

## AKILLI LİMAN DÖNÜŞÜMÜNDE ZORLUKLARIN YORUMLAYICI YAPISAL MODELLEME İLE DEĞERLENDİRİLMESİ\*

Aylin ÇALIŞKAN<sup>1</sup>

### Öz

Endüstri 4.0, değer yaratan ağlar oluşturmak adına üretim tesislerini, hizmet sistemlerini ve tedarik zincirlerini entegre eden, köklü değişiklikler yaratan yeni bir teknolojik devrimdir. Otomasyon, üretim teknolojileri ve veri değişimi alanlarında yeni bir eğilim olan Endüstri 4.0'ın nesnelerin interneti, yapay zeka, veri yönetimi, ve siber fiziksel sistemler gibi temel unsurlarının, liman ve terminallerde de operasyon süreçlerini ve elleçlenen yük miktarını etkileyeceği belirtilmektedir. Literatür her ne kadar Endüstri 4.0 için farkındalık yaratma, rehber olma ve önemini tartışma konusunda zengin olsa da limancılık sektörü özelinde endüstri 4.0 tartışmaları eksiktir. Bu çalışmanın amacı akıllı liman dönüşümünde muhtemel zorlukları derlemek ve uzman görüşleri neticesinde bu zorluklar arasındaki ilişkiyi Yorumlayıcı Yapısal Modelleme yöntemi ile analiz ederek hiyerarşik bir model oluşturmaktır. Oluşturulan hiyerarşik ilişkiler modeline göre, akıllı liman olma sürecinde yaşanan en önemli zorluklar Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksiklikleri ve personel kaynaklı sıkıntılardır.

**Anahtar Sözcükler:** Dijitalleşme, Endüstri 4.0, Liman hizmeti, Lojistik, Otomasyon

**JEL Sınıflaması:** L91, R40, M10

## EVALUATION OF DIFFICULTIES REGARDING SMART PORT TRANSFORMATION THROUGH INTERPRETIVE STRUCTURAL ANALYSIS

### Abstract

Industry 4.0 is a new technological revolution that creates fundamental changes, integrating production facilities, service systems and supply chains to create value-creating networks. It is stated that Industry 4.0, which is a new trend in the fields of automation, production technologies and data exchange, will affect the operation processes and the amount of cargo handled in ports and terminals, with its core application such as the Internet of Things, Artificial Intelligence, Data Management, and Cyber Physical Systems. Although the literature is rich in raising awareness, guiding and discussing its importance for Industry 4.0, its discussions in the port industry are lacking. The aim of this study is to compile the difficulties in the transition to industry 4.0 applications in the port industry and to analyze the relationship between these difficulties with the Interpretive Structural Modeling method to form a hierarchical model. In the hierarchical relations model, the most important difficulties in the process of being a smart port according to the analysis results are the lack of information about Industry 4.0 and the problems stemming from the personnel.

**Keywords:** Digitalization, Industry 4.0, Port service, Logistics, Automation

**JEL Classification:** L91, R40, M10

\* İlgili çalışmanın özet metninin IV. Ulusal Liman Kongresi'nde sunumu gerçekleştirilmiştir.

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Gör., Yaşar Üniversitesi, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, [aylin.caliskan@yasar.edu.tr](mailto:aylin.caliskan@yasar.edu.tr) , ORCID: 0000-0002-2658-2761

## 1. Giriş

Endüstri 4.0; yerel ve küresel piyasalarda rekabet üstünlüğü elde etmek için dijitalleşme, bulut bilişim, nesnelerin interneti, büyük veri yönetimi gibi teknik unsur ve süreçlerin firmalar tarafından benimsenmesini temsil eden bir kavramdır (Castelo-Branco, 2019: 22). Dijital dönüşüm, iş modellerini, üretim ve pazarlama süreçlerini, kurumsal yönetimi etkilemektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin altyapılarında ve analitik yeteneklerde son on yılda gerçekleşen gelişmeler ile birlikte iş ve yönetim modelleri de değişmeye başlamıştır (Bleicher ve Stanley, 2016:62). Diğer ekonomik sektörlerde olduğu gibi limancılık sektöründe de tüm bu dijitalleşme unsurlarını benimseyebilmek ve hâkim olabilmek; yalın operasyon, verimlilik ve hatasız iş yapabilmekle sonuçlanan rekabet üstünlüğü vadetmektedir. Endüstri 4.0, tedarik zincirinin, üretimin ve hizmetin her aşamasında kendi kendini yönetebilen, entegre olmuş, minimum insan müdahalesiyle çalışan ve merkezi olmayan kararlar alabilen teknoloji, cihaz ve süreçler setidir. Endüstri 4.0'ın sunduğu bu imkanlardan yararlanabilme kabiliyeti limanların çalışanlar, yatırımcılar, müşteriler ve diğer paydaşlarla olan etkileşimini ve pazarda kendilerini nasıl konumlandıracağını da belirleyecektir (Dery vd., 2017:136-140). OECD, Uluslararası Ulaştırma Forumu (ITF), Limanlar ve Deniz Taşımacılığı yöneticisi Olaf Merk, ileride yaşamsal faaliyetini devam ettirebilecek tek liman türünün yer, para, zaman ve doğal kaynaklar konusunda israf etmeyen akıllı limanlar olacağını belirtmiştir (Porttechnology, 2016).

Hızlı bir dijital ortamda rekabet üstünlüğü sağlamak günümüzde limanların ve terminal operatörlerinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Limancılık sektörü uzun zamandır dijitalleşme, otomasyon, büyük veri ve veri paylaşım platformları hakkında kafa yormakta, geleceği şekillendirmede hangi eğilimlerin belirleyici rol oynayacağı hakkında hem ulusal hem global ölçeklerde toplantılar düzenlemektedir (örneğin III. Ulusal Liman Kongresi, İzmir, 2017; Smart Ports & Supply Chain Technologies Conference, Rotterdam, 2018; Smart Ports Summit, Londra, 2019). Teknoloji geliştikçe ve küresel tedarik zincirleri daha dijital hale geldikçe, bu altyapı içerisinde limanların “dijital aktör (node)” olması, yani akıllılaşması konusunda baskılar artmaktadır. Limanlar aynı zamanda denizcilik sektörünün gelecek taleplerini de dikkate almak zorundadır. Örneğin Rotterdam Limanı şimdiden gelecekte hizmet vereceği mürettebatsız, kendi kendine çalışabilen gemiler için hazırlık yapmaktadır.

Akıllı liman, alan yetersizliği, üretkenlik sorunu, mali kısıtlar, güvenlik ve emniyet riskleri ve sürdürülebilirlik gibi zorluk ve sorunların üstesinden gelen ve çözümler barındıran limandır (Deloitte, 2017:03). Günümüzde, limancılık sektöründe otomasyon, dijitalleşme gibi örneklerle rastlasak da bütünüyle akıllı bir liman olabilmenin önünde oldukça zorlu ve uzun bir yol vardır. Hangi teknoloji kullanılmalı, nasıl uygulanmalı ve bütüncül dijital strateji nasıl yönetilmeli gibi sorulara halen cevap aranmaktadır (Deloitte, 2017:03). Bu çalışmanın amacı, bütünüyle akıllı bir liman olabilmenin, yani liman işletmeciliğinde endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki zorlukları derlemek ve bu zorluklar arasında ki ilişkileri, uzman görüşleri neticesinde modellemektir. Geliştirilecek olan model sonrasında zorluklar arasındaki hiyerarşik ilişkiler görülebilecek ve hangi zorlukların öncelikle ele alınması gerektiği, hangi zorlukların diğer zorluklar sonucunda ortaya çıktığı görülebilecek, kısacası bir yol haritası oluşturulacaktır.

## 2. Limancılık Sektöründe Endüstri 4.0

Endüstri 4.0'ın ana özellikleri dört değişkenle tarif edilmektedir (Deloitte, 2015:1): (1) akıllı tüm sistemlerin dikey entegrasyonu, (2) küresel değer yaratan ağlarda yatay entegrasyon, (3) bütün değer zinciri süresince baştan sona mühendislik (through-engineering), (4) akıllı teknoloji ile ivme kazanma. Birinci özellik akıllı üretim tesislerinin, akıllı lojistiğin, pazarlamanın ve diğer akıllı hizmetlerin ihtiyaç odaklı, kişiselleştirilmiş ve müşteriye özel üretim için dikey olarak entegrasyonu ile ilgilidir. İkinci özellik, yani yatay entegrasyon, iş ortakları ve müşteriler arasında entegrasyonu, ülkeler ve bölgeler arası yeni iş ve iş birliği modellerini içermektedir. Üçüncü özellik, baştan sona mühendislik, sadece üretim süreçlerini değil tüm ürün yaşam döngüsünü dikkate almayı vurgular. Dördüncü özellik ise azalan maliyet ve büyüklükleriyle birlikte teknolojiye (örneğin sensör teknolojisi) seri şekilde yararlanarak piyasa uygulamalarında ve hesaplamalarda hız kazanmayı ifade eder.

Bu bölümde yukarıda bahsedilen Endüstri 4.0 temel özellikleri limancılık sektörüne adapte edilerek tartışılacaktır.

### 2.1. Limanlarda Akıllı Sistemlerin Dikey Entegrasyonu

Limanlarda akıllı hizmet/üretim sistemlerinin dikey entegrasyonu için siber fiziksel sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler liman hizmet yönetiminin otonomlaşmasını sağlamasının yanı sıra, aynı zamanda süreç içerisinde gerçekleşen hatalara hızlı bir şekilde cevap verme esnekliği sağlayarak hata giderme yönetimi imkânı sunmaktadır. Limanlarda hata giderme yönetimi elleçleme ekipmanlarının arızalanması, elleçleme tahminlerinin hata paylarının büyük olması, yük giriş/çıkış oranlarının dalgalanma göstermesi ve liman hizmetine olan talepte ani değişiklikler olması durumlarında kritik öneme sahiptir. Siber fiziksel sistemler sayesinde limanlarda yaşanan ve yaşanacak sorunların çözümü yolunda daha hızlı ve etkili cevaplar verilebilecektir. Limanlarda akıllı hizmetlerin dikey entegrasyonu aynı zamanda büyük veriler ve bu verilerin entegrasyonunu gerektirmektedir. Büyük verilerin analiziyle birlikte daha müşteri odaklı, özel ve kişiselleştirilmiş hizmetler verilebilmektedir. Limanlarda müşteri odaklı olmanın ve kişiselleştirilmiş hizmet sunumunun özellikle tarifeli denizyolu taşıyıcılarının memnuniyet ve sadakatindeki önemli payı Caliskan ve Esmer (2019; 2020)'in çalışmalarında ampirik olarak kanıtlanmıştır. Bir konteyner yükü tedarik zinciri boyunca seyahat ederken birçok farklı operatör tarafından elleçlenmekte ve işlem görmektedir. Yük sahipleri ve lojistik hizmet sağlayıcılar yüklerini tüm zincir boyunca izlemek isterler. Konteynerlerinin ne zaman geleceğini, nerede olduğunu, terminalde durumlarının ne olduğunu, herhangi bir gecikme veya aksilik olup olmadığını bilme ihtiyacı duyarlar (Gnimpieba vd., 2015). Bu nedenle, yükü yükleyen veya taşıyanlar, web siteleri, telefon ve elektronik posta aracılığıyla manuel olarak bilgi toplamaktadırlar. Ancak bu bilgiler genelde eksik ve/veya yanlıştır ve hatalı planlamalara ve maliyet artışına sebep olmaktadır. Geliştirilen "Boxinsider" uygulaması, konteynerin faaliyet verilerini çeşitli kaynaklardan almakta, toplayıp derlemekte ve çapraz kontrol yapmaktadır. Bu veriler gemilerden, kara ve deniz terminallerinden toplanmaktadır. Böylece müşteriler sahip oldukları konteynerlerin takibini yapabilmekte, zamandan tasarruf ve operasyonel verimlilik elde etmektedirler. Ayrıca dünyanın en büyük konteyner taşımacılığı firmalarından biri olan Maersk, 2018 yılında soğutmalı konteyner yükü yükleyen veya taşıyanları için "Uzaktan Konteyner Yönetimi" uygulamasını başlatmıştır.

Bu uygulama kapsamında müşteriler 250,000 adet soğutuculu konteynerin konum, sıcaklık ve nem takip ve kontrolünü gerçek zamanlı ve eksiksiz şekilde yapabilmektedir. Liman müşterisi olan bu firmanın gerçekleştirdiği bu proje sayesinde müşteriler konteynerlerinin liman operasyon aşamasında da takibi gerçekleştirebilmektedir. Bu bağlamda tüm tedarik zincirinin hem deniz hem kara ayağında görünürlüğü, izlenebilirliği ve güvenilirliği artırılmış ve müşteri memnuniyeti sağlanmış olmaktadır (Esmer, 2017).

Dijitalleşen limanlarda otonomlaşıma, yani özerk bir karar alma mekanizmasının oluşturulabilmesi için ise akıllı sensör teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Akıllı liman denince akla ilk gelen limanlardan biri olan Rotterdam limanında, denize ve karaya yerleştirilen akıllı sensörler sayesinde gelgit, akıntı, sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, su seviyesi ve rıhtım durumu gibi veriler toplanmakta ve yönetilmektedir (Port of Rotterdam, 2018). Böylece limanda daha güvenli, emniyetli ve verimli trafik yönetimi gerçekleştirilmektedir. Akıllı sensörler ile toplanan bu veriler IBM iş birliğinde bulut tabanlı IoT teknolojileri tarafından analiz edilmektedir. Bu analizler sayesinde gemilerin bekleme sürelerini azaltan, yavaşlama, boşaltma ve yükleme operasyonları için en optimal zamanı belirleyen ve mevcut rıhtım kapasitesinden daha fazla geminin yararlanmasını sağlayan faydalı bir karar alma süreci gerçekleştirilmektedir. Örneğin su seviyesine göre bir geminin en kısa sürede en fazla yük yükleyebileceği veya tahliye edebileceği saat öngörülebilir. Bu uygulamayla birlikte liman operasyonlarına dahil olan tüm aktörler süreci daha verimli hale getirecek şekilde tüm operasyon sürecini aynı anda takip edebilmektedir. Verimliliğin maksimize edildiği bu veri yönetimi ve alınan kararlar ile, gemilerin rıhtımda kalma sürelerinde 1 saate kadar tasarruf sağlanmıştır (Port of Rotterdam, 2018). Daha az kalış süresi aynı zamanda tarifeli denizyolu taşıyıcılarının 80,000 dolar kadar tasarruf etmelerine katkıda bulunmuştur. Rotterdam limanının bu dijital dönüşüm projesinde dikey entegrasyon içerisinde bulunan firmalar, bulut bilişim, IoT teknolojisi, yapay zeka ve büyük veri analizi ile katkıda bulunan IBM, Cisco ve Axians'tır (Port of Rotterdam, 2018).

## 2.2. Limanların Küresel Değer Ağlarına Yatay Entegrasyonu

Küresel boyutta birbiriyle bütünleşmiş yani entegre olmuş akıllı liman ağı oluşturmak Endüstri 4.0'ın ikinci temel özelliğiyle alakalıdır. Böylece global ticaret yollarında verimlilik artacak, maliyetler düşecek ve CO<sup>2</sup> emisyonu azalacaktır.

Geliştirilen teknolojilerde diğer limanlarla iş birliği yapmak, dijital çözümlerin potansiyelini de optimize edecektir. Örneğin Avrupa'nın önde gelen lojistik bölgelerinden olan aşağı Ren nehrinde (DeltaPort) bulunan iç limanlar ile (Orsoy-Voerde-Wesel-Emmerich) ana limanlar (Antwerp, Amsterdam, Rotterdam) arasında hem çevresel etkiyi azaltmak, hem lojistik sistemi daha verimli hale getirmek hem de dijital partnerlik sağlamak adına işbirlikleri yapılmaktadır. 5 Haziran 2019 tarihinde DeltaPort yönetimi ve Rotterdam limanı yönetimi arasında yapısal dijital bilgi değişimi protokolü imzalanmıştır. Bu entegrasyon ile Boxinsider ve mobil OCR gibi dijital uygulamaların ortak kullanımı ile nakliye, transfer, depolama, elleçleme süreçlerinin daha verimli yönetilmesi, intermodal operasyonlarda verimliliğin yükseltilmesi, müşterilere şeffaf hizmet içeriğinin ve güvenilirliğin artırılması hedeflenmektedir (Port of Rotterdam, 2019d).

2017 yılında DP World ile Kazakistan hükümeti arasında Avrasya kıtalar arası ticaret koridorundaha verimli hale getirilmesi için "Liman Topluluk Sistemi" anlaşması yapılmıştır (Container Management, 2017). Bu uygulama sayesinde yük taşımacılığının tüm lojistik süreçlerinin otomatikleştirilmesi ve lojistik merkezler, deniz ve kara limanlarının tek bir taşıma ve lojistik ağı haline getirilmesi amaçlanmaktadır.

Elektronik bir platform olan bu sistemde havayolu, denizyolu, kara nakliye türleri ve limanlar arasında veri ve bilgi alışverişi yapılabilecek, kağıtsız elektronik işlemler gerçekleştirilecek ve multimodal taşımacılık ağı sayesinde gecikmeler, beklemler ve kuyruklar azaltılacaktır.

### **2.3. Limancılık Sektöründe Baştan Sona Mühendislik**

Endüstri 4.0'ın üçüncü özelliği içerisinde birçok disiplini barındıran ve değer zincirinin tüm aşamalarını içeren baştan sona mühendislik veya diğer ifadeyle tümüyle mühendislik ile alakalıdır. Bu mühendislik, hizmet veya ürünün tasarımının yapılması, geliştirilmesi, üretimi ve sunumu aşamalarında sorunsuz bir şekilde işler. Çünkü ana fikir, hizmet veya ürün üretiminde odağın sadece üretim sürecinde değil, aynı zamanda nihai üründe de olması gerektiğidir. Tüm ürün yaşam döngüsü boyunca bütünleşmek adına iş birlikleri yaratır. Örneğin ürün geliştirme sürecinde müşteriyle bağlantı kurulur.

Liman hizmetinin gerçekleştirilmesinde gerekli tüm aktörlerin senkronize olması bu özellik ile ilgilidir. Açık iletişim ve iş birliğini ilerletmek için iç ve dış tedarikçiler ilişki içerisinde olmalıdır. Bu yaklaşım ile birlikte liman hizmet yaşam döngüsünde yer alan tüm taraflara sorumluluk yüklenmiş olur. Veri ve bilgi tüm tedarik zincirinin ve liman hizmet yaşam döngüsünün yönetilmesi süresince kilit rol oynar. Yeni ve esnek süreçler oluşturulmasına yardım eder.

Günümüz lojistik ağları merkezi olmayan ve genelde küçük ve orta ölçekli firmalardan oluşan ağlardan oluşmaktadır. Örneğin bir konteynerin denizyoluyla nakliye operasyonu ortalama 28 adet aktör içermektedir ve bu aktörler konteynerin gideceği yere ulaşip ulaşmadığının kontrolü için toplam 200 kere veri alışverişinde bulunmaktadır (Port of Rotterdam, 2019c). Bu süreçte verimliliğin, iş birliğinin ve güvenin geliştirilmesinde Blockchain önemli katkıda bulunacaktır. Blockchain ile ticaret platformu daha güvenli ve verimli hale gelirken, akıllı sözleşmeler (örneğin konşimento) ile de ticaret otomatikleştirilebilecektir.

### **2.4. Limancılık Sektöründe Teknolojiyle İvme Kazanma**

Limanlarda teknolojinin katalizör olarak kullanıldığı birkaç örnek vardır. Limanlarda dijital dönüşümün en güncel örneği Konteyner 42 (Container 42)'dir. Rotterdam limanında Nesnelere İnterneti Platformu (Internet of Things Platform) tarafından geliştirilen bu aşırı akıllı konteyner, 24 Mayıs 2019 tarihinde 2 yıllık veri toplamak üzere Rotterdam limanından yola çıkmıştır. Bu yolculuk sırasında, bir dizi sensör ve iletişim ekipmanı barındıran konteyner; titreşim, eğim, konum, ses, hava kirliliği, nem ve sıcaklık gibi parametrelerdeki değişiklikleri ölçecektir. Toplanan veriler ile nakliye ve lojistik sırasında karşılaşılan zorluklar hakkında bilgi edinilmesi hedeflenmektedir. Konteyner 42 ayrıca bir konteynerin gemi, tren veya kamyon ile belirli bir yolculuk sırasında ne kadar güç üretebileceğini belirlemek için güneş panelleriyle donatılmıştır (Port of Rotterdam, 2019a).

2017 yılında geliştirilen "Navigate" isimli bir uygulama intermodal bağlantı noktaları, taşıyıcılar ve limanlar hakkında fikir vermekte, dünyadaki 550 liman arasında en verimli açık deniz ve kısa yol bağlantılarına genel bir bakış sunmaktadır. Böylece müşteriler tüm tedarik zincirini hızlıca keşfedip, karşılaştırma yapma ve bağlantılar oluşturma imkânına sahip olmaktadır. Ayrıca bu uygulama kalkış ve varış noktalarında göre demiryolu ve iç nakliye seçenekleri de sunmaktadır. Uygulamada bulunan "boş depo planlayıcısı", boş konteynerlerin nerelerde bulunabileceğini de göstermektedir.

Tüm bunlara ilaveten liman bölgesinde faaliyet gösteren firmalar hakkında bilgi veren çevrimiçi bir liman kılavuzu içermektedir. Bu uygulama sayesinde örneğin fiyat teklifi almak için firmalarla kolay şekilde iletişime geçilebilmektedir (Port of Rotterdam, 2019b).

Marport limanı müşterilerine kantar hizmeti, kantar fişi oluşturma ve yazdırabilme, öneri ve şikayet bildirimini, kurumsal bilgilere ulaşma gibi hizmetleri herhangi bir görevliye ihtiyaç duymadan kendi başlarına yapabilmeyi sağlayan özel olarak yazılım içeren kiosk hizmeti sunmuştur. Kiosk projesi ile Marport limanı hem daha hızlı ve kaliteli hizmet sunmakta hem de düşük maliyet faydası elde etmektedir (Self Service Smart Solutions, 2018).

Hızlı bir şekilde büyüyen lojistik endüstrisinde gönderilen yüklere eşlik eden belgeler doğru şekilde hazırlanmamakta, eksik beyanlar ve tutarsızlıklar sebebiyle gönderiler yeniden düzenlenmektedir (Tonn vd., 2019). Dokümantasyon sürecindeki bu aksaklıkların birçoğu fiziksel dokümantasyondan ziyade nesnelere interneti aracılığıyla veri değişimine odaklanarak giderilebilir (Caliskan ve Karaöz, 2019).

Yine Rotterdam limanı yapay zeka tabanlı "Pronto" uygulaması geliştirmiştir. Bu uygulamanın içerdiği denizle ilgili tüm veri ve bilgiler gemilerin varış zamanlarının tahmin edilmesi gibi liman operasyonlarının takip edilmesi, yönetilmesi ve gerekli değişikliklerin yapılmasıyla ilgili deniz taşımacılığı firmalarına, acentelere, terminallere ve diğer tedarikçi ve müşterilere fayda sağlamaktadır.

### 3. Akıllı Liman Dönüşümündeki Zorluklar

Endüstri 4.0 dönüşümünde karşılaşılan zorluklar veya endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki engeller konusu literatürde araştırıldığında ilgili konu hakkında oldukça çok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar uygulama çevresi, kullanılan yöntem ve kullanılan kriterler açısından birbirlerinden farklılık göstermektedir. Varılan sonuçlar ise bazen birbirleriyle tutarlı iken bazen de elde edilen sonuçlar diğer çalışmalardan oldukça farklılık göstermektedir. Örneğin Kamble ve diğerleri (2018), Hindistan'da konuşlanmış üretim firmalarının endüstri 4.0 adaptasyonlarında karşılaştıkları engelleri yorumlayıcı yapısal modelleme ve MICMAC analizi ile değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki nesnelere interneti hakkında bilgi yetersizliği diğer zorlukları en çok etkileme gücüne sahipken, yasal düzenlemeler ise diğer zorluklardan en çok etkilenen ve başka zorlukları etkileme gücüne sahip olmayan en bağımlı zorluktur. Luthra ve Mangla (2018) ise Kamble ve diğerleri (2018) gibi Hindistan'da üretim firmaları üzerinde endüstri 4.0 girişimleri önündeki zorlukları değerlendirmişler fakat çerçeveyi tedarik zinciri sürdürülebilirliği üzerine kurmuşlardır. Zorlukları keşfedici faktör analiziyle kategorileştirdikten sonra belirlenen faktörleri analitik hiyerşi süreci yöntemiyle ağırlıklandırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kriterler en etkiliden en az etkiliye sırasıyla örgütsel zorluklar, teknolojik zorluklar, stratejik zorlukları, yasal meseleler ve etik konulardır. Karadayi-Usta (2019) ise Kamble ve diğerleri (2018) gibi aynı yöntemleri kullanmış ve uygulama alanı olarak Türkiye'yi ve belirli bir firmanın uzmanlarını seçmiştir. Çalışma sonucunda ileri eğitim sistemlerinin eksikliği diğer zorlukları en çok etkileyen en bağımsız zorluk, dönüşümde gecikmeler ise diğer zorluklardan en çok etkilenen en bağımlı zorluk olarak bulunmuştur. Türkes ve diğerleri (2019), Romanya'da faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli firmaların endüstri 4.0 teknolojilerini kullanımlarını güdüleyen ve engelleyen faktörleri incelemişlerdir.

Firmaların yöneticilerinden aldıkları görüşlere göre endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki en büyük engeller konu hakkında bilgi eksikliği, operasyon maliyetlerinin yüksekliği, endüstri 4.0 öneminin yeterince algılanamaması, işgücü ve standartların yetersizliğiyle standartların yetersizliği ise diğer faktörlere nazaran daha az etkili zorluk olarak değerlendirilmiştir. Sevinç ve diğerleri (2018) ise Türkiye’de faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki firmaların endüstri 4.0’benimsemelerinin önündeki zorlukları değerlendirmişlerdir. En etkili zorlukların örgüt yapısı ve teknoloji kullanımının yüksek maliyeti olduğu sonucuna varırlarken, en az etkili zorlukların ise farkındalık ve karmaşıklık gibi alt kriterleri içeren inovasyon faktörü ile fayda farkındalığı ve rekabet baskısı gibi kriterleri içeren çevre faktöründen oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Mohammadzadeh ve diğerleri (2018), İran’da endüstri 4.0’ın temel yapı taşlarından biri olan nesnelerin interneti teknolojisinin uygulanma zorluklarını sezgisel analitik ağ süreci yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Analizler sonucunda en etkili kriterlerin teknoloji altyapısı ile gizlilik ve güvenlik meseleleri olduğu, en az etkili kriterlerin ise yasal düzenlemeler ile kültür olduğu ortaya konmuştur. Uslu ve diğerleri (2019) ise Mohammadzadeh ve diğerlerinin (2018) çalışmasından esinlenerek aynı konuyu Türkiye’de orta büyüklükteki işletmeler üzerinde araştırarak, aynı kriterleri analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle değerlendirmişler ve aynı sonucu bulmuşlardır.

Literatür incelendiğinde üretim sektöründe Endüstri 4.0’ın benimsenmesi ve uygulanması önündeki engeller ve zorluklar konusunda en ortak görüşün *işgücüyle ilgili sıkıntılar* olduğu görülmektedir (Flynn vd., 2017; Kamble vd., 2018; Karadayı-Usta, 2019). Bu sıkıntılar, daha eğitilmiş ve kalifiye eleman ihtiyacının doğması; sürekli eğitime ihtiyaç duyulması; hem beyaz hem mavi yakalıların dijital, örgütsel ve süreçsel dönüşüme karşı direnç göstermeleri; otomasyonun işgücü kayıplarına yol açması gibi personelle ilgili farklı boyutları kapsamaktadır (Flynn vd., 2017; Kamble vd., 2018; Karadayı-Usta, 2019). Bir diğer zorluk ise Endüstri 4.0 ile ilgili net ve kapsamlı *bilgi eksikliğidir* (Türkeş vd., 2019). İşletmeler nesnelerin interneti gibi uygulamaların nüansları, iş modelleri, yaratılan değer ve fayda-maliyet varyansları hakkında net bir bilgiye sahip olmak istemektedir. Bu bilgilerin yanında *örnek standartların ve referansların olmayışı* da önemli bir zorluk olarak ele alınmıştır (Mueller vd., 2017). Endüstri 4.0 yapısının farklı uygulamalarının, farklı süreç ve sektörlerde kullanılmak üzere seçimi ve dizaynı önünde örneklerin ve standartların olmayışı işletmelerin dönüşüme girmelerini zorlaştırmaktadır. Herhangi bir teknolojinin benimsenmesi sürecinde olduğu gibi dördüncü sanayi devriminin olanaklarından faydalanmanın önündeki bir diğer engel *yüksek yatırım maliyetleridir* (Kamigaki, 2017). Ayrıca zarar etme ve harcanan yatırımı telafi edememe riski de vardır. Literatürde ele alınan zorluklardan biri de endüstri 4.0 uygulamalarını bir işletme hayata geçirdiğinde tabi olacağı *yasalardaki ve sözleşmelerinden doğacak sorumluluklarındaki belirsizliklerdir* (Kamble vd., 2018). Endüstri 4.0 platformu içerisinde çok büyük miktarlarda bilgi ve veri akışı olmaktadır. *Veri gizliliği* ve korunması hakkında yeterli sistemlerin olmaması ve siber *güvenlik tehditleri* işletmelerin dijitalleşmeye yönelmesi konusunda engel teşkil etmektedir (Alaba vd., 2017). Endüstri 4.0 uygulamalarının önündeki zorluk ve engellerde *örgütle ilgili bir problem ise yeniliklere ve dönüşümlere hazır olamama ve olmama* durumu vardır. Çünkü otomasyon sayesinde organizasyon yapıları ve fonksiyonları değişecek, merkezi olmayan bir karar verme sistemi oluşacak hatta karar vermeler atölye katına kadar inecektir. Bunlar işletmelerin çoğu için önemli endişeler olarak kabul edilmektedir (Hussain, 2017).

Birçok çalışmada ele alınan ortak bir engel ise işletmelerde endüstri 4.0 uygulamasını desteklemek için gereken *internet kapsamının ve bilgi teknolojileri altyapısının yetersiz olmasıdır* (Yan vd., 2014; Kamble vd., 2018; Karadayı-Usta, 2019). Etkili iletişim ve hizmet ile ürünün üretiminde zayıf sinyal kapsamı nedeniyle sinyal zayıflamaları hatalı ve eksik çözümlere sebep olmaktadır. *Entegrasyon ve uyumluluk eksikliği* nesnelere interneti ekosistemlerinin siber-fiziksel altyapısını oluşturma sürecini önemli derecede sekteye uğratan problemlerdir (Hussain, 2017). Burada hem değer yaratan ağ aktörleri arasında ki entegrasyondan hem de işletme içerisinde farklı teknolojiler ve ağ sistemleri arasındaki kesintisiz entegrasyondan bahsedilmektedir (Balci vd., 2019). Endüstri 4.0'ın özü her şeyin her şeyle bağlantılı olduğu, bütünlük bir dönüşümün gerçekleştiği bir ağ devrimidir. Entegrasyon eksikliği bu dönüşümün gerçekleşmesini engelleyen en temel faktörlerdendir.

Yukarıda bahsedilenler ışığında, akıllı liman dönüşümü önündeki zorluklar aşağıdaki gibi öngörülmüştür:

1. Endüstri 4.0 Hakkında Açık ve Kapsamlı Bilgi Eksikliği
2. Standartların ve Referansların Yetersizliği
3. Yasal ve Ahdi Belirsizlikler
4. Yüksek Yatırım ve Uygulama Maliyeti
5. Kusursuz Entegrasyon ve Uyumluluk Meseleleri
6. Güvenlik ve Gizlilik Meseleleri
7. İnternet Kapsamı ve Bilgi Teknolojileri Altyapısı Yetersizliği
8. Personel Yüzünden Yaşanabilecek Aksaklıklar
9. Örgütsel ve Süreçsel Değişiklikler için Hazır Olmama

#### 4. Metodoloji

Bu çalışmada, limanlarda endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki engellerin karmaşık bağlantılarının yapısal haritalandırmasını oluşturmak amacıyla Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (Interpretive Structural Modelling-ISM) metodu kullanılmıştır. Warfield tarafından 1974 yılında geliştirilen ISM, sıralama ve yönlendirme ile çeşitli faktörler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkilere dair iç görü sağlar (Attri et al., 2013).

ISM metodunun uygulanması aşamasında konuyla ilgili uzmanların görüşüne başvurulmaktadır. Ancak kaç uzmanın dahil edilmesi gerektiği hakkında bir fikir birliği yoktur. Kimi alanında gerçekten uzman bir kişinin bile yeterli olacağını düşünürken kimi ise objektifliğin sağlanması adına ne kadar çok o kadar iyi demektedir (Singh ve Kant, 2008). Literatürde bu konuda genelde minimum üç kişi optimal beş kişi olması gerektiği yönünde söylemlere rastlanmaktadır (e.g. Zhou vd., 2019). Araştırmaya kimlerin dahil edilmesi hususu ise uzmanlığı sebebiyle araştırmacıya bırakılmaktadır (Haufe vd., 2016). Bu çalışmada araştırmanın hedef kitlesi Türkiye'de bulunan limanlardır. Literatür taraması sonucunda belirlenen 9 zorluğun aralarındaki ilişkileri belirlemek adına liman konusunda uzman ve endüstri 4.0 hakkında medyada söylemleri bulunan 12 kişiyle irtibata geçilmiş, 5'i ilişki analizini yapmayı kabul etmiştir. Katılımcılar Oyak Limanı, İDÇ, Gempport, Limak ve Alsancak Limanı temsilcileridir.



Oyak Limanı temsilcisinin isteğiyle zorluk listesine onuncu madde olarak liman operasyonlarında teknoloji eksikliği de eklenmiştir. Farklı yanıt verilen ilişkilerde çoğunluğun dediği dikkate alınmıştır. Uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenen ilişkiler Tablo 1’de gösterilmiştir.

İki zorluk arasında belirtilen ilişki türleri 4 farklı sembolle ifade edilmiştir:

V: Zorluk  $i$ , zorluk  $j$ ’yi etkilemektedir.

A: Zorluk  $j$ , zorluk  $i$ ’yi etkilemektedir.

X: Zorluk  $i$  ve zorluk  $j$  birbirlerini karşılıklı etkilemektedir.

O: Zorluk  $i$  ve zorluk  $j$  arasında bir ilişki yoktur.

**Tablo 1.** Yapısal İç-Etkileşim Matrisi

		Z10	Z9	Z8	Z7	Z6	Z5	Z4	Z3	Z2
Z1	Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği	O	O	O	O	O	O	O	V	V
Z2	Standartların ve referansların yetersizliği	O	O	O	O	A	A	A	A	-
Z3	Yasal ve ahdi belirsizlikler	O	O	O	A	X	V	O	-	-
Z4	Yüksek maliyet	V	A	A	A	A	V	-	-	-
Z5	Entegrasyon sorunu	O	A	A	A	A	-	-	-	-
Z6	Güvenlik ve gizlilik meseleleri	V	O	O	X	-	-	-	-	-
Z7	İnternet ve bilgi teknolojileri altyapısı yetersizliği	V	O	X	-	-	-	-	-	-
Z8	Operasyonlarda teknoloji eksikliği	O	A	-	-	-	-	-	-	-
Z9	Personel sorunu	V	-	-	-	-	-	-	-	-
Z10	Örgütsel ve süreçsel değişime hazır olamama	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Yapısal iç etkileşim matrisine dayanarak V, A, X ve O sembolleri sayılaştırılmış ve geçişlilik kuralı uygulanarak nihai erişebilirlik matrisi Tablo 2’de oluşturulmuştur.

**Tablo 2.** Erişebilirlik Matrisi

		Z10	Z9	Z8	Z7	Z6	Z5	Z4	Z3	Z2	Z1	Etkileme Seviyesi
Z1	Endüstri 4.0 hakkında bilgi eksikliği	1*	0	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	9
Z2	Standartların ve referansların yetersizliği	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Z3	Yasal ve ahdi belirsizlikler	1*	0	0	1*	1	1	0	1	1	0	6
Z4	Yüksek maliyet	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	4
Z5	Entegrasyon sorunu	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
Z6	Güvenlik ve gizlilik meseleleri	1	0	1*	1	1	1	1	1	1	0	8
Z7	İnternet ve bilgi teknolojileri altyapısı yetersizliği	1	0	1	1	1	1	1	1	1*	0	8
Z8	Operasyonlarda teknoloji eksikliği	1*	0	1	1	1*	1	1	0	1*	0	7
Z9	Personel sorunu	1	1	1	1*	1*	1	1	1*	1*	0	9
Z10	Örgütsel ve süreçsel değişime hazır olamama	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Bağımlılık Seviyesi	8	1	5	6	6	8	6	5	9	1	

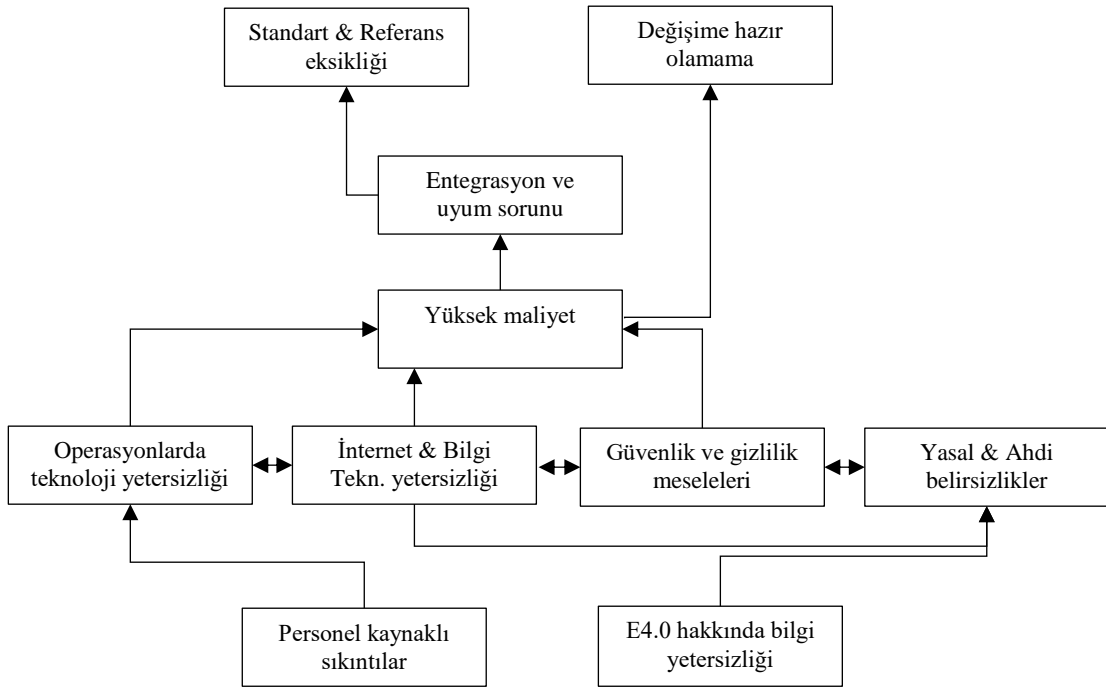
\*Geçişlilik kuralı sonrasında değiştirilen değerler

Bir sonraki adımda, erişebilirlik matrisindeki zorluklar bağımlılık ve etkileme derecelerine göre seviyelendirilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Seviyelendirme

	Erişebilirlik seti	Öncül set	Kesişim	Seviye
Z1	Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10	Z1	Z1	V
Z2	Z2	Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9	Z2	I
Z3	Z2, Z3, Z5, Z6, Z7, Z10	Z1, Z3, Z6, Z7, Z9	Z3, Z6, Z7	IV
Z4	Z2, Z4, Z5, Z10	Z1, Z4, Z6, Z7, Z8, Z9	Z4	III
Z5	Z2, Z5	Z1, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9	Z5	II
Z6	Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10	Z1, Z3, Z6, Z7, Z8, Z9	Z3, Z6, Z7, Z8	IV
Z7	Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10	Z1, Z3, Z6, Z7, Z8, Z9	Z3, Z6, Z7, Z8	IV
Z8	Z2, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z10	Z1, Z6, Z7, Z8, Z9	Z6, Z7, Z8	IV
Z9	Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10	Z9	Z9	V
Z10	Z10	Z1, Z3, Z4, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10	Z10	I

Son adımda ise seviyelendirmeye göre limancılık sektöründe endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki zorluklara ilişkin yorumlayıcı yapısal model geliştirilmiştir (Şekil 1).

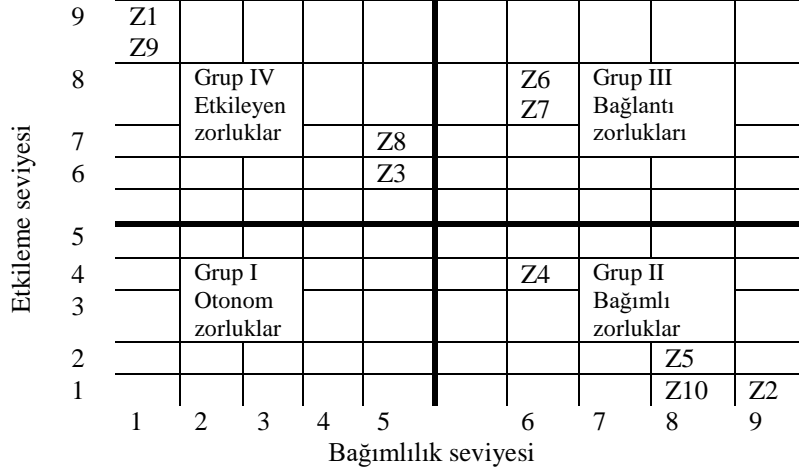


**Şekil 1.** Akıllı Liman Dönüşümünde Zorluklara İlişkin Yorumlayıcı Yapısal Model

#### 4.1. MICMAC Analizi

Liman 4.0 uygulamalarına geçişteki zorlukların analizinde kullanılan erişebilirlik matrisine MICMAC analizi uygulanmıştır. Bu diyagramın kullanılmasının sebebi liman 4.0 uygulamalarına geçişte belirlenen zorlukların bağımlılık ve etkileyici güçlerini tespit edebilmektir. Genel olarak, daha yüksek bağımlılığa sahip bir zorluk, bu zorluğun giderilebilmesi için diğer bazı zorlukların ele alınması gerektiğini gösterir. Daha yüksek etkileme gücüne sahip bir zorluk, ortadan kaldırılmasının diğer bazı zorlukların da çözülmesine izin verdiği anlamına gelir. MICMAC sınıflandırmasında zorluklar 4 gruba ayrılır (Duperrin ve Godet, 1973); (1) hem etkileme hem de bağımlılık güçlerinin düşük olduğu otonom zorluklar, (2) etkileme gücünün düşük olduğu fakat bağımlılık gücünün yüksek olduğu bağımlı değişkenler,

(3) etkileme gücünün yüksek olduğu fakat bağımlılık gücünün düşük olduğu değişkenler, ve (4) hem etkileme hem bağımlılık güçlerinin yüksek olduğu bağlantı değişkenleri. Şekil 2’de belirlenen zorlukların etkileme ve bağımlılık seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 2. MICMAC analizi sonucu

#### 4.2. Bulgular

Şekil 1’e göre sonuçlar gösteriyor ki, personel kaynaklı sıkıntılar ve endüstri 4.0 hakkında bilgi yetersizliği akıllı liman dönüşümü önündeki büyük engellerdir. Modelin dördüncü seviyesinde bulunan operasyonlarda teknoloji yetersizliği, internet kapsamı ve bilgi teknolojileri altyapı yetersizliği, güvenlik ve gizlilik meseleleri ve yasal belirsizlikler birbirlerini karşılıklı etkileyen zorluklardır. Personel kaynaklı sıkıntılar operasyonlarda teknoloji yetersizliğini etkilemektedir çünkü teknolojiyle birlikte işgücüne duyulan ihtiyaç azalmaktadır. Endüstri 4.0 hakkında bilgi yetersizliği ise doğal olarak yasal ve ahdi belirsizliklere sebep olmaktadır. Modelin üçüncü seviyesinde bulunan yüksek maliyet zorluğu ise teknoloji yatırımı ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Görüşmelerde en büyük sorun olarak görülen entegrasyon ve uyum problemleri ise modelin altında bulunan tüm faktörlerin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Bu zorlukların liman tedarik zincirinde bulunan sadece bir paydaşın, örneğin limanın, üstesinden gelmesi yeterli değildir. Tüm paydaşların bu problemleri çözmesi neticesinde entegrasyon ortaya çıkaracaktır. Modelin en üst seviyesinde bulunan yani en bağımlı olan zorluklar standart ve referans eksikliği ve işletmelerin değişime hazır olamama durumlarıdır. Limancılık sektöründe henüz uygulamaya geçilememiş bir sanayi uygulaması referansların ve standartların eksikliğine sebep olmakta ve mevcut zorluklar liman ve paydaşlarının değişime hazır olamamalarına yol açmaktadır.

MICMAC analizi zorlukların sınıflandırılmasına ilişkin genel gözlemler aşağıda listelenmiştir:

- Z1 (Endüstri 4.0 hakkında açık ve kapsamlı bilgi eksikliği) ve Z9 (Personel kaynaklı sorunlar) en yüksek etkileyici güce ve en yüksek bağımsız güce sahiptir. O nedenle bu zorlukların diğer zorlukları kuvvetli şekilde etkileme kapasitesi olduğundan öncelikli ele alınması gereken konulardır.

- Z2 (Standart ve referansların yetersizliği) en düşük etkileyici ve en yüksek bağımlı güce sahip zorluktur. Bu yüzden bu zorluk diğer zorlukların istenmeyen sonucu olarak değerlendirilebilir.
- Analiz sonucuna göre hiçbir zorluk otonom olarak tanımlanmamıştır. Bu durum her bir zorluğun limanlarda endüstri 4.0 uygulamalarına geçişi az veya çok engelleyen güce sahip olduğunu göstermektedir.
- Z6 (Güvenlik ve gizlilik meseleleri) ve Z7 (İnternet kapsamı ve bilgi teknolojileri altyapısı yetersizliği) değişkenleri bağlantılı zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gözlem, bu iki engelde yönlendirilen herhangi bir eylemin, diğer engelleri etkileyebileceği gibi, kendileri üzerinde bir geri bildirim etkisinin olabileceğini göstermektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada limancılık sektöründe endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki zorluklar derlenmiş ve bu zorluklar arasındaki ilişkiler uzman görüşleri neticesinde belirlenmiştir. Yorumlayıcı yapısal modelleme yöntemi kullanılarak, zorluklar arasındaki ilişkiler hiyerarşik bir model haline getirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre akıllı liman olabilmenin önündeki en önemli engeller bu konuda ki bilgi eksiklikleri ve personel kaynaklı sıkıntılardır. Bu zorluklar aynı zamanda diğer zorlukları en çok etkileyen güce sahip faktörlerdir. Limancılık sektöründe endüstri 4.0 hakkında kapsamlı ve net bilgi eksiklikleri, yani, yaratılacak değer, fayda ve maliyet varyansları, nesnelerin interneti gibi uygulamaların nüansları, iş modellerinin eksikliği ve var olanların yetersizliği akıllı liman dönüşümünde en önemli iki engelden birisidir ve yasal belirsizlikler gibi diğer zorlukların ortaya çıkmasını da oldukça etkilemektedir. Daha eğitilmiş ve kalifiye eleman ihtiyacının doğması; sürekli eğitime ihtiyaç duyulması; hem beyaz hem mavi yakalıların dijital, örgütsel ve süreçsel dönüşüme karşı direnç göstermeleri; otomasyonun işgücü kayıplarına yol açması gibi farklı varyanslarda problemlere yol açan personel sıkıntıları ise diğer en önemli ve etkileme gücü en yüksek olan zorluktur. Bu iki zorluk sonrasında karşımıza genellikle teknoloji ve hukuki temelli zorluklar çıkmaktadır. Teknoloji temelli zorluklar; liman operasyonlarında teknolojinin tam anlamıyla kullanılmaması, büyük veri analizi yapılacak araçların bile yönetim aşamasında uygulanmaması, aynı zamanda nesnelerin interneti gibi endüstri 4.0 uygulamasını kaldıracak internet kapsamının ve bilgi teknolojileri altyapısının yetersizliği gibi zorlukları içermektedir. Tüm bu zorlukların giderilmesi aşaması yüksek yatırım ve uygulama maliyetine sebep olmaktadır. Hukuk temelli zorluklar ise yasaları ve sözleşmelerden doğacak sorumlulukları içeren yasal ve ahdi belirsizlikler ve veri gizliliği ve korunması hakkında yeterli hukuki ve teknolojik sistemlerin olmamasıdır. Personel sıkıntıları, bilgi ve teknoloji yetersizlikleri ve yasal boşluklar ve dolayısıyla yüksek maliyet limanların akıllı limana dönüşümlerini zorlamaktadır. Ancak, bir limanın tüm bu zorlukların üstesinden gelmesi elbette endüstri 4.0 mantığı için yeterli değildir. Dolayısıyla tüm liman paydaşlarının bu problemleri çözmesi gerekmektedir. Bu durumun gerçekleşmesi oldukça güç olduğundan entegrasyon ve uyum problemleri ortaya çıkmaktadır. Yorumlayıcı yapısal modelin en tepesinde bulunan, yani diğer zorlukları etkileme gücüne sahip olmayan ama diğer zorlukların neticesinde ortaya çıkan örnek standartların ve referansların olmayışı ve örgütlerin dönüşüme hazır olamayışları vardır. Endüstri 4.0 yapısının farklı uygulamalarının, farklı süreç ve sektörlerde kullanılmak üzere seçimi ve dizaynı önünde örneklerin ve standartların olmayışı limanların akıllı dönüşüme girmelerini zorlaştırmaktadır.

### *Araştırmanın Akademik ve Sektörel Katkıları*

Literatürde, dijitalleşme ve endüstri 4.0 uygulamalarına geçişin önündeki engeller ve/veya zorluklar birçok çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmaların birbirlerinden farklılaştığı nokta uygulandıkları sektörler (örneğin; küçük işletmeler, bankalar, okullar, üretim tesisleri), veri toplama (örneğin; anket, yüz yüze görüşme, rapor incelemeleri) ve analiz yöntemleridir (örneğin; Dematel, Topsis, AHP). Mevcut çalışmanın literatüre katkısı Endüstri 4.0'ın global tedarik zincirlerinin en önemli düğüm noktalarında yani limanlarda ele alınmış olmasıdır. Veri toplama yöntemi liman temsilcileriyle görüşme, analiz yöntemi ise yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM) ve MICMAC'dir. Analiz yöntemi gereği bu çalışmanın bulguları ancak benzer yöntemler barındıran çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir. Örneğin AHP yöntemi kullanan bir çalışmada her bir zorluğun birbiriyle ilişkisine bakılmadan ağırlığı hesaplanır. Ancak ISM ve MICMAC yöntemlerinde zorlukların birbirleriyle etkileşimlerinden yararlanılarak birbirlerini etkileme seviyelerine göre hiyerarşik yapıları oluşturulur ve bağımlı/bağımsız gruplandırılmaları yapılır. Örneğin bu çalışmada endüstri 4.0 hakkında kapsamlı bilgi yetersizliği ve personel ile ilgili sıkıntılar kriterleri akıllı liman dönüşümünde en bağımsız fakat diğer zorlukları en çok etkileyen kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstri 4.0 hakkında bilgi yetersizliği bulgusu Kamble ve diğerlerinin (2018) Hindistan'da üretim sektöründe yaptığı araştırma bulgusuyla ve Türkeş ve diğerlerinin (2019) Romanya'da küçük ve orta büyüklükteki firmalarla yaptıkları araştırma bulgusuyla örtüşmektedir. Araştırmanın diğer en yüksek etkileme gücüne sahip zorluğu olan personel ile ilgili sıkıntılar kriteri ise literatürde benzer sonuçlarla hiçbir çalışmada rastlanmamıştır. Mevcut çalışmada diğer zorlukların etkisiyle ortaya çıkan en bağımlı zorluklar seviyesinde standartların ve referansların olmayışı ile örgütsel olarak değişime ve dönüşüme hazır olamama hali vardır. Diğer çalışmalarda en bağımlı zorluk olarak yasal düzenlemeler (Kamble ve diğerleri, 2019) ve dönüşümde gecikmeler (Karadayi-Usta, 2019) bulunmuştur. Dolayısıyla aynı konu ve yöntemi barındıran üç çalışma arasında en bağımlı zorluk bulgusuna dair bir benzerlik yoktur.

Limanlarda eskiden liman operasyonlarında önemli kararlar verilirken kaptanlar, pilotlar, terminal operatörleri ve römorkörler gibi birçok paydaş arasında geleneksel radyo, telsiz ve radar iletişimi sağlanırken, dördüncü endüstri devrimiyle birlikte bu gelenek yerini akıllı sensörlere, akıllı iletişim teknolojilerine, nesnelerin internetine ve büyük veri yönetimine bırakmaktadır. Aynı zamanda liman hizmeti karmaşık ve maliyetli operasyonlardan oluşmaktadır. Müşteri memnuniyetini ve sadakatini sağlamak, verimlilik elde etmek aynı zamanda maliyetleri azaltmak teknolojiyi kullanmayı gerektirmektedir. Liman hizmetlerinin dijitalleştirilmesi, daha güvenli, daha hızlı ve daha güvenilir bir yük taşımacılığına katkıda bulunacaktır. Bu çalışmanın bulguları limancılık sektörüne ve tüm paydaşlarına bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır. Diğer bir deyişle, çıkan sonuçlar, tüm zorlukların tekil olarak ele alınmasının anlamsız ve sağlıksız olacağını göstermektedir. Örneğin personel sorunları ile yüksek yatırım ve uygulama maliyeti bir yerde çakışmaktadır. Çünkü Türkiye gibi ucuz işgücünün olduğu bölgelerde işletmeler ve yatırımcılar mevcut işgücüyle gerçekleştirilebilecek operasyonlarda yüksek maliyetli yatırımları (örneğin insansız rıhtım ve istif vinçleri) zaten cazip görmemektedir.

### *Araştırmanın Kısıtları ve Gelecek Çalışmalar için Öneriler*

Bu araştırmanın birinci kısıtı sadece limancılık sektörü özelinde Endüstri 4.0'ı ele almasıdır.

Aynı zorluklar ile farklı sektörlerde yapılacak uygulamalar ileriki çalışmalarda karşılaştırma olanağı sağlayacaktır. Dolayısıyla bu çalışma bütüncül olarak hizmet ve üretim sanayisine genellenemez. Çalışmanın ikinci kısıtı ise uygulamanın farklı tür ve yapıdaki liman temsilcileriyle yapılmış olmasıdır. Gelecekte benzer çalışmalar, dökme yük terminali, konteyner terminali veya genel terminal özelinde örneklem belirlenerek gerçekleştirilebilir. Araştırma yönteminin gereği üzerine örneklem sayısının az tutulması zorunluluğu araştırmanın üçüncü kısıtını oluşturmaktadır. Yöntem her ne kadar hiyerarşik ilişkileri ortaya çıkarmada ve faktörler arasındaki ilişkileri yorumlamada geçerli bir yöntem olsa da, aynı çalışma farklı bir analiz yöntemiyle ele alınarak daha fazla liman temsilcisinden görüş alınabilir.

## Kaynakça

- Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. (2017). Internet of Things security: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 10-28.
- Balci, G., Caliskan, A., & Yuen, K. F. (2019). Relational bonding strategies, customer satisfaction, and loyalty in the container shipping market. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Bleicher, J., ve Stanley, H. (2016). Digitization As a Catalyst For Business Model Innovation a Three-Step Approach to Facilitating Economic Success. *Journal of Business Management*. 12:62-71.
- Caliskan, A., & Esmer, S. (2019). Does it really worth investing in relationship marketing for a port business?. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 375-383.
- Caliskan, A., & Karaöz, B. (2019). Can market indicators forecast the port throughput?. *International Journal of Data Mining, Modelling and Management*, 11(1), 45-63.
- Caliskan, A., & Esmer, S. (2020). An assessment of port and shipping line relationships: the value of relationship marketing. *Maritime Policy & Management*, 47(2), 240-257.
- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., ve Oliveira, T. (2019). "Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union". *Computers in Industry*. 107:22-32.
- Container Management (2017). *DP World and Kazakhstan collaborate on port community system* <https://container-mag.com/2017/06/16/kazakhstan-trade-corridor/> , Erişim Tarihi: 20.06.2019
- Deloitte (2015). "Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies". Deloitte. 1-32.
- Deloitte (2017). "Smart Ports". Deloitte. 1-20.
- Dery, K., Sebastian, I. M. ve van der Meulen, N. (2017). The Digital Workplace is Key to Digital Innovation. *MIS Quarterly Executive*. 16(2):135-152.
- Duperrin, J. C., & Godet, M. (1973). Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement. *Rapp. Econ. CEA*, 45-51.
- Esmer, S. (2017). *Endüstri 4.0, Lojistik 4.0, Denizcilik 4.0, Liman 4.0....* <https://www.7deniz.net/haber-endustri-40-lojistik-40-denizcilik-40-liman-40-22601.html>, Erişim Tarihi: 21.06.2019
- Flynn, J., Dance, S., & Schaefer, D. (2017). Industry 4.0 and its Potential Impact on Employment Demographics in the UK. *Adv. Transdiscipl. Eng*, 6, 239-244.
- Gnimpieba, Z. D. R., Nait-Sidi-Moh, A., Durand, D., & Fortin, J. (2015). Using Internet of Things technologies for a collaborative supply chain: Application to tracking of pallets and containers. *Procedia Computer Science*, 56, 550-557.
- Haufe, K., Colomo-Palacios, R., Dzombeta, S., Brandis, K., & Stantchev, V. (2016). ISMS core processes: A study. *Procedia Computer Science*, 100, 339-346.

- Hussain, M. I. (2017). Internet of Things: challenges and research opportunities. *CSI transactions on ICT*, 5(1), 87-95.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., ve Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*. 101:107-119.
- Kamigaki, T. (2017). Object-Oriented RFID with IoT: A Design Concept of Information Systems in Manufacturing. *Electronics*, 6(1), 14.
- Karadayi-Usta, S. (2019). An Interpretive Structural Analysis for Industry 4.0 Adoption Challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168-179.
- Mohammadzadeh, A. K., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanoeei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society*, 53, 124-134.
- Mueller, E., Chen, X. L., & Riedel, R. (2017). Challenges and requirements for the application of industry 4.0: a special insight with the usage of cyber-physical system. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(5), 1050.
- Port of Rotterdam (2018). *Port of Rotterdam teams with IBM Internet of Things to digitize operations* <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-of-rotterdam-teams-with-ibm-internet-of-things-to-digitize-operations>, Erişim Tarihi: 16.06.2019
- Port of Rotterdam (2019a). *Rotterdam sends hyper-smart container on trip around the world* <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/rotterdam-sends-hyper-smart-container-on-trip-around-the-world>, Erişim Tarihi: 16.06.2019
- Port of Rotterdam (2019b). *Intermodal online route planner Navigate now operational in 2 continents* <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/intermodal-online-route-planner-navigate-now-operational-in-2-continents>, Erişim Tarihi: 16.06.2019
- Port of Rotterdam (2019c). *Blockchain offers opportunities for cooperation in network that lacks trust* <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/blockchain-offers-opportunities-for-cooperation-in-network-that-lacks-trust>, Erişim Tarihi: 20.06.2019
- Port of Rotterdam (2019d). *Port of Rotterdam Authority and DeltaPort are boosting cooperation in North Rhine Westphalia* <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/port-of-rotterdam-authority-and-deltaport-are-boosting-cooperation-in-north>. Erişim Tarihi: 28.04.2020
- Port Technology (2016). *What is a Smart Port?* <https://www.porttechnology.org/news/what-is-a-smart-port> , Erişim Tarihi: 21.06.2019
- Self Service Smart Solutions (2018). *Kiosk Innova çözümleri ile Marport müşterileri de zamandan kazanıyor* <https://selfservicesmartsolutions.com/haberler/self-service/marport-kiosklar-ile-musterilere-zaman-kazandiriyor/>, Erişim Tarihi: 16.06.2019
- Sevinc, A., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). Analysis of the difficulties of SMEs in industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process. *Processes*, 6(12), 264.
- Singh, M. D., & Kant, R. (2008). Knowledge management barriers: An interpretive structural modeling approach. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 3(2), 141-150.
- Tonn, G., Kesan, J. P., Zhang, L., & Czajkowski, J. (2019). Cyber risk and insurance for transportation infrastructure. *Transport policy*, 79, 103-114.

- Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), 153.
- Uslu, B., Eren, T., Gür, Ş., & Özcan, E. (2019). Evaluation of the difficulties in the internet of things (IoT) with multi-criteria decision-making. *Processes*, 7(3), 164.
- Yan, J., Xin, S., Liu, Q., Xu, W., Yang, L., Fan, L., ... & Wang, Q. (2014). Intelligent supply chain integration and management based on cloud of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3), 624839.
- 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.