

ENDÜSTRİ 4.0'IN TEDARİK ZİNCİRİNE ETKİLERİNİN DEMATEL TEKNİĞİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

Mehri Banu ERDEM¹
Ayşe YILMAZ²

ÖZ

Giderek dijitalleşen dünyada ağırlaşan rekabet koşullarıyla birlikte tedarik zincirlerinin de dijitalleşmesi kaçınılmaz olmakta ve endüstri 4.0'dan büyük oranda etkilenmektedir. Tedarik zincirleri örgütsel, yapısal ve teknolojik açıdan büyük değişimlere uğramaktadır. Tedarik zinciri süreçleri her geçen gün daha çok dijital ortama taşınmaktadır. Endüstri 4.0'ın etkisiyle tedarik zincirinde dijital dönüşüm ve akıllı sistemler, süreçleri daha şeffaf ve verimli hale getirerek koordinasyon ve uyumu kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada dijital dönüşümle tedarik zincirinde sağlanan iyileştirmelerin belirlenmesi ve bunlar arasındaki ilişki yoğunluğunun incelenmesi amaçlanmıştır. Değerlendirme yöntemi olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan DEMATEL tekniği kullanılmıştır. Değerlendirme kriterleri olarak 10 adet faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin analizi neticesinde diğerlerini en fazla etkileyen faktörler işbirliği ve bilgi yönetimi iken en fazla etkilenen maliyet ve tam zamanında üretimdir. Bununla birlikte diğer kriterler ile en yüksek ilişkiye sahip faktörler ise şeffaflık ve iletişimidir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, DEMATEL, Dijitalleşme, Endüstri 4.0, Tedarik Zinciri

EVALUATION OF THE EFFECTS OF INDUSTRY 4.0 ON THE SUPPLY CHAIN WITH DEMATEL TECHNIQUE

ABSTRACT

In the increasingly digitalized world, with the increasing competition conditions, the digitalization of supply chains is inevitable and the industry is greatly affected by 4.0. Supply chains are undergoing major organizational, structural and technological changes. Supply chain processes are moving more and more to the digital environment every day. With the influence of Industry 4.0, digital transformation and smart systems in the supply chain make processes more transparent and efficient, facilitating coordination and compliance. In this study, it is aimed to determine the improvements provided in the supply chain with digital transformation and to examine the relationship density between them. DEMATEL technique, which is one of the multi-criteria decision making methods, was used as an evaluation method. 10 factors were determined as evaluation criteria. As a result of the analysis of these factors, the factors that affect the others the most are cooperation and knowledge management, while the most affected cost and just-in-time production. However, the factors with the highest correlation with other criteria are transparency and communication.

Keywords: Multi Criteria Decision Making, DEMATEL, Digitalization, Industry 4.0, Supply Chain

Makale Geliş/Kabul Tarihi: 17.01.2023/05.04.2023

* Bu çalışma 11. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi'nde "Tedarik Zincirinde Endüstri 4.0'ın Dematel Tekniği İle Değerlendirilmesi" adı ile özet bildiri olarak sözlü sunum ile sunulmuştur.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Türkoğlu Meslek Yüksekokulu, mehri-banu@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-9763-3271

² Doktora Öğrencisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, ayse_ylmz_@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-0606-1117.

Künye Bilgisi: Erdem, M.B. & Yılmaz, A. (2024). Endüstri 4.0'ın tedarik zincirine etkilerinin Dematel tekniği ile değerlendirilmesi, *Uluslararası Stratejik Boyut Dergisi*, 3(1), 17-30.

GİRİŞ

Karmaşık ve sürekli değişen iş ortamı ve müşteri talebi ile kuruluşlarda esneklik ve yanıt verme ihtiyacı, dikkatleri ileri teknolojik yeniliklere çevirmektedir (Oberge ve Graham, 2016). Birçok şirket, iş süreçlerini düzene sokmak için (Sanders, 2007) ve süreç entegrasyonu sağlayarak operasyonel performanslarını iyileştirmek için halihazırda e-iş teknolojilerini uygulamaktadır (Chen ve Holsapple, 2012; Srinivasan ve Swink, 2015). Dördüncü sanayi devrimi olan Endüstri 4.0 ile ilişkili daha ileri teknolojik yenilikleri benimsemek için otomasyona ve robotiğe yoğun bir şekilde yatırım yapılmaktadır (Chung, 2015). Son otuz yılda, bilgi teknolojisi sistemleri, özellikle gündelik hayatın her alanında etkili olan önemli bir devrimsel ilerleme kaydetmiştir. En radikal değişikliklerden biri de, alt yapı hizmetlerinde bulut bilişim temelli akıllı cihazların kullanımına geçiştir (Tjahjono vd., 2017).

Dijitalleşme, dijital teknolojinin uygulanması yoluyla ürün ve hizmetlerde, süreçlerde veya tüm iş modellerinde köklü bir değişiklik olarak tanımlanabilir (Nambisan vd., 2017). Özellikle, endüstri 4.0, fiziksel ve sanal dünyaların yakınsaması ve insanların ve nesnelerin evrensel olarak birbirine bağlanması yoluyla endüstriyel sektörün dijitalleşmesini (McKinsey Digital 2015) gerektirmektedir (Kagermann, 2015). Büyük veri ve gelişmiş analitik, endüstri 4.0'da önemli bir rol oynamakta ve özellikle TZY (Tedarik zinciri yönetimi) için temel "oyun değiştiriciler" olarak görülmektedir (Waller ve Fawcett, 2013). 3D baskı, robotlar ve otonom araçlar gibi ek teknolojilerin endüstri 4.0 özellikli tedarik zinciri sistemlerini tamamlaması beklenmektedir (Yin vd., 2018).

Tedarik zinciri yönetimine geniş açıdan bakıldığında, iki temel görevi kapsamaktadır (CSCMP 2013). Birincisi, nihai müşteriye değer yaratılmasını ve teslim edilmesini içeren birincil faaliyetlerinin (özellikle tedarik, üretim ve lojistik) planlanması, uygulanması ve kontrolüdür. İkincisi ise iş ortaklarının değer ağlarına entegrasyonu ve şirketler içinde ve şirketler arasında karşılık gelen iş süreçlerinin koordinasyonudur (Hahn, 2020). Bilgi paylaşımı, tedarik zinciri ilişkilerini yönetmek ve tedarik zinciri performansının başarısını sürdürmek için kilit bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Baihaqi ve Sohal, 2013). Etkili bilgi paylaşımını sağlamak için şirketler, etkili iletişim kanalları ve işbirliği mekanizmaları geliştirmek ve ardından gelişmiş bilgi paylaşımı yoluyla tedarik zinciri performansını iyileştirmek için teknolojik yeniliklere yatırım yapmaktadırlar (Govindan vd., 2017).

Tedarik zincirinin esnek ve çevik olması risk yönetimini kolaylaştırmaktadır. Esnek ve çevikliği sağlamak için de süreçlerin entegre, şeffaf ve koordine bir sistemle yürütülmesi gerekmektedir. Bu sistem aynı zamanda tedarik zincirinin operasyonel performansını da arttırmakta ve etkin yönetimini sağlamaktadır. Bu sistemin oluşturulmasında ise önemli faktör bilgi paylaşımıdır. Bilgi paylaşımının öneminin artmasıyla birlikte bilgi teknolojisinde önemli ilerlemeler meydana gelmiş ve bu alana yatırımlar artmıştır. Birçok işletme, yeteneklerini geliştirmek ve süreç entegrasyonunu sağlayarak mükemmelle ulaşmak için yenilikçi teknolojileri takip etmektedir. Endüstri 4.0'ı etkinleştiren teknolojileri tedarik zinciri yönetimine yerleştirmek, entegrasyon sorununu ele almak için umut verici bir strateji olarak kabul edilmektedir. Çünkü bu teknolojilerin ileri düzeylerde bağlanabilirlik ve kapsamlı entegrasyon getirerek tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratması beklenmektedir (Kache ve Seuring, 2017). Bu da beraberinde tedarik zincirinde büyük performans iyileştirmelerini getirmektedir (Shrivastava vd., 2016). Bu kapsamda, bu çalışmada tedarik zincirine endüstri 4.0'ın sağladığı faydaların birbirleriyle ilişkisi incelenmiştir. Amaç endüstri 4.0'ın tedarik zincirine etkilerinden hangilerinin daha ön plana çıktığı ve hangilerinin daha geride kaldığını belirlemek ve birbirleri arasındaki ilişki yoğunluğunu tespit etmektir. Bu amaçla araştırmanın yöntemi olarak çok kriterli karar verme tekniklerinden DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. DEMATEL tekniğinin faktörler arasındaki ilişkiyi göstermesi, etkileme ve etkilenme bakımından gruplandırarak analiz etmesi ve sonuçları grafik, model vb. olarak görselleştirmesi açısından araştırma için daha uygun olacağı düşünülmüştür. Araştırmada veriler gıda sektöründe büyük ölçekli bir firmadan elde edilmiş ve bu verilerin analiziyle bulgular

yorumlanarak genel çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu kapsamda çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde tedarik zinciri ve endüstri 4.0'ın tanımlanması, literatür taraması, araştırmanın yöntemi ve uygulamanın anlatılması ve son olarak da sonuç ve önerilerin sunulmasıyla araştırmanın kapsamlı bir şekilde anlatımı yer almaktadır.

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ VE ENDÜSTRİ 4.0

1990'ların sonları, küreselleşmeye doğru daha büyük bir yönelimle ve pazar gücünün üreticilerden perakendecilere kaymasıyla karakterize edilmiştir. Tedarik zincirindeki müşteriler “daha az paraya daha fazla fayda” (yani artan müşteri değeri) beklemeye başlamışlardır. Ayrıca, ürünlerin müşterilerin benzersiz ihtiyaç ve isteklerine uyması için daha fazla özelleştirilmeye ihtiyaçları vardır. Ürün kaynağı ve pazar tüketimi arasındaki mesafeler coğrafi olarak daha yüksek kalite veya daha düşük maliyet arayışı içinde büyüdükçe, küreselleşme artan rekabet anlamına gelmiştir (Min vd., 2019). Bu mesafeler, koşullar ve arayışlarla birlikte geleneksel tedarik zinciri, ürün veya hizmetlerin üretimi ve dağıtımını için farklı şirketler arasında sadece bir ağ görevi görmektedir. Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY), müşteriler ve diğer paydaşlar için değer katan ürünler, hizmetler ve bilgiler sağlayarak tedarikçiden son kullanıcıya kadar temel iş süreçlerinin planlanması, yürütülmesi ve kontrol edilmesidir. Tedarik zinciri boyunca çoklu ilişkilerin yönetimine giderek artan bir şekilde tedarik zinciri yönetimi adı verilmektedir. Kesin olarak söylemek gerekirse, tedarik zinciri bire bir, işletmeler arası ilişkilere sahip bir işletmeler zinciri değil, birden çok işletme ve ilişki ağıdır. TZY, şirket içi ve şirketler arası entegrasyon ve yönetimin sinerjisini yakalama fırsatı sunmaktadır. Bu anlamda, TZY, toplam iş süreci mükemmelliği ile ilgilenmekte ve işi ve tedarik zincirinin diğer üyeleriyle olan ilişkileri yönetmenin yeni bir yolunu temsil etmektedir (Lambert ve Cooper, 2000).

Küreselleşmenin ortasında rekabet yoğunlaştıkça, şirketler değişen pazar taleplerine uyum sağlamak için aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli stratejiler uygulamışlardır (Gilmore ve Pine, 1997):

- Ürün özelliklerini son müşterinin girdisiyle kişiselleştirmek,
- Standart ürünle ek paketler sağlamak,
- Ürünün temel farklılaştırıcı unsurunu farklı müşteri segmentleri için özelleştirmek,
- Ürünü aynı marka altında nihai müşteri ihtiyacına göre yeniden formüle etmek

Bu özelleştirme yaklaşımları arasında ortak olan, firma içinde fonksiyonlar arası koordinasyon için artan bir ihtiyaçtır. Satış ve pazarlama, bireysel son müşterilerin benzersiz gereksinimlerini öğrenmek ve bunlara yanıt vermek için hem firma içinde hem de firmalar arasında araştırma ve geliştirme, mühendislik, lojistik ve hatta üretimden daha sık girdi talep etmeye başlamıştır. Örneğin, bir atıştırmalık gıda şirketi, satış ve üretim arasındaki faaliyetleri koordine etmek için perakendeci ortaklarıyla işbirliği yapmış ve farklı nihai müşteri taleplerini karşılamak için ambalajı özelleştirmiştir (Gilmore ve Pine 1997). Çok sayıda tedarikçiyi azaltmış, mal ve hizmet akışını takip etmek ve tedarik politikalarını güçlendirmek ve merkezileştirmek için bilgi sistemleri kurmuşlardır (Mangan ve Lalwani, 2016).

Küresel kaynak bulma ve pazarlama gereksinimleri, mekansal, zamansal ve kültürel mesafeler nedeniyle teslim süresi ve kaliteyi içeren arz ve talep belirsizliğini arttırmıştır. Küresel pazarlarda rekabette bir adım önde olmak için şirketler, tedarik zinciri ortakları arasında ürün, hizmet, bilgi ve finansın yukarı ve aşağı akışlarını entegre etmeye çalışmışlardır. Kuruluşlar, müşteri değerini maksimize etme girişimlerinde birbirlerinin temel yetkinliğine dayalı bir iş bölümü aracılığıyla tüm tedarik zincirini (hem son müşterilere doğru hem de hammadde tedarikçilerine doğru) ve potansiyel faydaları görselleştirmeye başlamışlardır. Böylece şirketler, nihai müşteriler de dahil olmak üzere tedarik zinciri ortaklarına daha fazla güvenerek stratejilerini yalnızca bireysel şirketler içinde değil, aynı zamanda bir tedarik zinciri içindeki şirketler arasında işlevsel faaliyetleri koordine etmeye doğru kaydırmışlardır

(Kotler, 1997; Min ve Mentzer, 2000). Bu planlamalar, faaliyetler ve girişimler de teknolojik gereksinimleri beraberinde getirmiştir. Bu gereksinimler tüm cihaz, bilişim sistemleri ve endüstriyel makine ve teçhizatın dijitalleşmeye geçişini doğurmuştur. Bu da dördüncü sanayi devrimi olan Endüstri 4.0'ı işaret etmektedir.

Almanya'da Endüstri 4.0 girişimi, yeni zorlukların üstesinden gelmek ve imalat endüstrisinin gelecekteki rekabet gücünü sağlamak için yüksek teknoloji stratejisinin bir parçası olarak 2011 yılında başlatılmıştır (Kagermann vd., 2013). Yeni teknolojik gelişmeler, her şeyden önce, tedarik zinciri boyunca, nesnelere interneti tarafından sağlanan ürünler, müşteriler ve üretim tesisleri arasında gerçek zamanlı veri alışverişi ve sanal ve gerçek dünyanın kaynaşması, dördüncü sanayi devriminin teknolojik çekirdeğini oluşturmaktadır. En yaygın olarak, tüm ürün yaşam döngüsü boyunca uçtan uca mühendislikle birlikte bilgi ve iletişim teknolojilerinin dikey ve yatay entegrasyonu, Endüstri 4.0 aracılığıyla temel kavramlar ve en önemli yenilikler olarak görülmektedir. Dijital ara bağlantı, bilgilerin tüm tedarik ağlarının yanı sıra şirketler içinde ve arasında gerçek zamanlı olarak paylaşılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle Endüstri 4.0, şirketlerin rekabet güçleri, üretkenlikleri ve özellikle gelir artışı gibi ekonomik değerleri artırmalarına olanak tanımaktadır (Bonilla vd., 2018). Aynı zamanda bu, satın alma ve üretimden müşteri yönetimine kadar tüm ticari faaliyetleri etkilerken süreçlerde, iletişimde ve ilişkilerde köklü değişikliklere yol açmaktadır (Kagermann vd., 2013; Lasi vd., 2014; Liao vd., 2017).

Dijital teknolojiler, süreçlerin ve işlemlerin tamamlanma şeklini değiştirmektedir. Endüstriler ve kuruluşlar uyum sağlamak zorunda kalmakta veya geride kalma riskini göze almaktadır. Dijitalleşme, kuruluşların işleyiş biçimini dönüştürmekte ve endüstrilerde değer yaratma için küresel fırsatları serbest bırakmaktadır. Dijitalleşme, çok çeşitli şirketlere üstün faydalar sağlayarak işletmelerden büyük ilgi görmüştür (Büyüközkın ve Göçer, 2018). Dijitalleşme, endüstriyel sektöre, özellikle işleme ve imalatta pek çok fayda sağlamış, ancak hala henüz kullanılmayan muazzam bir potansiyel bulunmaktadır. Otomasyon, akıllı makineler, büyük veri ve analitik ile nesnelere internetindeki (IoT) gelişmeler, tüm endüstri değer zinciri boyunca önemli kazanımlar için fırsatlar yaratmıştır. Birçok şirket, iş modellerini ve özellikle tedarik zinciri yönetimini dijitalleştirmek için büyük yatırımlar yapmaktadır.

Dijital çağ, geleneksel tedarik zincirlerinde önemli değişiklikler gerektirmiştir. Şu anda, tedarik zinciri süreçlerinin kritik yönleri, hızlandırılmış bir dijitalleşme sürecinden geçmektedir (Geisberger ve Broy, 2012). Teknoloji ve yenilikler, tedarik zinciri evrimini etkileyen ana faktörlerden biridir (MacCarthy vd., 2016). Global Enterprise Merkezi, Dijital Tedarik Zincirini (DTZ) "çeşitli kaynaklardan gelen gerçek zamanlı verilerin kullanımını yakalayan ve en üst düzeye çıkararak müşteri merkezli bir platform modeli" olarak tanımlamaktadır. Performansı optimize etmek ve riski en aza indirmek için talep uyarımı, eşleştirme, algılama ve yönetim sağlamaktadır. Büyük veri, bulut, makine öğrenimi algoritmalarının desteklediği gelişmiş analitik ve nesnelere interneti (IoT) gibi dijital teknolojiler, geleneksel tedarik zinciri yapılarının akıllı dijital modellere dönüşmesine yardımcı olmaktadır. Bu yeni dijital tedarik zinciri, daha iyi görünürlük, daha iyi içgörüler, daha geniş işbirliği ve daha kısa yanıt süreleri sağlamaktadır (Chase, 2019). DTZ, esas olarak birçok tedarik zinciri ortağına eş zamanlı olarak gerçek zamanlı bilgi sunarak rekabet gücünü artırmayı sağlamaktadır (Nowicka, 2018).

Tedarik zinciri ve endüstri 4.0 ilişkisi açısından literatür incelendiğinde Varma ve Khan (2014), Agrawal ve Narain (2018), Arenkov vd. (2019), Attaran (2020) dijital teknoloji sağlayıcılarının tedarik zincirindeki yerini, Ivanov vd. (2019), Fatorachian ve Kazemi (2021) endüstri 4.0'ın tedarik zincirine etkilerini, Koh vd. (2019), Hahn (2020) endüstri 4.0'ı tedarik zincirine getirdiği yenilikleri incelemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak Rad vd. (2022) tedarik zinciri performansında endüstri 4.0'ın temel teknolojilerinin faydaları, zorlukları ve kritik başarı faktörlerini literatür taramasıyla incelemiştir. Caiado vd. (2022) operasyonlar ve tedarik zinciri yönetimi için sürdürülebilir endüstri 4.0'ı engeller ve faydalar açısından araştırmıştır. Literatürde yer alan bu araştırmalardan farklı olarak bu çalışmada endüstri 4.0'ın tedarik zincirine etkileri çok kriterli karar verme yöntemlerinden DEMATEL tekniği ile gıda sektörü çerçevesinde değerlendirilmiştir.

METODOLOJİ

Gıda tedarik zincirleri, ürün bütünlüğünün hayati önem taşıdığı karmaşık, dinamik ve zaman açısından kritik bir ortamda çalışmaktadır. Gıdanın belirli bir kalitede olacağına dair yüksek derecede kesinlik olmalıdır. Gıda sektörü hassas olma özelliğiyle teknolojik boyutun da önemli olduğu bir tedarik zinciri içermektedir. Bu zincirin evrimi, bütünlüğü, verimliliği ve üretkenliğini artırma yeteneği gerekli olan sayısız yenilik ve gelişme ile mümkün olmaktadır. Bunlar arasında doğru tartım, soğutma, kontrollü atmosferik bakteri üreme inhibisyonu, pastörizasyon, mikro element kirletici tespiti, barkodlama, paketlemenin elektronik olarak tanınması, stabilizatör kullanımı, bitkisel ve hayvansal üretim sistemleri vb. yer almaktadır. Bilgi teknolojileri kullanımı gıda zincirinde bilginin anlık olarak paylaşılmasını desteklemektedir (Bourlakis ve Weightman, 2008).

Gıda tedarik zincirinde önemli unsurlardan bir tanesi soğuk zincirdir. Soğuk zincir, depolama, elleçleme, taşıma vb. söz konusu faaliyetlerin ürünlerin korunması için gerekli olan ısı seviyelerinde gerçekleştirilmesidir. Ürünün korunması için gerekli olan ısı seviyesi tedarik zincirinin tamamında sağlanmalı ve sürdürülmelidir. Soğutma, yiyeceklerde meydana gelen değişikliklerin hızını durdurur veya azaltır. Bu değişiklikler mikrobiyolojik (mikroorganizmaların büyümesi), fizyolojik (örneğin olgunlaşma, yaşlanma ve solunum), biyokimyasal (örneğin esmerleşme reaksiyonları, lipid oksidasyonu ve pigment bozulması) ve/veya fiziksel (örneğin nem kaybı) olabilir. Verimli ve etkili bir soğuk zincir, pratik olduğu sürece bu değişiklikleri yavaşlatmak veya önlemek için en iyi koşulları sağlamak üzere tasarlanmıştır. Soğutma, hem birçok gıdanın güvenliğini ve kalitesini korumak hem de gıdanın giderek kentleşen dünyaya tedarik edilmesini sağlamak açısından önemlidir. Bu noktada teknoloji büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle özellikle gıda işletmeleri teknolojiyi yakından takip etmekte ve teknolojinin sağladığı kolaylıklardan faydalanmak için çaba göstermektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde Endüstri 4.0 tarafından sağlanan ve önümüzdeki yıllarda henüz görülmemiş potansiyel performans iyileştirmelerinden yararlanmak için şirketlerin yeni operasyonel yetenekler (Li vd., 2016; Brousell vd., 2014; Nielsse ve Schip, 2014) ve entegre tedarik zinciri modelleri (Tachizawa vd., 2015) geliştirmesi gerekmektedir (Fatorachian ve Kazemi, 2021). Bu çalışma da işletmelerin bu yetenek ve modelleri geliştirmesine yardımcı olmak amacıyla tedarik zincirinde endüstri 4.0'ın etkileri üzerine gıda sektöründe bir araştırmayı içermektedir.

Araştırmanın kapsamı

Bu çalışmada endüstri 4.0'ın tedarik zincirine sağladığı faydaların birbirleriyle ilişkisi incelenerek aralarındaki ilişki yoğunluğu belirlenmiştir. Amaç endüstri 4.0'ın tedarik zincirine etkilerinden hangilerinin daha ön plana çıktığı ve hangilerinin daha geride kaldığını belirlemektir. Bununla birlikte faktörler arası etkileşimleri sunarak birbirlerini ne derecede ve ne yönde etkilediğini ortaya çıkarmaktır. Bu yönüyle çalışma, işletmelere endüstri 4.0'a geçiş sürecinde tedarik zincirinde ne gibi faydalar sağlayacağını ve bu faydaların devamında ne gibi etkiler yaratacağını gösterecek ve bu geçiş sürecinde işletmelere fayda sağlayacaktır. Bu noktada çalışmanın hem literatüre hem de sektöre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu amaçla çalışmada yöntem olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan DEMATEL tekniği kullanılmıştır. Faktörler arası ilişki ve etkileri ortaya koyması nedeniyle bu teknik tercih edilmiştir. Veriler gıda sektöründe faaliyet gösteren büyük ölçekli bir firmadan üç uzman ve bir akademisyenden yüz yüze görüşmeyle elde edilmiştir. Elde edilen veriler MS Office Excel'de analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

DEMATEL Tekniği

DEMATEL yöntemi (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı metodolojisi) karmaşık bir sistemin bileşenleri arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri analiz etmek için etkili bir yöntemdir (Zhou vd., 2018). DEMATEL, toplam ilişkileri etkin bir şekilde değerlendiren ve sistem bileşenleri arasında bir harita oluşturan çizge teorisi temelinde inşa edilmiştir. Bileşenlerin toplam ilişki matrisini analiz ederek, aralarındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması sağlanabilmektedir (Zhang ve Deng, 2019).

1. Adım: Direkt ilişki matrisinin oluşturulması: Başlangıç ya da doğrudan ilişki matrisi de denilen Z , kriterler arasındaki etkiler ve yönler açısından ikili karşılaştırmalarla elde edilen bir $n \times n$ matrisidir. Burada Z_{ij} , i kriterinin j kriterini etkileme derecesini ifade etmektedir. Yani $Z = [z_{ij}]_{n \times n}$ matrisidir (Zhang ve Deng, 2019). Karşılaştırma için Tablo 1’de görüldüğü gibi 0, 1, 2, 3, 4 değerlerine karşılık gelen sırasıyla “etki yok”, “düşük etki”, “orta etki”, “yüksek etki”, “çok yüksek etki” ifadelerini içeren bir ölçek kullanılmaktadır (Uygun vd., 2015).

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

Tablo 1. DEMATEL İkili Karşılaştırma Ölçeği

Değerler	0	1	2	3	4
Anlamı	Etkisiz	Düşük etki	Orta etki	Yüksek etki	Çok yüksek etki

2. Adım: Direkt İlişki Matrisinin Normalize edilmesi: Direkt ilişki matrisi (başlangıç karşılaştırma matrisi) Z , karşılıklı ikili değerlendirmeyle oluşturulmakta ve eşitlik (3.1) ile normalleştirilmektedir

$$X = \lambda \cdot Z \quad (3.1)$$

λ satır ve sütunların toplamalarının maksimum değerlerinden faydalanılarak, yani eşitlik (3.2)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \min \left\{ \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |z_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |z_{ij}|} \right\} \quad (3.2)$$

3. Adım: Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması: Toplam ilişki matrisi T aşağıda belirtilen eşitlik (3.3) ile hesaplanmaktadır (Wu ve Lee, 2007). Matrisin t_{ij} elemanı; i kriterinin j kriterini ne kadar etkilediğini (etkileme derecesini) ifade etmektedir.

$$T = X(I-X)^{-1} \quad I: \text{Birim Matris} \quad (3.3)$$

3. Adım: Kriterlerin etki ve etkilenme derecelerinin (Gönderici ve Alıcı Grubunun) belirlenmesi: T matrisi Toplam ilişki matrisini ifade etmekte ve D_i satır toplamaları ve R_j sütun toplamaları olmak üzere, D_i , diğer kriterler üzerinde i . kriterin etkisinin derecesini göstermektedir. R_j değeri ise, j . kriterin diğer kriterlerden ne kadar etkilendiğinin derecesini ifade etmektedir (Chen ve Chen, 2010).

$D+R$ ve $D-R$, D ve R ’ye dayalı olarak elde edilebilir. Bu hesaplamalara göre alıcı ve gönderici grubun etkilerinin toplamını D_i+R_i ifade etmekte ve sistem içinde i kriterinin etkisinin derecesini temsil etmektedir (Gök ve Perçin, 2016). $D-R > 0$ ise, sebep faktörü olarak kabul edilir. $D-R < 0$ ise, etki faktörüdür. Daha yüksek $D-R$ değerlerine sahip seçimlerin bir diğerine daha yüksek etkisi olduğu ve daha yüksek önceliğe sahip olduğu varsayılır ve daha düşük değerlere sahip olan ve bir diğerinden daha fazla etki alan seçimlerin daha düşük önceliğe sahip olduğu varsayılır. Benzer şekilde, $D+R$ değeri yüksek olan seçenekler daha baskın, $D+R$ değeri düşük olanlar ise sistemde daha geride kalmaktadır.

ANALİZ VE BULGULARIN YORUMLANMASI

Araştırmanın ilk adımında değerlendirmeye tabi tutulacak faktörler oluşturulmuştur. Bu faktörler ilgili uzmanlarla görüşülerek ve literatürden destek alınarak belirlenmiştir. Bunlar; güvenilirlik (Attaran, 2020, Kayıkçı vd., 2020), şeffaflık (Pfohl, 2015, Attaran, 2020, Kayıkçı vd., 2020, Yadav vd., 2022), esneklik (Pfohl, 2015), işbirliği (Pfohl, 2015, Kayıkçı vd., 2020), kalite yönetimi (Attaran, 2020, Kayıkçı vd., 2020), tam zamanında üretim (Rad vd. 2022), hata oranını azaltma (Attaran, 2020, Rad vd. 2022, Yadav vd., 2022), iletişim (Pfohl, 2015, Attaran, 2020, Rad vd. 2022), bilgi yönetimi (Attaran, 2020,

Kayıkçı vd., 2020), maliyet (Attaran, 2020, Rad vd. 2022) olarak 10 adettir. Bu faktörler Tablo 2’de görüldüğü üzere K₁, K₂, ..., K₁₀ olarak ifade edilmiştir.

Tablo 2. Faktörler

Kodu	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀
Kriterler	Güvenilirlik	Şeffaflık	Esneklik	İşbirliği	Tam zamanında üretim	Kalite yönetimi	Hata oranında azalma	İletişim	Bilgi Yönetimi	Maliyet

Daha sonra bu kriterler ile DEMATEL tekniğine yönelik bir veri toplama formu oluşturulmuş ve ikinci kez yüz yüze görüşme yapılmıştır. Çalışmada ölçek olarak DEMATEL tekniğine ait Tablo 1’de yer alan ölçek kullanılmıştır. Uzmanlarla görüşülerek faktörler arasındaki ilişkiler ikili karşılaştırma yöntemiyle veri toplama formu üzerinde değerlendirilmiş ve direkt ilişki matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra bu matris Microsoft Office Excel programında formüle edilerek analiz edilmiş ve normalize matris elde edilmiştir. Bu matris değerleri Tablo 3’te yer almaktadır.

Tablo 3. Normalize Edilmiş Matris

Kriter	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀
K ₁	0,000	0,059	0,029	0,118	0,088	0,118	0,088	0,118	0,118	0,059
K ₂	0,118	0,000	0,118	0,118	0,088	0,118	0,118	0,118	0,118	0,059
K ₃	0,059	0,029	0,000	0,118	0,118	0,088	0,059	0,059	0,059	0,088
K ₄	0,088	0,088	0,118	0,000	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,088
K ₅	0,088	0,029	0,118	0,088	0,000	0,088	0,118	0,029	0,088	0,059
K ₆	0,118	0,029	0,118	0,088	0,118	0,000	0,059	0,059	0,088	0,118
K ₇	0,118	0,000	0,059	0,059	0,118	0,088	0,000	0,059	0,059	0,118
K ₈	0,088	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,000	0,118	0,088
K ₉	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,059	0,118	0,059	0,000	0,059
K ₁₀	0,029	0,029	0,059	0,059	0,059	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000

Toplam ilişki matrisindeki sütun ve satırların toplamı, vektörlerin, D ve R değerlerini sağlamaktadır. Faktörlerin birbirleri üzerindeki etkilerini gösteren matris Tablo 4’te yer almaktadır. Bu matris aynı zamanda faktörler arasındaki etkileme ve etkilenme durumlarını göstermektedir. Buna göre en yüksek etki sırasıyla K₈ işbirliği (0,51) ve K₄ (0,50) iletişimin K₅ tam zamanında üretim üzerindeki etkileridir. Bununla birlikte diğer faktörler üzerinde en fazla etkiye sahip faktörler de K₂ şeffaflık, K₄ iletişim ve K₈ işbirliğidir. En çok etkilenen faktör ise K₅ tam zamanında üretimdir. Diğer faktörler üzerinde etkisi çok daha az olan faktör K₁₀ maliyet faktörüdür. Tablo 3’e göre diğerlerinden en az etkilenen faktörlere bakıldığında K₂ şeffaflık ve K₈ işbirliğidir. Bu çalışmada bulguların daha anlamlı yorumlanabilmesi için toplam ilişki matrisindeki değerlerin genel yoğunluğuna bakılarak eşik değeri 0,40 olarak belirlenmiş ve bunun altında kalan değerler göz ardı edilmiştir. Buna göre diğer faktörlerde genel olarak kayda değer bir etkilenme görülmemektedir.

Tablo 4. Toplam İlişki Matrisi

Kriter	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	TOPLAM
K ₁	0,30	0,24	0,34	0,42	0,42	0,41	0,37	0,33	0,38	0,33	3,54
K ₂	0,46	0,22	0,47	0,48	0,49	0,47	0,45	0,38	0,44	0,38	4,23
K ₃	0,29	0,18	0,25	0,36	0,38	0,33	0,29	0,24	0,28	0,30	2,90

K₄	0,43	0,29	0,46	0,37	0,50	0,46	0,44	0,37	0,43	0,40	4,13
K₅	0,33	0,18	0,36	0,35	0,29	0,34	0,35	0,22	0,31	0,29	3,01
K₆	0,38	0,20	0,39	0,37	0,42	0,28	0,32	0,26	0,33	0,36	3,30
K₇	0,33	0,14	0,29	0,30	0,37	0,32	0,22	0,23	0,27	0,32	2,78
K₈	0,44	0,32	0,48	0,48	0,51	0,47	0,45	0,27	0,44	0,41	4,27
K₉	0,43	0,30	0,43	0,45	0,47	0,39	0,42	0,30	0,30	0,35	3,83
K₁₀	0,14	0,09	0,17	0,17	0,18	0,17	0,11	0,08	0,10	0,10	1,31
TOPLAM	3,52	2,16	3,64	3,74	4,03	3,63	3,40	2,67	3,28	3,21	

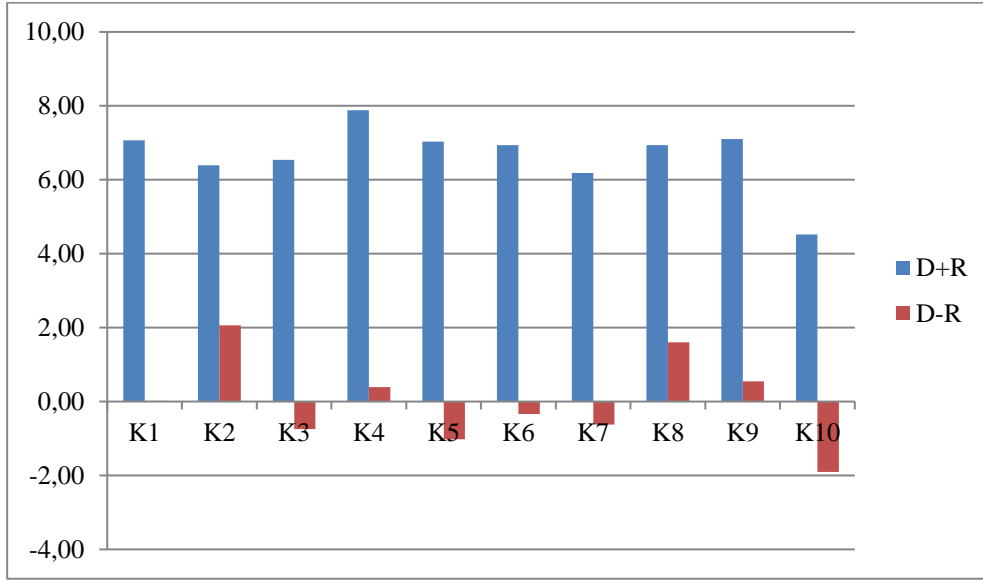
Toplam ilişki matrisi (Tablo 4) elde edildikten sonra faktörler arasındaki etkileme ve etkilenmenin derecelerini belirlemek amacıyla D+R ve D-R değerleri hesaplanmış ve Tablo 5 elde edilmiştir. Bu tabloda D+R, faktörlerin etkileme ve etkilenme derecelerinin toplamını ifade etmektedir. Bu nedenle faktörler arasındaki ilişkinin yoğunluğunu göstermektedir. Buna göre D+R’de en yüksek değere sahip faktör 7,88 değerle K₄ işbirliği faktörüdür. İşbirliği faktörüne en yakın değere sahip olmakla dikkat çeken diğer faktörler ise K₉ bilgi yönetimi (7,10) ve K₁ güvenilirliktir (7,06). Buna göre faktörler arasında diğerleriyle ilişki yoğunluğu en çok olan yani en baskın faktörler işbirliği ve güvenilirlik faktörleridir. K₁₀ maliyet faktörü ise 4,52 değerle ilişki yoğunluğu en az olan faktör olarak göze çarpmaktadır. Dolayısıyla maliyet faktörü diğerlerini en az etkileyen faktör olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 5. Kriterlerin Etkileme ve Etkilenme Dereceleri

Kriter	K₁	K₂	K₃	K₄	K₅	K₆	K₇	K₈	K₉	K₁₀
D+R	7,06	6,39	6,54	7,88	7,03	6,94	6,18	6,94	7,10	4,52
D-R	0,02	2,06	-0,75	0,39	-1,02	-0,33	-0,62	1,61	0,55	-1,91

D+R değerleri ilişki yoğunluğu ile ilgili bilgi verirken ilişki yönü ile ilgili bilgi vermemektedir. Bu nedenle ilişki yönü için D-R değerleri incelenmektedir. D-R değeri pozitif olan faktörler arasında etkileme derecesinin etkilenme derecesinden fazla olduğunu gösterirken, D-R değeri negatif olan faktörler ise diğerlerinden etkilenme derecesinin etkileme derecesinden fazla olduğunu göstermektedir. Buna göre diğerleri üzerinde en çok etkiye sahip faktörler 2,06 değerle K₂ şeffaflık ve 1,61 değerle K₈ iletişimdir. Faktörler arasında diğerlerinden en çok etkilenen faktöre baktığımızda ise -1,91 değerle K₁₀ maliyet ve -1,02 değerle K₅ tam zamanında üretimdir.

Şekil 1. Araştırmanın Grafiği



Araştırma sonucu ortaya çıkan grafiğe (şekil 1) göre K₁₀ maliyet faktörü en az etkileyen faktör olurken aynı zamanda da en çok etkilenen faktör olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre diğer tüm faktörler üzerinde yapılan değişimler maliyeti doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği sonucu çıkarılabilmektedir. Araştırmanın gıda sektöründe bir firmada yapıldığı dikkate alındığında tedarik zincirinde en hassas sektörlerden bir tanesi olduğu ifade edilebilir. Nedeni ise söz konusu ürünlerin gerek muhafaza koşulları olarak gerekse zaman olarak dayanıklılığının az olmasıdır. Bu nedenle süreçlerde yapılabilecek iyileştirmeler maliyeti önemli derecede etkilemektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Dünyanın dört bir yanındaki şirketler, tedarik zinciri performansını iyileştirmenin yollarını işletme maliyetlerini düşürmenin, kar marjlarını iyileştirmenin, pazar payını korumanın ve müşterilere yanıt verme yeteneğini artırmanın bir yolu olarak görmektedir. Mevcut tedarik zinciri performanslarını geliştirmek isteyen şirketler, tüketici ihtiyaçlarını karşılamada daha yüksek düzeyde performans sağlamak için teknolojiye güvenmek zorunda kalmaktadır (Attaran, 2020). Tedarik zinciri, hammadde tedarikiyle başlayan ve mamullerin nihai tüketiciye teslim edilmesi sürecinde birbirleriyle bağlantılı süreçler silsilesidir (Janvier-James, 2012). Bu süreç kümelerinin entegre bir şekilde faaliyet gösterebilmeleri için sürekli yeni gelişmeler sağlanmaktadır. Bu gelişmelerin ortak noktası ise teknolojidir. Durmaksızın teknoloji temelli bir ilerleme görülmektedir. Bu ilerlemeler tüm sektör ve işletmeleri derinden etkilemektedir. Bu nedenle her işletme bu gelişmelerden kendi payına düşeni almakta ve bu duruma ayak uydurmaya yönelik çalışmalar yürütmektedir. Bu sektörlerden bir tanesi de ürün dayanıklılığının az olduğu gıda sektörüdür. Gıda ürünleri için başlangıç noktası ürünün yetiştirildiği tarlalar veya bahçeler ile üretildiği yerlerdir. Bu noktalarda başlayan tedarik zinciri operasyon süreci iki aşamalı olarak devam etmektedir. Temel gıda ürünleri doğrudan üreticiden tüketiciye ulaştırılabileceği gibi ikinci olarak aracılardan kullanılması yoluna da gidilebilmektedir (Erdal vd., 2008). Deniz, hava ve kara taşıma sistemlerinin, optimum güvenlik ve yüksek kaliteli raf ömrü sağlamak için gıdanın sıcaklığını belirli sınırlar içinde tutması beklenmektedir. Bu noktada soğuk zincirin kırılmaması için gıda zincirinde gerekli koordinasyon ve entegrasyonun sağlanması gerekmektedir. Bu da teknolojik yatırımları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada tedarik zincirinde endüstri 4.0'ın etkileri gıda sektöründe değerlendirilmiştir. Çalışmada örneklem olarak gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firma seçilmiş olsa da araştırmanın asıl amacı endüstri 4.0'ın tedarik zincirine temel etkilerinin değerlendirilmesidir. Bu nedenle değerlendirme

genel etkiler üzerinden yapılmış ve bu amaç altında gıda sektörü açısından da yorumlanmıştır. Ayrıca Yıldız vd. (2018), Min vd., (2019), Attaran (2020) ve Fatorachian ve Kazemi (2021)'nin sektör ayırmaksızın yapmış oldukları çalışmaların genel sonuçlarıyla gıda sektöründe elde edilen sonuçların kıyaslanması imkanı doğmuştur. Bu amaçla genel etkilerden olan 10 adet faktör belirlenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan DEMATEL yöntemiyle değerlendirilmiştir. Tedarik zincirinde endüstri 4.0'ın sağladığı faydalar arasında genel bir değerlendirme yapıldığında en fazla etkileyen işbirliği ve bilgi yönetimi iken en fazla etkilenen maliyet ve tam zamanında üretimdir. Bununla birlikte diğer kriterler ile en yüksek ilişkiye sahip faktörler ise şeffaflık ve iletişimidir. Küresel tedarik zincirleri son derece karmaşık yapılarla karakterize edilirken, mevcut "Endüstri 4.0" teknolojileri tüm değer yaratma sürecinin şeffaflığını arttırmaktadır. Şeffaflıktaki bu artış sayesinde, şirkette karar verme daha işbirlikçi ve verimli olacaktır. Sadece tedarik zinciri süreçleri değil, aynı zamanda kurumsal ortakların ve müşterilerin şirkete karşı davranışları da daha şeffaf olacaktır. Toplumumuzdaki insanlar nasıl sosyal ağlarda etkileşime giriyorsa, şirketlerin süreçleri tanımlanacak ve faaliyetler, şirketlerin organizasyonel sınırları içinde ve dışında belirli ağlar içindeki makineler ve insanlar arasındaki etkileşim yoluyla kararlaştırılacaktır.

Gıda tedarik zincirinde soğuk zincirin kırılmaması önemlidir. Bu nedenle gıda tedarik zincirinde aracı sayısı ve süreç ne kadar kısaltılırsa soğuk zincir üzerindeki hakimiyet de o kadar artmakta ve takibi kolaylaşmaktadır. Bu açıdan gıda sektöründe bu süreci kısaltabilmek ve hızlandırabilmek için teknolojik yenilikleri takip etmek ve bu yenilikleri süreçlere dahil etmek gerekmektedir. Bu da endüstri 4.0'ın getirdiği yeniliklere işaret etmekte ve gıda sektöründe teknolojinin önemini göstermektedir. Kısa gıda tedarik zincirlerinin geliştirilmesi ve süreçlerin hızlandırılmasının endüstri 4.0 teknolojilerine yatırım yapmakla gerçekleştirilebileceği yadsınılmaz bir gerçektir. Bu durum kısa vadede işletmeleri büyük maliyetlere katlanmak zorunda bıraksa da önemli bir maliyet düşüşüyle uzun vadede kayda değer karlar elde edeceğini garanti edebilmektedir. Ayrıca tedarik zincirleri için en önemli unsurlardan biri olan bilgi yönetimi de teknolojinin getirdiği kolaylıklarla daha optimum sağlanmaktadır. Bu da süreç entegrasyonunu sağlayarak şeffaflığı ve güvenilirliği arttırmaktadır. Nesnelerin interneti ve bulut bilişimin süreçlerde kullanılması bilgiyi toplamak, depolamak ve paylaşmayı kolaylaştırarak şeffaflıkta önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu da tedarik zincirinde işbirliğini sağlayarak sürecin entegrasyon ve koordinasyonuna önemli katkı sağlamaktadır. Ayrıca verilerin güncel tutulması, izleme ve takibin artması ve birlikte çalışılabilirliği kolaylaştırması esnekliği ve çevikliği artırarak oluşabilecek sorunların kısa sürede çözüme kavuşturulmasında önemli bir yere sahiptir.

Konuyla ilgili çalışmalara bakıldığında, Yıldız vd. (2018), Min vd., (2019), Attaran (2020) ve Fatorachian ve Kazemi (2021) tarafından yapılan çalışmaları destekler nitelikte sonuçlar elde edilmiştir. Dijitalleşme ile işletme iç süreçleri, tedarikçilerle işbirliği ve müşterilerle talep yönetimine kadar birçok süreçte rekabet avantajı kazanılmaktadır. Dijital ve sürdürülebilir bir ekonomi çağında işletmelerin teknolojiyi yakından takip etme ve bu alanda önemli yatırımlar yapmaları kaçınılmazdır. Tedarik zinciri düzeyinde, Endüstri 4.0'ın temel faydaları ve etkinleştiren teknolojiler, yenilikçi analitik yeteneklerin yaratılmasına ve ardından bireysel tedarik zinciri sürecinde performans iyileştirmelerine yol açan gelişmiş entegrasyon, otomasyon ve dijitalleştirme yoluyla gerçekleştirilebilmektedir (Fatorachian ve Kazemi, 2021).

Araştırmanın gıda sektöründe tek bir işletme üzerinde gerçekleştirilmesi çalışmanın en büyük kısıtıdır. Bu nedenle elde edilen sonuçlardan bir takım çıkarımlar yapılabilmekte ancak sektörle ilgili genelleme yapılamamaktadır. Bu noktada bundan sonraki yapılacak çalışmalarda sektörden daha geniş kapsamda veri toplayarak veya sektörü kendi içerisinde gruplandırarak (süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri, hububat, yağ meyve ve sebze, konserve grubu, işlenmiş gıdalar vb.) ya da sektörler arası bir araştırma yapılabilir. Ayrıca farklı yöntemlerle veya karma yöntemlerle çalışabilir.

KAYNAKÇA

- Agrawal, P., & Narain, R. (2018, December). Digital supply chain management: An Overview. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 455(1), IOP Publishing.
- Arenkov, I., Tsenzharik, M., & Vetrova, M. (2019, September). Digital technologies in supply chain management. In International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019), 448-453. Atlantis Press.
- Attaran, M. (2020, July). Digital technology enablers and their implications for supply chain management. In *Supply Chain Forum: An International Journal*, 21(3), 158-172. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1751568>
- Baihaqi, I., & Sohal, A. S. (2013). The impact of information sharing in supply chains on organisational performance: an empirical study. *Production Planning & Control*, 24(8-9), 743-758. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.666865>
- Bonilla, S. H., Silva, H. R., Terra da Silva, M., Franco Gonçalves, R., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, 10(10), 3740. <https://doi.org/10.3390/su10103740>
- Bourlakis, M. A., & Weightman, P. W. (Eds.). (2008). *Food supply chain management*. John Wiley & Sons.
- Brousell, D. R., Moad, J. R., & Tate, P. (2014). The next industrial revolution: how the internet of things and embedded, connected, intelligent devices will transform manufacturing. *Frost & Sullivan, A Manufacturing Leadership White Paper*.
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Azevedo, B. D., de Mattos Nascimento, D. L., & Quelhas, O. L. G. (2022). Challenges and benefits of sustainable industry 4.0 for operations and supply chain management—A framework headed toward the 2030 agenda. *Sustainability*, 14(2), 830. <https://doi.org/10.3390/su14020830>
- Chase, C. (2019). How the Digital Economy is Impacting the Supply Chain. *Journal of Business Forecasting*, 38(2).
- Chen, L., & Holsapple, C. (2012). E-business adoption research: Analysis and structure.
- Chen, J. K., & Chen, I. S. (2010). Using a novel conjunctive MCDM approach based on DEMATEL, fuzzy ANP, and TOPSIS as an innovation support system for Taiwanese higher education. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 1981-1990. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.079>
- Chung, C. (2015). Industry 4.0: Smart factories need smart supply chains. *Longitudes*.
- Erdal, M., Görçün, Ö. F., Görçün, Ö., & Saygılı, M. S. (2008). Entegre lojistik yönetimi. *Beta yayınları*, 578-595.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2021). Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. *Production Planning & Control*, 32(1), 63-81. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487>
- Geisberger, E., & Broy, M. (Eds.). (2012). *AgendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (Vol. 1)*. Springer-Verlag. DOI: 10.1007/978-3-642-29099-2

- Gilmore, J. H., & Pine, B. J. (1997). Beyond goods and services. *Strategy and Leadership*, 25, 10-21. <https://doi.org/10.1108/eb054585>
- Govindan, K., Mangla, S. K., & Luthra, S. (2017). Prioritising indicators in improving supply chain performance using fuzzy AHP: insights from the case example of four Indian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 28(6-8), 552-573. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1309716>
- Gök, A. C., & Perçin, S. (2016). Elektronik alışveriş (e-alışveriş) sitelerinin e-hizmet kalitesi açısından değerlendirilmesinde DEMATEL-AAS-VIKOR Yaklaşımı. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(2), 131-144. <https://doi.org/10.18037/ausbd.389223>
- Hahn, G. J. (2020). Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1425-1441.
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.
- Janvier-James, A. M. (2012). A new introduction to supply chains and supply chain management: Definitions and theories perspective. *International Business Research*, 5(1), 194-207. doi:10.5539/ibr.v5n1p194
- Kache, F., & Seuring, S. (2017). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International journal of operations & production management*. 37(1), 10-36. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2015-0078>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion: Berlin, Germany*.
- Kagermann, H. (2015). *Change through digitization-Value creation in the age of Industry 4.0*. In Management of permanent change, 23-45. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022). Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production planning & control*, 33(2-3), 301-321.
- Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. J. (2019). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6/7/8), 817-828.
- Kotler, P. (1997). *Marketing Management*, 9th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00113-3)
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). *Industrie 4.0. Business & Information Systems Engineering; Berkeley*, 6.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International journal of production research*, 55(12), 3609-3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Li, F., Nucciarelli, A., Roden, S., & Graham, G. (2016). How smart cities transform operations models: a new research agenda for operations management in the digital economy. *Production Planning & Control*, 27(6), 514-528. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1147096>

- MacCarthy, B. L., Blome, C., Olhager, J., Srari, J. S., & Zhao, X. (2016). Supply chain evolution-theory, concepts and science. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(12), 1696-1718. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2016-0080>
- Mangan, J., & Lalwani, C. (2016). *Global logistics and supply chain management*. John Wiley & Sons.
- McKinsey Digital (2015). *Industry 4.0: How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector*. McKinsey & Company.
- Min, S., & Mentzer, J.T. (2000). The Role of Marketing in Supply Chain Management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(9), 765-87. <https://doi.org/10.1108/09600030010351462>
- Min, S., Zacharia, Z. G., & Smith, C. D. (2019). Defining supply chain management: in the past, present, and future. *Journal of Business Logistics*, 40(1), 44-55. <https://doi.org/10.1111/jbl.12201>
- Nambisan, S., Lyytinen, K., Majchrzak, A., & Song, M. (2017). Digital Innovation Management: Reinventing innovation management research in a digital world. *MIS quarterly*, 41(1).
- Nelissen, M., & Schip, R. (2014). Industry 4.0: The time to start is now! Supply Chain Transformation.
- Nowicka, K. (2018). Trust in digital supply chain management. *Logistics and Transport*, 39, 59-64.
- Oberg, C., & Graham, G. (2016). How smart cities will change supply chain management: a technical viewpoint. *Production Planning & Control*, 27(6), 529-538. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1147095>
- Pfohl, H. C., Yahsi, B., & Kurnaz, T. (2015). The impact of Industry 4.0 on the supply chain. In *Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains: Technologies, Business Models and Risk Management*. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 20, 31-58. Berlin: epubli GmbH.
- Rad, F. F., Oghazi, P., Palmié, M., Chirumalla, K., Pashkevich, N., Patel, P. C., & Sattari, S. (2022). Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies. *Industrial Marketing Management*, 105, 268-293. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.009>
- Sanders, N. R. (2007). An empirical study of the impact of e-business technologies on organizational collaboration and performance. *Journal Of Operations Management*, 25(6), 1332-1347. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.008>
- Shrivastava, P., Ivanaj, S., & Ivanaj, V. (2016). Strategic technological innovation for sustainable development. *International Journal of Technology Management*, 70(1), 76-107.
- Srinivasan, R., & Swink, M. (2015). Leveraging supply chain integration through planning comprehensiveness: An organizational information processing theory perspective. *Decision Sciences*, 46(5), 823-861. <https://doi.org/10.1111/dec.12166>
- Tachizawa, E. M., Alvarez-Gil, M. J., & Montes-Sancho, M. J. (2015). How “smart cities” will change supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(3), 237-248. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2014-0108>
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia manufacturing*, 13, 1175-1182. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>

- Uygun, Ö., Kaçamak, H., & Kahraman, Ü. A. (2015). An integrated DEMATEL and Fuzzy ANP techniques for evaluation and selection of outsourcing provider for a telecommunication company. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.014>
- Varma, D. T., & Khan, D. A. (2014). Information technology in supply chain management. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 3(3).
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., Mangla, S. K., Luthra, S., & Kumar, A. (2022). Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 108304. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108304>
- Yıldız, A., Karakoyun, F., & Parlak, İ. E. (2018). Endüstri 4.0 Temelli Dijital Tedarik Zinciri. *Mühendislik Alanında Akademik Araştırmalar*, 416-426.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77-84. <https://doi.org/10.1111/jbl.12010>
- Wu, W. W. & Lee, Y. T., (2007). Developing Global Managers' Competencies Using The Fuzzy DEMATEL Method. *Expert Systems With Applications*, 32(2): 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.12.005>
- Zhang, W., & Deng, Y. (2019). Combining conflicting evidence using the DEMATEL method. *Soft computing*, 23(17), 8207-8216. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3455-8>
- Zhou, X., Hu, Y., Deng, Y., Chan, F. T., & Ishizaka, A. (2018). A DEMATEL-based completion method for incomplete pairwise comparison matrix in AHP. *Annals of Operations Research*, 271(2), 1045-1066. <https://doi.org/10.1007/s10479-01>