

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0' DAKİ ZORLUKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nesrin KARAKOÇ¹, Tamer EREN², Evrencan ÖZCAN^{3*}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2323-7337>

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

³Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-3662-6190>

Anahtar Kelimeler	Öz
Analitik Ağ Süreci, Endüstri 4.0, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi	<i>Teknolojinin hızla gelişmesiyle beraber kurumların bütün çalışma yapısı ve süreçlerinin dijitalleşmesi kaçınılmaz olmuştur. Kurumlarda dijitalleşmenin sağlanabilmesi için değişim ve dönüşüme ayak uydurulması gerekmektedir. Mevcut yapının performansı, muhtemel riskleri, pazar payları, rekabet koşulları gibi sürekli değişen faktörler dikkate alınarak tedarik zincirleri değerlendirmeli ve gerektiğinde yeniden yapılandırılmalıdır. Tedarik zincirinde bulunan üyelerin birbiriyle eş zamanlı ve doğru bilgi alışverişinde bulunmaları gerekmektedir. Aksi durumda âtil kapasite, taşıma masrafları, stok fazlası, müşteri memnuniyetsizliği gibi bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Bu gibi problemlerle karşılaşmaması için tedarik zincirindeki süreçlerin gerçek zamanlı takip edilmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi endüstri 4.0 tabanlı sürdürülebilir tedarik zinciriyle mümkün hale gelmektedir. Endüstri 4.0 yaklaşımıyla tedarik zinciri yönetimi karmaşık bir hal almadan sürecin hızlanması sağlanmaktadır. Dijitalleşme konusunda ihtiyaçlar doğru belirlenmediği veya doğru çözüm ortaklarıyla çalışılmadığı takdirde bütün süreç olumsuz etkilenmektedir. Endüstri 4.0 yaklaşımının bütün boyutlarının ele alındığı hem stratejik hem operasyonel ihtiyaç ve uygulamaların kapsamlı bir şekilde tartışıldığı bir yapı gerekmektedir. Bunun için çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde endüstri 4.0 teknolojisine geçişteki zorlukların değerlendirilmesinde analitik ağ süreci yöntemi kullanılmıştır. Analitik ağ süreci, faktörlerin birbiri ile olan ilişkileri ve bağları dikkate alan, geribildirim sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle çalışmada tedarik zinciri sürdürülebilirliğini sağlamak için dijitalleşme yolunda karşılaşılan zorluklar analiz edilip kriter ağırlıkları belirlenmiştir.</i>

EVALUATION OF CHALLENGES IN INDUSTRY 4.0 FOR SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Keywords	Abstract
Analytic Network Process, Industry 4.0, Sustainable Supply Chain Management	<i>With the rapid development of technology, the digitalization of all working structures and processes of institutions has become inevitable. In order to ensure digitalization in institutions, it is necessary to keep pace with change and transformation. Supply chains should be evaluated and reconstructed when necessary, taking into account constantly changing factors such as the performance of the current structure, possible risks, market shares, and competition conditions. Members in the supply chain must exchange information simultaneously and accurately. Otherwise, some problems such as idle capacity, transportation costs, excess stock, and customer dissatisfaction are encountered. In order to avoid such problems, real-time monitoring and effective management of processes in the</i>

*Sorumlu yazar; e-posta : evrencan.ozcan@kku.edu.tr

supply chain are made possible by the industry 4.0-based sustainable supply chain. With the Industry 4.0 approach, the process is accelerated without supply chain management being complicated. The whole process is negatively affected if the needs of digitalization are not determined correctly or if we do not work with the right solution partners. A structure in which both strategic and operational needs and practices are discussed in a comprehensive manner, in which all aspects of the Industry 4.0 approach are addressed are required. For this purpose, analytic network process method was used to evaluate the difficulties in transition to industry 4.0 technology in sustainable supply chain management. The analytic network process is a method that takes into account the relationships and bonds between the factors and provides feedback. With this method, in order to ensure supply chain sustainability, the difficulties encountered in digitalization were analyzed and criteria weights were determined.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 29.02.2020	Submission Date	: 29.02.2020
Kabul Tarihi	: 17.08.2020	Accepted Date	: 17.08.2020

1. Giriş

Üretim yapısında sanayi devrimleri köklü değişikliklere yol açmış ve ülkelerin yaşam biçimlerini derinden etkilemiştir. Sanayi devriminin ilki atölye tarzı işletmeciliğinin ve el zanaatlarının yerini alan ve aynı zamanda insan ve hayvan gücüne dayalı üretimin yerine, su ve buhar gücüyle çalışan mekanik tezgahların üretimde yer almaya başladığı dönemi kapsamaktadır. İkinci sanayi devriminde Henry Ford elektrik enerjisini üretimde kullanarak seri üretime geçişi gerçekleştirip bu dönemin sembolü olmuştur. Üçüncü sanayi devriminde elektronik ve bilgi teknolojilerinin bir arada olmasıyla üretimde ilk kez programlanabilir makineler kullanılmış ve otomasyon dönemi başlamıştır. Son olarak 2011 yılından günümüze kadar devam eden dördüncü sanayi devrimini çip kullanımının ve internetin yaygınlaşması ile beraber her türlü nesnenin iletişime ve etkileşime geçebildiği, akıllı üretimin yapıldığı, siber-fiziksel sistemlerin kullanıldığı dijital bir dönemdir (Aksoy, 2017).

Dünyanın geçmişte yaşamış olduğu endüstri devrimleri beraberinde sosyal, ekonomik ve çevreye yönelik tahribatlar oluşturmuştur. Bunun akabinde sürdürülebilirlik konusu tartışmaya açılmış ve meydana gelen zararları gidermeye yönelik yasal ve normatif mekanizmalar geliştirilmiştir. Günümüzde endüstri 4.0 çağında bulunan insanlık sürdürülebilir çevre, toplum ve ekonomiye yönelik bilinçli sahiptir. Bu yüzden Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde oluşturulacak olan sosyal, ekonomik ve çevre altyapıları her aşamada sürdürülebilirlik bağlamında düşünülmelidir. Bu süreçte ortaya çıkabilecek zararlar, nitelikli çalışmalar neticesinde önceden tahmin edilip zararları en aza indirgeyecek

şekilde çaba sarf edilmelidir. Meydana gelebilecek ihmal ve hatalar dünyamızda geri dönüşü olmayan zararlar meydana getirerek, gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre, toplum ve ekonomi bırakma idealinin önüne geçebilir (Toker, 2018).

Günümüzde şirketler sanayide yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda değişimlere ayak uyduramayıp yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Türkiye'nin büyüyen iş gücü, ülkemizin küresel ekonomideki rolünü değiştirecek kadar büyük bir dönüşüm fırsatının eşliğinde olduğunu göstermektedir. Türkiye sanayisinin gelişmesinde ve rekabetçiliğinin artırılmasında endüstri 4.0 temel bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'deki şirketlerin mevcut durumuna bakıldığında, sanayide dijital dönüşüm yolculuğunda karşılaşılan engeller açısından gelişmiş ülkelere farklı olarak halen yatırım öncesi ve planlama döneminde olduğu görülmektedir. Türkiye'nin endüstri 4.0 devrimini yakalayabilmesi ve bu devrimde öncü ülkeler arasında yer alması için tüm paydaşların ortak bir plan ve hedef çevresinde odaklanarak çalışması zorunluluk arz etmektedir. Türkiye, önündeki bu fırsatı hayata geçirmek için gerekliliklerini, önceliklerini ve bir yol haritasını ortaya koymalıdır. Bu yol haritasının tüm paydaşlarla iş birliği içinde ve kararlı bir şekilde uygulanması önümüzdeki on yıl için ülke sanayisi gündeminin en temel maddelerinden biri olmalıdır (TÜSİAD, 2017).

Makinelerin insanlarla etkileşimini sağlayan, birbirine bağlı süreçlerin iletişim halinde olduğu, teknolojilerin artık günlük değil anlık olarak değiştiği yeni bir dönemde şirketlerin değişim ve dönüşüme ayak uydurması gerekmektedir. Dördüncü sanayi devrimine hızlı bir şekilde uyum sağlayan şirketler içinde buldukları sistemde

yüksek verimlilik sağlayarak sistemin çevre dostu ve kaynak tasarrufu davranışlarıyla sürdürülebilirliğe önemli katkı sağlamaktadır. Böylelikle üretimde esnekliğin artırılması ve önemli bir nokta olan maliyetin düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada fiziksel imalat sektörlerinde tedarik zinciri sürdürülebilirliği için endüstri 4.0 sürecinde karşılaşılan zorluklar üzerinde durulmuştur. Bu zorlukların altında yer alan nedenler araştırılmıştır. Karşılaşılan zorluklar net olarak tanımlanmış, faktörler arasındaki bağlar dikkate alınıp öncelik sıraları, analitik ağ süreci yönteminden yararlanılarak bulunmuştur. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni hem kriterlerin kendi arasında içsel ve dışsal bağımlı olarak aradaki etkileşimi dikkate alması hem de geri bildirimlerin değerlendirilmesidir. Karşılaşılan zorlukların önem derecelerine göre sıralanması sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde stratejik kararların alınmasında yol gösterici nitelik taşımaktadır. Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için endüstri 4.0 yaklaşımının kullanılmasının gerekliliği konusunda bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde konuyla ilgili literatürde bulunan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde problem çözümü için kullanılan yöntem anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise uygulama detaylarına yer verilmiştir. Altıncı bölümde sonuçlar verilerek çalışma tamamlanmıştır.

2. Endüstri 4.0 Yaklaşımıyla Sürdürülebilir Tedarik Zinciri

Günümüzde geleneksel tedarik zinciri yönetiminin yerini sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi almıştır. Geleneksel tedarik zinciri kavramı herhangi bir ürünün tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, dağıtımçıları, perakendeciler ve tüketiciler arasında iletilmesini sağlayan ilişkiler ve bağlantılar bütünüdür. Tedarik zinciri işletmelerin bütün çalışma süreçleriyle yakından ilgilenip tüm ürün ve hizmetlerin tedarikçiden başlayıp en son aşama olan müşteriye ulaşma sürecini, ulaşma sürecinde yer alan tüm faaliyetleri, insan kaynağını, teknolojiyi, bütün kaynakları ve firma yapılarını kapsayan büyük ve karmaşık bir yapıdır.

Sanayi devrimleriyle hızlı ekonomik gelişmeler sağlanırken beraberinde çevre sorunlarında artışlar meydana gelmiştir. Çevre sorunlarındaki artışlar nedeniyle işletmeler bu sorunlara yönelik çözümler ortaya çıkarmışlardır. Son yıllarda tüketicilerin talepleri ve yasalar doğrultusunda şirketler

sürdürülebilirlik kavramı üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. Üretim süreçlerinde, ürünlerin performansında, çalışanların ve toplumun sürdürülebilirliği sağlanması için tedarik zincirindeki bütün üyeler sorumluluk almaktadır. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, üreticiden nihai tüketiciye ulaşana kadar geçen zaman içerisinde ambalajlama, taşıma, paketleme, depolama vb. bütün süreçlerin çevreye verdiği zararı minimuma indireyecek bir yapı olarak görülmektedir (Günday, 2018).

Tedarik zinciri sürdürülebilirliği, ürün ve hizmetlerin yaşam süreci boyunca çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerin yönetim ve iyi yönetim uygulamalarının teşvik edilmesidir. Sürdürülebilir tedarik zincirinin amacı, ürün ve hizmetlerin pazara ulaştırılması sürecinde bulunan bütün paydaşlar için uzun vadeli çevresel, sosyal ve ekonomik değerler sağlamak, bu değerleri korumak ve geliştirmektir (Koç, 2015). Endüstri 4.0, yapay zekâ, üç boyutlu yazıcılar, robotik ve uzay teknolojisi alanlarında yaşanan gelişmeler ile birlikte belirli bir ekonomik değere sahip canlı-cansız her nesnenin internet bağlantılarıyla diğer nesnelere iletişime ve etkileşime geçebileceği akıllı üretim dönemi olarak tanımlanmaktadır. Üretimde dijitalleşmenin yaşanmaya başladığı bu dönemde sanal ve fiziksel sistemlerin birbirine entegre olduğu ve internete bağlı olan nesnelerin böylelikle akıllanacağı üretim sisteminden söz edilmektedir (Aksoy, 2017).

Dijital değişim ve dönüşüm uygulamaları Türkiye'nin küresel pazarda rekabeti kaybetmemesi için büyük bir öneme sahiptir. Türkiye gerekli dijital dönüşüm yatırımlarını gerçekleştirmediği takdirde ekonomide daralma ve işsizlik artışı risklerini beraberinde getirecektir. Geçmişteki endüstriyel devrimlerde olduğu gibi sürekli tekrarlayan işlerde çalışan insanların yerini makinelere bıraktığı görülmektedir. Sanayide büyük veri analizlerinden faydalanan, tam otomasyona sahip akıllı sistemleri yaygınlaştıracak makine-insan, makine-makine etkileşimine ve nitelikli iş gücüne duyulan ihtiyaç dijital dönüşüm sayesinde karşılanmaktadır. Endüstri 4.0 süreciyle ilgili bilgi ve ilgi seviyeleri artan şirketler dijital dönüşüm yolculuğunun uzun vadeli bir süreç olduğunu bilmektedir (TÜSİAD, 2017). Şirketlerin bu süreçte meydana gelebilecek zorlukların farkında olup bu sorunlar için farklı çözüm yolları üretmesi gerekmektedir. Dijital dönüşüm yolculuğunda başarının sağlanabilmesi için tedarik zincirinde yer alan tüm paydaşlara çok önemli sorumluluklar düşmektedir. Sürdürülebilir bir başarı sağlayabilmek için endüstri 4.0 sürecinde yer alan yeni dijital teknolojileri benimseyerek

tedarik zinciri yönetimine yansıtılmak gerekmektedir. Dijital dönüşümle birlikte tedarik zincirinde yer alan bütün paydaşların değişen ihtiyaçlara uyum sağlayacak şekilde hazırlanması gerekmektedir.

3. Literatür Taraması

Endüstri 4.0 kavramı son zamanlarda büyük ilgi gören bir konu haline gelmiştir. Bu konu sağlık, tarım, gıda, tedarik zinciri gibi birçok alanı etkisi altına almıştır. Tablo 1’de geleneksel tedarik zinciri, sürdürülebilir tedarik zinciri ve endüstri 4.0 ile ilgili

literatürde yer alan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Endüstri 4.0, 2011 yılında ortaya çıkmasına rağmen bu tarihten önce yapılan çalışmalara da yer verilmiştir. Bunun sebebi; geleneksel tedarik zincirlerinin yapısını analiz edip endüstri 4.0 sürecine geçişte, sektörlerin karşı karşıya kaldığı sorunları belirlemek, geçmişte kullanılan bilgi teknolojileri ile günümüzde kullanılan teknolojiler arasında farkları ortaya çıkarabilmek ve sektör bazlı değerlendirme yapılabilmesi için farklı sektörlerde yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır.

Tablo 1

Geleneksel Tedarik Zinciri, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri ve Endüstri 4.0 ile İlgili Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar

Yazar/yıl	Kullanılan Metot	Konu
Karabay (2006)	DAMA modeli	Hazır giyim sektöründe geleneksel tedarik zinciri yönetiminin mevcut durum ve uygulamaları incelenmiştir.
Barutçu (2007)	Anket yöntemi	Denizli’de tekstil sektöründeki işletmelerin internet tabanlı tedarik zinciri yönetiminin uygulama alanlarından yararlanma düzeylerinin çok düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Büyüközkan ve Vardaloğlu (2008)	Ampirik araştırma	Tedarik zincirinin yeşil yaklaşımdan nasıl etkilendiği ve bu yaklaşımın faaliyetleri ile sektörlerin yeşil tedarik zincirinde dikkat etmesi gereken faktörler incelenmiştir.
Özdemir ve Doğan (2010)	Ampirik araştırma	Tedarik zincirinde kullanılan elektronik veri değişimi, internet, kurumsal kaynak planlama, tedarik zinciri yönetimi yazılımı ve radyo frekanslı kimlik tanımlama teknolojileri incelenmiştir.
Erdem (2013)	Keşifsel faktör analizi, Regresyon analizi, Korelasyon analizi	Gıda sektöründe tedarik zinciri yönetim uygulamalarını benimseme dereceleri ve bunun müşteri değerini oluşturan tedarik zinciri yönetim sonuçlarına ve işletme performansına olan etkisi araştırılmıştır.
Bülbül, Özçiftçi ve Özoğlu (2014)	Yapısal eşitlik analizi	Yapısal eşitlik analizi sonuçlarına göre bilişim teknolojileri ile işletme genel performansı arasında doğrudan bir ilişki bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
Aqlan ve Lam (2016)	Çok amaçlı optimizasyon ve simülasyon	Risk ve belirsizlik altında tedarik zinciri optimizasyonu için bir yaklaşım ve yazılım uygulaması yapmışlardır. Tedarik zincirinin deterministik özelliklerini dikkate alarak çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirilip, stokastik özelliklerini temsil etmek için simülasyon modeli kullanılmıştır.
Yu, Wang, Zhong ve Huang (2016)		Tedarik zinciri yönetiminde en gelişmiş E-ticaret lojistiğini uygulama açısından değerlendirmektedir. Bu çalışma için Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya Pasifik’ten gelen E-ticaret lojistik şirketlerinin uygulamaları ve bunlardan ders çıkarmak için kapsamlı bir şekilde inceleme yapılmıştır.
Gür, Bedir ve Eren (2017)	ANP, PROMETHEE	Gıda sektöründeki işletmelerin pazarda avantajlı duruma gelmeleri ve müşteri kazanmaları için pazarlama strateji seçim problemi ele alınmıştır.
Nurjanni, Carvalho ve Costa (2017)	Çok amaçlı optimizasyon	Çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için çevresel ve finansal konular arasındaki dengeleri sağlayabilmek için yeşil

		tedarik zinciri tasarımı yaklaşımı önerilmiştir. Yeni yaklaşımı uygularken genel maliyetleri ve karbondioksit emisyonlarını en aza indirmek için atık ürünlerin yeniden işleme paradigmasını ve çok amaçlı bir optimizasyon modelini içeren kapalı bir döngü ağını içermektedir.
Man ve Strandhagen (2017)		Endüstri 4.0 sürecinin sürdürülebilir iş modellerini oluşturmada nasıl kullanılabileceği konusunda yeni bir gündem önermektedir.
Rostamzadeh, Ghorabae, Govindan, Esmaeili ve Nobar (2018)	TOPSIS, CRITIC	Sürdürülebilir tedarik zincirinde risk yönetimi değerlendirmesi için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı önerilmiştir. Yedi ana kriter ve kırk dört alt kriter belirlenmiştir.
Jia, Gong ve Brown (2018)		Tedarik zinciri liderliği, çok katmanlı tedarik zinciri yönetimi, çok katmanlı tedarik zinciri yapısı ve tedarik zinciri öğrenmesi yapılarına dayanan bir sistem önerilmiştir.
Ruiz-Benitez, Lopez ve Real (2018)	Yorumlayıcı yapısal modelleme (ISM)	Yalın ve esnek tedarik zinciri uygulamaları arasındaki ilişkileri ve bunların tedarik zinciri performansı üzerindeki etkilerini havacılık ve uzay imalat sektöründe incelenmiştir.
Zhu, Shah, ve Sarkis (2018)	AHP-ANP ve fayda, fırsat, maliyet ve risk (BOCR) analizi	Daha yalın ve daha sürdürülebilir bir tedarik zinciri geliştirmek amacıyla çok düzeyli bir karar modeli üzerinde çalışma yapılmıştır.
Sáenz, Revilla ve Acero (2018)	Anket yöntemi	Başarılı küresel markalara ve tedarik zincirlerine dayanan dünya çapında bir çevrimiçi anketle birlikte bir analiz yapılmıştır. Öncelikle tedarik zinciri portföyünün tasarımını ve tedarik zinciri açıkları ile iç ve dış arasındaki bağlantıyı birleştiren tedarik zinciri esnekliği dinamiklerini kullanan bir sistem önerilmiştir.
Zhu (2018)		İki katmanlı bir tedarik zinciri sistemi tanımlamış ve envanter modeli oluşturmuştur.
Govindan, Cheng, Mishra ve Shukla (2018)	Büyük veri analitiği	Yeni yöntemleri, uygulamaları ve fırsatları inceleyerek lojistik ve tedarik zinciri yönetimi için büyük veri analitiği ve uygulamalarını araştırmıştır. Büyük veri özellikleri, uygulama için etkili uygulamalar ve değerlendirme ve uygulama yöntemleri hakkındaki tartışmalar özetlenmiştir.
Luthra ve Mangla (2018)	Açıklayıcı faktör analizi (EFA), AHP	Çalışmanın ilk amacı tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik yönelimini sağlamak için Endüstri 4.0 girişimlerinin temel zorluklarını tanımlamaktır. Bu çalışmanın ikinci amacı ise, Hindistan bağlamında gelişmekte olan ekonomilerde tedarik zinciri sürdürülebilirliği için etkin Endüstri 4.0 girişimleri için öncelik sırasına koyma amacı ile belirlenen temel zorlukları analiz etmektir.
Ding (2018)	Literatür taraması	İlaç tedarik zincirinin (PSC) potansiyel sürdürülebilirlik engellerini belirlemek ve endüstri 4.0 sürecinin sürdürülebilir PSC paradigmasında nasıl uygulanabileceği araştırılmıştır. İlaç tedarik zincirinde sürdürülebilirliği engelleyen en büyük zorluklar; yüksek maliyetler ve zaman tüketimi, az uzmanlık ve eğitim, düzenlemelerin uygulanması, işletme teşviklerinin yetersizliği, etkin olmayan işbirlikleri ve koordinasyon, objektif kriterlerin yetersizliği ve düşük nihai müşterinin bilincidir.
Dossou (2018)	Durum tabanlı muhakeme (CBR)	KOBİ'lere yönelik sürdürülebilir tedarik zinciri performansı için önemli olarak kabul edilen teknolojik ve dijital

		parametrelere ek olarak, sosyal, toplumsal ve çevresel boyutlar dikkate alınmıştır.
Müller ve Voigt (2018)		Endüstri 4.0 bağlamında tedarik zinciri yönetimi konusunu ele almışlardır. Siparişe göre hazırlanan bir Alman sanayi kuruluşu ve beraberinde tüm tedarik zincirini oluşturan beş lojistik ortağının örnek olay tasarımı incelenmiştir.
Dallasega, Rauch ve Linder (2018)	Literatür taraması	İnşaat tedarik zincirinde, tedarikçiler ile şantiye arasında senkronizasyonu analiz etmek için endüstri 4.0 sürecinde bir çerçeve sunulmaktadır. Bu sektörde kullanılan endüstri 4.0 teknolojileri temel olarak teknolojik, örgütsel, coğrafi ve bilişsel yakınlık boyutlarını etkilemektedir.
Paravizo, Chaim, Braatz, Muschard ve Rozenfeld (2018)	Oyunlaştırılmış uygulamalar	Endüstri 4.0 geçiş sürecinde kuruluşların aşması gereken çeşitli engeller olduğunu belirtmişlerdir. Sürdürülebilir üretim ve endüstri 4.0 konuları, ilk kez oyunlaştırılmış uygulamalarla ortaya konulmuştur.
Ivanov, Sethi, Dolgui, ve Sokolov (2018)	Kontrol teorisi	Uygulanabilir kontrol teorisinin tedarik zinciri operasyonlarında mühendislik ve yönetim problemlerine etkisi incelenmiştir. 2012 ve 2018 yılları arasında yayınlanan literatürü inceleyerek kontrol teorisi uygulamalarının iki yeni yönü olan tedarik zincirlerinde dalgalanma etkisi analizi ve programlamanın zamanlamasını belirleyerek Endüstri 4.0'ı dikkate alarak önceki anketlerini genişletmişlerdir.
Flygansvær, Dahlstrom ve Nygaard (2018)	En küçük kareler yöntemi	Elektronik endüstrisindeki ters tedarik zincirleri incelenmiştir. Analiz, Norveç elektronik endüstrisinde ters tedarik zincirinde yer alan firmalar arasındaki kaynak akışını karakterize etmektedir. Tedarik zincirindeki sosyal, ekolojik ve ekonomik performans, yönetim mekanizmaları ve kültürün etkileri incelenmiştir.
Sevinç, Gür ve Eren (2018)	AHP, ANP	Küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) endüstri 4.0 geçiş sürecindeki zorlukları analiz ederek, şirketlerin bu analiz sonuçlarını dikkate alıp stratejik adımlarını belirlenmesine katkı sağlamaktadır.
Perera, Hurley, Fahimnia ve Reisi (2019)	Literatür taraması	Tedarik zincirindeki çeşitli kararları etkileyen, kilit özelliklere odaklanan, yargılayıcı tahmin ve düzeltmelerin ilk sistematik literatür taramasını yapmışlardır. Tedarik zinciri tahmininde insan faktörlerini incelemişlerdir.
Ghadimi, Wang, Lim ve Heavey (2019)	Çok temelli sistemler (MAS) yaklaşımı	Sürdürülebilir tedarikçi değerlendirmesi ve seçim sürecini ele almak için endüstri 4.0 teknolojisinin, tedarik zincirlerinin ilerlemesine olanak sağlayan teknolojilerden biri olduğu görülmüş ve bu teknolojinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Önerilen yaklaşımın imalat firmalarındaki karar vericilere daha az insan etkileşimi ile hızlı kararlar vermelerine yardımcı olabileceği bulunmuştur.
Oh ve Jeong (2019)	Taktik tedarik planlama modeli	Akıllı üretim tedarik zinciri olarak adlandırılan bütünleşmiş bir tedarik zinciri için sürdürülebilir tedarik zincirinin niteliklerini araştırarak, işlevsel ve yapısal özelliklerini belirlemişlerdir. Sürdürülebilir tedarik zincirinin avantajlarından yararlanmak için, çalışmada kâr ile sağlama süresi arasında en uygun dengeyi bulmak için kârlı ve tepkili bir taktiksel tedarik planlama modeli geliştirilmiştir.

Frank, Dalenogare ve Ayala (2019)	Anket yöntemi, küme analizi ve bağımsızlık testleri	Endüstri 4.0 teknolojilerinin imalat firmalarında benimsenme kalıplarını anlamak için akıllı üretim, akıllı ürünler, akıllı tedarik zinciri ve akıllı çalışma boyutlarıyla nesnelerin interneti, bulut hizmetleri, büyük veri ve analitik unsurlarını dikkate alarak kavramsal bir çerçeve önermektedir.
Uslu, Eren, Gür ve Özcan (2019)	AHP, ANP	Nesnelerin internetinde karşılaşılan zorlukları araştırıp bu zorluklara sebep olan faktörlerin önem dereceleri belirlenmiştir.
Uslu, Gür ve Eren (2019)	ANP, TOPSIS	Endüstri 4.0 boyutuna geçmek isteyen bir şirketin strateji seçim problemi ele alınmıştır.
Özkaya, Gür ve Eren (2019)	ANP	Endüstri 4.0 için geçiş sürecindeki zorlukların araştırmasını yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada dört adet kriter ve yirmi adet alt kriter tespit edilmiştir.

Literatüre bakıldığında endüstri 4.0 ve tedarik zinciri yönetimi süreçlerindeki yapılar incelenmiştir. Çalışmada incelenen yapılar sayesinde tedarik zincirlerinde endüstri 4.0 sürecine geçişteki zorlukların değerlendirilmesi için yedi ana kriter ve otuz alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin belirlenmesinde literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Savunma ve havacılık sektöründe görev yapan endüstri yüksek mühendisi, medikal sektörde çalışan endüstri mühendisi, tekstil sektöründe çalışan sistem mühendisi ve market zincirinde görev yapan mağaza müdürü ve depo sorumlusu olmak üzere beş uzman görüşü kriterlerin belirlenmesinde rol almıştır. Yapılan çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan analitik ağ süreci yönteminin çözüm sürecinde kullanılması ve yedi ana kriter arasında çevresel zorlukları da dikkate alarak sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için kullanılması ile farklılık oluşturmaktadır.

4. Kullanılan Yöntem

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen analitik ağ süreci (AAS) yöntemi karar verme yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemlerdendir (Saaty, 2004). AAS yönteminde karar problemi ile ilgili tüm ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasında ilişkiler tanımlanır. Diğer karar verme yöntemlerinden farklı olarak bu ilişkiler ağ yapısı oluşturacak şekilde modellenmektedir. Oluşturulan ağ yapısı sayesinde faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerini ve bağlarını dikkate alması AAS yönteminin kilit noktasını oluşturmaktadır. AAS yönteminin kilit noktasını oluşturan aradaki etkileşim, bağ ve geribildirim etmenleri bu yöntemin ilk bulunduğu zamandan günümüze kadar çok kriterli karar verme problemlerinde önemli bir

yöntem olarak yerini korumuştur. AAS yöntemi tekstil (Tezcan, Eren, Özcan ve Gür, 2019), sağlık (Akça, Sönmez, Gür, Yılmaz ve Eren, 2018; Gür ve diğ., 2018; Karakuş, Yeşilyurt ve Eren, 2019; Sonel, Gür ve Eren, 2019), enerji (Özcan, Ünlüsoy ve Eren., 2017; Özcan, Özcan ve Eren., 2017; Özder, Özcan ve Eren, 2019) ve raylı sistemler (Hamurcu ve Eren, 2017; Hamurcu ve Eren, 2019) gibi birçok sektörde uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca yönetici seçim problemi (Cürebil, Eren ve Özcan, 2019), dergi seçimi (Hamurcu ve Eren, 2017), firma seçimi (Bedir, Yalçın, Özder ve Eren, 2018), kablo sektöründe tedarikçi seçimi (Ar Gökşen ve Tuncer, 2015) ve CRM paket program seçimi (Eren ve Gür, 2016) gibi problemlerde de AAS yöntemi kullanılmaktadır. Sürdürülebilir tedarikçi performans değerlendirmesinde analitik ağ süreci kullanılmıştır (Giannakis, Dubey, Vlachos ve Ju, 2020). Sürdürülebilir tedarik zinciri için endüstri 4.0 etkisinin değerlendirilmesinde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS yöntemi kullanılmıştır (Terzi, Gür ve Eren, 2020). AAS yöntemi altı adımdan oluşmaktadır (Hamurcu ve Eren, 2017):

4.1. Karar probleminin tanımlanması ve modelin kurulması

İlk adımda karar problemi tanımlanmaktadır. Karar verme probleminin kriterleri ve alternatifleri net biçimde ifade edilmelidir.

4.2. Kriterlerin birbirleri ile olan ilişkilerin belirlenmesi

Kriterler arasındaki etkileşimler belirlenir. Her bir kriterin içsel ve dışsal bağımlılıkları ve varsa kriterler arasındaki geri bildirimler bu adımda ilişkilendirilir.

4.3. Kriterler arası ikili karşılaştırmaların yapılması

Karar vericilerden oluşan grup, Tablo 2’de verilen skala değerlerini kullanarak karşılaştırmaları

gerçekleştirir. Birbiri ile alakası olduğu düşünülen her bir kriterin kendi arasında ikili karşılaştırması yapılır. Üçüncü adımda ikili karşılaştırmaların sonucu bir matris çatısı altında toplanır.

Tablo 2

Kriterlerin Karşılaştırılmasında Kullanılan Ölçekler ve Açıklamaları (Saaty, 2004)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki kriter de eşit derecede öneme sahiptir.
3	Biraz Önemli	Bir kriter diğerine karşı biraz önemlidir.
5	Fazla Önemli	Bir kriter diğerine karşı fazlaca önemlidir.
7	Çok Fazla Önemli	Bir kriter diğerine karşı çok fazla önemlidir.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine karşı çok büyük oranda önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara Önem Dereceleri	Ara derecede önemi belirtir.

4.4. Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizlerinin yapılması

Bu adımda karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını tespit etmek için tutarlılık analizi yapılır.

Her bir matris için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır. Tutarlılık oranının hesaplanmasının özü, kriter sayısı (n) ile temel değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayanmaktadır. (λ)’nın hesaplanması için öncelikle A ikili karşılaştırma matrisi ile kriterlerin yüzde ağırlıklarını gösteren W sütun vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir. Bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme kriterlerine ilişkin E_i değerleri elde edilmektedir. Elde edilen E_i değerlerinin aritmetik ortalaması ile Eşitlik 1’de gösterilen temel değer (λ) bulunur.

Tutarlılık oranı, tutarlılık indeksinin (CI), rastgele tutarlılık indeksine (RI) oranlanması sonucunda Eşitlik 3 hesaplanmakta ve tutarlılık indeksinin elde edilebilmesi için de Eşitlik 2 kullanılmaktadır (Terzi ve diğ., 2020).

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Rassal indeks (RI) adı verilen değerler Saaty (2004) tarafından hesaplanmıştır. Tablo 3’te RI değerleri verilmiştir.

Tablo 3

RI Değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

CR değeri, 0,10 değerinden küçük ise ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenebilir. Değerler 0,10’dan büyükse karşılaştırmalarda tutarsızlık söz konusudur. Bu durumda karar verici grup, yapılan karşılaştırmaları tekrar gözden geçirmelidir.

4.5. Süper matrisin oluşturulması

Kriterler arası değerlendirmeler neticesinde ortaya çıkan değerler ilk olarak ağırlıklandırılmamış süper matris adı altında büyük bir matriste toplanır. Birbirine bağımlı etkilerin bulunduğu sistemde bu süper matristeki değerlerin kendi içinde bulunan ilgili kümelerin ağırlıklandırılmış değerleri ile çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış süper

matris oluşturulur. Kriterlerin birbiri üzerindeki uzun dönemli etkileri, süper matrisin kuvveti alınarak elde edilir. Matristeki ağırlıkların, matrisin her kolonunda aynı değere sahip olabilmesi için süper matrisin $(2k+1)$ kuvveti alınır, burada k rasgele seçilmiş büyük bir sayıdır. Elde edilen yeni matris limit süper matris olarak isimlendirilir.

4.6. Sonuç ağırlıklarının bulunması ve en iyi seçimin yapılması

Elde edilen limit süper matrisle, alternatiflere ve/veya karşılaştırılan kriterlere ilişkin önem ağırlıkları belirlenmiş olur. Seçim probleminde en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif, ağırlıklandırma probleminde ise en yüksek önem ağırlığına sahip olan kriter, karar sürecini etkileyen en önemli kriterdir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

5. Uygulama

5.1. Problem tanımı

Günümüzdeki rekabet ortamında işletmelerin varlıklarını koruyabilmeleri ve sürdürülebilmeleri için endüstri 4.0 yaklaşımını organizasyonlarına uygulaması gerekmektedir. Dördüncü sanayi devrimi hem sosyal hem de günlük hayatta çok önemli köklü değişikliklere yol açıp yaşam biçimlerini derinden etkilemektedir. Teknolojinin hızla gelişmesiyle beraber üretim kalıpları değişmiş, tedarik zincirlerinin yapısı giderek genişlemiştir. Günümüz şartlarında tedarik zincirinin genişleyen yapısı için endüstri 4.0 kavramının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Rekabet koşullarında ayakta kalabilmek için geleneksel tedarik zincirlerini bir kenara bırakıp endüstri 4.0 kavramıyla bütünleşmiş dijital ve sürdürülebilir tedarik zincirlerine geçiş yapmak gerekmektedir. Bunun için öncelikle tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik yönelimini sağlamak için endüstri 4.0 sürecine geçişte karşılaşılan temel zorlukları tanımak gerekmektedir. Endüstri 4.0 sürecinin ana amacı, kendini yönetebilen üretim süreçlerinin olduğu akıllı fabrikaların hayata geçirilmesidir. Bu yeni sürece geçişte bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde tedarik zinciri sürdürülebilirliğinde etkin endüstri 4.0 girişimleri için belirlenen temel zorlukları analiz edip öncelik sırasına koymak gerekmektedir. Bunun için çalışmada analitik ağ süreci yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanıp zorlukların önem dereceleri sıralanarak stratejik kararlar alınırken nerelerde zorluklarla

karşılaşılabileceğini önceden görerek gereksiz kararlar alınmasının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda endüstri 4.0 sürecine geçmenin önündeki engellerin net olarak tanımlanması fiziksel imalat sektörlerinin tedarik zincirlerinde dijitalleşme sürecine geçişi hızlandırıp sürdürülebilirliğin sağlanması için olanak sağlamaktadır.

5.2. Kriter ve alt kriterlerin belirlenmesi

Dijital dönüşüm yolculuğunda birçok zorlukla karşılaşmaktadır. Tedarik zincirlerinde endüstri 4.0 sürecine geçişteki zorlukların değerlendirilmesi için yedi ana kriter ve otuz alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin belirlenmesinde literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Savunma ve havacılık sektöründe görev yapan endüstri yüksek mühendisi, medikal sektörde çalışan endüstri mühendisi, tekstil sektörde çalışan sistem mühendisi ve market zincirinde görev yapan mağaza müdürü ve depo sorumlusu olmak üzere beş uzman görüşü kriterlerin belirlenmesinde rol almıştır. Çalışmanın kriterleri;

- Teknoloji Alanında Zorluklar
 - Türkiye’de sanayi şirketleri dijital teknolojilerin kullanımı açısından başlangıç aşamasında yer almaktadır. Başlangıç aşamasında şirketlerin dijital teknoloji yatırımlarının çok maliyetli olması ve yatırımların geri dönüşünün bilinmemesi yatırımcıların çekinceleri olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı zamanda yeni teknolojiye geçiş sürecinde çalışanlar mevcut durumda belli olan düzenlerinin bozulmasına tepki göstererek kullandıkları teknolojiyi bırakmak istememektedir. Bu durumlara bakıldığında teknoloji alanında zorluklar beş kriter altında toplanmıştır. (TÜSİAD, 2017). Bunlar;
 - ✓ T1: Dijital teknoloji kullanımı konusunda nitelik eksikliği
 - ✓ T2: Mevcut teknoloji kullanımına bağlılık
 - ✓ T3: Teknolojik donanım ve yazılım altyapısı eksikliği
 - ✓ T4: Dijitalleşmenin finansal yükü
 - ✓ T5: Dijital yatırımın geri dönüşünün ölçümünün olmayışı
- Depo ve Mağazalarda Yaşanan Zorluklar
 - Depoların düzensizliği, istiflemenin yüksek yapılması ve dengeli olmaması, çalışanların depo ve mağazalardaki durumlara kayıtsızlığı, depolara gerekli özenin

gösterilmemesi tedarik zinciri yönetiminde birçok sıkıntı çıkarmaktadır. Market zincirinde çalışan, mağaza müdürü ve depo sorumlusu ile görüşülerek depo ve mağazalarda yaşanan zorluklar beş kriter altında toplanmıştır. Bunlar;

- ✓ D1: Mağazalar arasında iletişim eksikliği
 - ✓ D2: Ürünlerin depoda beklemesi
 - ✓ D3: Depodan kaynaklanan tedarik eksikliği
 - ✓ D4: Depoya geri bildirim yapılamaması
 - ✓ D5: Paketlemede oluşan hatalar
- Çevresel Zorluklar
Dijital dönüşüm yolculuğunda yapılan yatırımlarla tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilir olmasını sağlamak için geleceğe yatırım yapılması önemli bir husustur. Tedarik zincirinde kullanılan taşıma araçlarının eski olması nedeniyle havayı kirletici gazlar meydana gelmesi, üretim sonucu oluşan atıkların yönetilememesi ve bilinçsiz bir şekilde yayılması çevre açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Satışı artırmak amacıyla reklam için kullanılan broşür, afiş gibi araçlar için gereğinden fazla kağıt kullanılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çevresel zorluklar ana kriteri altında dört alt kriter bulunmaktadır. (Koç, 2015). Tekstil sektöründe görev yapan mühendis kriterlerin belirlenmesinde etkisi olmuştur. Belirlenen kriterler;
 - ✓ C1: Fiziksel belge ve fazla kağıt kullanımı
 - ✓ C2: Taşınan ürünlerin koşulları
 - ✓ C3: Atık yönetimi yapılmaması
 - ✓ C4: Hava kirletici emisyonlar
- Stratejide Yaşanan Zorluklar
Tedarik zinciri yönetiminde dijital teknoloji anlamında yapılacak yatırımlar için karar alma süreçlerindeki yavaşlık hızla değişen günümüz koşullarında şirketler için hızlı bir çöküşe neden olmaktadır. Aynı zamanda şirketlerde bilgi paylaşımı konusundaki eksikliklerde şirketler arasında olan yarışın kaybedilmesine zemin hazırlamaktadır. Araçlarda yerleşimin gelişigüzel bir şekilde yapılması ürünlerin depoda beklemesine, taşımanın tek seferde değil de iki veya üç kez tekrarlanmasına sebep olmaktadır. Burada stratejide yaşanan zorluklar kriteri

altında üç alt kriter toplanmıştır (TÜSİAD, 2017). Bunlar;

- ✓ S1: Yavaş karar alma süreçleri
 - ✓ S2: Bilgi paylaşımının yetersizliği ve gecikmesi
 - ✓ S3: Araç içi yerleşimde hata
- Yasal ve Hukuki Zorluklar
Herhangi bir işlem sırasında atık olarak veya kazara oluşan kimyasal maddeler hem çalışanların hem de müşterilerin sağlık ve güvenliği yönünden risk teşkil etmektedir. Teknolojik gelişmeler dikkate alınarak risklerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Dijital dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için devlet tarafından şirketlerin ihtiyaç duyduğu danışmalığı, rehberlik hizmetleriyle ilgili vergi düzenlemelerini yapması ve teşvik mekanizmalarını sağlaması gerekmektedir. Şirket içinde bazı departmanlar arasında iletişim kurmada sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Departmanlar arasında birbirini yanlış anlamalar sonucunda uyumsuzluklar görülebilmektedir. Böylelikle durumlara bakıldığında yasal ve hukuki zorluklar ana kriteri altında üç alt kriter yer almaktadır. Bunlar;
 - ✓ Y1: İmalat kaynaklı tehlikeler
 - ✓ Y2: Gerekli yatırım ve teşvik ortamının hazırlık sürecinde devlet desteğinin eksikliği (TÜSİAD, 2017)
 - ✓ Y3: Departmanlar arasında koordinasyon eksikliği (Özkaya ve diğ., 2019)
- Sosyal ve Kültürel Zorluklar
Doğru yatırımları saptayabilmek ve yatırımların geri dönüşünün etkilerini tahmin edebilmek için mevcut durum analizi yapılarak hedeflerin belirlenmesi gerekmektedir. Sanayide dijital dönüşümün sağlanabilmesi için şirket kültürleri yeni bir yapılandırmayla karşı karşıya kalmaktadır. Bu yeni durum mevcut düzeni etkileyeceği için şirkette endişeye ve bununla beraber çalışanlarda isteksiz davranışa sebep olarak memnuniyetsizlik ortaya çıkarmaktadır. Sosyal ve kültürel zorluklar ana kriterinin altında üç alt kriter dikkate alınmaktadır. Bunlar;
 - ✓ K1: Hedeflerdeki belirsizlikler
 - ✓ K2: Şirket kültürü ve düzeninin yeni duruma karşı endişe duyması

- ✓ K3: Dijital teknolojiye yönelik isteksiz davranış (Özkaya ve diğ., 2019)
- İnsan Kaynaklarında Yaşanan Zorluklar
Dijitalleşme çerçevesinde mevcut insan kaynağının değişim ve dönüşüme ayak uydurması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yeni üretim sistemlerinin iyi bir şekilde yönetilebilmesi için şirketlerin daha yetkin bir iş gücüne sahip olması gerekmektedir. İş gücünde nitelik arttıkça finansal olarak beklenti artış gösterecektir. Mevcut iş gücüne değer yaratan ek yetkinliklerin kazandırılması için uzun vadeli eğitim programları büyük önem taşımaktadır. Uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda, dijital dönüşümle birlikte ihtiyaç duyulacak nitelikli iş gücüyle ilgili birçok eksiklik ortaya çıkmaktadır. Bunlar;
 - ✓ İ1: Nitelikli işgücü arzının yetersiz oluşu
 - ✓ İ2: Çalışanların işten ayrılma hızının yüksek olması
 - ✓ İ3: Nitelikli işgücü istihdamı için finansal olanak sağlama zorluğu
 - ✓ İ4: Mevcut işgücüne nitelik kazandıracak eğitimlerin bulunmaması ya da bulunan eğitimlerin kalitesiz olması
 - ✓ İ5: Personel konusunda bilgi eksikliği
 - ✓ İ6: Paydaşlar arasında entegrasyon eksikliği
 - ✓ İ7: Tedarikten sorumlu personelle aradaki iletişimsizlik

Super Decisions programı yardımıyla yapılan analizler neticesinde bütün karşılaştırmalar için %10 tutarsızlık sınırının aşılmadığı görülmüştür. Örnek olarak Tablo 5' te ana kriterlerin tutarlılık oranları verilmiştir.

Tablo 5
Ana Kriterlerin Tutarlılık Oranları

Karşılaşılan Zorluklar	Tutarlılık Oranı
Teknoloji Alanında Zorluklar	0,09220
Depo ve Mağazalarda Yaşanan Zorluklar	0,09099
Çevresel Zorluklar	0,09098
Stratejide Yaşanan Zorluklar	0,09646
Yasal ve Hukuki Zorluklar	0,06563
Sosyal ve Kültürel Zorluklar	0,06563
İnsan Kaynaklarında Yaşanan Zorluklar	0,09989

5.4. Önem derecelerinin belirlenmesi

Tablo 6' da alt kriterlerin öncelik değerleri yüzde cinsinden verilmiştir. Tablo 6' da görüldüğü gibi dijitalleşmenin finansal yükü en önemli kriter olarak göze çarpmaktadır. Gerekli yatırım ve teşvik ortamının hazırlık sürecinde devlet desteğinin eksikliği onu takip etmektedir. Atık yönetimi yapılmaması, ürünlerin depoda beklemesi, yavaş karar alma süreçleri, şirket kültürü ve düzeninin yeni duruma karşı endişe duyması ve nitelikli işgücü istihdamı için finansal olanak sağlama zorluğu birbirini izleyen önem yüzdelerinin diğer alt kriterlere oranla daha yüksek olduğu kriterlerdir.

Tablo 6
Tedarik Zinciri Sürdürülebilirliği İçin Endüstri 4.0 Sürecinde Karşılaşılan Zorlukların Önem Yüzdeleri

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Önem Yüzdeleri
Teknoloji Alanında Zorluklar	T1: Dijital teknoloji kullanımı konusunda nitelik eksikliği	%7
	T2: Mevcut teknoloji kullanımına bağlılık	%6
	T3: Teknolojik donanım ve yazılım altyapısı eksikliği	%8
	T4: Dijitalleşmenin finansal yükü	%75
	T5: Dijital yatırımın geri dönüşünün ölçümünün olmayışı	%4
Depo ve Mağazalarda Yaşanan Zorluklar	D1: Mağazalar arasında iletişim eksikliği	%25
	D2: Ürünlerin depoda beklemesi	%52
	D3: Depodan kaynaklanan tedarik eksikliği	%4
	D4: Depoya geri bildirim yapılamaması	%14
	D5: Paketlemede oluşan hatalar	%5

Çevresel Zorluklar	C1: Fiziksel belge ve fazla kağıt kullanımı	%7
	C2: Taşınan ürünlerin koşulları	%32
	C3: Atık yönetimi yapılmaması	%58
	C4: Hava kirletici emisyonlar	%3
Stratejide Yaşanan Zorluklar	S1: Yavaş karar alma süreçleri	%51
	S2: Bilgi paylaşımının yetersizliği ve gecikmesi	%42
	S3: Araç içi yerleşimde hata	%7
Yasal ve Hukuki Zorluklar	Y1: İmalat kaynaklı tehlikeler	%14
	Y2: Gerekli yatırım ve teşvik ortamının hazırlık sürecinde devlet desteğinin eksikliği	%66
	Y3: Departmanlar arasında koordinasyon eksikliği	%20
Sosyal ve Kültürel Zorluklar	K1: Hedeflerdeki belirsizlikler	%32
	K2: Şirket kültürü ve düzeninin yeni duruma karşı endişe duyması	%40
	K3: Dijital teknolojiye yönelik isteksiz davranış	%28
İnsan Kaynaklarında Yaşanan Zorluklar	İ1: Nitelikli işgücü arzının yetersiz oluşu	%15
	İ2: Çalışanların işten ayrılma hızının yüksek olması	%5
	İ3: Nitelikli işgücü istihdamı için finansal olanak sağlama zorluğu	%30
	İ4: Mevcut işgücüne nitelik kazandıracak eğitimlerin bulunmaması ya da bulunan eğitimlerin kalitesiz olması	%16
	İ5: Personel konusunda bilgi eksikliği	%19
	İ6: Paydaşlar arasında entegrasyon eksikliği	%13
	İ7: Tedarikten sorumlu personelle aradaki iletişimsizlik	%2

5.5. Ağ yapısının oluşturulması

Bu çalışmada analitik ağ süreci yöntemiyle çözüm yapılmıştır. Karar verme probleminin ağ yapısının oluşturulmasında Super Decisions paket programı kullanılmıştır. Uzman görüşleri dikkate alınarak ikili

karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri, paket programa aktarılan verilerdir. Şekil 1'de problemin ağ yapısı verilmiştir.

	C4	Hava kirletici emisyonlar	Y2, Y3, İ6, İ7, T5, S1, K1
Stratejide Yaşanan Zorluklar	S1	Yavaş karar alma süreçleri	S2, S3, T1, C2, C3, Y3, K1
	S2	Bilgi paylaşımının yetersizliği ve gecikmesi	S1, K2, K3, İ5, İ6
	S3	Araç içi yerleşimde hata	S1, S2, İ1, İ5, C2, D1, D3, D4, D5
Yasal ve Hukuki Zorluklar	Y1	İmalat kaynaklı tehlikeler	C3, D2, İ5
	Y2	Gerekli yatırım ve teşvik ortamının hazırlık sürecinde devlet desteğinin eksikliği	T4
	Y3	Departmanlar arasında koordinasyon eksikliği	K2, İ6, İ7
Sosyal ve Kültürel Zorluklar	K1	Hedeflerdeki belirsizlikler	K2, K3, Y1, İ6
	K2	Şirket kültürü ve düzeninin yeni duruma karşı endişe duyması	K1, K3, T4
	K3	Dijital teknolojiye yönelik isteksiz davranış	K1, T2, T3, S2
İnsan Kaynaklarında Yaşanan Zorluklar	İ1	Nitelikli işgücü arzının yetersiz oluşu	İ2, İ3, İ4
	İ2	Çalışanların işten ayrılma hızının yüksek olması	İ3, İ5
	İ3	Nitelikli işgücü istihdamı için finansal olanak sağlama zorluğu	İ1, T4
	İ4	Mevcut işgücüne nitelik kazandıracak eğitimlerin bulunmaması ya da bulunan eğitimlerin kalitesiz olması	İ5, Y2, K1, S2
	İ5	Personel konusunda bilgi eksikliği	S1, S2, İ4
	İ6	Paydaşlar arasında entegrasyon eksikliği	K2, K3, Y3
	İ7	Tedarikten sorumlu personelle aradaki iletişimsizlik	İ5, İ6, K1, K2, K3, Y3, C1, C3, D1

6.Sonuç

Endüstri 4.0 kavramını ilk olarak Almanya 2011 yılında ortaya çıkarmıştır. Dördüncü sanayi devrimi ile akıllı fabrikalar, otomasyon ve robot teknolojileri gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarla hedeflenen, hataların en aza indirgenmesi ve insan yükünün azaltılarak üretimin dijital ortamlarda yapılmasıdır. Hızla artan dünya nüfusunun gereksinimlerinin karşılanması için teknolojinin gelişmesine bağlı olarak endüstrileşmenin artması gerekmektedir. Son yıllarda teknoloji ve sanayinin gelişmesi çevre sorunlarının artmasına neden olmuştur. Bu gelişme karşısında yapılacak planlama ve düzenlemeler çevre kirliliğini en aza indirme amacını da yerine getirmelidir. Bunun için bu çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde endüstri 4.0 teknolojisine geçişteki zorluklar analitik ağ süreci

yöntemi ile değerlendirilmiştir. Analitik ağ süreci yöntemi ile bulunan sonuçlara göre Tablo 6' da alt kriterlerin yüzde oranları verilmiştir. Yüzde oranlarına bakıldığında dijitalleşmenin finansal yükü ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra gerekli yatırım ve teşvik ortamının hazırlık sürecinde devlet desteğinin eksikliği, atık yönetiminin yapılamaması, ürünlerin depoda beklemesi, yavaş karar alma süreçleri, bilgi paylaşımının yetersizliği ve gecikmesi, şirket kültürü ve düzeninin yeni duruma karşı endişe duyması, hedeflerdeki belirsizlikler, nitelikli işgücü istihdamı için finansal olanak sağlama zorluğu alt kriterleri öncelikli olarak ilgilenilmesi gereken engeller arasında yer almaktadır. Bu engellerle başa çıkabilmek için öncelikle bütün tedarik zinciri yönetimindeki aşamaların performans ölçümlerinin yapılması kritik öneme sahiptir. Sürekli ve gerçek zamanlı olarak performans takibi şirketlerin dijital

dönüşüme yönelik gelişimiyle ilgili bilgi vermektedir.

Ülkemizin küresel pazarda rekabeti kaybetmemesi için endüstri 4.0 sürecine yatırım yapması gerekmektedir. Bu yatırım için ilgilenilmesi gereken konular başında devlet desteği, nitelikli iş gücü, hedeflerin net bir şekilde belirlenmesi ve finansal olanak sağlanması konuları yer almaktadır. Ülkemizde bulunan yerli firmalar devlet tarafından desteklenerek yatırım yapmaları sağlanmalıdır. Endüstri 4.0 sürecine geçişte karşılaşılan sorunların çözümü için eğitime önem verilmelidir. Endüstri 4.0 süreciyle beraber yeni meslek grupları ortaya çıkmaktadır. Bu meslek grupları için üniversitelerde yeni bölümler açılarak eğitimlerin sağlanması gerekmektedir. Mevcut durumda çalışanlar, endüstri 4.0'a geçiş sürecini benimsemekte zorlanabilirler. Bunun için gelecek dönemlerde endüstri 4.0 sürecini tam anlamıyla idrak edebilen birçok donanıma sahip nitelikli iş gücüne ihtiyaç vardır. Bu iş gücünü sağlayabilmenin sorumluluğu üniversitelere düşmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için endüstri 4.0 sürecine geçişteki zorlukların değerlendirilmesinde analitik ağ süreci yöntemi kullanılmıştır. Bir diğer farkı da tedarik zinciri sürdürülebilirliği için endüstri 4.0 sürecinde karşılaşılan zorluklarda çevresel faktörler dikkate alınmıştır. Niteliksel tanımlanan kriterleri analitik ağ süreci yöntemi ile nicel verilere dönüştürerek kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alan bir çalışma elde edilmiştir.

Çalışmada birbirinden farklı uygulama alanı olan sektörlerin endüstri 4.0 sürecinde karşılaştığı zorluklar dikkate alınmıştır. Bu süreçte karşılaşılan zorluklar birçok sektör açısından değerlendirildiğinde kriterler yedi genel kriter altında toplanmıştır. İlerleyen çalışmalarda sektörler için ayrıntılı bir inceleme yapılarak her bir sektör için özel kriterler belirlenebilir. Çalışmada belirlenen kriterler sayesinde her sektör kendi uygulama alanı için kriterleri revize ederek endüstri 4.0 sürecine geçişte karşılaştığı zorlukları göz önünde bulundurarak hedeflerini belirleyebilir.

Endüstri 4.0 süreci büyük değişimlere olanak sağlamaktadır. Bu süreç geleneksel üretim modellerini teknolojiyle harmanlayarak üretim süreçlerinde iyileştirmeler sağlamaktadır. Hizmet sağlayıcılar ve üreticiler, endüstri 4.0 sürecinde sektörlerine fayda sağlayan konular üzerine yoğunlaşarak operasyonlarını hızlı ve etkin bir

şekilde tamamlama fırsatı bulmaktadırlar. Endüstri 4.0 sürecinde stratejik kararlar verirken rekabet avantajı sağlayacak en önemli kavram verilerdir. Geleneksel yaklaşımdan farklı olarak endüstri 4.0 teknolojileri çok büyük veriler ile çalışmaktadır. Verilerin uygun şekillerde toplanması, analiz edilmesiyle karar verme süreçleri çok daha etkin ve verimli olmaktadır. Müşteri verilerinin analizi ve bu analizlerin yorumlanması ile sektörler, müşterilerin ihtiyaç ve istekleri doğrultusunda ürün ve hizmet oluşturup rekabet avantajı elde etmektedirler. Sektörler veri raporlarından yararlanarak stratejik ve operasyonel uygulamalarla ürün veya hizmete değer katabilir, aynı zamanda herhangi bir problem için çözüm önerisi tasarlayıp iş gelişimine katkıda bulunabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2019/136 numaralı bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Nesrin Karakoç, bilimsel yayın araştırması, veri toplanması, bu verilerin bilgisayar ortamına aktarılması, yöntemin uygulanması, problemin çözümü ve makalenin hazırlanması; Evrencan Özcan, problemin belirlenmesi, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, makalenin hazırlanması; Tamer Eren makale fikrinin oluşturulması, çalışmanın gözden geçirilmesi ve sonuçların yorumlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akça, N., Sönmez, S., Gür, Ş., Yılmaz, A. ve Eren, T. (2018). Kamu hastanelerinde analitik ağ süreci yöntemi ile finans yöneticisi seçimi. *Optimum: Journal of Economics & Management Sciences/Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5(2). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/494358>

- Aksoy, S. (2017). Değişen teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı anlamaya dair bir giriş. *SAV Katkı*, 34-44. Erişim adresi: <http://www.katki.org/wp-content/uploads/2020/02/SAVKatki4.pdf>
- Ar, I. M., Gökşen, H., ve Tuncer, M. A. (2015). Kablo sektöründe tedarikçi seçimi için bütünleşik dematel-aas-vikor yönteminin kullanılması. *Ege Academic Review*, 15(2), 285-300.
- Aqlan, F. & Lam, S.S. (2016). Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server manufacturing. *Computers&Industrial Engineering*, 93,78-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.025>
- Barutçu, S. (2007). İnternet tabanlı tedarik zinciri yönetimi (Denizli tekstil işletmelerinin internet tabanlı tedarik zinciri yönetiminden yararlanma durumuna yönelik bir araştırma). *Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 133-150. Erişim adresi: <http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/articleg/view/442/424>
- Bedir, N., Yalçın, H., Özder, E. H. ve Eren, T. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle taşeron firma seçimi: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 25-33. doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.328325>
- Bülbül, H., Özçifçi, V. ve Özoğlu, B. (2014). Tedarik zinciri ve işletme performansına bilişim teknolojilerinin etkisi. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 95-106. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/185094>
- Büyüközkan, G. ve Vardaloğlu, Z. (2008). Yeşil tedarik zinciri yönetimi. *Lojistik Dergisi*, 8, 66-73. Erişim adresi: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33516466/ytzy8.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DYESIL_TEDARIK_ZINCIRI_YONETIMI.pdf&X-AmzAlgorithm=AWS4HMACSHA256&X-AmzCredential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3%2F20200302%2Ffuseast1%2Fs3%2Faws4_request&X-AmzDate=20200302T105325Z&X-AmzExpires=3600&X-AmzSignedHeaders=host&X-AmzSignature=b4aef8b6a46cd9c5e1624af2daab46b7de571b6fc7f9a1344c14bbbed9ab6d2b4
- Cürebil, A., Eren, T. ve Özcan, E.C. (2019). Solutions of technology manager selection problem with ANP and PROMETHEE methods. *Proceedings Book*, 171. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/335082841_Solutions_of_Technology_Manager_Selection_Problem_with_ANP_and_PROMETHEE_Methods
- Dallasega, P., Rauch, E. & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- Ding, B. (2018). Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 115-130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.031>
- Dossou, P. E. (2018). Impact of sustainability on the supply chain 4.0 performance. *Procedia Manufacturing*, 17, 452-459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.069>
- Erdem, G. (2013). *Tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının benimsenmesinin, tedarik zinciri ve işletme performansına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Çorum. Erişim adresi: <http://earsiv.hitit.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11491/89/Tedarik%20Zinciri%20Y%20c3%b6netimi%20Uygulamalar%20c4%b1n%20c4%b1n%20Benimsenmesinin%20c2%20Tedarik%20Zinciri%20Ve%20c4%b0%20c5%9fletme%20Performans%20c4%b1na%20Etkisi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eren, T. ve Gür, Ş. (2016). Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile işletmeler için CRM paket programlarının seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2(2), 212-227. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/267831>
- Flygansvær, B., Dahlstrom, R. & Nygaard, A. (2018). Exploring the pursuit of sustainability in reverse supply chains for electronics. *Journal of Cleaner Production*, 189, 472-484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.014>
- Frank, A.G., Dalenogare, L.S. & Ayala, N.F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

- Ghadimi, P., Wang, C., Lim, M.K. & Heavey, C. (2019). Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 588-600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.050>
- Giannakis, M., Dubey, R., Vlachos, I. & Ju, Y. (2020). Supplier sustainability performance evaluation using the analytic network process. *Journal of Cleaner Production*, 247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119439>
- Govindan, K., Cheng, T. C. E., Mishra, N. & Shukla, N. (2018). Big data analytics and application for logistics and supply chain management. *Transportation Research Part E*, 114, 343-349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.03.011>
- Günday, A. H. (2018). *Yeşil tedarik zinciri uygulamalarının işletme performansı üzerine etkisi: Kimya sektöründe görgül bir analiz*. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya. Erişim adresi: <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/10962/492182.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gür, Ş., Bedir, N. ve Eren, T. (2017). Analitik ağ süreci ve PROMETHEE yöntemleri ile gıda sektöründeki orta ölçekli işletmeler için pazarlama stratejilerinin seçimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1, 79-92. doi: <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.331412>
- Gür, Ş., Uslu, B., Eren, T., Akca, N., Yılmaz, A. ve Sönmez, S. (2018). Analitik ağ süreci yöntemi ile hastanelerde ameliyathane performansını etkileyen kriterlerin belirlenmesi. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(3), 10-25. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/563250>
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2019). An application of multicriteria decision-making for the evaluation of alternative monorail routes. *Mathematics*, 7(1), 16. doi: <https://doi.org/10.3390/math7010016>
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Raylı sistem projeleri kararında AHS-HP ve AAS-HP kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3, 3, 1-13. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/392819>
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Science citation index (SCI) kapsamında dergi seçimi için analitik ağ süreci yönteminin kullanılması. *Harran üniversitesi mühendislik dergisi*, 2(2), 54-70, 2017. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/346334>
- Ivanov, D., Sethi, S., Dolgui, A. & Sokolov, B. (2018). A survey on control theory applications to operational systems, supply chain management and Industry 4.0. *Annual Reviews in Control*, 46,134-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.10.014>
- Jia, F., Gong, Y. & Brown, S. (2018). Multi-tier sustainable supply chain management: The role of supply chain leadership. *International Journal of Production Economics*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.022>
- Karabay, G. (2006). *Tekstil sektöründe tedarik zinciri uygulamalarının mevcut durumunun belirlenmesi ve çözüm önerileri* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. Erişim adresi: <http://acikerisim.deu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12397/8791/202531.pdf?seuence=1>
- Karakuş, K., Yeşilyurt, B. ve Eren, T. (2019). Sağlık sektöründe IoT uygulamalarının analitik ağ süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(2), 86-92. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/901065>
- Koç, G. (2015). Tarımda ve gıdada sürdürülebilir tedarik zinciri: Türkiye incelemesi. *Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İzmir*. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/GoekceKoc/publication/271202489_Tarim_ve_Gidada_Surdurulebilir_Tedarik_Zinciri/links/54c0f8c40cf21674cea17bf1.pdf
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Man, J.C. & Strandhagen, J.O. (2017). An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. *Procedia CIRP*, 63, 721-726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>
- Müller, J. M. & Voigt, K. I. (2018). The impact of Industry 4.0 on supply chains in engineer-to-order industries-An exploratory case study. *IFAC-*

- PapersOnLine*, 51(11), 122-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.245>
- Nurjanni, K.P., Carvalho, M.S. & Costa, L. (2017) . Green supply chain design: A mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model. *International Journal of Production Economics*, 183, 421-432. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.028>
- Oh, J. & Jeong, B. (2019). Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 217-233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.04.003>
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/395650>
- Özcan, E. C., Özcan, N. A. ve Eren, T. (2017). CSP teknolojisine sahip güneş enerjisi santrallerinin kombine ANP-PROMETHEE yaklaşımı ile seçimi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 18-44. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/351708>
- Özdemir, A.İ. ve Doğan, N. Ö. (2010). Tedarik zinciri entegrasyonu ve bilgi teknolojileri. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(28), 19-41. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/219534>
- Özder, E. H., Özcan, E. ve Eren, T. (2019). Staff task-based shift scheduling solution with an ANP and goal programming method in a natural gas combined cycle power plant. *Mathematics*, 7 (2), 192. doi: <https://doi.org/10.3390/math7020192>
- Özkaya, A., Gür, Ş. ve Eren, T. (2019). Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin analitik ağ süreci ile değerlendirilmesi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 59-74. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/829660>
- Paravizo, E., Chaim, O. C., Braatz, D., Muschard, B. & Rozenfeld, H. (2018). Exploring gamification to support manufacturing education on Industry 4.0 as an enabler for innovation and sustainability. *Procedia Manufacturing*, 21, 438-445. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Esdras_Paravizo/publication/323630800_Exploring_gamification_to_support_manufacturing_education_on_industry_4_0_as_an_enabler_for_innovation_and_sustainability/links/5b00a7a3a6fdccf9e4f5722d/Exploring-gamification-to-support-manufacturing-education-on-industry-40-as-an-enabler-for-innovation-and-sustainability.pdf
- Perera, H.N., Hurley, J., Fahimnia, B. & Reisi, M. (2019). The human factor in supply chain forecasting: A systematic review. *European Journal of Operational Research*, 274, 574-600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.10.028>
- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaeili, A. & Nobar, H.B.K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated Fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.071>
- Ruiz-Benitez, R., Lopez, C. & Real, J.C. (2018). The lean and resilient management of the supply chain and its impact on performance. *International Journal of Production Economics*, 203,190-202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.009>
- Saaty, T. L. (2004). Decision making the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP) . *Journal of systems science and systems engineering*, 13, 1-35. doi: <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Sáenz, M. J., Revilla, E. & Acero, B. (2018). Aligning supply chain design for boosting resilience. *Business Horizons*, 61(3), 443-452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.01.009>
- Sevinç, A., Gür, Ş. ve 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. doi: <https://doi.org/10.3390/pr6120264>
- Sonel, E., Gür, Ş. ve Eren, T. (2019). Çok ölçütlü karar verme ile sağlık turizmde şehir seçimi ve analizi. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 27-39. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/710636>
- Terzi, S., Gür, Ş., ve Eren, T. (2020). Sürdürülebilir tedarik zincirine endüstri 4.0 etkisinin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of*

- The Faculty of Engineering*, 25 (1), 511-528 . doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.537979>
- Tezcan, B., Eren, T., Özcan, E. ve Gür, Ş. (2019). Bir tekstil işletmesinde çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile personellerin değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 1-20. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/910863>
- Toker, K. (2018). Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğe etkileri. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29 (84), 51-64. doi: <https://doi.org/10.26650/imj.2018.29.84.0003>
- TÜSİAD - BCG Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği/ Erişim adresi: [https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/9864-tusiad-bcg-turkiye-nin-sanayide-dijital-donusum-yetkinligi/\(13.02.2020\)](https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/9864-tusiad-bcg-turkiye-nin-sanayide-dijital-donusum-yetkinligi/(13.02.2020)) .
- Uslu, B., Eren, T., Gür, Ş. ve Özcan, E. (2019). Evaluation of the difficulties in the internet of things (IoT) with multi-criteria decision-making. *Processes*, 7(3), 164. doi: <https://doi.org/10.3390/pr7030164>
- Uslu, B., Eren, T. ve Gür, Ş. (2019). Bulut hizmet sağlayıcı seçiminde etkili olan kriterlerin çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 5(1), 31-51. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/878969>
- Uslu, B., Gür, Ş. ve Eren, T. (2019). Endüstri 4.0 uygulaması için en iyi strateji seçiminin AAS ve TOPSIS yöntemleri ile seçilmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-B Teorik Bilimler*, 7(1), 13-28. doi: <https://doi.org/10.20290/aubtdb.440473>
- Yu, Y., Wang, X., Zhong, R.Y. & Huang, G.Q. (2016). E-Commerce logistics in supply chain management: Practice perspective. *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production*, 52, 179-185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.002>
- Zhu, L. (2018). Supply chain inventory model for perishable items under delayed payment. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 21(4), 849-857. doi: <https://doi.org/10.1080/09720502.2018.1475063>
- Zhu, Q., Shah, P. & Sarkis, J. (2018). Addition by subtraction: Integrating product deletion with lean and sustainable supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 205, 201-214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.035>