



JOEEP

e-ISSN: 2651-5318

Journal Homepage: <http://dergipark.org.tr/joeeep>

## Araştırma Makalesi • Research Article

## Dijital Konteyner Taşımacılığı: Engellerin Yapısal Modellemesi ve Analizi

## Digital Container Transportation: Structural Modeling and Analysis of Barriers

Nurullah Erem <sup>a,\*</sup> & Kaan Kemal Özcan <sup>b</sup><sup>a</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Samsun Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Bölümü, 55000, Samsun / Türkiye

ORCID: 0000-0002-9892-8696

<sup>b</sup> Doktora Öğrencisi, Samsun Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik Anabilim Dalı, 55000, Samsun / Türkiye

ORCID: 0000-0002-8344-9406

## MAKALE BİLGİSİ

## Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 19 Şubat 2024

Düzelme tarihi: 11 Mayıs 2024

Kabul tarihi: 25 Mayıs 2024

## Anahtar Kelimeler:

Dijital Konteyner Taşımacılığı  
Yorumlayıcı Yapısal Modelleme  
MICMAC Yöntemi

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received: Feb 19, 2024

Received in revised form: May 11, 2024

Accepted: May 25, 2024

## Keywords:

Digital Container Transportation  
Interpretive Structural Modeling  
MICMAC Method

## ÖZ

Dijital konteyner taşımacılığı, geleneksel deniz taşımacılığı süreçlerinin dijital teknolojilerle entegre edilmesiyle taşımacılık endüstrisinde daha verimli, izlenebilir, sürdürülebilir ve optimize edilmiş operasyonel süreçlere ulaşılmasını hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımdır. Mevcut çalışma kapsamında, dijital konteyner taşımacılığının önündeki temel engellerin ortaya çıkarılarak, engeller arasındaki hiyerarşik ilişkilerin açıklığa kavuşturulması, engellerin etki-bağımlılık düzeylerine göre sınıflandırılması ve engellere ilişkin çözüm önerileri sunulması amaçlanmıştır. Uzman görüşleri perspektifinde, çalışma kapsamında belirlenen engellerin giderilmesine ilişkin çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur.

## ABSTRACT

Digital container shipping is an innovative approach that aims to achieve more efficient, traceable, sustainable, and optimized operational processes in the transportation industry by integrating traditional maritime transportation processes with digital technologies. This study aims to identify the main barriers facing digital container transportation, identify the hierarchical relationships among these barriers, categorize them according to their level of impact dependency, and propose solutions to these barriers. Several solutions were proposed from the perspective of experts to address the barriers identified in the study.

## 1. Giriş

Üretimin, tüketim merkezlerinden uzaklaşarak küresel bir coğrafyaya yayılması, üretim ve tüketim arasındaki mesafeyi optimize edecek bir dağıtım sürecinin organize edilmesini gerekli kılmıştır. Mekânsal entegrasyonun ileri düzeylere yükseldiği kapitalist sistemde emtia dolaşımıyla ilişkili organizasyonlara olan bağlılık artmıştır. Emtianın dolaşımına hizmet eden lojistik ve taşımacılık sektörü adeta

küresel pazarın bir çarkı haline gelmiştir. Deniz yolu taşımacılığı da uluslararası ticarete konu emtia dolaşımının yaklaşık %85'ini üstlenerek, küresel taşımacılık içerisinde stratejik bir konuma ulaşmıştır (Aracıoğlu, 2022:14). Bu özel konumu, deniz yolu taşımacılığını kendi iç genişleme alanlarını sağlayan önemli bir yatırım alanına dönüştürmüştür. Yirminci yüzyılın en önemli gelişmelerinden biri olan konteynerizasyon, deniz yolu taşımacılığının genişleme gösterdiği bu özel alanlardan biri

\* Bu çalışmanın anket uygulaması için Samsun Üniversitesi Etik Kurulu tarafından, 27.07.2023 tarihli ve 7 sayılı toplantıda alınan 2023-42 sayılı kararı ile etik kurul izni verilmiştir.

\*\* Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: [nurullah.erdem@samsun.edu.tr](mailto:nurullah.erdem@samsun.edu.tr)

Atıf/Cite as: Erem N. & Özcan, K.K. (2024). Dijital Konteyner Taşımacılığı: Engellerin Yapısal Modellemesi ve Analizi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 9(1), 311-331.

This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors.

olmuştur.

Konteyner taşımacılığının ortaya çıkışı ve dijital teknolojilerdeki ilerlemeler, taşımacılık ve lojistik sektörünün rekabet dinamiklerinde köklü değişimlere olanak tanıyarak küresel pazar ekonomisinin gelişimini hızlandırmıştır. Deniz yolu taşımacılığı, genel itibarıyla dökme yük, tanker, konteyner, genel yük tipleri olmak üzere dört temel moda sahip olsa da konteyner taşımacılığı, taşınan malların birim ve zaman değerinin yüksek olması ve diğer taşıma modlarıyla güçlü entegrasyonu neticesinde operasyonel süreçlerin önemini büyük olduğu taşımacılık şekli olarak öne çıkmıştır. Operasyonel süreçlerdeki verimsizliklerin konteyner taşımacılığı gibi büyük ölçekli alanlarda ciddi maliyetlerin belirleyicisi olabileceği düşünüldüğünde, daha etkili ve optimize edilmiş operasyonlara erişme yolunda konteyner taşımacılığının dijital teknolojilere adaptasyonu önemli bir konu haline gelmiştir.

Dördüncü sanayi devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0 çatısı altında tanımlanan nesnelerin interneti, büyük veri analitiği, bulut bilişim, yapay zekâ, blok zincir, siber fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, gelişmiş robotik gibi dijital teknolojilerin imalat sanayinden lojistik ve taşımacılık sektörüne kadar çeşitli endüstrilerde yarattığı değer gün geçtikçe göz ardı edilemez noktalara ulaşmıştır. Dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla hızlı teslimat, izlenebilirlik ve şeffaf sevkiyat gibi konulara daha duyarlı hale gelen dev endüstriler son yıllarda, yeni teknolojilerin küresel tedarik zinciri kapsamında iş birliği içerisinde kullanılması amacıyla konteyner taşımacılığı liderlerini ortak girişimlere teşvik etmiştir. P&G, konteynerli sevkiyatları şeffaf bir şekilde izlemek için; Puma ise konteynerler hakkında gerçek zamanlı bildirimler alabilmek amacıyla Maersk ve IBM'in ortak deneme girişimi olan Tradelens platformunu test etmiştir (Balci ve Sürücü Balci 2021: 4). Diğer bir yandan Amazon ve Alibaba gibi önde gelen e-ticaret şirketlerinin Maersk, CMA CGM gibi konteyner hatları devleriyle dijital teknolojiler kapsamında çözüm odaklı stratejik iş birlikleri gerçekleştirmeleri beklenmektedir (Brunila vd., 2021: 4). CMA CGM, tarafından yayınlanmış sürdürülebilirlik stratejisinde dijitalleşmeye açıkça atıfta bulunmaktadır. Benzer bir şekilde, Boston Consulting Group, dijitalleşmenin getirdiği rekabet avantajını elde eden konteyner taşıyıcılarının gelecekte öncü bir konumda olacağını, diğerlerinin ise bağımlı bir konuma gelerek ticari konumlarını riske atacaklarını öne sürmektedir. (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2018: 63). Dolayısıyla, konteyner hatlarında dijitalleşmenin daha ileri boyutlara taşınmasını destekleyecek araştırmalar hem teori hem de uygulama açısından büyük önem taşımaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde, deniz yolu taşımacılığı kapsamında kimi araştırmacılar; Jović vd. (2022) deniz yolu taşımacılığında dijital dönüşümü etkileyen faktörleri ortaya koymuş, Papathanasiou vd. (2020) blok zincir teknolojisinin uygulanması önündeki engelleri tespit etmiş, Munim vd.

(2020) sektördeki büyük veri ve yapay zeka uygulamalarını incelemiş, Zhang ve Lam (2019) sektörde büyük veri analitiğinin benimsenmesi önündeki engelleri belirlemiş, Brunila vd. (2021) limanların dijital teknolojilerle entegrasyonunu ele almış, Razmjooei vd. (2023), Del Giudice vd. (2022) ve Sanchez-Gonzalez vd. (2019) ise deniz yolu taşımacılığında dijitalleşme literatürünü kapsamlı bir şekilde araştırmıştır. Bu sayede araştırmacıların her biri deniz yolu taşımacılığı alanında önemli gelişmeler kaydedilmesine katkı sağlamışlardır. Konteyner taşımacılığı gibi daha spesifik bir alanda gerçekleştirilen çalışmalarda ise araştırmacılar; Balci (2021a) konteyner hatlarının dijitalleşme sürecinde kritik kaynakları tespit etmiş, Yuen vd. (2022) sektörde dijital dönüşüm için önemli başarı unsurlarını sıralamış, Zhou ve Yuen (2024) konteyner taşımacılığı şirketlerinin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmiş, Yüksek yıldız (2021) konteyner limanlarının verimliliğini irdelemiş, Balci (2021b), sektördeki dijital ürün ve hizmetlere ilişkin memnuniyet ile genel müşteri sadakati arasındaki ilişkileri analiz etmiş, Balci ve Sürücü Balci (2021) ise blok zincir teknolojisinin benimsenmesini engelleyen faktörleri ortaya koymuştur.

Literatürde incelenen çalışmaların her birinde dijital dönüşümün blok zincir, yapay zekâ veya büyük veri vb. gibi dijital teknolojiler özelinde ele alındığı görülmektedir. Bu nedenle, çalışmalarda ulaşılan sonuçların sadece ele alınan dijital teknolojiyi temsil etmesi nedeniyle sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Hal böyleyken çalışmaların Endüstri 4.0 teknolojilerinin konteyner taşımacılığı sektöründe uygulanma sürecinde karşılaşılan engeller hakkında geniş bir bakış açısına sahip olamayacağı düşünülmektedir. Diğer bir yandan, küresel ticaret ve tedarik zincirindeki kritik konumuna rağmen konteyner taşımacılığı sektöründe dijital teknolojilerle entegrasyonun diğer birçok endüstriye kıyasla geride kaldığı bilinmektedir. Benzer durumdan yakınan kimi araştırmacılar, sektörün diğer endüstriler ile eş düzeyde dijitalleşme seviyesine ulaştırılması yönündeki çabalara dikkat çekmektedir (Sanchez-Gonzalez vd., 2019). Dolayısıyla konteyner taşımacılığı sektörünün dijital dönüşümünde gereksinim duyulan esnekliğe ulaşılması adına sektör özelinde karşılaşılan engellerin belirlenerek çözüme kavuşturulması gerekliliği önem kazanmaktadır. Bu gereklilik doğrultusunda, mevcut çalışmada Endüstri 4.0 çatısı altında bulunan dijital teknolojilerin konteyner taşımacılığı sektöründe uygulanmasını sektöre uğratan engellerin kapsayıcı bir perspektifle ortaya konulması amaçlanmıştır. Neticede, Endüstri 4.0 çatısı altındaki dijital teknolojilerin konteyner taşımacılığı sektöründe uygulanmasının önündeki engeller belirlenmiş, bu engeller arasındaki yapısal ilişkiler açığa çıkarılmış, engeller etki-bağımlılık düzeylerine göre sınıflandırılmış ve engellerin aşılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Engelleri belirleme ve engeller arasında bağlamsal ilişkilerin kurulabilmesi için Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (Interpretive Structural Modeling- (YYM)) ve MICMAC (Cross Impact Matrix Multiplication Applied to

Classification) yaklaşımları temel alınmıştır. YYM yöntemi, akademik bakış açısının yanı sıra sektör uzmanlarının katılımıyla uygulama ve teori arasındaki boşluğun giderilmesine katkı sağlamaktadır. YYM yönteminin tamamlayıcısı niteliğinde olan MICMAC analizi ise, tespit edilen engellerin otonom, bağımlı, bağlantılı ve bağımsız olmak üzere farklı sınıflandırmalar altında yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle konteyner taşımacılığı ve Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişki incelenmiştir. Ardından konuyla ilgili güncel literatür çalışmaları gözden geçirilmiştir. Daha sonra YYM ve MICMAC yöntemleri açıklanmış ve beraberinde analiz sonuçları sunulmuştur. Son olarak, elde edilen bulgular doğrultusunda sonuç ve tartışma bölümüne yer verilmiştir.

## 2. Dijital Konteyner Taşımacılığı

Bundan yaklaşık 70 yıl önce, Malcolm McLean, kamyon şasisi üzerinde herhangi bir limana taşınan mühürlü bir kutunun gemiye yüklenip, farklı bir limanda güvenli bir şekilde indirilebileceğini ileri sürmüştür. Bu düşünce doğrultusunda, ilk konteyner seferi, 1956 yılında Ideal X isimli petrol tankerinin güvertesine yüklenen 58 adet konteynerin Newark ile Houston limanları arasında taşınmasıyla gerçekleştirilmiştir (UNCTAD, 2018: 55). McLean'ın konteyner öngörüsü, yalnızca emtianın metal bir kutuya konulmasına dayanmamakla birlikte liman, depolama tesisleri ve diğer lojistik araçlarını kapsayacak şekilde tamamlayıcı bir değişiklik gerektirmiştir. Dolayısıyla konteyner hatlarının küresel ticarete benimsenmeye başlanması, ABD'nin liman, konteyner ve gemicilik alanlarında on yıl süren inovasyonu birlikte uluslararası standartlaşmanın sağlandığı (mukavemet, kaldırma, boyutsal vb. gibi standartlar) 1960'lı yıllara kadar uzanmıştır. Nihayetinde, 1966 ve 1983 yılları arasında 122 ülke liman veya demiryolu ağları aracılığıyla konteynerli taşımacılığa dahil olmuştur (Bernhofen vd., 2016: 40).

Daniel Headrick (2009: 146) dünya ekonomisinin küreselleşmesinde önemli etkileri bulunan yirminci yüzyılın en belirgin teknolojik değişimlerinden birinin deniz yolu taşımacılığı içerisinde yükselen konteynerleşme eğilimleri olduğunu ifade etmiştir (Bernhofen vd., 2016: 47). Doğrusu Daniel Headrick'in bu görüşü kayda değer bir şekilde geçerliliğini günümüzde de korumaktadır. Zira konteynerlerin icadıyla birlikte küresel ticaret ve taşımacılıkta belirgin değişimlerin meydana geldiği açıktır. Her şeyden önce yükleme ve boşaltma sürecindeki yoğun emek ve zaman gerekliliği ortadan kalkmış, taşımaya konu emtianın düşük maliyetlerle daha uzak bölgelere ulaşmasına olanak sağlanmıştır (Coşar ve Demir, 2018: 331). Uygulanan mühürleme ve numaralandırma işlemleri konteyner hatları boyunca emtianın izlenebilirliğini arttırmıştır. Daha da önemlisi artan izlenebilirlik sayesinde limanlarda sıkça görülen hırsızlık ve kayıplar gibi istenmeyen durumların olasılığı azalmış, sigorta maliyetlerinde de bu duruma paralel bir şekilde düşüş

kaydedilmiştir.

Emtianın farklı taşıma modları arasında aktarılma güçlüklerine karşılık konteynerler, taşıma modları arasında entegre bir şekilde elleçlenme sürecine olanak tanıyarak modern intermodal taşımacılık sisteminin gelişimine katkı sağlamıştır (Del Rosal ve Moura, 2022: 144). Modern intermodal taşımacılık sistemindeki gelişmeler nakliye kapasitelerinde önemli ölçüde artışa neden olmuştur. Diğer bir açıdan, limanlarda beklemeye ayrılan süreler ile mal teslimatları arasındaki zaman dilimi, ciddi bir düzeyde azalarak küresel ticaretin akışı hız kazanmıştır. Üstelik konteyner filoları, dünya limanlarında en kısa bekleme süresi olan yaklaşık 17 saat ile diğer yük filolarına kıyasla esaslı bir üstünlük elde etmiştir (Türkiye Liman İşletmecileri Derneği [Türklim], 2022: 64). Konteyner hatlarındaki teknolojinin ilerlemesiyle taşınabilecek yük tipleri de (sıvı, dökme, soğuk) günden güne çeşitlenmeye devam etmiştir. Soğutmalı konteyner gibi farklı tip konteynerlerin tasarlanması, belirli sıcaklık altında bozulabilecek yüklerin taşınmasını da mümkün kılmıştır (Bernhofen vd., 2016: 40). Bu durum, deniz taşımacılığında konteyner filoları ile taşınan yük hacmini ve yük tipini büyük ölçüde etkilemiştir. Farklı iş kollarına ait yüklerin aynı konteynerler içerisinde geniş bir ulaştırma ağı çerçevesinde taşınabiliyor olması, maliyet, güvenlik ve verimlilik gibi sağladığı avantajlar ile konteyner taşımacılığı, her ölçekten ticari aktörün küresel ticarete katılımını teşvik etmiştir (Del Rosal ve Moura, 2022: 143).

Nesnelerin interneti, büyük veri analitiği, bulut bilişim, yapay zekâ, blok zincir, siber fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, gelişmiş robotik vb. gibi kendi kendini yönlendiren sistem ve hizmetler gibi yeni teknolojiler ve kavramlar ekonomik süreçlerde giderek daha önemli hale gelmektedir (Fruth ve Teuteberg, 2017: 3). Bu yeni teknolojiler ve kavramların çıkış noktası Alman Hükümeti tarafından ulusal bir proje temelinde ortaya konulmuş olan ve dördüncü sanayi devrimi olarak bilinen Endüstri 4.0 stratejik girişimine dayanmaktadır (Zheng vd., 2019: 1087). Endüstri 4.0 stratejik girişimi altında günden güne gelişme kaydeden dijital teknolojiler, yenilikçi iş modelleri, süreç ve sistemler vasıtasıyla çeşitli endüstri dallarını etkisi altına almakta, imalat sanayinden taşımacılık ve lojistiğe kadar birçok sektörde dijital dönüşüme öncülük etmektedir (Cichosz vd., 2020: 210). Bu noktada dijital teknolojilerin geleneksel deniz yolu taşımacılığı süreçlerine entegrasyonu ile birlikte taşımacılık endüstrisinde verimli, izlenebilir, sürdürülebilir ve optimize edilmiş operasyonel süreçlere ulaşılmasını hedefleyen dijital konteyner taşımacılığı yenilikçi bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Maersk ve CMA CGM gibi endüstri devleri, dijital konteyner taşımacılığı yaklaşımında öncü bir rol üstlenirken, endüstrinin köklü ve veri yerine sezgiye dayalı geleneksel yapısı, dijital teknolojilerin sektör paydaşları tarafından benimsenme sürecinin oldukça zorlu olacağını açıkça göstermektedir (Munim vd., 2020: 577). Ancak değer yaratan eylemlere ulaşma yolunda sezgisel yaklaşımların yerini veri odaklı yenilikçi teknolojilerin kullanımına

birakması kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu zorlu sürecin başarılı bir şekilde yürütülmesi sonucunda, söz konusu dijital teknolojilerin konteyner taşımacılığına ve dolayısıyla küresel tedarik zincirine potansiyel faydaları daha belirgin hale gelecektir. Bu sanıyı desteklemek amacıyla, bölüm boyunca yukarıda bahsedilen dijital teknolojilere ve bu teknolojilerin konteyner hatları boyunca uygulanabilirliğine değinilmektedir.

Konteyner taşımacılığının her bir aşamasında ortaya çıkan veri miktarındaki artış, bu verilerin toplanması, etkin yönetimi ve değere dönüştürülmesi açısından konteyner hatlarının dijital ekosisteme entegrasyonunu son yıllarda odaklanılması gereken önemli bir konu haline gelmiştir (Fruth ve Teuteberg, 2017: 2). Urciuoli ve Hintsa (2021), dijital ekosistemler tarafından desteklenen karar verme süreci, büyük miktarda verinin toplanması, depolanması ve analiz edilmesiyle konteyner hatlarındaki; plansız aktarmalar, kargo hasarı, ihracat denetimleri, konteyner alıkoyma ve konteyner serbest bırakma gibi operasyonlarda ciddi düzeyde parasal tasarruflar kaydedilebileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda önemli bir boyutta kaydeden nesnelerin interneti teknolojisi, geniş çapta verinin izlenmesi ve kaydedilmesini sağlayan sensörler sayesinde oldukça farklı sistemlerin birbirlerine bağlanabilirliğini mümkün kılmaktadır. Örneğin, nesnelerin interneti teknolojisinin bir parçası olan RFID donanımına sahip konteynerlar, deniz taşımacılığının sürdürülebilirliğini, uluslararası konteyner trafiğinin şeffaflığını ve güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Fruth ve Teuteberg, 2017:33). Öte yandan, limanlarda soğutmalı konteynerlerin açık ve kapalı alanlardan diğer taşıma modlarına yüklenmesi sürecinde sıcaklık seviyesinin izlenmesi son derece kritik bir husustur. Nesnelerin interneti teknolojisi sayesinde soğutulan konteynerlerin anlık sıcaklık değerleri veri tabanına aktarılabilir ve ısının belirlenen sıcaklık eşik aralıklarında kalması sağlanabilmektedir (Cil vd., 2022: 2).

Büyük veri analitiği, Endüstri 4.0 çatısı altında yer alan temel teknolojilerden biridir. Geniş hacimli veri setlerinden bilgi çıkarımına dayanan büyük veri analitiği, veriye dayalı karar alma süreçlerini kolaylaştırmada etkin bir rol üstlenmektedir. Örneğin, AIS dosyaları, hava durumu ve yakıt numune vb. veriler büyük veri analitiği kullanılarak kolaylıkla işlenebilmektedir (Fruth ve Teuteberg, 2017:3). Büyük veri analitiğinin önemli kaynağı da birbirine bağlı nesnelere tarafından toplanan verilerdir. Bu verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesiyle, tedarik zinciri akışındaki emtiaın gerçek zamanlı takibi, lojistik aksaklık tespiti vb. gibi bir dizi çözüm mümkün hale gelmektedir (Vural vd., 2020: 8). Bağlanabilirliği destekleyen bir diğer sistem ise, paydaş ara yüzleri arasında bir nevi aracılık görevi gören bulut teknolojisidir. Bulut teknolojisi; erişim esnekliği, veri depolamadaki güvenilirliği, yeni hizmet sunumundaki çevikliği ve iş ortamına göre ölçeklenebilirliği gibi sunduğu yeniliklerle birlikte düşük maliyetlerle tedarik zincirindeki en küçük paydaşların bile bağlanabilirliğini desteklemektedir (Ichimura vd., 2022: 4; Han vd., 2021: 5).

Hesaplamalar ve fiziksel süreçlerin entegrasyonuna dayanan siber fiziksel sistemler, gömülü bilgisayarlar ve ağlar vasıtasıyla fiziksel mekanizmaları bildirim döngüleriyle izleme veya kontrol etme olanağı sunan sistemlerdir (Rosa vd., 2020: 1663). Bu sistemler, yüklerin yüklenmesi ve boşaltılmasında yer alan terminal araçları, makineler ve cihazların birbirine bağlanarak uygun bilgi, iletişim ve otomasyonun sağlanmasında üst düzey görev üstlenmektedir (Fruth ve Teuteberg, 2017:3). Diğer bir yandan, insana özgü bazı görevlerin makineler tarafından gerçekleştirilmesini mümkün hale getiren yapay zekâ; gemilerin özerkliği, diğer gemi veya engellerin tespiti, manevra yeteneği, filo planlama ve çevresel düzenlemelerle ilgili uyumluluk izleme vb., gibi ticari veya operasyonel faaliyetlerin optimizasyonu için gerekli birçok işlemi desteklemek için kullanılabilmektedir (Ichimura vd., 2022: 4). Daha spesifik bir örnekle, bir konteynerin her bir rıhtım vincinden uygun saha vincine taşınması için gereken minimum seyahat mesafesi yapay zekâ temelli bir algoritma sayesinde basit bir şekilde hesaplanabilmektedir (Tsolakakis vd., 2021). İnsanla kısmi de olsa özdeşleşmiş bir diğer teknoloji olan gelişmiş robotik, yetkinlik isteyen çeşitli görevlerin üstesinden gelebilecek yüksek esnekliğe sahip robotlar ile çalışanlar arasında gelişmiş iş birliğini ifade etmektedir (Zolich vd., 2019: 4). Gelişmiş robotik sayesinde otonom gemiler, sörvey ve konteyner yükleme veya boşaltma gibi riskli süreçlerde otomasyona dayalı sistemlere geçiş hız kazanmaktadır. Çünkü robotlar, risk potansiyeli mevcut ortamlarda kullanım için eşsiz bir uyumluluk sağlamaktadır (Kumar vd., 2020). Rotterdam ve Qingdao'da gemilerin yüklenmesi ve boşaltılması, konteynerlerin istiflenmesi ve yeniden dağıtılması ve kapıların çalıştırılması gibi belirli liman iş süreçlerini otomatikleştirmek için robotik teknolojilerden faydalanılması kayda değer bir örnek teşkil etmektedir. (Song, 2021:1 6).

Gerçek ortama bilgi aktarımı gerçekleştiren artırılmış gerçeklik; bilgisayarlar tarafından oluşturulan görseller aracılığıyla mürettebatın durumları kavramasına yardımcı olurken diğer bir yandan konteyner yüklemelerinde hacimsel optimizasyonu sağlamaktadır. Sanal gerçeklik ise, ortamın üç boyutlu bilgisayar grafiklerini sunarak, mürettebatın gerçek operasyonlar öncesinde becerilerini geliştirebilecekleri daha güvenli sanal pratikler gerçekleştirmesini desteklemektedir (Mallam vd., 2019: 3). Son olarak blok zincir teknolojileri, bilgilerin (veri, işlem, olay gibi) birbirine bağlı bloklar halinde bir deftere kaydedilmesi ve mutabakat mekanizmasıyla ağ katılımcıları arasında dağıtılmasına olanak tanımaktadır (Nguyen vd., 2022: 2). Daha da önemlisi, blok zincir teknolojisinin sunduğu akıllı sözleşmeler ile tedarik zinciri ağında; veri aktarımı, mülkiyet transferi, finansal alışveriş ve dokümana dayalı işlemlerin araçlar olmadan elektronik ve şeffaf bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmektedir (Vural vd., 2020: 4). Bu yönüyle blok zincirin sunduğu ağ platformu, çok sayıda evrak, birden fazla dil ve kurum içeren, mevcut yasa ve yönetmeliklerin ise çoğu zaman veri

alışverişinin kâğıt üzerinde gerçekleşmesine dayandığı bir taşımacılık sürecinin dijital dönüşümünü başarıyla üstlenmektedir (Jović vd., 2022: 1; Yang 2019: 109) Öyle ki, blok zincir tabanlı e-konşimento örneklerinin (CargoX, Enigio) geleneksel konşimentolarla kıyaslandığında daha hızlı, güvenli ve çevreci olduğu ortaya konulmuştur (Pu ve Lam 2021: 2). Benzer bir uygulama ile T-Mining, blok zinciri jetonları kullanarak Rotterdam Limanı'nda kodsuz konteyner tahliyesini mümkün kılmaktadır (Nguyen vd., 2022: 2).

Armatörler, acenteler, forwarderlar, limanlar, kara ve demir yolu organizasyonları, müşteriler ve gümrük idaresi gibi paydaşlar arasındaki iletişimin etkin bir şekilde sürdürülebilmesinin önemi büyüktür. Bu doğrultuda konteyner taşımacılığına hizmet eden bazı küresel ve yerel ölçekli girişim örnekleri mevcuttur. IBM ve Maersk ortak girişimi olan ancak askıya alınan TradeLens, maliyetli nakliye süreçlerini bertaraf etme amacıyla manuel dokümantasyon kaynaklı verimsizlikleri önleyen ve katılımcıların tümüyle şeffaf bir iş birliğini sağlayan blok zincirine dayalı çözümlere odaklanmıştır (Yuen vd., 2022: 1). CMA CGM, çalışanlarını eğitmek için sanal gerçeklik kullanımı da dahil olmak üzere sektörel paydaşların ve müşterilerin taleplerine dikkat çekerek yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi yeni teknolojilere daha fazla yatırım yapma taahhüdünde bulunmuştur (Ichumura vd., 2022: 5). Benzer şekilde, konteyner taşımacılığına yönelik gerçek zamanlı veriler sunan Gocomet, global ölçekte konteyner satın alma ve kiralama süreçlerini yürütmeyi sağlayan Container xChange ve anlık konteyner takip hizmeti veren bulut tabanlı ShipsGo gibi dijital ürün ve hizmetler gün geçtikçe yaygın hale gelmektedir. Bu tür yeni teknolojilerin sunduğu faydaları yalnızca kullanıcılarıyla sınırlamak doğru olmamakla birlikte bu uygulamaların küresel tedarik zincirinin bütün paydaşlarına hizmet ettiğini belirtmek mümkündür. Özet olarak, dijital teknolojilerin; intermodal taşımacılık süreçlerinin optimizasyonu, verilerin ve yüklerin akış hızını artırma, trafik kontrolü, taraflar arası güvenli bilgi paylaşımı sağlama ve olası çevresel riskleri minimize edebilme gibi birçok faydalı yeniliği konteyner hatlarına sunmaya hazır olduğu görülmektedir (Fruth ve Teuteberg, 2017: 4).

### 3. Literatüre Bakış

Mevcut literatüre sistematik bir bakış açısıyla yaklaşılması amacıyla, inceleme sürecinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulayıcıları çerçevesinde genelden özele doğru giden bir yol izlenmiştir. Buna göre sırasıyla tedarik zinciri, lojistik sektörü, işletmeler, deniz yolu taşımacılığı, liman yönetimi ve konteyner taşımacılığı özeline uzanan çeşitli aktörlerin Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme ve uygulama süreçlerine ilişkin tespitler gerçekleştirilmiştir.

Tedarik zincirinde dijital dönüşüm üzerine gerçekleştirdiği çalışmada Agrawal vd.'nin (2019) tespitleri, "aciliyet duygusunun olmaması", "sektöre özgü kılavuzların eksikliği", "dijital beceri ve yetenek eksikliği" ve "yüksek

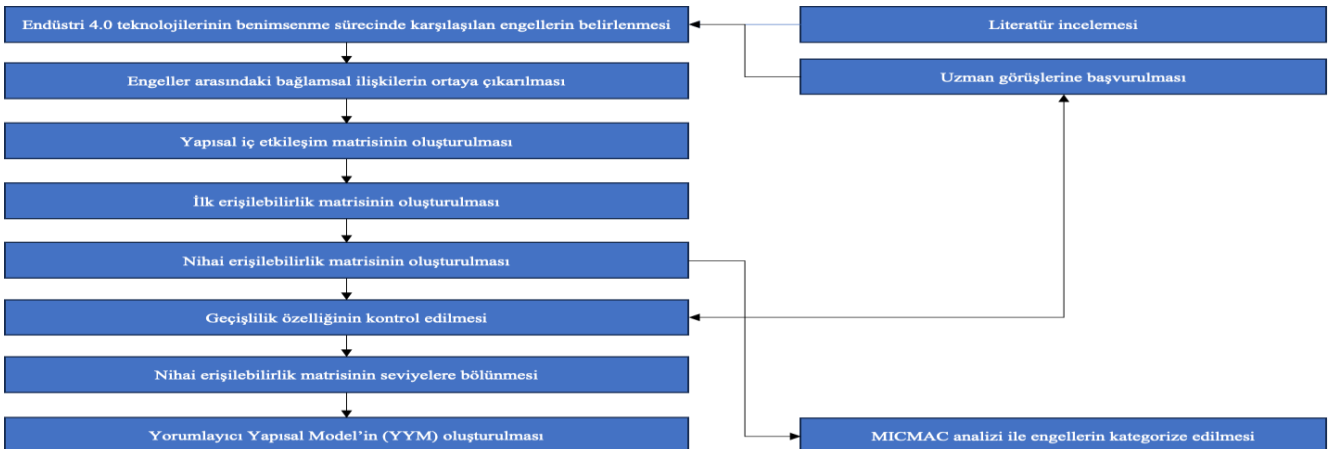
uygulama ve işletme maliyeti" gibi engellerin dijital tedarik zincirinin benimsenmesinin önündeki en önemli engeller olduğunu göstermiştir. Gupta vd. (2022) lojistik sektörü kapsamında dijital teknolojilerin uygulanmasının önündeki kritik ilk beş engeli "yüksek yatırım maliyeti", "parasal kaynak eksikliği", "yetersiz internet bağlantısı", "bilgi teknolojileri altyapısı eksikliği", "dijital yatırımın ekonomik faydasının belirsizliği" şeklinde tespit etmişlerdir. Cicosz vd.'nin (2020) ulaştığı sonuçlar ise, lojistik hizmet sağlayıcıların dijital dönüşüm sürecinde karşılaştıkları en önemli engelin "lojistik ağının karmaşıklığı ve kaynak yetersizliği" iken, bu süreçteki en önemli başarı faktörünün "liderin dijital dönüşüm vizyonuna sahip olması ve destekleyici bir kurum kültürü yaratma yeteneği" olduğunu ortaya koymuştur. 2013 yılında MIT Sloan Management Review ve Capgemini Consulting gerçekleştirilen bir anket sonuçları, işletmelerin dijital dönüşümünün önündeki en büyük engel olarak insan faktörüne dikkat çekmiştir. Buna göre işletmeler, insanların aciliyet duygusu ve dijital vizyon eksiklikleri nedeniyle dijitalleşme yolunda bir mesafe kat edilememektedir (Agrawal vd., 2020). Benzer şekilde, Bughin vd. (2015) liderlik, dijital beceri, eğitim ve üst yönetim desteği gibi insana özgü eksikliklerin dijital dönüşüm programlarının uygulanamamasında etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Tijan vd. (2021) literatür incelemesi, "maliyetlerin düşürülmesi", "yeni ve gelişmekte olan teknolojiler", "değişen müşteri davranışları" ve "daha katı çevresel gereklilikler" gibi faktörleri deniz yolu taşımacılığı sektöründeki dijital dönüşüm için itici güçler olarak öne çıkarmıştır. Araştırmacılara göre, başarılı bir dijital dönüşüm yolunda "hükümet yapıcılarının desteği", "kurumlar arası şeffaf veri alışverişi", "müşteri ve paydaş katılımı" ve "organizasyonel çeviklik" önem arz etmektedir. Öte yandan, "dijital dönüşümün potansiyel sonuçları hakkındaki farkında olmama", "koordinasyon eksikliği", "heterojen organizasyon yapıları ve kültürel entegrasyon eksikliği" ise dijital dönüşümün önündeki başlıca engellerdir. Raza vd. (2023) yarı yapılandırılmış görüşmeler neticesinde "kaynak ve kabiliyet eksikliği", "değişime karşı direnç" ile "silo halindeki fonksiyonlar" gibi denizcilik sektörünün dijitalleşmesinin önündeki temel zorlukları vurgulamışlardır. İnsan, kültür, çeviklik ve değişim yönetiminin deniz yolu taşımacılığının dijitalleşme sürecinde kritik rol oynayan unsurlar olduğunu göstermiştir. Zhang ve Lam (2019), "veri analitiği kullanarak iş geliştirme konusundaki anlayış eksikliği", "yönetici desteğinin eksikliği" ve "büyük verinin son kullanıcılar için kullanılabilir hale getirilememesi yönündeki beceri yoksunluğunun" denizcilik kuruluşları arasında büyük veri analitiğinin benimsenmesinin önündeki üç ana engel olduğunu ortaya koymuşlardır. Papathanasiou vd. (2020), sektör uzmanlarından toplanan veriler kapsamında Yunan deniz yolu taşımacılığında blok zincirinin benimsenmesine sınırlamalar getiren karmaşıklık, kültür ve güvensizlik olarak tanımlanan üç ana tema belirlemişlerdir. En önemli sınırlamaların ise "değişime karşı direnç" ve "paylaşılan

bilgilerin açığa çıkma riski” olduğunu tespit etmişlerdir. Mondragon vd. (2017) liman terminallerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin benimsenmesi üzerinde hükümet mevzuatlarının ve çeşitli coğrafi bölgelerdeki limanları işleten hâkim kuruluşların önemli bir payı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Çalışkan (2020) ise, akıllı liman dönüşümünde muhtemel güçlükleri derleyip, güçlükler arasındaki hiyerarşik ilişkiyi analiz etmiş olduğu çalışmada “Endüstri 4.0 hakkında açık ve kapsamlı bilgi eksikliği” ve “personelden kaynaklanan problemler” güçlüklerinin en yüksek etkileyici ve bağımsız güce sahip olduğunu tespit etmiştir.

Balcı (2021a) bir çalışmasında, “öğrenme odaklı kurumsal kültür”, “dijital hizmetlerin entegrasyonu”, “tedarikçilerle iş birliği”, “üst yönetimin desteği” olmak üzere konteyner hatlarının dijitalleşme sürecindeki çeşitli kritik başarı kaynaklarını vurgulamıştır. Benzer bir çalışmada Yuen vd. (2022) ise, konteyner hatlarının dijital dönüşümü kapsamında kurumsal yetkinliğin en önemli kritik başarı unsuru olduğunu bunu “teknoloji kabulü”, “paydaşların beklentileri” ve “bireysel motivasyon” ’un izlediğini ortaya koymuştur. Zeng vd.’nin (2020) bulguları, konteyner rezervasyon sürecinde kuruluşlar arasında bilgi sistemlerinin benimsenmesinin “sektör özellikleri”, “sistemin bilgi gizliliği”, “tedarik zinciri ticaret ortaklarının gücü”, “hükümet gücü” ve “örgütün sahiplik yapısı” gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Balcı ve Sürücü Balcı (2021), konteynerli uluslararası ticarete blok zincirinin benimsenmesinin önündeki engelleri incelemiş, sekiz engel arasında en etkili olanların paydaşlardan destek eksikliği, blok zincirine ilişkin anlayış eksikliği ve hükümet düzenlemelerinin eksikliği olduğunu ifade etmiştir. Nguyen vd. (2022) ise, konteyner nakliye hizmet sağlayıcılarının mevcut iş süreçlerine blok zinciri uygulamalarını entegre etme sürecinde algılanan engelleri incelemişlerdir. Bulgular, blok zinciri entegrasyonunda mevcut operasyonel risklere katkıda bulunan doğrudan faktörler olarak “uygulamadaki karmaşıklık”, “yasal mevzuat ve düzenleme eksikliği” ve “teknolojik yetersizlik ve uyumsuzluk” işaret etmiştir.

#### Şekil 1. YYM Uygulamasının Metodolojik Gösterimi



Kaynak: Kumar vd., (2021).

Literatür incelendiğinde, tedarik zinciri, lojistik sektörü, işletmeler, deniz yolu taşımacılığı, liman yönetimi ve konteyner taşımacılığına kadar süregelen çeşitli aktörlerin dijital teknolojilerin uygulanması ve benimsenmesine ilişkin güçlükleri ve başarı unsurlarını ele alan çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Literatür taraması kapsamında ele alınan çalışmalarda, dijital teknolojiler ile entegrasyonu sekteye uğratan engellerin sıklıkla beşerî, mali ve teknolojik altyapı kaynaklı engeller olduğu gözlemlenmektedir. Dijital teknolojiler ile başarılı bir entegrasyon sürecinde ise organizasyona dayalı (kültür, iletişim, sahiplik yapısı vb.) faktörlerin öne plana çıktığı görülmektedir. Diğer bir yandan konteyner taşımacılığı sektöründe dijital dönüşümünü ele alan sınırlı sayıda çalışma mevcut olduğu tespit edilmektedir. Bu çalışmalarda ise, dijital dönüşümün blok zincir, yapay zekâ veya büyük veri vb. gibi dijital teknolojiler özelinde ele alındığı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, çalışmalarda ulaşılan sonuçların yalnızca ele alınan dijital teknolojiyi temsil etme kısıtıyla karşı karşıya olduğu düşünülmektedir. Bu durumda, Endüstri 4.0 teknolojilerinin konteyner taşımacılığı sektörüne entegrasyonu sürecinde karşılaşılan engellerin geniş bir perspektifle incelenmesi gerekliliği akademik çevrelerce sorgulanmalıdır. Bu noktada, konteyner taşımacılığı sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri kapsamında dijital dönüşümü sekteye uğratan güçlüklerin belirlenmesi ve çözüme kavuşturulması gerekliliğiyle karşılaşılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma ile Türk konteyner taşımacılığı sektöründe dijital dönüşümün önündeki engellerin tespit edilmesi, engeller arasındaki yapısal ilişkilerin ortaya çıkarılması ve engellerin giderilmesine ilişkin çeşitli öneriler sunulması amaçlanmıştır.

#### 4. Araştırmanın Metodolojisi

Mevcut çalışmada, konteyner taşımacılığında Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasını güç hale getiren engeller arasındaki yapısal ilişkiyi ortaya çıkarmak için YYM ve MICMAC analizleri uygulanmış olup, YYM uygulamasının metodolojik gösterimi Şekil 1’ de verilmiştir.

Literatür taraması sonucunda, yüz adet engel potansiyel eden faktörün ortaya konulmasının ardından engelleri net bir şekilde belirleme aşamasında (ilk aşama) Türkiye’de konteyner taşımacılığı sektöründe deneyimli sektör uzmanları ve deniz yolu taşımacılığında uzman akademisyenlerin görüşlerine başvurulmuştur. Katılımcıların araştırmaya dahil edilmesi sürecinde; sektörde en az beş yıl çalışmış olma, araştırma alanıyla ilgili uzmanlık ve deneyim, araştırma sürecine katılım için isteklilik, çıkar çatışması veya araştırmaya önceden herhangi bir katkı sağlamama gibi kriterler dikkate alınmıştır (Hangl vd., 2023: 2). Katılımcılara ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Katılımcı Profili

Uzman Kodu	Meslek	Deneyim	Şehir
Uzm01*	Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisi	8	İstanbul
Uzm02*	Operasyon Yöneticisi	8	İstanbul
Uzm03	Konteyner Terminal Sorumlusu	13	Samsun
Uzm04*	Lojistik Şube Müdür Yardımcısı	17	İzmir
Uzm05	Lojistik Firma Sahibi	27	İstanbul
Uzm06	Uluslararası Deniz Taşımacılığı Eğitmeni	38	İstanbul
Uzm07	Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisi	12	İstanbul
Uzm08	Kıdemli Operasyon Uzmanı	5	Mersin
Uzm09*	Satış Yöneticisi	10	İzmir
Uzm10	Gümrük ve Lojistik Yöneticisi	35	Kocaeli
Uzm11**	Lojistik Uzman Yardımcısı	7	Samsun
Uzm12**	Şube Müdürü	35	İzmir
Uzm13	Akademisyen	9	Bursa
Uzm14*	Akademisyen	13	Londra
Uzm15	Akademisyen	15	Bursa
Uzm16	Akademisyen	20	Samsun
Uzm17	Akademisyen	19	Samsun
Uzm18*	Akademisyen	23	Samsun

**Not:** Yalnızca ilk aşamaya dahil olanlar (\*), Yalnızca ikinci aşamaya dahil olanlar (\*\*)

Görüşmeler sonucunda, akademisyen ve sektör uzmanları yanıtları doğrultusunda konteyner taşımacılığının dijitalleşme sürecinde karşılaştığı engeller tespit edilmiştir. Engellerin fikir birliği içerisinde net bir şekilde belirlenmesinin ardından engeller arasındaki ilişkileri ortaya koymak amacıyla YYM formu (ikinci aşama) yanıtlayıcılara sunulmuştur. Bu aşama ise on iki katılımcı ile tamamlanmıştır. Ardından YYM’ye ilişkin analizler gerçekleştirilmiş, MICMAC analiziyle engellerin bağımlılık ve etki düzeyleri tespit edilmiştir. Bu çalışmanın anket uygulaması için Samsun Üniversitesi Etik Kurulu tarafından, 27.07.2023 tarihli ve 7 sayılı toplantıda alınan

2023-42 sayılı kararı ile etik kurul izni verilmiştir.

#### 4.1. Engellerin Açıklanması

Dijitalleşme sürecinin önemli bir aşaması da kuruluşlarda dijital dönüşümün yürütülmesini sektöre uğratabilecek önemli engellerin tespit edilmesidir (Parola vd., 2021: 475). Mevcut çalışma kapsamında, literatür taramasıyla belirlenen Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması önündeki yüz potansiyel engel, Türkiye’de faaliyet gösteren konteyner hatları gözetilerek sektör uzmanları ile lojistik ve denizcilik alanında uzman öğretim üyeleriyle gerçekleştirilen görüşmelerle değerlendirilmiştir. Katılımcılara öncelikle Endüstri 4.0 kapsamında yer alan dijital teknolojiler hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra potansiyel engeller sunularak, dijital teknolojilerin konteyner taşımacılığı sektöründe uygulanmasını güç hale getiren kritik engelleri belirlemeleri istenilmiştir. Bu aşamada, katılımcıların potansiyel engeller arasından 8 engel üzerinde %85 oranında görüş birliğine varmış oldukları tespit edilmiştir. Bununla birlikte, katılımcıların önerileri doğrultusunda önemli görülen 2 engeline çalışmaya dahil edilmesine karar verilmiştir. Konteyner hatları boyunca dijitalleşme sürecinde karşılaşılan engellerin belirlenmesinin ardından, tespit edilen bu engeller Tablo 2’de verilmiş, bölüm boyunca söz konusu engellere ilişkin açıklamalarda bulunulmuştur.

**Tablo 2.** Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Konteyner Taşımacılığı Sektöründe Uygulanmasının Önündeki Engeller

Kod	Engel
E01	Endüstri 4.0 teknolojilerinin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (ROI) endişeleri
E02	Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu potansiyel hakkında yetersiz bilgi
E03	Kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması
E04	Endüstri 4.0 teknolojilerine aciliyet duyulmaması
E05	Geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımları
E06	Tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması
E07	Dijital okuryazarlığın yetersizliği
E08	Eğitim olanaklarının eksikliği
E09	Sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu
E10	Sektör çalışanlarının Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları

Endüstri 4.0, konteyner taşımacılığı sektöründe yer alan paydaşlara yüksek teknolojik çözümler sunmaktadır. Ancak gerekli teknik değişiklikler, organizasyonlarda mevcut teknolojik alt yapının büyük ölçüde geliştirilme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Teknolojik yatırımlara ilişkin verimlilik paradoksu ve değer zinciri boyunca parçalı uygulamalar teknolojiye yapılan yatırımın ekonomik faydalarının net bir şekilde değerlendirilmesi konusundaki

belirsizliği de beraberinde getirmektedir (Raza vd., 2023: 4; Raj vd., 2020: 5). Yeni teknolojilerin uygulanması bu noktada, uygulama risklerinin yanı sıra yüksek maliyetli bu yatırımların getirisi konusundaki belirsizliğin giderilmesine bağlı olmaktadır (Jena ve Patel, 2022: 2116; Nimawat ve Gidwani 2021: 1143). Öte yandan birçok organizasyon Endüstri 4.0'ın mevcudiyetini görmezden gelmekte ve bu da Endüstri 4.0 teknolojilerinin potansiyel faydaları hakkında bilgi ve farkındalık eksikliği ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, organizasyonlar yeni teknolojilere ulaşabilecek kaynaklara yatırım yapmayı tercih etmemektedir (Jena ve Patel, 2022: 2116; Tijan vd., 2021: 9).

Dijital teknolojiler, daha fazla veri şeffaflığı ve eşzamanlılığı sağlayarak karar sürecinde tüm paydaşlarla aynı verilerin kullanılabilirliğine olanak tanımaktadır (Agrawal vd., 2019: 301). Ancak deniz lojistiğinin geleneksel yapısı, yüksek meblağlara varan faturalar, gizli veriler içeren ticari işlemler ve son dönemlerde meydana gelen siber saldırılar, paydaşlar arasındaki şeffaflığa ilişkin endişeleri gündeme getirmektedir (Balcı ve Sürücü Balcı, 2021: 10). Deniz lojistiğinde birçok paydaşın, bilgi asimetrisi sayesinde kazanç elde ettiklerini dile getirmeleri göz önünde bulundurulduğunda özel sözleşmelere veya organizasyonun iş planlarına dayanabilecek bilgilerin ifşa edilmesi halinde organizasyonların rekabet gücünün zarar görmesi olasıdır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu şeffaflık, forwarderların fayda sağladığı bilgi asimetrisini ortadan kaldıracak için bu durumun küçük ve orta ölçekli forwarderlara zarar verebileceği belirtilmektedir (Balcı ve Sürücü Balcı, 2021: 7). Bilgi paylaşımındaki şeffaflık endişelerinin üstesinden gelmek konteyner hatları ve yük sahipleri arasındaki bilgi asimetrisini koruma eğiliminde olan forwarderlar açısından güç olacaktır. Bu nedenle sektör paydaşları arasında şeffaf bilgi akışının olmaması, şeffaflık üzerine kurulu dijital teknolojilerin benimsenmesi önünde engel teşkil etmektedir (Meyer ve Santos, 2023: 807; Zeng vd., 2020: 2; Dutta vd., 2020: 19).

Stratejik hedeflere ulaşma yolunda her ne kadar sürekli olarak iyileştirme ve geliştirmelere ihtiyaç duyulsa da statüko tutumu sergileyen kuruluşlar, mevcut yaklaşımların gereksinimlerini tatmin ettiğini ve değişime gereksinim duymadıklarını savunmaktadırlar (Agrawal vd., 2019: 300). Bu tip organizasyonlarda çeşitli kademelerde çalışanlar, dış çevrede ortaya çıkan yeniliklere karşı aciliyet duymayarak çekingen bir tavır sergilemektedirler. Kayıtsız davranışlar, dijital dönüşümün önündeki kritik engellerdendir (Fitzgerald vd., 2013: 7). Oysaki organizasyonların dış tehditler ve riskler ile yeni teknolojilerin yarattığı fırsatları mevcut durumlarıyla kıyaslayarak aciliyet duygusunu içselleştirmesi, kuruluşlara yeni teknolojilerin uygulanması yönünde önemli bir ivme kazandıracaktır.

Teknolojik girişimlerin başarısı büyük ölçüde çevik bir çalışma yaklaşımına, hiyerarşik olmayan ve birlikte değer yaratmaya dayalı çapraz fonksiyonlu ekiplere dayanmaktadır. Eski sistemlere yönelik güçlü bağlılık, işlerin uzun süredir süregelen şekilde gerçekleştirilme

eğiliminin devam etmesine yol açmaktadır. Deniz taşımacılığında mevcut eski çalışma yöntemlerinin hakimiyeti dijital bir kültür yaratma ve dijital dönüşüm isteğini olumsuz etkilemektedir. Şelale veya sıfır hataya dayalı mühendislik yaklaşımları gibi geleneksel yaklaşımların aksine, deneme yanılma, test et-öğren ve değişen koşullara adapte olabilen yaklaşımlar, dijitalleşme sürecinde başarı ihtimalini yükseltmektedir. Bu sebeptendir ki proje yönetiminde geleneksel yaklaşımlar, dijital teknoloji projelerinin geliştirilmesinde engelleyici bir faktör olarak görülmektedir (Raza vd., 2023: 8; Agrawal vd., 2019: 301).

Endüstri 4.0 teknolojileri hızla gelişiyor olsa da bu teknolojilerin uygulanması henüz başlangıç aşamasında ve genellikle bazı öncü organizasyonlarla sınırlı olmaktadır. Organizasyonların uygulamayı arzuladığı yeni teknolojilerin dış çevrede henüz yaygınlaşmaması onları bu teknolojilere yönelmekten alıkoymaktadır (Tripathi ve Gupta, 2019: 4). Başka bir ifadeyle, Endüstri 4.0 teknolojilerini hali hazırda benimsemiş olan organizasyonların sayıca az olması, geri kalan kuruluşları bu teknolojileri uygulama konusunda motive etmemektedir (Govindan ve Arampatzis, 2023: 9). Dahası bu durum dijital dönüşüme katılmak isteyen ancak daha fazla katılımcı görmek için beklemeyi tercih eden organizasyonların nihai kararlarını da olumsuz etkilemektedir.

Dijital teknolojilerin, platformların ve teknoloji destekli hizmetlerin yükselişi çalışanların belirli görevleri verimli bir şekilde ifa etmeleri için dijital okuryazarlık becerilerine sahip olma gereksinimini ortaya çıkarmaktadır (Reddy vd., 2023: 3). Yetersiz dijital okuryazarlık genellikle uygulamaya konulan teknolojilerin kullanım sürecinden başlayarak organizasyonların teknoloji sağlayıcılarıyla iş birliği yapma potansiyelini sektöre uğratmaya kadar bir dizi soruna yol açabilmektedir (Raj vd., 2020: 5; World Economic Forum [WEF], 2020: 30).

Teknolojik gelişmelerin hızı ve yeni teknolojik prosedürlerin benimsenmesi insan kaynakları temelinde ilave beceri ve teknolojik bilgi gerektirmektedir. Sürekli değişen koşullara uyum sağlanabilmesi adına eğitim olanaklarının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Kumar vd., 2023: 662; Raj vd., 2020: 5). Ancak çoğu organizasyon, Endüstri 4.0 teknolojileriyle ilgili eğitim programları planlamanın ağır bir yük olduğunu düşünmekte ve bu konuya tereddütle yaklaşmaktadır (Govindan ve Arampatzis, 2023: 9). Dolayısıyla yetersiz eğitim olanakları dijital teknolojilerin uygulanması önünde bir engel teşkil etmektedir.

Dijital teknolojilere adapte olmayı arzulayan forwarder firmalar, dijital açıdan yetkinleşmemiş konteyner hatları ile karşı karşıya kaldığında dijital teknolojilerin uygulanması karmaşık bir hal alacaktır (Yuen vd., 2022: 3). Limanlar ve fiili taşıyanlar gibi deniz lojistiğinde hakimiyeti yüksek olan paydaşlar, sektörün gidişatına yön vermekte ve sektör içerisinde güç dengesizliklerine yol açabilmektedir. Bu durum paydaşlar arasında haksız rekabet ortamı yaratarak



yeni teknolojilerin uygulanması önünde engellere neden olabilmektedir.

İşgücü becerileri, eğitim gereksinimleri ve gelişmiş yetkinlikler, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanma öncesi ve sonrası tüm aşamalarında önem arz etmektedir. Dijital teknolojilerle tam entegrasyon, bu teknolojilere hâkim olan işgücüne dayanmaktadır. Literatürdeki çeşitli araştırmalar, yeni teknolojilere hâkim nitelikli iş gücü eksikliğinin birçok sektörde Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi ve uygulanması önünde bir direnç olabileceğini ortaya koymuştur (Senna vd., 2022: 3; Tijan vd., 2021: 9; Singh ve Bhanot, 2020: 2459; Kumar vd., 2020: 5).

#### 4.2. Yorumlayıcı Yapısal Modelleme

Warfield (1974)'in geliştirmiş olduğu Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (YYM), araştırma probleminde yer alan değişkenler arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilere yönelik hiyerarşik yapıyı açıklamak için kullanılan bir tekniktir (Magalhães vd., 2021: 2). Malone (1975) YYM'yi, birey ve grupların karmaşık sistem durumlarını anlamalarını ve bu sayede sorunları çözmek için eylem planları oluşturmalarını mümkün hale getiren öge kümeleri arasındaki bağlamsal ilişkileri ortaya çıkaran bir yaklaşım olarak kavramsallaştırmıştır (Wu vd., 2015: 516). Daha genel bir tabirle YYM yaklaşımının, belirsiz ve zayıf olarak ifade edilmiş çok sayıda değişkenin sıralı, düzenli ve net bir şekilde tanımlanmış yapısal modellere dönüştürülmesine olanak tanıyan bir yöntem olduğunu ifade etmek mümkündür (Balcı ve Sürücü Balcı, 2021: 6).

YYM tekniği, akademik çalışmalarda kullanılan bir yöntem olup çeşitli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar, uzman görüşlerinin dahil edilmesi, dahil edilen görüşlerin ve değerlendirmelerin değiştirilebilmesine fırsat sağlaması, sayıca 10-15 değişkene ulaşan yapıların analizinin basit bir şekilde gerçekleştirilmesi ve gündelik yaşamdaki vakalara uygulanabilme özelliklerini içermektedir (Wu vd., 2015: 516). Dolayısıyla, YYM tekniği ile, teori ve uygulama arasındaki olası boşlukların giderilmesi beklenmektedir. Bu sebepten, kapalı döngü tedarik zinciri uygulamaları (Yıldız Çankaya, 2022), yeşil tedarik zinciri (Gahlot vd., 2023), tedarik zincirinin dijital dönüşümü (Agrawal vd., 2019; T.S. ve Ravi, 2023), denizcilikte blok zinciri teknolojileri (Balcı ve Sürücü Balcı, 2021), ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümü (Zhou vd., 2019) vb. gibi birçok spesifik konuyu aydınlatmak amacıyla yaygın bir şekilde uygulanmıştır. Ancak YYM tekniğinin sunduğu avantajların yanı sıra göz önünde bulundurulması gereken belirli kısıtlar da mevcuttur. Örneğin, görüşüne başvurulmuş uzmanların ilgili konuda bilgi ve deneyim sahibi olması kaçınılmazdır. Ayrıca YYM tekniğinde artan değişken sayısı metodolojik karmaşıklık yaratabilmektedir (Attri vd., 2013: 3). Bu yüzden YYM tekniği uygulanmasından önce uzman yetkinliği ve optimum değişken sayısı dikkate alınması gereken kriterlerdir (Balcı ve Sürücü Balcı, 2021: 6). Benzer şekilde YYM yönteminin uygulanmasında, yanıtlayıcıların niceliğinden çok niteliği önem arz

etmektedir. Dolayısıyla çok sayıda uzmana gerek duyulmamakta en az iki üye yeterli olmaktadır (Shen vd., 2016: 216; Ravi ve Shankar 2005: 1018).

YYM analizi sonucunda ortaya konulan bulgular, engellerin yapısal bir gösterimini sunma, engeller arasındaki bağlantıları ve odaklanılması gereken kritik engelleri ortaya çıkarma gibi niteliklerinden dolayı kayda değerdir. Ancak YYM tekniğinin başarıyla uygulanması için dikkatle takip edilmesi gereken bir dizi adım bulunmaktadır. YYM analizinde yer alan aşamalar aşağıda açıklanmaktadır (Kumar vd., 2021: 4).

**1. Aşama:** Etkileşimleri analiz edilecek belirli sorunlar veya konular için değişkenlerin tanımlanmasıyla başlanır.

**2. Aşama:** Modellenen değişken çiftleri arasında bağlamsal ilişkiler belirlenir.

**3. Aşama:** Değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkileri gösteren yapısal iç etkileşim matrisi (SSIM) oluşturulur. Matris şu şekilde ifade edilir (1):

$$W = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & 0 & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Geliştirilen SSIM matrisi, uzmanlar tarafından şu semboller kullanılarak doldurulur:

**Tablo 3. Kodlama Kuralı**

Karşılıklı ilişki girdisi $\{j, i\}$	Semboller
$i$ 'den $j$ 'ye doğru tek yönlü	V
$j$ 'den $i$ 'ye doğru tek yönlü	A
$j$ ile $i$ arasındaki çift yönlü	X
$i$ ile $j$ arasında ilişki nötr	O

Her bir engel faktörü arasındaki bağlamsal ilişkiler, uzmanlar ile yapılan görüşmeler yoluyla kurulmuş ve faktörlerin ikili karşılaştırması yapılmıştır. Kritik 10 engel ( $n=10$ ) kapsamında her bir uzman tarafından " $n(n-1)/2$ "  $10(10-1)/2=45$  ikili karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Her uzmanın iki engel arasındaki ilişki için farklı bir değerlendirmede bulunma ihtimali bulunduğundan engeller arasındaki bağlamsal ilişkileri ortaya koyarken "azınlık karşısında çoğunluğun kararı geçerlidir" kuralı uygulanmıştır (Shen vd., 2016: 218). Dolayısıyla, iki engel arasındaki ilişkide çoğunluğu sağlanan harf yapısal iç etkileşim matrisine dahil edilmiştir. Bu kuralı takiben ortaya konulan yapısal iç etkileşim matrisi Tablo 4' de gösterilmiştir.

**Tablo 4. Yapısal İç Etkileşim Matrisi**

Engel	E10	E09	E08	E07	E06	E05	E04	E03	E02	E01
E01	X	O	A	A	V	A	O	V	A	
E02	X	O	A	V	V	A	V	V		
E03	V	O	A	X	A	O	A			
E04	O	O	A	A	V	V				
E05	A	O	A	V	V					
E06	A	O	A	A						
E07	V	O	A							
E08	V	O								
E09	O									
E10										

**4. Aşama:** Yukarıda tanımlanmış sembollerden ortaya konulan matriste, V, A, X ve O sembolleri aşağıdaki kurallara uygun bir şekilde 1 ve 0 rakamlarına dönüştürülerek ilk erişilebilirlik matrisi oluşturulur. Sembollerin rakamsal karşılıkları aşağıda Tablo 5'te gösterildiği şekilde ifade edilir.

Yapısal iç etkileşim matrisinin oluşturulmasının ardından 4. aşamada açıklanan kurallar uyarınca harf değerlerinin

sayısal karşılıklara dönüştürülmesine dayanan ilk erişilebilirlik matrisi geliştirilmiştir. Geliştirilen ilk erişilebilirlik matrisi Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 5. Kodlama Kuralı**

Erişilebilirlik matrisinin girdisi {j, i}	V	A	X	O
{i, j}	1	0	1	0
{j, i}	0	1	1	0

**Tablo 6. İlk Erişilebilirlik Matrisi**

Engel	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10
E01	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
E02	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
E03	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
E04	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
E05	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
E06	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
E07	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
E08	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
E09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
E10	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1

**5. Aşama:** Erişilebilirlik matrisi, geçişlilik varsayımına dayalı olarak kontrol edilir, uygun görüldüğü takdirde geçişlilik kuralına uymayan ilişkiler giderilerek nihai erişilebilirlik matrisi elde edilir. Örneğin; eğer  $p \rightarrow q$  (bağlantı) ve  $q \rightarrow r$  ise,  $p \rightarrow r$  olur.

İlk erişilebilirlik matrisinin hazırlanması sonrasında 5. aşamada ifade edilen kurala göre geçişliliğin kontrolü sağlanmıştır. Geçişlilik kontrolü sonrası oluşturulan nihai erişilebilirlik matrisi Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7. Nihai Erişilebilirlik Matrisi**

Engel	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10
E01	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
E02	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
E03	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
E04	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
E05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
E06	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
E07	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
E08	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
E09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
E10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

**Not:** Geçişlilik özelliği kontrolü

**6. Aşama:** Nihai erişilebilirlik matrisi, öncül küme ve erişilebilirlik kümesi kullanılarak seviyelere bölümlenme

işlemine geçilir. Erişilebilirlik kümesi, değişkenin kendisi ve “1” değerine sahip satırda bulunan değişkenlerden oluşur. Öncül küme ise, yine değişkenin kendisi ve “1” değerine sahip sütunda bulunan değişkenlerden meydana gelir. Bu iki kümede bulunan aynı değişkenler seçilerek kesişim kümesi belirlenir. Erişilebilirlik ve kesişim kümeleri aynı olan değişkenler en üst hiyerarşik seviyeyi oluşturur. En üst pozisyonda bulunan değişkenler listeden ayrılarak seviyelere bölümlenme işlemi devam eder.

Bir sonraki adımda engeller seviyelerine göre düzenlenerek nihai erişilebilirlik matrisi kanonik matris biçimine dönüştürülmüştür. Seviyelerin belirlenmesinde 6. aşamada yer alan anlatı takip edilerek erişilebilirlik, öncül ve kesişim kümeleri oluşturulmuştur. Her bir engel en az bir seviyeye dahil olana kadar işlem tekrar edilmiştir. Tablo 8, 9 ve 10'da bölümlenme işlemleri ve bu işlemlerin sonucunda 10 engelin ayrıldığı seviyelere yer verilmiştir.

**Tablo 8.** Erişilebilirlik Matrisinin Farklı Seviyelere Ayrılması-1

Engel	Erişilebilirlik Kümesi	Öncül Küme	Kesişim Kümesi	Seviye
E01	1,2,3,5,6,7,10	1,2,3,4,5,7,8,10	1,2,3,5,7,10	
E02	1,2,3,4,5,6,7,10	1,2,3,4,5,7,8,10	1,2,3,4,5,7,10	
E03	1,2,3,4,5,6,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,10	1,2,3,4,5,6,7,10	1
E04	1,2,3,4,5,6,7,10	2,3,4,5,7,8,10	2,3,4,5,7,10	
E05	1,2,3,4,5,6,7,10	1,2,3,4,5,7,8,10	1,2,3,4,5,7,10	
E06	3,6,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,10	3,6,7,10	1
E07	1,2,3,4,5,6,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,10	1,2,3,4,5,6,7,10	1
E08	1,2,3,4,5,6,7,8,10	1,2,3,4,5,7,8	8	
E09	9	9	9	1
E10	1,2,3,4,5,6,7,10	1,2,3,4,5,6,7,8,10	1,2,3,4,5,6,7,10	1

**Tablo 9.** Erişilebilirlik Matrisinin Farklı Seviyelere Ayrılması-2

Engel	Erişilebilirlik Kümesi	Öncül Küme	Kesişim Kümesi	Seviye
E01	1,2,5	1,2,4,5,8	1,2,5	2
E02	1,2,4,5	1,2,4,5,8	1,2,4,5	2
E04	1,2,4,5	2,4,5,8	2,4,5	
E05	1,2,4,5	1,2,4,5,8	1,2,4,5	2
E08	1,2,4,5,8	8	8	

**Tablo 10.** Erişilebilirlik Matrisinin Farklı Seviyelere Ayrılması-3

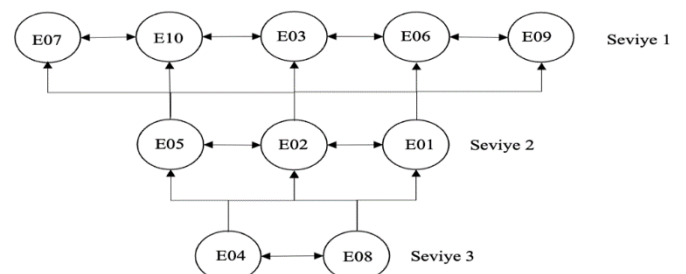
Engel	Erişilebilirlik Kümesi	Öncül Küme	Kesişim Kümesi	Seviye
E04	4	4,8	4	3
E08	4,8	8	8	3

Tablo 8, 9 ve 10 incelendiğinde, kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması (E03), tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06), dijital okuryazarlığın yetersizliği (E07), sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu (E09) ve sektör çalışanlarının Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları (E10) engellerinin hiyerarşik olarak birinci, Endüstri 4.0 teknolojilerinin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (ROI) endişeleri (E01), Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu potansiyel hakkında yetersiz bilgi (E02) ve geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımları (E05) engellerinin ikinci, Endüstri 4.0 teknolojilerine aciliyet duyulmaması (E04) ve eğitim olanaklarının eksikliği (E08) engellerinin ise üçüncü ve son seviyede yer aldığı görülmektedir.

**7. Aşama:** Nihai erişilebilirlik matrisi göz önünde bulundurularak bir YYM modeli elde edilir. Değişkenler,

hiyerarşik seviyelerine göre YYM modeline konumlandırılır. Daha sonra, değişkenlerin etki ve bağımlılık gücüne göre sınıflandırılması işlemi için MICMAC yöntemi uygulanır.

**Şekil 2.** Yorumlayıcı Yapısal Model



YYM yöntemine dayanan modelde yer alan seviyeler, engellerin konteyner taşımacılığının dijitalleşme

sürecindeki etkilerinin anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu noktada, hangi engellerin problemin kaynağı olduğu ve dijitalleşme sürecinde öncelikle dikkate alınması gerektiğini daha iyi ortaya koymak için MICMAC analizi gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3. MICMAC Analizi

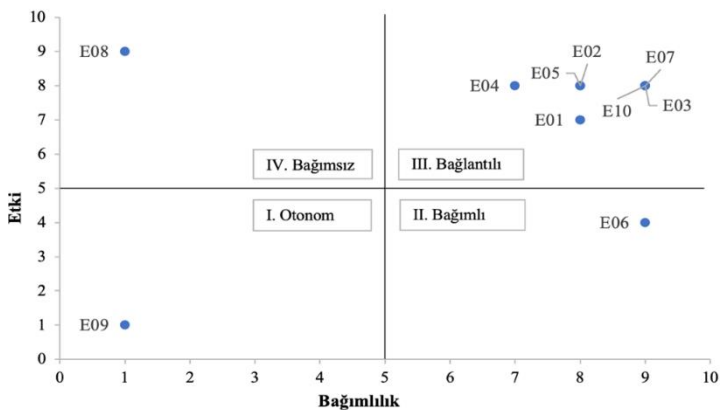
MICMAC analizi, ilgili değişkenlerin bağımlılık ve etki gücü açısından incelenerek kategorize edilmesine olanak tanıyan çapraz etki analizi tekniğidir (Beloor vd., 2022: 2646). Bu sayede etki ve bağımlılık gücü en yüksek değişkenler net bir şekilde açıklanabilmektedir. Yöntem, YYM analizi sürecinde oluşturulan nihai etkileşim matrisi doğrultusunda ilgili değişkenlerin birbirlerini etkileme ve birbirlerinden etkilenme düzeylerine göre otonom, bağımlı, bağlantılı ve bağımsız olmak üzere dört kategoride sınıflandırılmasını sağlamaktadır (Agrawal, 2019: 1170). YYM yaklaşımıyla ulaşılan bulguları destekleyici niteliği,

**Tablo 11.** Etki ve Bağımlılık Seviyeleri

Engeller	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	Etki	Level
E01	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	7	2
E02	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	2
E03	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	1
E04	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	3
E05	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	2
E06	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	4	1
E07	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	1
E08	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	3
E09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
E10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8	1
Bağımlılık	8	8	9	7	8	9	9	1	1	9	69	

Şekil 3’ te değişkenlerin bağımlılık ve etki düzeyleri ortaya konulmuştur. Etki düzeyi, ilgili değişkenin diğer değişkenleri etkileme durumuyken, bağımlılık düzeyi, ilgili değişkenin diğer değişkenlerden etkilenme durumunu ifade etmektedir. Değişkenler, bağımlılık ve etki düzeyleri kapsamında dört farklı küme çerçevesinde sınıflandırılmıştır (Mangla vd., 2018: 22).

**Şekil 3.** MICMAC Diyagramı



Otonom unsurlar kümesi, zayıf etki ve zayıf bağımlılık

MICMAC yönteminin tercih edilme nedenlerinden biridir. Hali hazırda, çeşitli araştırmalarda, endüstri 4.0 çağında liman lojistiği (Sarkar ve Shankar, 2021), tedarik zincirinde endüstri 4.0 ve döngüsel ekonomi (Kumar vd., 2021), otonom araçlara geçiş süreci (Kumar vd., 2022) vb. gibi YYM tekniğinin tamamlayıcısı olarak kullanılmıştır.

MICMAC analizinde, sırasıyla I, II, III ve IV kategorileri her bir değişkenin etki ve bağımlılık güçlerinin tespit edilmesiyle elde edilmektedir. Nihai erişilebilirlik matrisinin her bir satırında yer alan “1” rakamlarının toplamı, o satır ile ilişkili değişkenin etki gücünü öne çıkarmaktadır. Benzer şekilde, matrisin her bir sütununda bulunan “1” rakamlarının toplamı ise, söz konusu sütunla ilişkili değişkenin bağımlılık gücünü ifade etmektedir. Böylelikle MICMAC analizi, her bir değişkenin görece önemini görselleştirilerek değerlendirilmesine imkân tanımaktadır (Vimal vd., 2022: 465). Engellere ilişkin etki ve bağımlılık seviyeleri Tablo 11’de verilmiştir.

gücüne sahip değişkenlerin yer aldığı kümeye göstermektedir. Bu nedenle küme unsurlarının diğer değişkenlerle pek bir ilişkisi bulunmamaktadır. Bu küme içerisindeki değişkenlerin sistemden bağımsız bir şekilde ele alınması gerekliliği önemini korumaktadır. Şekil 3 incelendiğinde, sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu (E09) engelinin otonom unsurlar kümesi içerisinde yer aldığı görülmektedir.

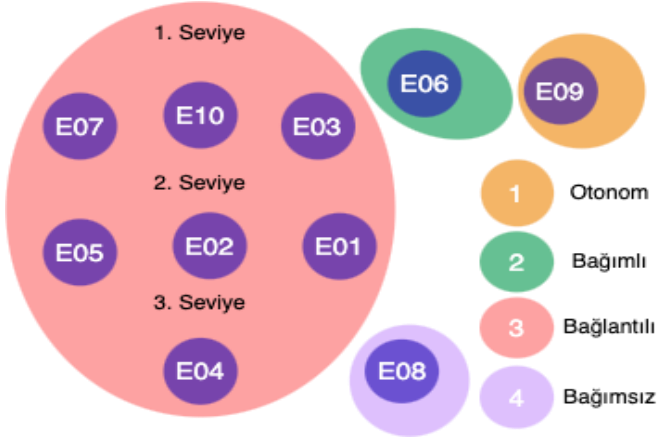
Bağımlı unsurlardan oluşan ikinci küme, zayıf etki ve yüksek bağımlılık gücüne sahip olan değişkenleri içermektedir. Yüksek bağımlılık, değişkenlerin neredeyse diğer tüm değişkenlere bağımlı olduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle bu kümede yer alan değişkenlerin dikkate alınan diğer değişkenlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini fakat bu değişkenler üzerindeki etkilerinin zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu değişkenlerin diğerleri üzerinde görece etki düzeyi düşüktür. Şekil 3’e göre, tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06) engelinin bağımlı unsurlardan oluşan ikinci kümeye dahil olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bağımlı unsurların bulunduğu üçüncü küme, yüksek etki

ve bağımlılık gücüne sahip olan değişkenlerden oluşmaktadır. Bir başka deyişle, bu değişkenler diğer değişkenleri etkileyip diğer değişkenler ile önemli ölçüde birlikte hareket etme kabiliyetine sahiptir. Dolayısıyla hiyerarşik yapıdaki seviyelerine bakılmaksızın bu hassas faktörlere odaklanılması diğer engellerin çözüme kavuşturulması açısından oldukça önemlidir. Şekil 4'te Endüstri 4.0 teknolojilerinin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (ROI) endişeleri (E01), Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu potansiyel hakkında yetersiz bilgi (E02), kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması (E03), Endüstri 4.0 teknolojilerine aciliyet duyulmaması (E04), geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımları (E05), dijital okuryazarlığın yetersizliği (E07) ve Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları (E10) engellerinin bu bölgede kümelendiği anlaşılmaktadır.

Bağımsız unsurları içeren son küme, etki gücü yüksek ancak bağımlılık gücü düşük değişkenlerden meydana gelmektedir. Daha net bir ifadeyle, bu kümede bulunan değişkenlerin diğer değişkenleri etkilediği ancak onlardan neredeyse hiç etkilenmediği bilinmektedir. Bu durum, bu değişkenleri çözüme kavuşturulması öncelikli engeller olarak nitelendirmektedir. Şekil 4'te bağımsız unsurları içeren son kümede eğitim olanaklarının eksikliği (E08) engelinin yer aldığı görülmektedir.

**Şekil 4.** YYM ve MICMAC Analizi Sonuçlarının Birleşik Gösterimi



Şekil 4, YYM ve MICMAC yaklaşımlarının ortak sonuçlarının daha açık bir şekilde gözlemlenebilmesi amacıyla yazarlar tarafından oluşturulmuştur. Bu gösterimde yer alan yatay çizgi aralıkları YYM analizinde ulaşılan hiyerarşik seviyeyi izah ederken numaralar ve renkler ile ayrılmış kısımlar ise MICMAC analizinin kategorilerini belirtmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, YYM analizi sonuçlarına göre, kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması (E03), tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06), dijital okuryazarlığın yetersizliği (E07), sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu (E09) ve sektör çalışanlarının Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları (E10) engellerinin birinci hiyerarşik seviyede konumlandığı gözlemlenmektedir. Birinci hiyerarşik

seviyede bulunan bu engellerin MICMAC analizi sonucunda, tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06) engelinin bağımlı, sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu (E09) engelinin otonom, kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması (E03), dijital okuryazarlığın yetersizliği (E07) ve sektör çalışanlarının Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları (E10) engellerinin bağlantılı unsurlar kümelerinde yer aldığı görülmektedir. Hiyerarşinin ikinci seviyesinde bulunan geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımları (E05), Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu potansiyel hakkında yetersiz bilgi (E02) ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (ROI) endişeleri (E01) engellerinin tümünün bağlantılı unsurlar kümesinde kategorize olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak, üçüncü ve en alt hiyerarşik seviyede bulunan Endüstri 4.0 teknolojilerine aciliyet duyulmaması (E04) ve eğitim olanaklarının eksikliği (E08) engellerinin ise sırasıyla bağlantılı ve bağımsız unsurlar kümelerine dahil olduğu dikkat çekmektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Dünya genelindeki güncel ekonomik gelişmeler, birçok endüstrinin marjları artırmak ve operasyonları iyileştirmek gibi faydaların yanı sıra, mevcut konumlarını koruyabilmek adına dijital teknolojilere olan yönelimlerini her geçen gün artırmaktadır. Bilindiği üzere, tedarik zinciri boyunca çeşitli endüstrilerdeki teknolojik ilerlemelerin aksine küresel ticaret ve tedarik zincirinde kritik konumuna rağmen konteyner taşımacılığı sektöründe dijital teknolojilerle entegrasyon emekleme aşamasındadır. Benzer durumdan yakınan kimi araştırmacılar, sektörün diğer endüstriler ile eş düzeyde dijitalleşme seviyesine ulaştırılması gerekliliğine dikkat çekmektedir (Sanchez-Gonzalez vd., 2019). Dolayısıyla tam da bu noktada, konteyner taşımacılığı sektörünün Endüstri 4.0 yolculuğunda ihtiyaç duyulan esnekliğe ulaşılması amacıyla dijital dönüşümü sektöre uğratan güçlüklerin belirlenmesi ve çözüme kavuşturulması gerekliliği gündeme gelmektedir. Bu ihtiyaç doğrultusunda gerçekleştirilen çalışma kapsamında, Türk konteyner taşımacılığı sektöründe dijital dönüşümün önündeki engellerin tespit edilmesi, engeller arasındaki yapısal ilişkilerin ortaya çıkarılması ve engellerin giderilmesine ilişkin çeşitli öneriler sunulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Endüstri 4.0 çatısı altındaki dijital teknolojilerin konteyner taşımacılığı sektöründe uygulanmasının önündeki engeller tespit edilmiş, bu engeller arasındaki yapısal ilişkiler açıklığa kavuşturulmuş, engeller etki-bağımlılık düzeylerine göre sınıflandırılmış ve engellerin aşılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Engelleri belirleme ve engeller arasında bağlamsal ilişkilerin kurulabilmesi için YYM ve MICMAC yaklaşımları temel alınmıştır.

Yorumlayıcı yapısal modelleme analizinin ilk aşamasında belirlenen 10 engel; “Endüstri 4.0 teknolojilerinin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi (ROI) endişeleri (E01)”, “Endüstri 4.0 teknolojilerinin sunduğu potansiyel

hakkında yetersiz bilgi (E02)”, “kurumlar arası şeffaf bilgi akışının olmaması (E03)”, “Endüstri 4.0 teknolojilerine aciliyet duyulmaması (E04)”, “geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımları (E05)”, “tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06)”, “dijital okuryazarlığın yetersizliği (E07)”, “eğitim olanaklarının eksikliği (E08)”, “sektör paydaşları arasındaki güç dengesizliğinin neden olduğu haksız rekabet durumu (E09)”, “sektör çalışanlarının Endüstri 4.0 teknolojilerine yeterince hâkim olmamaları (E10)” şeklinde tespit edilmiştir.

Yorumlayıcı yapısal modelleme analizinin ikinci aşamasında, tespit edilen engeller arasındaki bağlamsal ilişkiler incelenmiştir. Gerçekleştirilen yorumlayıcı yapısal modelleme analizinin neticesinde tüm engeller üç hiyerarşik seviyeye ayrılmıştır. E03, E06, E07, E09 ve E10 engelleri aynı erişilebilirlik ve kesişim kümesine sahip olduklarından dolayı hiyerarşik yapı içerisinde en üst seviyede yer alan temel engeller olarak tespit edilmiştir. Birinci seviyede bulunuyor olmaları, bu engellerin alt seviyelerde yer alan diğer faktörlerden etkileniyor veya bu faktörlerle birlikte hareket ediyor olabileceğini göstermektedir. Birinci hiyerarşik seviyede bulunan engellerin MICMAC analizi sonuçlarına göre ise, engel E06 yüksek bağımlılık düzeyine sahip bağımlı unsurlar kümesine dahil olmuştur. Bu durum E06 engelinin diğer değişkenlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini fakat bu değişkenler üzerindeki etkilerinin zayıf olduğunu göstermektedir. Ancak E09 engeli, zayıf etki ve zayıf bağımlı unsurlar kümesi içerisinde yer almıştır. E09 engelinin diğer faktörlerle pek bir ilişkisi olmaması E09 engelinin gizil yapısının diğer engellerden bağımsız bir şekilde açığa çıkartılması gerekmektedir. Öte yandan, ilk hiyerarşik seviyenin diğer faktörleri E03, E07 ve E10, yüksek etki ve bağımlılık düzeyine sahip bağlantılı unsurlar bölgesinde kümelenmiştir. Bu faktörler, hiyerarşinin alt seviyelerindeki diğer engeller ile önemli ölçüde birlikte hareket etme kabiliyetine sahiptir. Ancak hiyerarşinin ilk seviyesinde bulunmalarından dolayı bu engeller çözüme kavuşturulma sürecinde alt seviyedeki engellere oranla şiddetli bir öncelik arz etmemektedir. Literatürde söz konusu engelleri gün yüzüne çıkaran çalışmalara rastlamak mümkündür. Tedarik zinciri paydaşları arasındaki güç dengesizliği; Zeng vd. (2020), şeffaf bilgi akışının sağlanamaması; Meyer ve Santos (2023) tarafından ortaya konulmuş olan denizcilik endüstrisinde dijital teknolojilerinin benimsenmesi önündeki kritik engellerdir. Balcı ve Sürücü Balcı (2021) konteynerli uluslararası ticarete, Nguyen vd. (2023) konteyner nakliye hizmet sağlayıcıları arasında blok zincir benimsenmesi karşısında teknolojilerin yeterince olgunlaşmaması engelinin önemini vurgulamıştır. Diğer bir yandan, dijital okuryazarlık yetersizliği ve çalışanların Endüstri 4.0 teknolojilerine hâkim olmaması engelleri ise, Zhang ve Lam (2019), Kumar Dadsena ve Pant (2023) ve Govindan vd. (2023) çalışmalarında sırasıyla denizcilik endüstrisi, tedarik zinciri paydaşları ve kurumsal şirketler çerçevesinde dijital teknolojilerin benimsenme sürecindeki çözüme

kavuşturulması gerekli engeller olarak gündeme getirilmiştir.

İkinci seviye bölümlenme işlemi sonucunda E01, E02 ve E05 engellerinin YYM hiyerarşisi içerisinde ikinci seviyede konumlandığı görülmüştür. Yineleme süreci E04, E08 engellerinin hiyerarşik yapı içerisinde üçüncü ve en alta bulunan son seviye elde edilince son bulmuştur. MICMAC analizine göre ise, E08 engeli yüksek etki düşük bağımlılık düzeyini belirten bağımsız unsurlar kümesinde yer almış, E01, E02, E05, E04 engelleri ise, etki ve bağımlılık düzeyi yüksek olan bağlantılı unsurlar kümesine dahil olmuştur. Mevcut literatür incelendiğinde bulguların literatür kapsamındaki çalışmalarla tutarlı olduğu görülmektedir. Tijan vd. (2021) işletmelerde dijital dönüşüm karşısında, Lin (2023) ise denizcilik endüstrisinde blok zincir uygulamalarının önünde birer engel olarak dijital teknolojilerin yüksek uygulama riskleri ve yatırım getirisi endişeleri ile dijital teknolojilerin sunduğu potansiyel hakkındaki bilgi eksikliklerine dikkat çekmiştir. Öte yandan Agrawal vd. (2019) dijital tedarik zincirinin benimsenmesinde teknolojilere yönelik aciliyet duygusunun olmamasına değinmiştir. Gupta vd. (2022) eğitim tesislerinin eksikliğini tedarik zinciri lojistiğinin dijitalleşmesini engelleyen yenilikçi teknolojilerin önündeki engellerden biri olarak belirtmiştir. Son olarak, Raza vd. (2023) denizcilik endüstrisinin dijitalleşme sürecinde çeviklik eksikliğinin olumsuz rolünü vurgulamıştır.

YYM hiyerarşisinin alt seviyelerinde yer alan ve MICMAC analizine göre etki düzeyi en yüksek olan E01, E02, E04, E05 ve E08 faktörlerinin diğer engellerin olumsuz etkilerini artırma ve kök neden olarak hareket etme potansiyeli göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur. Örneğin, konteyner hatları boyunca Endüstri 4.0 teknolojilerine herhangi bir aciliyet duyulmaması (E04) ve eğitim olanaklarının eksikliği (E08), sektörde halihazırda geleneksel (çevik olmayan) proje yönetimi yaklaşımlarının (E05) sürdürülmesine yol açacak ve dolayısıyla tercih edilen teknolojilerin yeterince yaygınlaşmaması (E06) engeli önemini korumaya devam edecektir. Tam tersi, Endüstri 4.0 teknolojileri kapsamında eğitim olanaklarının geliştirilmesi, Endüstri 4.0 teknolojilerine sahip olma güdüsünü tetikleyecek bu sayede geleneksel proje yaklaşımları terk edilerek çevik yaklaşımlar benimseniyor olacak nihayetinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin olgunlaşma aşamasında önemli bir yol kat edilecektir. Dolayısıyla, alt hiyerarşik seviyede ve etki gücü yüksek olan bu engellerin çözümü hususunda öncelikli bir çaba sarf edilmesi elzemdir. Özet olarak, temel engellerin ortadan kaldırılma sürecinde, etkilenme ya da birlikte hareket etme olasılığı daha kuvvetli olan yüksek itici ve bağlantı gücüne sahip aynı zamanda YYM’ nin daha alt seviyelerinde yer alan engellerin çözüme kavuşturulmasına şiddetli öncelik verilmesi önem arz etmektedir.

Konteyner taşımacılığı bugünlerde daha uygun navlun, uçtan uca görünürlük ve düşük emisyonlu yük taşımacılığı talepleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bugünün taleplerinin ivedi bir şekilde mukavemetini yitirebileceği türbülanslı

çevre koşullarına karşı direnç sağlayabilmek; dijital teknolojilere ayrılan kaynak ve paydaşlarla geliştirilen sıkı ilişkilerle doğru orantılıdır. Konteyner taşımacılığında önemli sayıda heterojen paydaş faaliyet göstermektedir. Bunların birçoğu ya yeni teknolojilerin potansiyelinin farkında olmamakta veya bu teknolojilerin getirileriyle ilgili endişeler duymaktadır (Raj vd., 2020; Jena ve Patel, 2022). Zeng vd.'nin (2020) bulguları, kuruluşlar arasında bilgi sistemlerinin benimsenmesinin tedarik zinciri ticaret ortaklarının gücünden büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Belirgin bir şekilde hakimiyeti yüksek olan paydaşlar, gidişata yön vermekte ve sektör içerisinde güç dengesizliklerine yol açmaktadır. Öte yandan paydaşlar arasında yaygın bir şekilde entegre olmayan bilgi sistemleri kullanılmakta nitekim şeffaf bilgi akışı önemli bir direnç ile karşı karşıya kalmaktadır (Jović vd., 2022: 1; Papathanasiou vd., 2020: 934). Oysa yeni teknolojilerin sunduğu fırsatları stratejik planlamaların bir parçası haline getirebilme yolunda bilginin dolaşım kısıtlarından muaf olması kaçınılmazdır. Tijan vd.'nin (2021) tespitleri de kurumlar arası veri alışverişinin etkin bir şekilde yönetilmesi yönündedir. Bu noktada Tijan vd. (2021) müşteri ve paydaş katılımına duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır. Gerek müşteriler gerek tedarikçiler ve hatta rakiplerle temaslarda bulunmak, kurum içinde başarılı dijital girişimlere imza atmanın önemli bir adımudur. Mevcut koşullar, bu türden girişimlerin yalnızca kurumların kendi bünyesi etrafında elde edilebileceği fikrine meydan okumaktadır. Dolayısıyla denizcilik endüstrisi paydaşları arasında yenilikçi teknoloji, bilgi, fikir ve deneyimlerin paylaşıldığı kuluçka merkezleri ve hızlandırıcı programlara kaynak sağlanarak açık inovasyon modeli benimsenmelidir. Açık inovasyon modeline hazırlık sürecinde, sektördeki güç dengesizliklerinden kaynaklanan haksız rekabete maruz kalan dezavantajlı paydaşların haklarının korunması ve bu paydaşların iş birliğine katılımını teşvik edecek girişimler göz önünde bulundurulmalıdır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü üyesi ülkeler, uluslararası deniz yolu taşımacılığında kaynaklanan sera gazı emisyonunu 2050 yılına kadar 2008 yılındaki seviyelere kıyasla en az %50 oranında azaltmayı taahhüt ederek bu hedefe yönelik ilerlemelerde teknolojinin rolünün altını çizmektedir (WEF, 2020: 14). Düşük emisyonlu yük taşımacılığına yönelik benzer nitelikteki tüm temaslara, deniz yolu taşımacılığı bağlamında daha katı düzenlemelerle karşılaşılmaması mümkün kılmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzenleyici kuruluşların ortaya koyduğu yasal gereklilikler dahilinde konteyner taşımacılığında emisyon sınırlamalarına benzer bir şekilde minimum teknolojik yeterlilik uygulamasına başvurulmalıdır. Bu sayede sektördeki yerleşik kalıpların yıkılması ve zorunlu bir şekilde de olsa dijital teknolojilerin daha yaygın hale gelmesine imkân tanınmış olacaktır.

Endüstri 4.0 teknolojilerine adaptasyon bir dizi yetenek ve uzmanlık gerektiren karmaşık bir süreçtir. Agrawal vd. (2019) tarafından ifade edildiğine göre, tedarik zincirinin dijital teknolojilerle donatılmasındaki kritik unsurlardan biri

dijital beceri ve yeteneklerin eksiksiz olmasıdır. Bu bağlamda dijital teknolojilerin sunmuş olduğu fırsatları hayata geçirmek, kuruluşlar içerisinde değer yaratmaktan sorumlu olan dijital okuryazarlığı yüksek, nitelikli insan kaynağı ile mümkün hale gelecektir. Konteyner hatlarında faaliyette bulunan kuruluşlar, daha sonra ana kuruluşa aktarılabilirler, yeni çözümler yaratmaya odaklanan bağımsız bir iş birimi oluşturarak dijital dönüşümden sorumlu bir komuta merkezi inşa etmelidir. Dijital beceri ve bilgilerin kuruluş bünyesinde içselleştirilmesinin yanı sıra dönüşümün tam anlamıyla bu komuta merkezinden icra edilmelidir. Stratejik düzeyde karar alma gücü ve optimum bütçe ile donatılan bu merkez; dijital okur yazarlığı bir işe alım veya yükselme kriteri haline getirme vb. gibi insan kaynakları politikalarını dönüşüm doğrultusunda güncelleme, kuruluş kapsamında dijitalleşmeyi destekleyecek yeni davranış eğilimleri geliştirme, temel performans kriterleri belirleme ve tüm departmanlar arasında şeffaf ilişkiler geliştirme gibi çeşitli görevlere liderlik etmelidir.

Bağımsız iş birimi olan komuta merkezleri, kimi kurumlar içinde yerleşmiş monolitik düşünme biçiminden ve geleneksel proje yönetimi anlayışından uzak bir şekilde, küçük çaplı deneylerin eş zamanlı ve kuruluştan bağımsız olarak gerçekleştirilerek yarattığı değerlerin daha etkin ölçülebilmesine olanak sağlayacaktır. Bu sayede fonlama açısından değerli projeler arasından değersizlerin saptanarak portföyden çıkarılması da öngörülebilir bir hal alacaktır. Tijan vd. (2021) ve Raza vd. (2023), deniz yolu taşımacılığı sektöründe başarılı bir dijital dönüşüme ulaşmanın organizasyonel çeviklikle ilişkili olabileceğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla dijital dönüşüm yolundaki bu küçük çaplı ve çevik proje denemeleri gün geçtikçe daha büyük bir sinerji ortaya çıkaracaktır. Ayrıca devasa yatırım gerektirmeyen bu mini denemeler yeni teknolojilerin potansiyel getirileri hakkında mevcut endişeleri hafifletecektir. Tüm bunların daha da ötesinde, komuta merkezi bünyesinde bir teknoloji akademisi kurularak, oyunlaştırma ve interaktif yaklaşımlar, çalışma ortamında çevrimiçi eğitim kaynakları, kolay kullanım odaklı ara yüz tasarımları vb. gibi eğitim ve kullanıcı dostu araçlar geliştirilmeli ve bu sayede işgücünün teknolojiye daha etkin bir şekilde entegre olması desteklenmelidir.

Bu çalışmadan elde edilen bulguların Endüstri 4.0 teknolojilerini konteyner taşımacılığı sektörüne entegre etme çabalarındaki paydaşlar için değerli bir referans olması beklenmektedir. Mevcut literatür, paydaşların eğitim ve müfredatı ilişkin bir takım endişe ve eksikliklerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Govindan ve Arampatzis (2023), çeşitli kuruluşların Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik eğitim programları planlamalarını bir yük olarak gördüklerini ve söz konusu uygulamalarda çekimsiz bir tavır sergilediklerini ifade etmiştir. Yuen (2022) ise, deniz yolu taşımacılığı müfredatının dijital çağa adapte edilmesi gerekliliğini vurgulayarak, gelecekte ilgili yetkinliklerden yoksun bir işgücüyle karşı karşıya kalınmaması için eğitimin önemine dikkat çekmiştir. Benzer

endişe ve eksiklikleri aşmak amacıyla, sektör paydaşları, akademisyenler ve politika yapımcıların dahil olduğu Endüstri 4.0 odaklı uygulamalı Ar-Ge ve eğitim programlarını planlama sürecinde iş birliğine dayalı girişimlerde bulunulmalıdır. Bu bağlamda Endüstri 4.0 merkezli uygulamalı Ar-Ge projeleri teşvik edilmeli, Endüstri 4.0 gereklilikleriyle uyumlu müfredat geliştirilerek eğitim olanaklarının tesis edilmesi için el ele verilmelidir. Deniz yolu taşımacılığı müfredatını planlama sürecinde, teknoloji sağlayıcıları, finansal hizmetler ve sigorta sektörleri gibi çeşitli denizcilik endüstrisiyle ilişkili aktörlerle iş birliği içerisinde gerekli becerilerin üzerinde durulmalıdır. Dijital teknolojilere ilişkin yetkin kuruluşların denizcilik endüstri müfredatına yeni bilgi alanları olarak dahil edilmesi, bu endüstrinin ihtiyaç duyduğu dijital yetkinlikler hakkında bilinçli ve eğitilmiş bir işgücünün yetiştirilmesiyle sonuçlanacaktır.

Ek-1'de konteyner taşımacılığı sektöründe deneyimli sektör uzmanları ve deniz yolu taşımacılığında uzman akademisyenlerin mevcut çalışma kapsamında tespit edilmiş olan engellerin çözüme kavuşturulmasına yönelik çeşitli önerileri derlenmiştir. ([Eklere ulaşmak için tıklayınız.](#))

#### *Çalışmanın Kısıtları*

Çalışma kapsamında geniş bir bakış açısı yakalamak ve bireysel önyargıların genel sonuçlar üzerindeki etkisini en aza indirmek amacıyla uzmanların belirlenmesinde farklı kuruluşlardan farklı bakış açılarına ve uzmanlık alanlarına sahip temsili bir örneklemin seçilmesine özen gösterilmiştir. Oldukça çeşitliliğe sahip bir grupta bile bazı önyargıların mevcut olabileceği düşüncesiyle YYM değerlendirmelerinin taraflı olabilme ihtimali önemli bir kısıt olarak geçerliliğini korumaktadır. Öte yandan uzmanların seçim sürecinde konteyner taşımacılığı alanındaki deneyimleri önemli bir kriter olarak dikkate alınmış, liman işletmeleri, politika yapımcılar, gümrük idarecileri ve dijital teknoloji uzmanları vb. gibi konteyner hatlarının farklı paydaşları temsili örneklem kriterleri arasına dahil edilmemiştir. Bu durumun belirlenen engeller arasındaki olası tüm ilişki ve bağlantıları keşfetmede sınırlamalara yol açabileceği varsayılmaktadır.

#### *Gelecekteki Araştırmalar için Tavsiyeler*

Konteyner taşımacılığında dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaşmasının verimlilik, güvenlik, şeffaflık ve kaynak tasarrufu açısından sunduğu birçok avantajın yanı sıra veri istismarı, siber saldırı vb. gibi çeşitli risklerin de bulunduğu unutulmamalıdır (Fruth ve Teuteberg, 2017: 19). Dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bilgi ve ekonomi alanında ortaya çıkan ahlaki ve etik sorunlar eleştirel yaklaşımlara neden olmaktadır (Bendel, 2015: 743). 2020 yılında, Maersk ve MSC gibi sektör öncüleri, milyonlarca dolara mal olan siber saldırılara maruz kalmıştır (WEF, 2020: 34). Benzeri vakalar, yeni teknolojilere karşı şüpheli yaklaşımlara yol açmaktadır. Bu açıdan bakıldığında dijitalleşme, ele alınması gereken zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Gelecekteki çalışmalar, konteyner taşımacılığı kapsamında dijital yetkinlikler, siber güvenlik, dijital güven, ahlaki ve etik durumlar, veri mahremiyeti, teknolojiler arası adaptasyon ve olası zarar durumlarını telafi edebilme gibi risk ve sigortacılık temalı faktörleri de dikkate almalıdır. Son olarak, bu çalışmada önerilen yorumlayıcı yapısal modelin eşitlik modellemesi kullanılarak istatistiksel olarak daha güçlü bir şekilde doğrulanması tavsiye edilmektedir.

#### **Kaynakça**

- Agrawal, N. M. (2019). Modeling Deming's quality principles to improve performance using interpretive structural modeling and MICMAC analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(7), 1159-1180. <https://doi.org/10.1108/IJQR-07-2018-0204>
- Agrawal, P., Narain, R., & Ullah, I. (2019). Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*, 15(1), 297-317. <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0066>
- Altuntaş Vural, C., Roso, V., Halldórsson, Á., Ståhle, G., & Yaruta, M. (2020). Can digitalization mitigate barriers to intermodal transport? An exploratory study. *Research in Transportation Business & Management*, 37, 100525. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100525>
- Aracıoğlu, B. (2022). Türkiye'de Konteyner Limanlarının Etkinlik Analizi. Ankara: Akademisyen Kitabevi A.Ş.
- Attri, R., Dev, N., & Sharma, V. (2013). Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An Overview. *Research Journal of Management Sciences* 2(2), 3-8.
- Balci, G. (2021a). Digitalization in Container Shipping Services: Critical Resources for Competitive Advantage. *Journal of ETA Maritime Science*, 9(1), 3-12. <https://doi.org/10.4274/jems.2021.47364>
- Balci, G. (2021b). Digitalization in container shipping: Do perception and satisfaction regarding digital products in a non-technology industry affect overall customer loyalty? *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121016. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121016>
- Balci, G., & Surucu-Balci, E. (2021). Blockchain adoption in the maritime supply chain: Examining barriers and salient stakeholders in containerized international trade. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, 102539. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102539>
- Beloor, V., Nanjundeswaraswamy, T. S., Swamy, D. R., Aishwarya, S. P., & Bharath Gowda, N. (2022). Modeling facilitators of sustainable manufacturing practices – An integrated Pareto, ISM and MICMAC approach. *Materials Today: Proceedings*, 66, 2642-2649. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.227>



- Bendel, O. (2015). Die Industrie 4.0 aus ethischer Sicht. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(5), 739-748. <https://doi.org/10.1365/s40702-015-0163-z>
- Bernhofen, D. M., El-Sahli, Z., & Kneller, R. (2016). Estimating the effects of the container revolution on world trade. *Journal of International Economics*, 98, 36-50. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2015.09.001>
- Brunila, O.-P., Kunnaala-Hyrkki, V., & Inkinen, T. (2021). Hindrances in port digitalization? Identifying problems in adoption and implementation. *European Transport Research Review*, 13(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00523-0>
- Cichosz, M., Wallenburg, C. M., & Knemeyer, A. M. (2020). Digital transformation at logistics service providers: Barriers, success factors and leading practices. *The International Journal of Logistics Management*, 31(2), 209-238. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>
- Cil, A. Y., Abdurahman, D., & Cil, I. (2022). Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z>
- Coronado Mondragon, A. E., Coronado Mondragon, C. E., & Coronado, E. S. (2017). ICT adoption in multimodal transport sites: Investigating institutional-related influences in international seaports terminals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 69-88. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.01.014>
- Coşar, A. K., & Demir, B. (2018). Shipping inside the box: Containerization and trade. *Journal of International Economics*, 114, 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2018.07.008>
- Çalışkan, A. (2020). Akıllı liman dönüşümünde zorlukların yorumlayıcı yapısal modelleme ile değerlendirilmesi. *Beykoz Akademi Dergisi*, 8(1), 305-320. <https://doi.org/10.14514/BYK.m.26515393.2020.8/1.305-320>
- Del Giudice, M., Di Vaio, A., Hassan, R., & Palladino, R. (2022). Digitalization and new technologies for sustainable business models at the ship-port interface: A bibliometric analysis. *Maritime Policy & Management*, 49(3), 410-446. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1903600>
- Del Rosal, I., & Moura, T. G. Z. (2022). The effect of shipping connectivity on seaborne containerised export flows. *Transport Policy*, 118, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.01.020>
- Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>
- Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2013). Embracing Digital Technology. MIT Sloan Management Review. <https://sloanreview.mit.edu/projects/embracing-digital-technology/>
- Fruth, M., & Teuteberg, F. (2017). Digitization in maritime logistics—What is there and what is missing? *Cogent Business & Management*, 4(1), 1411066. <https://doi.org/10.1080/23311975.2017.1411066>
- Gahlot, N. K., Bagri, G. P., Gulati, B., Bhatia, L., Barat, S., & Das, S. (2023). Analysis of barriers to implement green supply chain management practices in Indian automotive industries with the help of ISM model. *Materials Today: Proceedings*, 82, 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.146>
- Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>
- Gupta, H., Yadav, A. K., Kusi-Sarpong, S., Khan, S. A., & Sharma, S. C. (2022). Strategies to overcome barriers to innovative digitalisation technologies for supply chain logistics resilience during pandemic. *Technology in Society*, 69, 101970. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101970>
- Han, H., Liu, Z., Wang, X., & Li, S. (2021). Research of the Relations Among Cloud Computing, Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Block Chain and Their Application in Maritime Field. *Journal of Physics: Conference Series*, 1927(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1927/1/012026>
- Hangl, J., Krause, S., & Behrens, V. J. (2023). Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in SCM. *Technology in Society*, 74, 102299. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102299>
- Headrick, D., (2009). *Technology: A World History*. Oxford University Press.
- Ichimura, Y., Dalaklis, D., Kitada, M., & Christodoulou, A. (2022). Shipping in the era of digitalization: Mapping the future strategic plans of major maritime commercial actors. *Digital Business*, 2(1), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100022>
- Jena, A., & Patel, S. K. (2022). Analysis and evaluation of Indian industrial system requirements and barriers affect during implementation of Industry 4.0 technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120(3), 2109-2133. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08821-0>
- Jović, M., Tijan, E., Vidmar, D., & Pucihar, A. (2022). Factors of Digital Transformation in the Maritime Transport Sector. *Sustainability*, 14(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/su14159776>

- Kumar Dadsena, K., & Pant, P. (2023). Analyzing the barriers in supply chain digitization: Sustainable development goals perspective. *Operations Management Research*, 16(4), 1684-1697. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00351-6>
- Kumar, G., James, A. T., Choudhary, K., Sahai, R., & Song, W. K. (2022). Investigation and analysis of implementation challenges for autonomous vehicles in developing countries using hybrid structural modeling. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122080. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122080>
- Kumar, R., Singh, R. Kr., & Dwivedi, Y. Kr. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- Kumar, S., Raut, R. D., Aktas, E., Narkhede, B. E., & Gedam, V. V. (2023). Barriers to adoption of industry 4.0 and sustainability: A case study with SMEs. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(5), 657-677. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2128217>
- Kumar, S., Raut, R. D., Nayal, K., Kraus, S., Yadav, V. S., & Narkhede, B. E. (2021). To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126023>
- Lorenz-Meyer, F., & Santos, V. (2023). Blockchain in the shipping industry: A proposal for the use of blockchain for SMEs in the maritime industry. *Procedia Computer Science*, 219, 807-814. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.354>
- Magalhães, V. S. M., Ferreira, L. M. D. F., & Silva, C. (2021). Using a methodological approach to model causes of food loss and waste in fruit and vegetable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124574. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124574>
- Mallam, S. C., Nazir, S., & Renganayagalu, S. K. (2019). Rethinking Maritime Education, Training, and Operations in the Digital Era: Applications for Emerging Immersive Technologies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/jmse7120428>
- Malone, D. W. (1975). An introduction to the application of interpretive structural modeling. *Proceedings of the IEEE*, 63(3), 397-404. <https://doi.org/10.1109/PROC.1975.9765>
- Mangla, S. K., Luthra, S., Mishra, N., Singh, A., Rana, N. P., Dora, M., & Dwivedi, Y. (2018). Barriers to effective circular supply chain management in a developing country context. *Production Planning & Control*, 29(6), 551-569. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449265>
- Munim, Z. H., Dushenko, M., Jimenez, V. J., Shakil, M. H., & Imset, M. (2020). Big data and artificial intelligence in the maritime industry: A bibliometric review and future research directions. *Maritime Policy & Management*, 47(5), 577-597. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1788731>
- Nguyen, S., Shu-Ling Chen, P., & Du, Y. (2022). Risk assessment of maritime container shipping blockchain-integrated systems: An analysis of multi-event scenarios. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102764. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102764>
- Nimawat, D., & Gidwani, B. D. (2021). Prioritization of barriers for Industry 4.0 adoption in the context of Indian manufacturing industries using AHP and ANP analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(11), 1139-1161. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1963481>
- Papathanasiou, A., Cole, R., & Murray, P. (2020). The (non-)application of blockchain technology in the Greek shipping industry. *European Management Journal*, 38(6), 927-938. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.04.007>
- Parola, F., Satta, G., Buratti, N., & Vitellaro, F. (2021). Digital technologies and business opportunities for logistics centres in maritime supply chains. *Maritime Policy & Management*, 48(4), 461-477. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1802784>
- Pu, S., & Lam, J. S. L. (2021). Greenhouse gas impact of digitalizing shipping documents: Blockchain vs. centralized systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, 102942. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102942>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Ravi, V., & Shankar, R. (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(8), 1011-1029. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.07.002>
- Raza, Z., Woxenius, J., Vural, C. A., & Lind, M. (2023). Digital transformation of maritime logistics: Exploring trends in the liner shipping segment. *Computers in Industry*, 145, 103811. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103811>
- Razmjooei, D., Alimohammadlou, M., Ranaei Kordshouli, H.-A., & Askarifar, K. (2023). Industry 4.0 research in the maritime industry: A bibliometric analysis. *WMU Journal of Maritime Affairs*.

- <https://doi.org/10.1007/s13437-022-00298-8>
- Reddy, P., Chaudhary, K., & Hussein, S. (2023). A digital literacy model to narrow the digital literacy skills gap. *Heliyon*, 9(4), e14878. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14878>
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662-1687. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>
- Sanchez-Gonzalez, P.-L., Díaz-Gutiérrez, D., Leo, T. J., & Núñez-Rivas, L. R. (2019). Toward Digitalization of Maritime Transport? *Sensors*, 19(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/s19040926>
- Sarkar, B. D., & Shankar, R. (2021). Understanding the barriers of port logistics for effective operation in the Industry 4.0 era: Data-driven decision making. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2021.100031>
- Senna, P. P., Ferreira, L. M. D. F., Barros, A. C., Bonnin Roca, J., & Magalhães, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108428. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108428>
- Shen, L., Song, X., Wu, Y., Liao, S., & Zhang, X. (2016). Interpretive Structural Modeling based factor analysis on the implementation of Emission Trading System in the Chinese building sector. *Journal of Cleaner Production*, 127, 214-227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.151>
- Shou, Y., Zhao, X., Dai, J., & Xu, D. (2021). Matching traceability and supply chain coordination: Achieving operational innovation for superior performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, 102181. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102181>
- Singh, R., & Bhanot, N. (2020). An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2454-2476. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1675915>
- Song, D. (2021). A Literature Review, Container Shipping Supply Chain: Planning Problems and Research Opportunities. *Logistics*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/logistics5020041>
- Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S., & Pucihar, A. (2021). Digital transformation in the maritime transport sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120879. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879>
- Tripathi, S., & Gupta, M. (2019). "Impact of barriers on industry 4.0 transformation dimensions". In: *International Conference on Precision, Meso, Micro and Nano Engineering (COPEN 2019)*, Indore, India.
- Tsolakis, N., Zissis, D., Papaefthimiou, S., & Korfiatis, N. (2022). Towards AI driven environmental sustainability: An application of automated logistics in container port terminals. *International Journal of Production Research*, 60(14), 4508-4528. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1914355>
- Urciuoli, L., & Hintsä, J. (2021). Can digital ecosystems mitigate risks in sea transport operations? Estimating benefits for supply chain stakeholders. *Maritime Economics & Logistics*, 23(2), 237-267. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00163-6>
- T.S., D., & Ravi, V. (2023). An ISM-MICMAC approach for analyzing dependencies among barriers of supply chain digitalization. *Journal of Modelling in Management*, 18(3), 817-841. <https://doi.org/10.1108/JM2-02-2022-0044>
- TÜRKLİM (2022). Türkiye Limancılık Sektörü 2022 Raporu Vizyon 2050. Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (Erişim:01.06.2023) [www.turkklim.org](http://www.turkklim.org)
- UAB (2024). T.C. UAB Denizcilik İstatistikleri, (Erişim: 30.01.2024), <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/yuk-istatistikleri>
- UNCTAD (2018). 50 Years of Review of Maritime Transport, 1968–2018. United Nations Conference on Trade and Development. (Erişim:01.06.2023), <https://unctad.org/publication/50-years-review-maritime-transport-1968-2018-reflecting-past-exploring-future>
- Vimal, K. E. K., Churi, K., & Kandasamy, J. (2022). Analysing the drivers for adoption of Industry 4.0 technologies in a functional paper – cement – sugar circular sharing network. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 459-477. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.006>
- World Economic Forum. (2020). Mapping TradeTech: Trade in Fourth Industrial Revolution. (Erişim:01.06.2023), <https://www.weforum.org/publications/mapping-tradetech-trade-in-the-fourth-industrial-revolution/>
- Wu, W.-S., Yang, C.-F., Chang, J.-C., Château, P.-A., & Chang, Y.-C. (2015). Risk assessment by integrating interpretive structural modeling and Bayesian network, case of offshore pipeline project. *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.06.013>
- Yang, C.-S. (2019). Maritime shipping digitalization: Blockchain-based technology applications, future improvements, and intention to use. *Transportation*

- Research Part E: Logistics and Transportation Review, 131, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.09.020>
- Yıldız Çankaya, S. (2022). Kapalı döngü tedarik zinciri uygulamalarını etkileyen faktörlerin yorumlayıcı yapısal modelleme ve mıcmac yöntemleri ile analizi. *Yönetim Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, 1-25. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1146472>
- Yuen, K. F., Koh, L. Y., Fong, J. H., & Wang, X. (2022). Determinants of Digital Transformation in Container Shipping Lines: A Theory Driven Approach. *Maritime Policy & Management*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2139420>
- Yüksekyıldız, E. (2021). ENTROPİ ve EATWOS yöntemleri ile Türkiye konteyner limanlarının verimlilik analizi. *Verimlilik Dergisi*, (2), 3-24. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.660708>
- Zeng, F., Chan, H. K., & Pawar, K. (2020). The adoption of open platform for container bookings in the maritime supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141, 102019. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102019>
- Zhang, X., & Lam, J. S. L. (2019). A fuzzy Delphi-AHP-TOPSIS framework to identify barriers in big data analytics adoption: Case of maritime organizations. *Maritime Policy & Management*, 46(7), 781-801. <https://doi.org/10.1080/03088839.2019.1628318>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Zanardini, M. (2019). The impacts of Industry 4.0: A descriptive survey in the Italian manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1085-1115. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0269>
- Zhou, F., Lim, M. K., He, Y., Lin, Y., & Chen, S. (2019). End-of-life vehicle (ELV) recycling management: Improving performance using an ISM approach. *Journal of Cleaner Production*, 228, 231-243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.182>
- Zhou, Y., & Yuen, K. F. (2024). A Bayesian network model for container shipping companies' organisational sustainability risk management. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 126, 103999. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103999>
- Zolich, A., Palma, D., Kansanen, K., Fjørtoft, K., Sousa, J., Johansson, K. H., Jiang, Y., Dong, H., & Johansen, T. A. (2019). Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 95(3-4), 789-813. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>

## Extended Summary

### Purpose

The objective of this study is to identify the main barriers to the implementation of Industry 4.0 technologies in the container shipping sector, to clarify the hierarchical relationships among these barriers, to classify the barriers according to their impact-dependency level, and to propose solutions to these barriers. ISM and MICMAC approaches were used to identify the barriers and establish contextual relationships between them.

### Literature Review

A review of the current literature identified numerous studies advocating the use of digital technologies in maritime and container transport. According to Tijan et al. (2021), based on the literature review, the main barriers to digital transformation in maritime transport include 'lack of awareness', 'lack of coordination', and 'heterogeneous organizational structures and lack of cultural integration'. Raza et al. (2023) highlighted the key challenges facing the digitalization of the maritime sector as 'lack of resources and capabilities', 'resistance to change', and 'siloeed functions'. Papathanasiou et al. (2020) have identified 'resistance to change' and 'risk of exposure of shared information' as the main constraints to the adoption of blockchain in Greek maritime transport. Balci and Balci (2021) examined the barriers to blockchain adoption in containerized international trade and identified the most influential of eight obstacles, including lack of support from influential stakeholders, lack of understanding of blockchain, and lack of government regulation. Nguyen et al. (2022) identified the perceived barriers in the process of integrating blockchain applications into the existing business processes of container shipping service providers as 'complexity of implementation', 'lack of legal regulation', and 'technological inadequacy and incompatibility'.

### Methodology

In this study, ISM and MICMAC analysis were employed to identify the structural relationships between the barriers that hinder the implementation of Industry 4.0 technologies in container shipping. ISM is a technique used to elucidate the relationships between variables in the research problem and to explain the hierarchical structure of these relationships (Magalhães et al., 2021: 2). On the other hand, MICMAC analysis is a cross-impact analysis technique that allows the categorization of relevant variables based on their dependency and impact power (Beloor et al., 2022: 2646). Potential barriers were identified through a literature review, and experienced industry experts in the container shipping sector in Turkey and academic experts in maritime transport were consulted to identify critical barriers and reveal structural relationships.

### Conclusion and Discussion

The barriers to the implementing of Industry 4.0 technologies in container shipping are identified as follows:

high implementation risks of Industry 4.0 technologies and return on investment (ROI) concerns (E01), inadequate information on the potential offered by Industry 4.0 technologies (E02), lack of transparent information flow between organizations (E03), lack of urgency in adopting Industry 4.0 technologies (E04), traditional (non-agile) project management approaches (E05), insufficient proliferation of preferred technologies (E06), lack of digital literacy (E07), lack of educational opportunities (E08), unfair competitive situations due to power imbalances among industry stakeholders (E09), inadequate mastery of Industry 4.0 technologies among sector employees (E10).

Following the ISM analysis, the barriers were categorised into three hierarchical levels. Barriers E03, E06, E07, E09, and E10 have been identified as fundamental barriers at the top level within the hierarchical structure, as they share the same accessibility and intersection set. According to the results of the MICMAC analysis, barrier E06 is identified within the dependent cluster, while barrier E09 is classified as autonomous. Barriers E03, E07, and E10 are found within the interconnected cluster.

As a result of the second-level segmentation process, barriers E01, E02, and E05 were positioned at the second level within the ISM hierarchy. The iteration process was completed by reaching the third and lowest level of the hierarchical structure, where barriers E04 and E08 were located. It is important to consider the potential of factors E01, E02, E04, E05, and E08, located at the lower levels of the ISM hierarchy and identified in the MICMAC analysis as having the highest level of impact, to exacerbate the negative effects of other barriers and act as root causes.

In conclusion, ensuring resilience to changing environmental conditions is directly proportional to the resources allocated to digital technologies and the strong relationships developed with stakeholders. The maritime industry should adopt an open innovation model by allocating resources to incubation centers and accelerator programs where innovative technology, knowledge, ideas, and experiences are shared among stakeholders. In the process of moving towards the open innovation model, it is imperative to consider initiatives aimed at safeguarding the rights of disadvantaged stakeholders who are vulnerable to unfair competition due to power imbalances within the industry. Encouraging the participation of these stakeholders in collaborative efforts is essential.

This study serves as a valuable reference and guide for stakeholders involved in efforts to integrate Industry 4.0 technologies in the container shipping sector. It provides the desired interactions between industry, academia, and government stakeholders to remove barriers. Encouraging Industry 4.0-centric applied R&D projects should be prioritized, and joint efforts should be made to establish educational opportunities by developing curricula compatible with Industry 4.0 requirements.