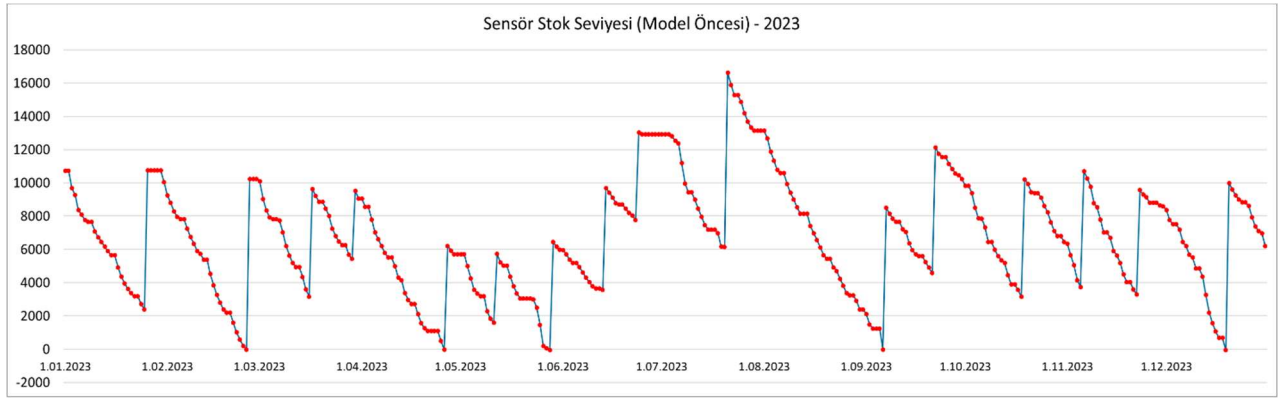
$$2.303.085,17 \text{ ₺} + 89.576,85 \text{ ₺} + 2.896,89 \text{ ₺} = 2.395.558,91 \text{ ₺}$$

Dolayısıyla, optimal bir kontrol politikası varsayıldığında, sensör ürünü için stok kontrolüne ilişkin toplam ortalama yıllık maliyet 2.381.937,98 ₺'dir.

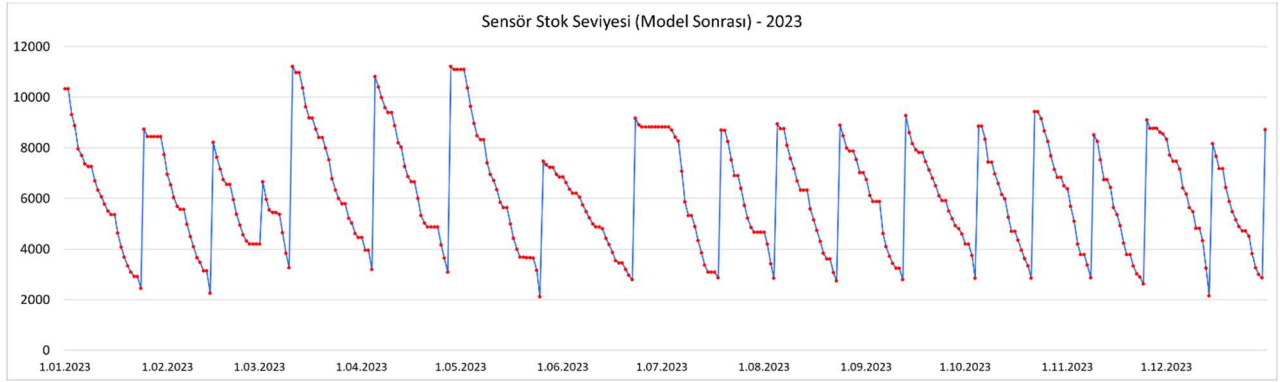
6. ÇÖZÜM VE BULGULAR

Stok kontrol politikalarındaki temel hedef, yıl bazında toplam stok maliyetlerini minimize eden parametrelerin belirlenmesini içermektedir. Karar verici parametrelerin değerleri elde edildiğinde ise üretimin durmayacağını ve işletmenin stoksuz kalmayacağını temin eder.

Bu çalışma, e-ticaret üzerinden satış yapan işletmelerin stok yönetimini iyileştirmek ve akabinde stok maliyetlerini en aza indirecek stok planlama stratejilerinin belirlenmesine odaklanan bir model önerisi sunmaktadır. Önerilen model, bir lojistik firmasının deposunu kullanan ve sağlık hizmeti alanında faaliyet gösteren GlucoPro firmasının e-ticaret sitesi üzerinden sattığı ürün üzerinde uygulanmıştır. Stok modeli parametreleri ile ilgili işletmeden elde edilen bilgiler, ürün tedarik süresinin sabit olduğunu ancak talebin değişken



Şekil 2: Sensör Stok Seviyesi (Model Öncesi) - 2023



Şekil 3: Sensör Stok Seviyesi (Model Sonrası) - 2023

olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yüzden, stokastik bir stok kontrol modeli kullanılarak işletme için uygun bir model oluşturulmuştur. Önerilen stok modeli aracılığıyla, işletme için gereken emniyet stoğu miktarı belirlenmiş ve aynı zamanda optimal stok seviyeleri ile sipariş verilmesi gereken miktarlar elde edilmiştir.

Şekil 2'de sensör için model öncesi durum çizgi grafikte görselleştirilmiştir. Model öncesi yıllık ortalama stok 100.057, verilen sipariş sayısı 16 ve verilen siparişlerde bulunan toplam ürün sayısı ise 119.180'dir. Şekil 3'de ise model sonrası durum çizgi grafikte görselleştirilmiştir.

Sensör ürünü için oluşturulan modelde Q ve R'nin optimal değerleri $(Q,R) = (6640, 2868)$ olarak bulunmuştur. GlucoPro firması, sensör için stok seviyesi 2868 adet ve altına düştüğünde 6640 adet kadar sipariş verir. Ancak, bu stratejinin etkinliğini artırmak ve beklenmeyen durumlarla başa çıkabilmek adına 489 adetlik bir emniyet stoğu da belirlenmiştir. Emniyet stoku, talep tahminlerindeki

belirsizlikler, beklenmeyen artışlar veya tedarik zinciri sorunları gibi faktörlere karşı bir tampon görevi görmektedir. Model öncesi ve model sonrası veriler kullanarak Excel aracılığıyla bir simülasyon çalışması yapılmış, simülasyonun sonuçlarına göre model öncesinde depoda yıllık olarak maksimum 16.614 adet ürün bulundurulurken, model sonrasında bu sayı 11.211 adete gerileyecektir. Minimumda ise model öncesi hiç ürünün bulunmadığı, stoksuz kaldığı durumlar olurken, model sonrasında stoksuz kalınmayacağı, minimum 2.111 adet ürün kalacağı öngörülmüştür. Önceki dönemde, depoda bulunan ürünlerin aylık ortalama stoğu 8.338 adet olarak kaydedilmiştir. Ancak, önerilen modelin uygulanmasıyla, bu stok seviyesinin 6.580 adete düşmesi beklenmektedir.

Tablo 3'te ise model öncesi ve model sonrası ortalama yıllık maliyetlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Model öncesinde yıllık depoda tutulan ortalama stok miktarı 100.057 iken, model sonrası bu sayı 82.201'e düşmüştür. Bu da stokta tutma maliyetlerinde $-17,36$ azalma yaşanacağı

anlamına gelmektedir. Model öncesinde yıllık verilen siparişlerin maliyeti 76.928,74 ₺ iken model sonrası bu maliyet 89.576,85 ₺'ye çıkmıştır. Yani, öngörülen sipariş maliyeti +%16,44 artmıştır. Bu politika sayesinde elde daha az ürün tutulmuş, fakat daha fazla sipariş verilmiştir. Model öncesinde yılda 5 döngü içerisinde toplam 184 üründe yok satma yaşanmış, model sonrasında yapılan simülasyonda yok satılmayacağı görülmüştür. Fakat kurulan model olasılıksal bir model olduğu için yok satma olasılığı da göz önünde bulundurulmuş; döngü başına 3,53 kez stoksuz kalınacağı ve bu stoksuzluk maliyetinin 2.896,89 ₺ olacağı hesaplanmıştır. Yok satmanın yaşanması durumunda yıllık stoksuzluk maliyetlerinde -%64,22 azalma yaşanacaktır. Yıllık ortalama toplam maliyet ise 2.871.818,83 ₺'den 2.395.558,91 ₺'ye düşmüştür. Bu, -%16,58 maliyet azalması anlamına gelmektedir.

gereklilik haline gelmiştir. E-ticaretin kolay erişilebilir olması, ürün ve hizmet çeşitliliğini sunması vb. faktörler kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Dijitalleşmeye hızlı uyum sağlayan firmalar pazar payını artırmış, sektörlerinde ön plana çıkmışlardır. Ancak, bu dönüşümle birlikte e-ticaret yapan işletmeler stok yönetiminde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Bu zorlukların başında, talebin değişkenliği gelmektedir. E-ticaret platformlarında talep, mevsimsel faktörler, pazar trendleri, kampanyalar gibi birçok etkenden etkilenmektedir. Bu durum, stok seviyelerinin doğru şekilde belirlenmesini ve yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, işletmeler için etkili bir stok yönetimi stratejisi belirlemek ve uygulamak büyük önem taşımaktadır.

Tablo 3: Sensör İçin Model Öncesi ve Sonrası Maliyet Karşılaştırılması

Sensör			
Mevcut Sistem Yıllık Maliyetler (TL)		Önerilen Sistem Yıllık Maliyetler (TL)	
Stok tutma maliyet	2.786.794,10 ₺	Stok tutma maliyet	2.303.085,17 ₺
Sipariş maliyeti	76.928,74 ₺	Sipariş maliyeti	89.576,85 ₺
Stoksuzluk maliyeti	8.096,00 ₺	Stoksuzluk maliyeti	2.896,89 ₺
Toplam maliyet	2.871.818,83 ₺	Toplam maliyet	2.395.558,91 ₺
		Fark	Yüzdesel Fark
		-476.259,92 ₺	-16,58%

Modelin maliyet üzerindeki pozitif etkisinin yanında, işletme eğer TCMB'nin belirlediği güncel politika faizi olan %40 faiz oranını baz alıp stoğa bağladığı bu fazla kaynağı bankaya yatırarak, faiz geliri olarak değerlendirme yoluna giderse, işletme bu durumdan ek kazanç olarak sensör için 190.503,97 ₺ elde edecektir. Bu para daha fazla yatırım yapmak için kullanılabilir. Depoda daha fazla alan açılabilir ve yeni projeler alınarak depodan daha fazla gelir elde edilebilir.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde, teknolojik ilerlemelerin etkisiyle e-ticaret, tüketiciler ve firmalar için temel bir

Bu çalışmada, e-ticaret yoluyla satış yapan depo sahibi bir firma için talebin olasılıksal, teslim süresinin sabit olduğu (Q, R) stok kontrol modelinin tasarlanması amaçlanmıştır. Bir lojistik firmasının deposunu kullanan ve sağlık hizmeti alanında faaliyet gösteren GlucoPro firmasının e- ticaret sitesi üzerinden sattığı sensör ürünü üzerinde modelleme çalışması yapılmıştır. Model tasarlanırken temelde “ne miktarda?” ve “ne zaman?” sorularına yanıt aranmıştır. Bu bağlamda, işletme için optimum sipariş miktarı ve yeniden sipariş noktası bulunmuş, aynı zamanda talep dalgalanmalarının neden olduğu stoksuz kalma riskini azaltmak için gereken emniyet stoğu miktarı belirlenmiştir.

Model sonrası elde edilen bulgular; önerilen modelin, model öncesi duruma kıyasla işletmenin stok yönetiminde belirgin bir iyileşme sağladığını göstermektedir. Geliştirilen stok modeli sonrasında elde tutulan ürün stoğu azaltılarak stok tutma maliyetleri düşürülmüş, stok düşük tutulduğu için daha fazla ürün siparişi verilmiş ve sipariş verme maliyetleri artmıştır. Kurulan model olasılıksal bir model olduğu için diğer bir maliyet kalemi olan stoksuzluk maliyeti için stoksuzluk olasılığı hesaplanmış ve bu hesap üzerinden stoksuzluk maliyetinin de azalacağı öngörülmüştür.

Ancak, bu çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. İlk olarak, stok kontrol modelini sadece seçilen tek ürün ve belirli bir firma üzerinde uygulanması, sonuçların genelleştirilebilirliğini sınırlamaktadır. Farklı ürünler ve sektörler için modelin etkinliğinin test edilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, modelde kullanılan stok verilerin doğruluğu ve güncelliği sonuçların güvenilirliğini etkileyebilir. Veri toplama sürecinde yaşanabilecek hatalar veya eksiklikler, modelin performansını belirsiz kıldığı için olumsuz yönde etkileyebilir.

Stok modelinin performansındaki belirsizliği minimize etmek için odaklanılacak önemli alanlar bulunmaktadır. Özellikle, farklı sektörlerde ve pazar koşullarında bu yöntemin etkinliğinin daha geniş kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, yeni teknolojilerin stok yönetimi süreçlerine entegrasyonu ve yapay zeka gibi yenilikçi yaklaşımların kullanımı konusunda daha fazla araştırma yapılmalıdır. Bununla birlikte; çoklu ürünlerin stok yönetimi üzerine odaklanan çalışmalar da önemlidir. İşletmelerin birden fazla ürün çeşidine sahip olması, farklı stok yönetimi stratejilerini gerektirebilir. Bu nedenle, çoklu ürünlerin stok yönetimi stratejilerinin daha iyi anlaşılması ve geliştirilmesi, işletmelerin rekabet avantajlarını artırabilir.

Bu çalışmanın sonuçları, e-ticaret işletmelerinin rekabet gücünü artırmak ve operasyonel verimliliklerini iyileştirmek için önemli bir başlangıç noktasıdır. Genel olarak, önerilen model, özellikle satıcılar tarafında satışları, ürün ulaşılabilirliğini, hizmet seviyesini ve stok devir hızını artırma hedeflerine ulaşmıştır. Gelecekteki araştırmaların, bu alandaki bilgiyi daha da derinleştirilmesi ve işletmelerin daha etkili stok

yönetimi stratejileri geliştirmelerine katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arat, B. (2020), "Stok Kontrolü ve Eritme Peynir Sektöründe Bir Uygulama", Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Aslantaş, M. (2019), "Bir Transformatör Firmasında Stok Kontrol Parametrelerinin Simülasyon Tabanlı Optimizasyonu", Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- [3] Berling, P., Johansson, L., Marklund, J. (2023), "Controlling Inventories In Omni/Multi-Channel Distribution Systems With Variable Customer Order-Sizes", Omega, 114, 102745.
- [4] Bilgin, E., Ulusoy, Y. (2021), "Talep Tahmini ve Stok Yönetimi Üzerine Bir Uygulama", 20. Uluslararası İşletmecilik Kongresi, 10-13 Haziran, Giresun Üniversitesi, Giresun, ss.1412-1433.
- [5] Binglei, X., Shi, A., Jian, W. (2005), "Stochastic Inventory Routing Problem Under B2C E-commerce", IEEE International Conference on E-Business Engineering (ICEBE'05), 18-21 October, Beijing, China, pp. 630-633
- [6] Chan, F. T., Ruan, J. H., Tai, A. H., Chung, S. H., Eltoukhy, A. E. (2018), "Inventory Model with the Consideration of Pricing, Product Substitution and Value Deterioration", IFIP WG 5.7 International Conference, 26-30 August 2018, Seoul, Korea, pp. 450-456.
- [7] Chodak, G., Suchacka, G. (2012), "Cost-oriented Recommendation Model for E-commerce", 19th International Conference on Computer Networks, 19-23 June 2012, Szczyrk, Poland, pp. 421-429
- [8] Çekiç, B. (2015), "Tedarik Zincirlerinde Durağan Olmayan Talep Altında Çok Kademeli Stok Kontrol Yönetimi İçin Bir Stokastik Programlama Yaklaşımı", Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 33(1), ss. 44-77
- [9] Dai, B., Chen, H., Li, Y., Zhang, Y., Wang, X., Deng, Y. (2019), "Inventory Replenishment Planning in a Distribution System with Safety Stock Policy and Minimum and Maximum Joint Replenishment Quantity Constraints", 2019 International Conference on Industrial

Engineering and Systems Management (IESM), 25-27 September 2019, Shanghai, China, pp. 1-6.

[10] Ekren, B. Y., Stylos, N., Zwiendelaar, J., Turhanlar, E. E., Kumar, V. (2023), "Additive Manufacturing Integration in E-commerce Supply Chain Network to Improve Resilience and Competitiveness", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 122, 102676.

[11] Espinós, J. D. (2014), "A Continuous Review Policy for E-commerce Inventory Management in Darkstores", University of Porto, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering and Management, Master's Thesis, Portugal.

[12] Fan, S., Wang, X. (2015), "A Simulation Research on Inventory Cost of Custom Product Under E-commerce Circumstances", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 19(3), pp. 423-429.

[13] Gökbayrak, E., Kayış, E. (2023), "Single Item Periodic Review Inventory Control with Sales Dependent Stochastic Return Flows", *International Journal of Production Economics*, 255, 108699.

[14] Hasan, M. R., Daryanto, Y., Roy, T. C., Feng, Y. (2020), "Inventory Management with Online Payment and Preorder Discounts", *Industrial Management & Data Systems*, 120(11), pp. 2001-2023.

[15] İzmirli, D., Ekren, B. Y., Eroglu, E. (2022), "s, S Inventory Control Optimization Under Inventory Sharing Policy for Omni-Channel Network", *Global Joint Conference on Industrial Engineering and Its Application Areas (GJCIE)*, 14-15 August 2020, Cham, Switzerland, pp. 69-80.

[16] Karahan, M., Aslan, Ş. (2016), "Bir Çimento Fabrikasında Hammadde Stok Kontrolü Uygulaması", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3), ss.773-783.

[17] Küçük O. (2009), *Stok Yönetimi Ampirik Bir Yaklaşım*, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

[18] Li, J., Guan, M., Chen, Z. (2020), "Optimal Inventory Policy for Fast-Moving Consumer Goods Under E-commerce Environment", *Journal of Industrial & Management Optimization*, 16(4), pp. 1769-1781.

[19] Li, G., Li, W. (2016), "Inventory Control of Return Based on Fuzzy Theory of E-commerce Environment", *6th International Conference on Machinery, Materials,*

Environment, Biotechnology and Computer, 11-12 June, Tianjin, China, pp. 348-353.

[20] Lorentsson, P., Nabavieh, N. (2019), "Developing an Inventory Control Policy and Forecasting Model for an E-Commerce", *OR spectrum*, 35(1), pp. 153-162.

[21] Mo, D. Y., Tsang, Y. P., Wang, Y., Xu, W. (2024), "Online Reinforcement Learning-based Inventory Control for Intelligent E-Fulfillment Dealing with Nonstationary Demand", *Enterprise Information Systems*, 18(2), 2284427.

[22] Nahmias, S., T. L. Olsen. (2015), *Production and Operations Analysis*, 7th Edition, Waveland Press, Long Grove.

[23] Öndeş, T., Çiftçi, Ş. (2020), "İşletmelerde İç Kontrol Sistemi ve Stok Yönetimi: TRA1 Düzey 2 Bölge Uygulaması", *Atatürk Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(1), ss. 61-76.

[24] Qin, Z. (2022), "The Inventory Control System of Reverse Logistics for E-Commerce Packaging Recovery Based on BP Neural Network", *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 16, pp. 413-425.

[25] Selukar, M., Jain, P., Kumar, T. (2022), "Inventory Control of Multiple Perishable Goods Using Deep Reinforcement Learning for Sustainable Environment", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102038.

[26] Sun, R., Sun, P., Li, J., Zhao, G. (2019), "Inventory Cost Control Model for Fresh Product Retailers Based on DQN", *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 9-12 December, Los Angeles, USA, pp. 5321-5325.

[27] Tanaka, K., Sagawa, D. (2018), "Inventory Management Method with Demand Forecast in E-commerce", *25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering*, 3-6 July 2018, Modena, Italy, pp. 601-610.

[28] Thonemann, U. (2015), *Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen*, 3rd Edition, Pearson Studium, Berlin.

[29] Vasconcelos, B. C., Marques, M. P. (2000), "Reorder Quantities for (Q, R) Inventory Models" *The Journal of the Operational Research Society*, 51(5), pp. 635-638.

[30] Yamak, O. (2007), *Üretim Yönetimi*, 5. Baskı, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

[31] Zhang, L., Wei, H., Zuo, X. (2008), "Research on Vendor Managed Inventory in the Condition of Multiple Vendors in E-Commerce", 4th International Conference on Wireless Communications , 12-14 October, Dalian, China, pp. 1-4.

[32] Zhang, X., Li, Y., Sun, P. (2015), "Inventory Optimization Research on Shampoo Products of B2C E-commerce with Temporary Price Discount", 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), 27-29 July, Barcelona, Spain, pp. 1-6.

Ekin Fırat KAPLAN



Ekin Fırat KAPLAN, 2020 yılında Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Mühendisliği Bölümü mezunudur. Mezun olduktan sonra özel sektörde lojistik ve depo yönetimi alanında faaliyet gösteren işletmelerde çalışmıştır. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans programında eğitimine devam etmektedir. Tedarik zinciri yönetimi ve depo yönetimi gibi konulara ilgisi bulunmaktadır.

Dr.Öğr.Üyesi Emin Başar BAYLAN



Emin Başar BAYLAN, 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Daha sonra Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi ve Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yöneylem Araştırması yüksek lisans programlarını tamamladı. 2003 - 2007 yılları arasında İstanbul Ticaret Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2006-2007 yıllarında Virginia Polytechnic Institute and State University'de iki dönem kadar misafir araştırmacı olarak görev yaptı. 2007 - 2011 yılları arasında Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalıştı. Doktora eğitimini Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında 2016 yılında tamamladı. 2012 yılında İstanbul Ticaret Üniversitesine öğretim görevlisi olarak ve 2018 yılında ise doktor öğretim üyesi olarak atandı. 2022 yılın ağustos ayında ise Piri Reis Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde doktor öğretim üyesi olarak çalışmaya başladı. Araştırma konuları karar destek sistemleri, yöneylem araştırması, makine öğrenmesi, sistem dinamiği, finans mühendisliği gibi konulardır.

TEDARİK ZİNCİRİ İZLENEBİLİRLİĞİ AÇISINDAN ENDÜSTRİ 5.0'I MÜMKÜN KILAN ETMENLERİN SÜT TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN ANALİZİ

Ayça MADEN

Beykent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ayazağa, İstanbul,
aycamaden@beykent.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8239-3084

ÖZET

Endüstri 5.0, insan ve makine iş birliğini ön plana çıkararak üretim süreçlerinde verimliliği ve esnekliği artırmayı hedefleyen yeni bir sanayi devrimidir. Bu dönüşüm, özellikle süt üretimi gibi geleneksel endüstrilerde tedarik zinciri sorunlarının çözümünde büyük potansiyel taşımaktadır. Bu çalışmada, öncelikle süt üretimi yapan bir firmanın tedarik zincirinde yaşanan sorunlar Delphi yöntemi ile analiz edilmiş ve en kritik sorunlar belirlenmiştir. Ardından, tespit edilen bu önemli sorunlar doğrultusunda Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenler ARAS yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Literatürde Endüstri 5.0 etmenlerinin önceliklendirilmesine duyulan ihtiyaç vurgulanmaktadır. Delphi ve ARAS yöntemleriyle yapılan analiz sürecinde, süt üretimi sektöründe tedarik zinciri sorunlarının çözümüne yönelik en etkili Endüstri 5.0 etmenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmayla, sektörde karşılaşılan temel problemlere yönelik uygun Endüstri 5.0 çözümlerin ve gelişim stratejilerinin önerilmesi mümkün olup, ilgili sektörün sürdürülebilir ve yenilikçi bir şekilde ilerlemesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: ARAS, Delphi, Endüstri 5.0, Süt tedarik zinciri, Tedarik zinciri izlenebilirliği.

ANALYSIS OF INDUSTRY 5.0 ENABLERS FOR MILK SUPPLY CHAIN IN TERMS OF SUPPLY CHAIN VISIBILITY

ABSTRACT

Industry 5.0, highlighting human-machine collaboration, is a new industrial revolution aimed at increasing efficiency and flexibility in production processes. This transformation holds significant potential for solving supply chain issues, especially in traditional industries such as milk production. In this study, the supply chain issues of a milk production company were first analyzed using the Delphi method, and the most critical problems were identified. Subsequently, the enablers Industry 5.0, in line with these identified key issues, were prioritized using the ARAS method. The literature emphasizes the need to prioritize Industry 5.0 enablers. Through the analysis process using Delphi and ARAS methods, this study aims to determine the most effective Industry 5.0 enablers for resolving supply chain issues in the milk production sector. With this study, it is possible to propose the most suitable Industry 5.0 enablers and development strategies for the fundamental problems encountered in the sector, contributing to the sustainable and innovative advancement of the related industry.

Keywords: ARAS, Delphi, Industry 5.0, Milk supply chain, Supply chain traceability.

Yayın Künyesi: A. MADEN, "Tedarik Zinciri İzlenebilirliği Açısından Endüstri 5.0'ı Mümkün Kılan Etmenlerin Süt Tedarik Zinciri İçin Analizi", Lojistik Dergisi, Yıl 21, Sayı 59, Sayfa 56-67, Haziran 2024.

Makale Geçmişi: Geliş: 29.02.2024 / Kabul: 02.06.2024

Article History: Received: 29.02.2024 / Accepted: 02.06.2024

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri izlenebilirliği, geliştirilmiş verimlilik, düzenleyici standartlara uyum ve bir ürünün yolculuğunu tüketicilere anlatma yeteneği gibi birçok fayda sunar (Wu vd., 2022). Bir tedarik zincirinde, tedarikçiler, üreticiler, perakendeciler ve lojistik operatörleri gibi çeşitli ortaklar, müşteri ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik çeşitli değer artırıcı görevlerde bulunurlar (Du et al., 2012; Ni et al., 2022). Küresel pazarların genişlemesi ve ürün portföyleri ile yaşam döngülerinin büyümesi, kaynaktan son müşterilere kadar olan yolculukta daha fazla aracının dahil olmasına yol açmıştır (Azzi vd., 2019; Ni vd., 2022). Pandeminin patlak vermesi, dünya genelinde gıda tedarik zincirlerinin (GTZ' ler) hassasiyeti hakkında tartışmaları başlattı (Joshi et al., 2023). GTZ' ler üzerindeki küresel karantina önlemlerinin geniş kapsamlı etkileri, tedarik zincirlerinin düzgün akışını sağlamak için yaratıcı yaklaşımların uygulanmasını gerektirir (Joshi et al., 2023). Son derece rekabetçi bir ortamda, gıda tedarik zincirlerinin (GTZ' ler) bozulma ve kesintilere karşı hassasiyeti, diğer ürünlerin tedarik zincirlerine göre daha fazladır (Babaei vd., 2020; Kazancoglu vd., 2021). Bu hassasiyet, hem ürün yapısının hem de tedarik zinciri içindeki aşamaların narin doğasından kaynaklanmaktadır (Djekic vd., 2014; Liu vd., 2020; Kazancoglu vd., 2021). Gıda şirketleri, GTZ' lerinin her adımında hız, kalite, ortaklar arasında etkili iletişim ve maliyet verimliliği için çaba gösterirler (Béné, 2020; Kazancoglu vd., 2021). GTZ' lerin dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artırmak için, tedarik zincirinin her aşaması için kontrol mekanizmalarının dikkatlice planlanması kritik öneme sahiptir (Heck ve Barker, 2020; Khan vd., 2021).

Endüstri 4.0, öncelikle teknoloji merkezli bir yaklaşıma odaklanmıştır. Buna karşılık, Endüstri 5.0, dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve insan merkezliliği, ileri teknoloji ile geliştirilen değer yaratma sistemlerinin temel unsurları olarak entegre eder ve vurgular (Ivanov, 2023). Literatürde, Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenlerin nicel olarak doğrulanması ve önceliklendirilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır (Sindhwani vd., 2022). Ancak, bu alanda yapılan çalışmaların eksikliği ve mevcut araştırmaların yetersizliği, daha derinlemesine ve sistematik araştırmaların gerekliliğini ortaya

koymaktadır. Bu çalışmada, süt üretimi gerçekleştiren bir firmanın tedarik zincirinde yaşanan sorunlar önce Delphi yöntemi ile analiz edilmiş ve en kritik sorunlar tespit edilmiştir. Delphi yöntemi, uzman görüşlerine dayalı olarak problem belirlemede etkili bir yöntem olduğundan tercih edilmiştir. Daha sonra, bu önemli sorunlar dikkate alınarak Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenler ARAS yöntemi ile önceliklendirilmiştir. ARAS yöntemi, alternatiflerin rasyonel olarak sıralanmasına olanak tanıdığı için seçilmiştir. Bu araştırma, süt tedarik zincirindeki sorunların sistematik olarak ele alınması ve en uygun Endüstri 5.0 teknolojilerinin belirlenmesi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Endüstri 5.0'ın geleneksel süt tedarik zinciri yönetimine entegrasyonu, sektörde önemli iyileştirmeler sağlayabilir. Yenilikçi dijital teknolojilerin kullanımı, süt tedarik zincirinin izlenebilirliğini artırabilir, ürün güvenliğini sağlayabilir ve operasyonel verimliliği optimize edebilir. Bu teknolojilerin stratejik entegrasyonu, tedarik zinciri süreçlerindeki karmaşıklığı azaltabilir ve hataları minimuma indirebilir. Böylece, Endüstri 5.0 ilkeleriyle uyumlu bir şekilde yapılan dijital dönüşüm, süt tedarik zincirinin daha güvenilir, şeffaf ve sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesine olanak tanır. Çalışma, literatürdeki bu eksiklikleri gidermeyi amaçlamakta ve Endüstri 5.0 teknolojilerinin tedarik zinciri yönetimindeki potansiyelini ortaya koyarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde giriş, ikinci bölümünde literatür taraması, üçüncü bölümünde metodoloji, dördüncü bölümünde vaka çalışması, beşinci bölümünde ise sonuç bölümü yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Tedarik Zinciri İzlenebilirliği

İzlenebilirlik, tedarik zinciri yönetim hizmetlerinin önemli bir yönüdür, çünkü ürünlerin kökenlerinden nihai tüketicilere kadar takip edilmesini sağlar (Wu vd., 2022). Tedarik zinciri boyunca hesap verebilirlik ve şeffaflığı sağlamak için izlenebilirliğe olan talep artmaktadır (Kshetri, 2018; Saberi vd., 2019; Ni vd., 2022). Ancak, bireysel şirketler içinde kullanılan sistemler ile birden fazla kuruluş arasında

kullanılan sistemler arasında önemli bir uyumsuzluk vardır (Ada, Ethirajan vd., 2021). Bu sorunu çözmek için bir izlenebilirlik sisteminin uygulanması zorunlu hale gelmektedir. Böyle bir sistem, maliyet azaltmaları ve daha kısa bekleme süreleri sağlamakla kalmaz, aynı zamanda genel kaliteyi ve müşteri hizmetlerini de iyileştirir, bu da organizasyonların rekabet avantajı elde etmelerini sağlar (Khan vd., 2018; Westerkamp vd., 2020; Ada, Ethirajan vd., 2021). Ayrıca, modern tüketiciler aldıkları ürünlerin etik geçmişini doğrulama konusunda artan bir ilgi göstermektedir (Ada, Ethirajan, et al., 2021). Tedarik zinciri boyunca mal ve hizmet akışını etkin bir şekilde yönetmek, müşteri hizmetlerini geliştirmek, operasyonel masrafları azaltmak ve mali durumu iyileştirmek için kritik öneme sahiptir (Wu vd., 2022). Ancak, tedarik zinciri izlenebilirliğini sağlamak zorlu bir görevdir, çünkü bu büyük ölçüde çeşitli paydaşların işbirliğine bağlıdır ve bu paydaşlar işbirliği yapma konusunda içsel bir motivasyona sahip olmayabilirler (Wu vd., 2022). Akademisyenler ve uzmanlar, tedarik zincirinin izlenebilir ve şeffaf olmasını sağlamanın tek yolunun, veri ve kaynakların hareketlerini başlangıç noktasından nihai hedeflerine kadar izleyebilen ve sistem içindeki hareketleri tanımlayabilen dijital platformlar kurmak olduğunda hemfikirdirler (M. Khan vd., 2023). Teknolojideki son ilerlemeler, tarım gıda sektörüne gereken bilgi birikimini sağlayarak zorlukları ele almaya ve şeffaf tarım gıda tedarik zincirleri kurmaya önemli bir rol oynamıştır (Charlebois vd., 2024). Bu teknolojiler, tarım gıda değer zincirini devrimci bir şekilde dönüştürmeyi amaçlamakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirliği teşvik etmeyi de hedefler.

Farklı sektörlerin tedarik zinciri izlenebilirliği için farklı motivasyonları vardır (Ahmed ve MacCarthy, 2023). Otomotiv endüstrisi için motivasyonlar menşe, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik üzerine kuruludur. Gıda ve içecek endüstrisi için ise tedarik zinciri izlenebilirliği motivasyonları gıda güvenliği, şeffaflık, kalite, güvenilirlik ve atık azaltma üzerinedir. Literatürde, tipik tedarik zinciri sorunları genellikle ürünlerin geçmişini takip etmek, çok sayıda tarafın dahil olması, kalite ve uyum, kaçınılmaz kesintiler ve merkezileşme gibi konuları içerir (Ada, Ethirajan vd., 2021). Süt tedarik

zincirleri de bu tür problemleri içeren tedarik zincirleri arasındadır.

2.2 Süt Tedarik Zinciri Problemleri

Günümüzde, gıda güvenliği ile ilgili olarak artan gıda israfı sorunu dünya çapında bir endişe olarak ortaya çıkmaktadır ve bu durumun çevresel, ekonomik ve sosyal sonuçlarının eş zamanlı olarak ele alınmasını gerektirmektedir (Ada, Kazancoglu, vd., 2021). Bu etkileri etkili bir şekilde azaltmak için daha sürdürülebilir bir gıda tedarik zincirinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Gıda israfının oluşumu, miktarlar, zamanlama ve kullanılan sistemler hakkında kapsamlı verilerin yetersizliği gibi çeşitli faktörlere dayandırılabilir (Jagtap ve Rahimifard, 2019; Mangla vd., 2021). Salihoglu vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, Türkiye'de yıllık yaklaşık 26,04 milyon ton yenilebilir gıda kaybı ve israfı yaşanmaktadır. Ayrıca, birçok diğer ülke gibi Türkiye de gıda kayıplarıyla ilgili yetersiz veri kalitesinden muzdariptir (Mangla vd., 2021). Büyük bir sorun ise, gıda tedarik zincirlerindeki paydaşlar tarafından kullanılan izleme sistemlerinin eksikliğidir (Mangla vd., 2021). Ancak, yenilikçi teknolojik yatırımlar ve blockchain gibi ürün izleme teknolojilerinin uygulanması, gıda kayıplarının azaltılmasına katkıda bulunabilir (Mangla vd., 2021).

Son yıllarda gözlenen hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak gıda talebinin artması nedeniyle gıda tedarik zincirlerinin yönetimi giderek daha önemli hale gelmiştir. İzlenebilirliğin sağlanması tüm gıda tedarik zincirlerinde esastır ve süt ve süt ürünleri sektöründe süt kalitesini korumak için özel bir vurgu gereklidir (Tan ve Ngan, 2020; Mangla vd., 2021). Süt tedarik zincirinde kimyasal tehlikeler, kirleticiler, hayvancılık uygulamaları ve yetersiz endüstri standartlarından kaynaklanan zorluklar ortaya çıkabilir (FAO, 2013; Hao vd., 2020; Mangla vd., 2021). Bu nedenle, süt tedarik zincirinde izlenebilirliği etkin bir şekilde uygulamak için, çiftlik seviyesinden nihai müşterilere kadar tüm süreçler dikkate alınmalıdır. Süt tedarik zinciri, hayvan besleme, sağım süreci, süt depolama ve soğutma, küçük toplama istasyonları, toplama merkezleri (Huang vd., 2019), ve tesislerdeki çiğ süt test sistemleri ile süt işleme tesislerini kapsayan bir dizi faaliyeti içerir (Miranda ve Ramachandran, 2014).

Süt tedarik zinciri boyunca, hayvan beslemeden ürün teslimatına kadar çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır (Daud vd., 2015; Mangla vd., 2021). Müşteriler genellikle sütün kaynağı, sağım sürecinde uygulanan hijyen uygulamaları ve hayvan beslenmesinde kullanılan kimyasallar gibi konularda farkındalık eksikliği yaşamaktadırlar (Fahim vd., 2017). Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde süt tedarik zincirlerinde yaygın olan kayıt dışı üretim, farklı değer zinciri aşamalarında sistematik yönetimin eksikliğini vurgulamakta ve bu durum izlenebilirlik, süt güvenliği, kalite ve hayvan refahını tehlikeye atmaktadır (Navarro, 2014).

Dünya çapındaki raporlar, sahte süt ürünleriyle ilişkilendirilen birçok gıda sahtekarlığı ve gıda kaynaklı hastalığı göstermektedir (Vasanthraj vd., 2024). Bu güvenlik endişeleri, açık bir süt tedarik zincirinin önemini vurgulamaktadır ki bu da son teknolojilerle sağlanabilir. Süt firmaları, süt tedarik zincirindeki mevcut zorlukları aşmak için Endüstri 5.0'ın sunduğu avantajlardan faydalanabilir. Bu yüzden, bu çalışmada süt tedarik zinciri açısından Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenlerin değerlendirilmesi konusu ele alınmıştır.

2.3 Endüstri 5.0'ı Mümkün Kılan Etmenler

Endüstri 5.0, endüstrinin iş ve büyüme ötesinde toplumsal hedefleri gerçekleştirebilecek gücünü tanıır; endüstri çalışanlarının refahını üretim sürecinin merkezine koyarak dayanıklı bir refah sağlayıcısı haline getirir (Xu vd., 2021).

Endüstri 4.0, teknoloji odaklı bir yaklaşım benimserken, Endüstri 5.0 dayanıklılığı, sürdürülebilirliği ve insan merkezliği bir araya getirir (Ivanov, 2023). En son teknolojik trendleri benimseyen Endüstri 5.0, dijital ikiz, yapay zekâ, büyük veri, simülasyon, nesnelerin interneti, akıllı malzemeler, sanal gerçeklik, blokzinciri, ve siber-fiziksel sistemler gibi etkinleştirme teknolojilerini kullanarak çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenleri inceleyen çok fazla çalışma olmamakla birlikte, bu konuyu en geniş kapsamlı inceleyen yazarlar Maddikunta vd. (2022), Sindhvani vd. (2022) ve Xu vd. (2021) olmuştur. Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenler Tablo 1' de gösterilmiştir.

Bu etmenlerden dijital ikiz, bir fiziksel nesne veya sürecin gerçek zamanlı dijital karşılığı olarak işlev gören sanal bir temsildir ve simülasyonlar aracılığıyla sonuçları öngörebilir ve endüstriyel ve sosyal sorunları çözerek fiziksel dünyayı optimize edebilir (Maden ve Yücenur, 2024). Nesnelerin interneti, insanlar, süreçler, bilgiler ve nesneler arasında birbirine bağlı bir bağlantıdır (Maddikunta vd., 2022). Nesnelerin internetinin büyük gelişimi sayesinde, insanlar arasında bilgi paylaşımı, esas olarak kablosuz sensörlerin yardımıyla kablosuz olarak gerçekleşir. Büyük veri, genellikle bulutta veya veri merkezlerinde depolanan, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış büyük miktarda veri olarak tanımlanabilir ve şirketler, organizasyonlar, start-uplar ve hatta hükümet tarafından çeşitli amaçlar için kullanılabilir (Sindhvani vd., 2022).

Tablo 1: Endüstri 5.0'ı Mümkün Kılan Etmenler

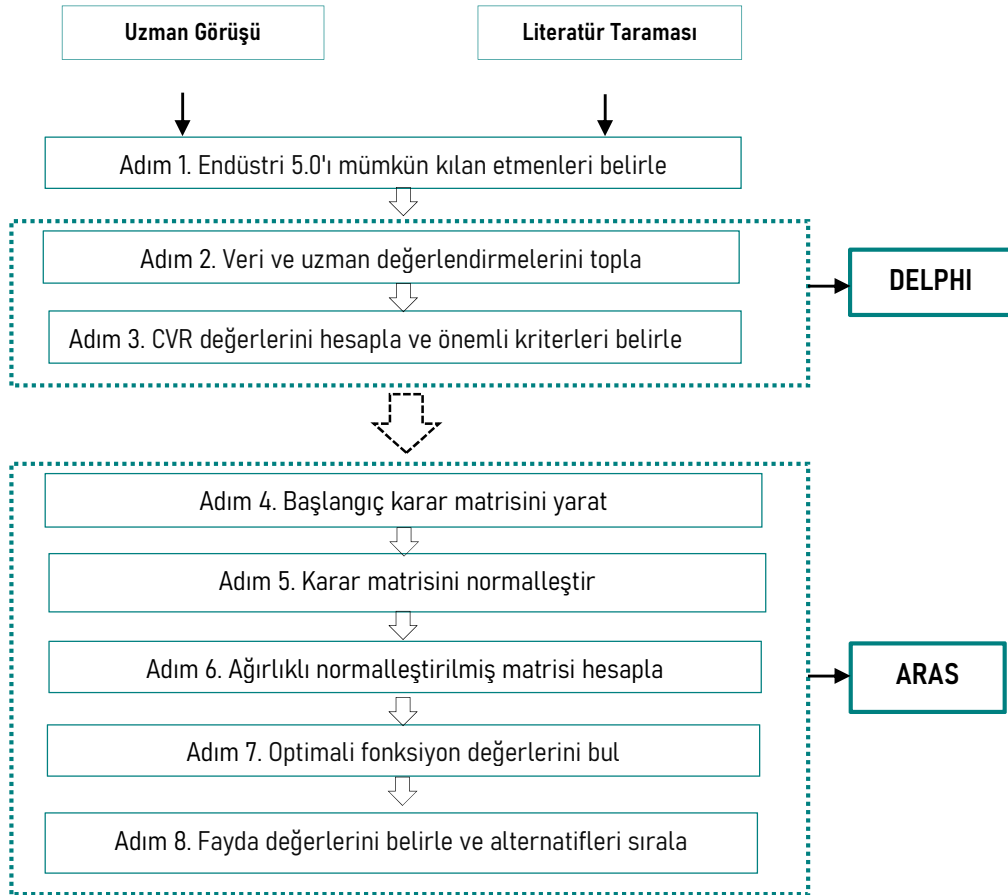
Endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenler
Dijital ikiz (Xu vd., 2021; Maddikunta vd., 2022; Sindhvani vd., 2022)
Yapay zeka (Xu vd., 2021; Maddikunta vd., 2022; Sindhvani vd., 2022)
Büyük veri (Maddikunta vd., 2022; Sindhvani vd., 2022)
Simülasyon (Xu vd., 2021; Sindhvani vd., 2022)
Nesnelerin interneti (Maddikunta vd., 2022; Sindhvani vd., 2022)
Akıllı malzemeler (Xu vd., 2021; Sindhvani vd., 2022)
Sanal gerçeklik (Sindhvani vd., 2022)
Blokszinciri (Maddikunta vd., 2022)
Siber-fiziksel sistemler (Sindhvani vd., 2022)

Blokszinciri teknolojisinin sahip olduğu özellikler arasında paydaşlar arası ağ, veri değişmezliği, açık kaynak kullanımı, verilerin gerçek zamanlı işlenmesi, verilerin kalıcı olarak mevcut olması ve verilerin kronolojik sırası gibi özellikler vardır (Maden ve Alptekin, 2020). Sanal gerçeklik, bir kişinin özel ekranlı gözlükler veya sensörlerle donatılmış eldivenler gibi elektronik cihazlar kullanarak, gerçek dünyadan tamamen farklı bir sanal dünyayı deneyimleyebileceği bilgisayar tarafından oluşturulan 3D ortamdır (Sindhvani vd., 2022). Bu etmenlerin yanı sıra, Endüstri 5.0, üretim süreçleri ve diğer tahmin sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olacak şekilde simülasyon etmenini ilerletmeye odaklanacak ve bu da dayanıklı sistemler oluşturulmasına yardımcı olacaktır (Sindhvani vd., 2022). Literatürde, endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenlerin nicel olarak doğrulanması ve önceliklendirilmesi gerekliliği bulunmaktadır (Sindhvani vd., 2022).

Dahası, belirli etkenlerin seçilmesi ve bunların daha net bir senaryo için önceliklendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, öncelikle süt üretimi yapan bir şirketin tedarik zinciri üzerindeki problemler, Delphi yöntemiyle analiz edilmiş ve en önemli sorunlar belirlenmiştir. Ardından, belirlenen bu önemli sorunlara odaklanarak, ARAS yöntemi kullanılarak endüstri 5.0'ı mümkün kılan etmenler önceliklendirilmiştir.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada öncelikle, süt üretimi yapan bir firmayı bilgi teknolojileri departmanından, şirkette en az beş yıllık deneyime sahip ve Endüstri 5.0 platformları konusunda geniş bilgiye sahip beş uzmandan oluşan bir komite oluşturuldu. Çalışmanın metodolojisi, Şekil 1'de görüldüğü üzere 8 adımda özetlenebilir.



Şekil 1: Çalışma Metodolojisi

3.1. Delphi Yöntemi

Delphi yöntemi, bir konuda uzman görüşlerini sistematik olarak toplamak ve rıza sağlanana kadar geliştirmek için kullanılır (Emovon vd., 2018). Bu yöntem, konuyla ilgili uzman görüşlerini toplamak ve geliştirmek için sürekli veri toplama ve ek beyin fırtınası oturumlarını içerir. Uyum Geçerlilik Oranı (CVR), şu formül kullanılarak hesaplanır:

$$CVR = \frac{NPE - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

Bu formülde, CVR Uyum Geçerlilik Oranını temsil eder, NPE bir kriteri önemli olarak tanımlayan uzmanların sayısını temsil eder ve N toplam uzman sayısını temsil eder. Bu çalışmada CVR için eşik değeri 0,50 olarak belirlenmiştir. CVR değeri 0.50 veya daha yüksek olan kriterler korunurken, daha düşük değerlere sahip olanlar elenir.

3.2 ARAS Yöntemi

ARAS yöntemi, karar verme sürecinde alternatifleri sıralamaya odaklanır ve bunu bir fayda fonksiyonu ve belirli değerlendirme kriterleri kullanarak yapar (Sivalingam vd., 2022). Bu yöntem, her alternatifin ideal bir alternatifte göre oransal benzerliğini değerlendirerek performans sıralamasını belirler. ARAS yöntemini kullanarak alternatifleri değerlendirme ve sıralama adımları şu şekildedir (Ecer, 2021; Sivalingam vd., 2022):

Adım 1 İlk olarak karar matrisi oluşturulur: En uygun değerleri içeren ve aşağıdaki gibi yapılandırılmış eşitlik (2) 'ye göre karar matrisi oluşturulur:

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \cdots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada, m alternatif ve n değerlendirme kriterinden oluşan bir karar matrisi bulunmaktadır. x_{ji} kriter j 'ye göre alternatif i 'nin değerini, ve x_{0j} değerlendirme kriterlerinin en iyi değerini temsil eder. Eğer en iyi değer bilinmiyorsa, bu eşitlik (3) ve eşitlik (4) kullanılarak belirlenir:

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}, i = 0, 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n$$

$$\text{Fayda tipi kriterler için} \quad (3)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij}, i = 0, 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n$$

$$\text{Maliyet tipi kriterler için} \quad (4)$$

Adım 2 Karar matrisinin normalize edilmesi: Ardından, karar matrisindeki her değerlendirme kriteri normalize edilir. Fayda temelli kriterler için normalizasyon eşitlik (5) kullanılarak yapılır, maliyet temelli kriterler için normalizasyon ise eşitlik (6) kullanılarak gerçekleştirilir:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (5)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=0}^m 1/x_{ij}} \quad (6)$$

Adım 3 Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanması: Normalizasyon sonrasında, ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi eşitlik (7) kullanılarak elde edilir:

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} \times w_j \quad (7)$$

Adım 4 Optimal fonksiyonu değerlerinin hesaplanması: Karar alternatiflerinin optimal değerleri S_i eşitlik (8) kullanılarak hesaplanır. S_i değeri en yüksek olan alternatif, optimal seçim olarak kabul edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (8)$$

Adım 5. Fayda değerlerinin belirlenmesi ve karar alternatiflerinin sıralanması: Son olarak, fayda derecesi K_i eşitlik (9) kullanılarak belirlenir:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (9)$$

Alternatifler daha sonra fayda değerlerine göre sıralanır. En yüksek fayda derecesine sahip alternatif, en iyi seçim olarak kabul edilir.

4. VAKA ÇALIŞMASI

Süt tedarik zincirinde yaşanan başlıca izlenebilirlik problemleri uzmanlar tarafından 15 tane olarak şöyle belirlenmiştir: üretim kaynağının

belirlenmesi, nakliye izlenebilirliği, soğuk zincirin kesintiye uğraması, ürün etiketleme hataları, stok yönetimi problemleri, kalite kontrol süreçleri, veri entegrasyonu eksikliği, kaynak doğrulama problemleri, geri çağırma süreçlerinin yönetimi, şeffaflık eksikliği, kirlilik ve kontaminasyon izleme, regülasyonlara uyum, ürün takibi, tedarik zinciri iş birliği ve gerçek zamanlı veri erişimi. Bu çalışmada tablolarda kullanılan veriler, beş uzmanın ortaklaşa olarak birleştirilmiş değerlendirmelerini kapsamaktadır. Belirlenen bu 15 problemten, şirket için en önemli olan 8 tanesi, Delphi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için uzmanlar, her bir problem için Eşitlik (1)'i kullanarak buldukları değerlerden, daha önceden belirledikleri eşik değer olan 0,5'ten büyük olanları Tablo 2'deki gibi tespit etmişlerdir.

Tablo 2: Seçilen Problemlerin Delphi Metodundaki CVR Değerleri

Problemler	CVR değeri
(C1) Nakliye izlenebilirliği	0,600
(C2) Ürün etiketleme hataları	0,600
(C3) Soğuk zincirin kesintiye uğraması	1,000
(C4) Veri entegrasyonu eksikliği	1,000
(C5) Kaynak doğrulama problemleri	0,600
(C6) Kirlilik ve kontaminasyon izleme	0,600
(C7) Şeffaflık eksikliği	1,000
(C8) Regülasyonlara uyum	1,000

Uzmanlar tarafından belirlenen problemler, süt tedarik zincirinde sıkça karşılaşılan problemlerle örtüşmektedir. Bu problemler genellikle gıda sahtekarlığı ve gıda kaynaklı hastalıklar (Vasanthraj vd., 2024), çiftçiler arasında bilgi paylaşımının eksikliği (Gorton vd., 2006; Mangla vd., 2021b), üretim ve dağıtım sırasında bozulabilirlik (Ali vd., 2021), süt ürünlerinde hile ve kontaminasyon (Khanna vd., 2022), ve yasa dışı üretim (Fang & Stone, 2021) gibi konuları içermektedir. Çalışmada belirlenen alternatifler dijital ikiz (A₁), yapay zekâ (A₂), büyük veri (A₃), simülasyon (A₄), nesnelerin interneti (A₅), akıllı malzemeler (A₆), sanal gerçeklik (A₇), blokzinciri (A₈), siber-fiziksel sistemler (A₉). Uzmanlar,

değerlendirme kriterlerinin maksimizasyon (max) ya da minimizasyon (min) tipi olup olmadığını belirledikten sonra, ortaklaşa olarak belirledikleri 0-10 arasındaki değerlerle başlangıç karar matrisini oluşturmuşlardır. Başlangıç karar matrisi, normalleştirilmiş karar matrisi ve ağırlıklı normalleştirilmiş matris Tablo 3'den 5'e görülebilir.

Tablo 3: Başlangıç Karar Matrisi

	min	min	min	min	min	min	min	min
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₀	0	0	0	0	0	0	0	0
A ₁	3	3	3	2	2	3	3	2
A ₂	6	5	6	6	5	6	6	5
A ₃	2	4	3	2	3	3	4	2
A ₄	4	3	2	2	3	3	3	2
A ₅	8	7	8	7	8	8	8	3
A ₆	3	4	2	3	3	4	3	2
A ₇	5	5	4	5	5	5	4	2
A ₈	7	6	7	6	7	7	7	3
A ₉	4	3	4	4	3	4	4	3

ARAS yöntemi sonucunda bulunan K değerine göre alternatiflerin sıralaması şu şekildedir: nesnelerin interneti (A₅), blokzinciri (A₈), yapay zekâ (A₂), sanal gerçeklik (A₇), siber-fiziksel sistemler (A₉), akıllı malzemeler (A₆), büyük veri (A₃), simülasyon (A₄) ve dijital ikiz (A₁). Uzmanların değerlendirmelerine göre nesnelerin interneti, tüm cihazları ve süreçleri birbirine bağlayarak, tedarik zincirindeki veri akışını ve izlenebilirliği artırabilir. Nesnelerin interneti sensörleri, süt tanklarının ve depolama alanlarının sürekli olarak izlenmesini sağlayabilir. Bunun yanında, süt ürünlerinin kaynağının ve geçmişinin blokzincir üzerinde güvenli bir şekilde kaydedilmesi, ürünlerin takibini kolaylaştırıp sahtecilik riskini azaltabilir. Blokzinciri, kaynak doğrulama ve regülasyonlara uyum süreçlerinde güvenilirlik sağlayabilir. Yapay zekâ, süt tedarik zincirindeki verileri analiz ederek, talep tahmini yapabilir, stok yönetimini optimize edebilir ve üretim süreçlerini iyileştirebilir. Bu teknoloji ayrıca ürün etiketleme hatalarını tespit etme ve kontaminasyon risklerini önleme konularında da etkili olabilir. Sanal gerçeklik, süt tedarik zincirinde

çalışanların eğitimini desteklemek ve karmaşık işlemleri simüle etmek için kullanılabilir. Bu, süreçlerin daha iyi anlaşılmasını ve operasyonların daha etkili yönetilmesini sağlayabilir.

Önerilen metodolojiyi doğrulamak için sonuçları değerlendirmek amacıyla TOPSIS ve EDAS yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. EDAS, en iyi alternatifi

belirlemek için ortalama çözüme dayalı bir normalizasyon tekniği kullanır (Ghorabae et al., 2015). EDAS yönteminde, en yüksek AS değerine sahip alternatif, aday alternatifler arasında en uygun seçim olarak kabul edilir. TOPSIS yönteminde ise alternatifler, göreceli yakınlık değeri olan C değerine göre sıralanır (Hwang, C. L. & Yoon, 1981). Tablo 6, ARAS, TOPSIS ve EDAS yöntemlerinin benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Tablo 4: Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₀	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A ₁	0,071	0,075	0,077	0,054	0,051	0,070	0,071	0,083
A ₂	0,143	0,125	0,154	0,162	0,128	0,140	0,143	0,208
A ₃	0,048	0,100	0,077	0,054	0,077	0,070	0,095	0,083
A ₄	0,095	0,075	0,051	0,054	0,077	0,070	0,071	0,083
A ₅	0,190	0,175	0,205	0,189	0,205	0,186	0,190	0,125
A ₆	0,071	0,100	0,051	0,081	0,077	0,093	0,071	0,083
A ₇	0,119	0,125	0,103	0,135	0,128	0,116	0,095	0,083
A ₈	0,167	0,150	0,179	0,162	0,179	0,163	0,167	0,125
A ₉	0,095	0,075	0,103	0,108	0,077	0,093	0,095	0,125

Tablo 5: Ağırlıklandırılmış-Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	S	K
A ₀	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A ₁	0,011	0,010	0,012	0,007	0,006	0,007	0,011	0,005	0,069	0,365
A ₂	0,022	0,017	0,024	0,022	0,015	0,013	0,022	0,012	0,147	0,779
A ₃	0,007	0,013	0,012	0,007	0,009	0,007	0,015	0,005	0,075	0,399
A ₄	0,015	0,010	0,008	0,007	0,009	0,007	0,011	0,005	0,071	0,379
A ₅	0,029	0,024	0,032	0,025	0,024	0,018	0,029	0,007	0,188	1,000
A ₆	0,011	0,013	0,008	0,011	0,009	0,009	0,011	0,005	0,077	0,409
A ₇	0,018	0,017	0,016	0,018	0,015	0,011	0,015	0,005	0,115	0,609
A ₈	0,026	0,020	0,028	0,022	0,021	0,016	0,026	0,007	0,164	0,875
A ₉	0,015	0,010	0,016	0,015	0,009	0,009	0,015	0,007	0,095	0,504

Tablo 6: Normalleştirilmiş Karar Matrisi

	K	Sıralama	AS	Sıralama	C	Sıralama
A ₁	0,365	9	0,000	9	0,281	9
A ₂	0,779	3	0,852	3	0,847	3
A ₃	0,399	7	0,083	7	0,283	8
A ₄	0,379	8	0,037	8	0,327	7
A ₅	1,000	1	1,000	1	0,955	1
A ₆	0,409	6	0,165	6	0,331	6
A ₇	0,609	4	0,656	4	0,692	4
A ₈	0,875	2	0,929	2	0,921	2
A ₉	0,504	5	0,461	5	0,548	5

Her üç yöntemin de benzer alternatifleri en uygun seçenek olarak tutarlı bir şekilde seçmesi, önerilen metodolojinin geçerliliğini ve pratikliğini doğrulamaktadır. Bu doğrulama süreci, yaklaşımın güvenilirliğini ve sağlamlığını vurgulayarak, en uygun Endüstri 5.0 seçeneklerine yatırım yapma anlamında karar verme sürecindeki uygulanabilirliğine olan güveni artırmaktadır. Bu tür bir tutarlılık, metodolojinin güvenilirliğini pekiştirir ve gerçek dünya karar verme senaryolarındaki kullanımını artırır.

5. SONUÇ

Süt tedarik zincirinde yaşanan sorunların çözülmesi hem ürün kalitesinin korunması hem de müşteri memnuniyetinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Endüstri 5.0 teknolojilerinin süt tedarik zincirindeki kritik sorunlara nasıl entegre edilebileceğini ve bu sorunların çözümünde hangi teknolojilerin en etkili olduğunu belirlemeye odaklanmaktadır. Bu hem tedarik zinciri yönetimini iyileştirmek hem de sektördeki yenilikçi uygulamaların benimsenmesini teşvik etmek açısından değerli bir katkı sunmaktadır. Bu çalışmada, süt üretimi yapan bir firmanın tedarik zincirinde karşılaşılan sorunlar Delphi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir ve en kritik sorunlar belirlenmiştir. Daha sonra, bu önemli sorunlara dayanarak, Endüstri 5.0'ın uygulanabilirliğini sağlayan etmenler ARAS yöntemi ile önceliklendirilmiştir. ARAS yöntemi sonucunda elde edilen K değeri ile alternatiflerin sıralaması şu şekilde belirlenmiştir: nesnelerin interneti, blokzinciri, yapay zekâ, sanal gerçeklik,

siber-fiziksel sistemler, akıllı malzemeler, büyük, simülasyon ve dijital ikiz. Önerilen metodolojinin TOPSIS ve EDAS gibi diğer karar verme yöntemleri ile tutarlı sonuçlar vermesi, yöntemin geçerliliğini desteklemektedir. Her üç yöntemin de benzer alternatifleri en uygun seçenek olarak belirlemesi, çalışmanın sağlamlığını ve güvenilirliğini pekiştirmektedir. Bu tür bir tutarlılık, yöntemin gerçek dünya karar verme süreçlerinde uygulanabilirliğini artırmakta ve Endüstri 5.0 teknolojilerinin süt tedarik zinciri gibi kritik alanlarda nasıl kullanılabileceğine dair güvenilir bilgiler sunmaktadır.

Ancak, çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Çalışmanın tek bir süt üretim firmasına ait verilerle yapılmış olması, sonuçların genelleştirilebilirliğini kısıtlamaktadır. Farklı firmaların ve farklı tedarik zincirlerinin verileri ile yapılacak gelecekteki çalışmalar, sonuçların daha geniş kapsamlı ve geçerli olmasını sağlayabilir. Ayrıca, belirlenen sorunların arasındaki ilişkileri daha iyi anlamak için Bulanık DEMATEL veya Bilişsel Haritalama gibi yöntemler kullanılabilir. Sonuç olarak, bu çalışma, süt tedarik zincirinde Endüstri 5.0 teknolojilerinin nasıl uygulanabileceğine dair önemli içgörüler sunmakta ve bu teknolojilerin tedarik zinciri yönetiminde yenilikçi çözümler sunabileceğini göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalar, bu teknolojilerin daha geniş kapsamlı ve farklı bağlamlarda nasıl uygulanabileceğini araştırarak, global ölçekte tedarik zinciri yönetimine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ada, N., Ethirajan, M., Kumar, A., Vimal, K. E. K., Nadeem, S. P., Kazancoglu, Y., Kandasamy, J. (2021). Blockchain technology for enhancing traceability and efficiency in automobile supply chain—a case study. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24), pp. 1–21.
- [2] Ada, N., Kazancoglu, Y., Sezer, M. D., Ede-Senturk, C., Ozer, I., Ram, M. (2021). Analyzing barriers of circular food supply chains and proposing industry 4.0 solutions. *Sustainability (Switzerland)*, 13(12), pp. 1–29.
- [3] Ahmed, W. A. H., MacCarthy, B. L. (2023). Blockchain-enabled supply chain traceability – How wide? How deep? *International Journal of Production Economics*, pp. 263 (May 2022).
- [4] Ali, S. S., Barman, H., Kaur, R., Tomaskova, H., Roy, S. K. (2021). Multi-product multi echelon measurements of perishable supply chain: Fuzzy non-linear programming approach. *Mathematics*, 9(17), pp. 1–27.
- [5] Azzi, R., Chamoun, R. K., Sokhn, M. (2019). The power of a blockchain-based supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 135(August 2018), pp. 582–592.
- [6] Babaei, E., Mahdavi, I., Mehdi, M., Esfahani, S., Weber, G. (2020). A robust green location-allocation-inventory problem to design an urban waste management system under uncertainty. *Waste Management*, 102, pp. 340–350.
- [7] Béné, C. (2020). Resilience of local food systems and links to food security – A review of some important concepts in the context of COVID-19 and other shocks. *Food Security*, 12(4), pp. 805–822.
- [8] Charlebois, S., Latif, N., Ilahi, I., Sarker, B., Music, J., Vezeau, J. (2024). Digital Traceability in Agri-Food Supply Chains: A Comparative Analysis of OECD Member Countries. *Foods*, 13(7), pp. 1–29.
- [9] Daud, A. R., Putro, U. S., Basri, M. H. (2015). Risks in milk supply chain; a preliminary analysis on smallholder dairy production. *Livestock Research for Rural Development*, 27(7).
- [10] Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., Tomic, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, 68, pp. 64–72.
- [11] Du, T. C., Lai, V. S., Cheung, W., Cui, X. (2012). Willingness to share information in a supply chain: A partnership-data-process perspective. *Information & Management*, 49(2), pp. 89–98.
- [12] Ecer, F. (2021). A consolidated MCDM framework for performance assessment of battery electric vehicles based on ranking strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110916.
- [13] Emovon, I., Norman, R. A., Murphy, A. J. (2018). Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), pp. 519–531.
- [14] Fahim, A., Kamboj, M. L., Sirohi, A. S., Mohanty, T. K., Bhakat, M. (2017). Factors affecting milk quality of crossbred dairy cows in automated Herringbone milking system. *Indian Journal of Animal Sciences*, 87(11), pp. 1396–1401.
- [15] Fang, C., Stone, W. Z. (2021). An ecosystem for the dairy logistics supply chain with blockchain technology. *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2021, October*, pp. 1–6.
- [16] FAO. (2013). Food losses and waste in Turkey.
- [17] Ghorabaei, M. K., Zavadskas, E. K., Olfat, L., Turskis, Z. (2015). Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica (Netherlands)*, 26(3), pp. 435–451.
- [18] Gorton, M., Dumitrashko, M., White, J. (2006). Overcoming supply chain failure in the agri-food sector: A case study from Moldova. *Food Policy*, 31(1), pp. 90–103.
- [19] Hao, Z., Mao, D., Zhang, B., Zuo, M., Zhao, Z. (2020). A novel visual analysis method of food safety risk traceability based on blockchain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7).
- [20] Heck, S., Barker, I. (2020). Resilient agri-food systems for nutrition amidst COVID-19: evidence and lessons from food-based approaches to overcome micronutrient deficiency and rebuild livelihoods after crises. pp. 823–830.
- [21] Huang, K., Wu, K. F., Ardiansyah, M. N. (2019). A stochastic dairy transportation problem considering collection and delivery phases. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, pp. 325–338.

- [22] Hwang, C. L., Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186(1).
- [23] Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), pp. 1683–1695.
- [24] Jagtap, S., Rahimifard, S. (2019). The digitisation of food manufacturing to reduce waste – Case study of a ready meal factory. *Waste Management*, 87, pp. 387–397.
- [25] Joshi, S., Sharma, M., Ekren, B. Y., Kazancoglu, Y., Luthra, S., Prasad, M. (2023). Assessing Supply Chain Innovations for Building Resilient Food Supply Chains: An Emerging Economy Perspective. *Sustainability*, 15(6), 4924.
- [26] Kazancoglu, Y., Özbiltekin Pala, M., Sezer, M. D., Luthra, S., Kumar, A. (2021). Drivers of implementing Big Data Analytics in food supply chains for transition to a circular economy and sustainable operations management. *Journal of Enterprise Information Management*.
- [27] Khan, M., Alshahrani, A. N., Jacquemod, J. (2023). Digital Platforms and Supply Chain Traceability for Robust Information and Effective Inventory Management: The Mediating Role of Transparency. *Logistics*, 7(2).
- [28] Khan, S. A. R., Yu, Z., Golpira, H., Sharif, A., Mardani, A. (2021). A state-of-the-art review and meta-analysis on sustainable supply chain management: Future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123357.
- [29] Khan, S., Haleem, A., Khan, M. I., Abidi, M. H., Al-Ahmari, A. (2018). Implementing traceability systems in specific supply chain management (SCM) through critical success factors (CSFs). *Sustainability (Switzerland)*, 10(1).
- [30] Khanna, A., Jain, S., Burgio, A., Bolshev, V., Panchenko, V. (2022). Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry: Safety and Traceability. *Foods*, 11(17), pp. 1–29.
- [31] Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39(December 2017), pp. 80–89.
- [32] Liu, P., Long, Y., Song, H. C., He, Y. D. (2020). Investment decision and coordination of green agri-food supply chain considering information service based on blockchain and big data. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123646.
- [33] Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26(July 2021), 100257.
- [34] Maden, A., Alptekin, E. (2020). Evaluation of factors affecting the decision to adopt blockchain technology: A logistics company case study using Fuzzy DEMATEL. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 39(5), pp. 6279–6291.
- [35] Maden, A., Yücenur, G. N. (2024). Evaluation of sustainable metaverse characteristics using scenario-based fuzzy cognitive map. *Computers in Human Behavior*, 152, 108090.
- [36] Mangla, S. K., Kazancoglu, Y., Ekinci, E., Liu, M., Özbiltekin, M., Sezer, M. D. (2021a). Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chainsrefer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 149(March).
- [37] Mangla, S. K., Kazancoglu, Y., Ekinci, E., Liu, M., Özbiltekin, M., Sezer, M. D. (2021b). Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chainsrefer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 149, 102289.
- [38] Miranda, M. G., Ramachandran, S. (2014). A detailed study on the milk supply chain process. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(March), pp. 16–18.
- [39] Navarro, E. F. (2014). Exploring alternatives for milk quality improvement and more efficient dairy production in a smallholder farming context – Case study : Mantaro Valley (Peru). November.
- [40] Ni, S., Bai, X., Liang, Y., Pang, Z., Li, L. (2022). Blockchain-based traceability system for supply chain: potentials, gaps, applicability and adoption game. *Enterprise Information Systems*, 16(12).
- [41] Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), pp. 2117–2135.

[42] Sindhwani, R., Afridi, S., Kumar, A., Banaitis, A., Luthra, S., Singh, P. L. (2022). Can industry 5.0 revolutionize the wave of resilience and social value creation? A multi-criteria framework to analyze enablers. *Technology in Society*, 68(January), 101887.

[43] Sivalingam, V., Ganesh Kumar, P., Prabakaran, R., Sun, J., Velraj, R., Kim, S. C. (2022). An automotive radiator with multi-walled carbon-based nanofluids: A study on heat transfer optimization using MCDM techniques. *Case Studies in Thermal Engineering*, 29.

[44] Tan, A., Ngan, P. T. (2020). A proposed framework model for dairy supply chain traceability. *Sustainable Futures*, 2(June), 100034.

[45] Vasanthraj, V., Potdar, V., Agrawal, H., Kaur, A. (2024). Transforming milk supply chains with blockchain: enhancing visibility and cost reduction. *Benchmarking*.

[46] Westerkamp, M., Victor, F., Küpper, A. (2020). Tracing manufacturing processes using blockchain-based token compositions. *Digital Communications and Networks*, 6(2), pp. 167–176.

[47] Wu, H., Jiang, S., Cao, J. (2022). High-efficiency Blockchain-based Supply Chain Traceability, pp. 1–11.

[48] Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61(October), pp. 530–535.

Dr.Öğr.Üyesi Ayça MADEN



Ayça MADEN, Endüstri Mühendisliği alanındaki doktora tezini 2021 yılında tamamlamıştır. Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünde (İngilizce) Temmuz 2016-Mart 2022 tarihleri arasında Araştırma Görevlisi, Mart 2022 itibarıyla Doktor Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. Üniversitenin Kalite Değerlendirme Kurulu'nda Akran Gözlemci rolünde olup, üniversitenin kalite faaliyetlerini iyileştirmekten sorumludur. Yöneylem araştırması, üretim planlama, sistem simülasyonu ve veri madenciliği gibi dersleri vermektedir. Araştırma alanları arasında bulut teknolojisi, blokzinciri, tedarik zinciri yönetimi, çok kriterli karar verme, sürdürülebilirlik ve teknoloji yönetimi gibi alanlar yer almaktadır.

