




SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİNE ENDÜSTRİ 4.0 ETKİSİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Selin TERZİ * 
Şeyda GÜR ** 
Tamer EREN *** 

Alınma: 11.03.2019; düzeltme: 03.04.2020; kabul: 09.04.2020

Öz: Değişen ve gelişen, gittikçe daha karmaşık hale gelen teknoloji, hayatın birçok yerinde büyük bir değere sahiptir. Bu teknolojiyi kullanan şirketlerin büyük bir adım attığı ve bu teknolojinin gerisinde kalan şirketlerin de yok olma tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Günümüzde sürdürülebilir tedarik zinciri, müşteri gereksinimlerindeki değişimi karşılamak için çok gerekli hale gelmiştir. Şirketlerin, odak noktasını sürdürülebilirliğe doğru kaydırmada hızlandırması ve kuruluşun hedefini karşılamak için nesnelerin interneti gibi teknolojileri kullanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, tedarik zinciri yönetimi, nesnelerin interneti ve Endüstri 4.0 dikkate alınmıştır. Endüstri 4.0 dönüşümü için nesnelerin interneti kullanılarak sürdürülebilir tedarik zincirinde bulunan potansiyel fırsatlar araştırılmıştır. Literatürden de yararlanılarak kriterler belirlenmiştir. Şirketlerin Endüstri 4.0 dönüşümüne hazır olduklarını ve bu dönüşümü gerçekleştirmek için değerlendirebilecekleri bu kriterlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemleri ile önceliklendirilmesi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi, Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti, IoT, AHP, AAS

Evaluation Of The Industrial 4.0 Effect On The Sustainable Supply Chain With Multi-Criteria Decision-Making Methods

Abstract: Changing and evolving technology, increasingly complex, has a great value in many parts of life. It is seen that companies using this technology have taken a big step and companies which are behind this technology are in danger of extinction. Today, the sustainable supply chain has become very necessary to meet the change in customer requirements. Companies need to accelerate their focus on shifting towards sustainability and use technologies such as the internet of things to meet the organization's goal.

In this study, supply chain management, internet of things and Industry 4.0 were taken into account. Potential opportunities in the sustainable supply chain were explored using the internet of objects for the Industry 4.0 transformation. These criteria were evaluated for the companies to be ready for the Industry 4.0 transformation and to carry out this transformation. The results were obtained by prioritizing these criteria with analytic hierarchy process and analytical network process methods.

Keywords: Sustainable Supply Chain (SSC), Industry 4.0, Internet of Things, IoT, AHP, ANP

* Yazar 1 Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

** Yazar 2 Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu 63000, Şanlıurfa, Türkiye

*** Yazar 3 Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye, e-mail: tamereren@gmail.com

1. GİRİŞ

Endüstride gerçekleşen sanayi devrimlerinin ilki olan buhar gücünün kullanıldığı makineler ile üretim yapılan birinci sanayi devrimi sonrası elektrik gücü ile seri üretim yapılan ikinci sanayi devrimine geçilmiştir. Daha sonra bilişim teknolojilerinin ve elektroniklerin kullanılması ile üretimin daha da otomatikleştirildiği üçüncü sanayi devrimine geçilmiştir. 2011 yılında ise Endüstri 4.0 yani dördüncü sanayi devrimi ilk defa Almanya’da ortaya çıkmıştır (Aksoy, 2017). Endüstri 4.0 nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve hizmetlerin internetine dayanmaktadır. Kısaca nesnelerin interneti (IoT), nesnelerin internet üzerinden diğer nesnelere iletişime geçebilmesine ve internet üzerinden kontrol edilebilmesine dayanmaktadır. Endüstri 4.0’ın diğer sanayi devrimlerine göre bazı avantajları şunlardır; özellikle önem arz eden maliyetlerin azaltılması, üretimin esnekliğinin artırılması, nesnelerin ve sistemlerin öz farkındalık kazanması ve sistemin gözlemlenmesinin ve kontrolünün kolaylaştırılması, yüksek verimliliğin elde edilmesidir (Ercan ve Kutay, 2016).

İnsanın bulunduğu her yerde karar verme problemleri ile sıkça karşılaşmaktadır. Karar verme süreci, var olan tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun olanları seçme sürecidir (Evren ve Ülengin, 1992b). Bu karar verme problemleri kişisel, firmasal ve çevresel olabilmektedir. Organizasyonların alacağı kararların sadece tek bir kişi için uygun olması dışında işletmenin amaçları doğrultusunda herkesçe uygun görülebilecek kararlar olması gerekmektedir. Bu kararları verirken sezgisel davranmanın yanlış karar alımına sebep olabilmektedir. Belirlenen amaçlar doğrultusunda alınmış bir karar için bilimsel çözüm yöntemleri tercih edilmektedir. Literatürdeki Endüstri 4.0 ve tedarik zinciri yönetimi ile ilgili çalışmalara bakıldığında çoğunlukla entegrasyon sürecinin gözlemsel olarak analizinin yapıldığı görülmektedir. Yan ve Huang (2009), Atzori ve diğ. (2010), Miorandi ve diğ. (2012), Gubbi ve diğ. (2013) nesnelerin internetine dayalı bir tedarik zincirinin nasıl olması gerektiğine odaklanmışlardır. Bunun için yeni teknolojilerin denenmesi, anketlerin yapılması gibi uygulamalara gitmişlerdir. Mukhopadhyay ve Suryadevara (2014), Lorenz ve diğ. (2015), Gündüz ve Daş (2017) nesnelerin internetinin avantajlarından ve benimsenmesi sürecinde yaşanan zorluklardan bahsetmişlerdir. İşletmeler üzerindeki potansiyel teknolojik faydalarına dikkat çekerek, işletmelerin gelişimine katkı sağlayacak önemli noktalardan bahsetmişlerdir. Hofmann ve Rüşch (2017), Bär ve diğ. (2018), Lee Hansen ve diğ. (2018) çalışmalarında ise Endüstri 4.0 ile entegre olan küçük ve orta ölçekli işletmelerin iç faaliyetlerine yönelik incelemeler yapmışlardır. IoT kullanımını inceleyerek işletmeler ve Endüstri 4.0 arasında tedarik zinciri yönetimi için stratejiler geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yıldız, Karakoyun ve Parlak (2018), Toker (2018) Endüstri 4.0 evrimini anlatmış, paradigmalarından bahsetmiş ve Endüstri 4.0 tabanlı dijital tedarik zincirini incelemişlerdir. Aynı zamanda tedarik zinciri faaliyetlerini verimli hale getiren dijital tedarik zincirinin genel yapısından bahsetmişlerdir.

Bu çalışmada ise, işletmelerde Endüstri 4.0 ile entegre edilmiş sürdürülebilir bir tedarik zinciri yapısı ele alınmıştır. Bu yapının işletmelerde uygulanabilmesi için süreç üzerinde etkili olan kriterler literatür araştırması ile belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin önem dereceleri açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Geçiş sürecinde öncelikle ağırlık verilmesi gereken kriterler ve bu kriterlere bağlı alt kriterler ön plana çıkartılmıştır. Bu problem için ele alınan ana kriterler, iş tabanlı akıllı operasyonlar perspektifi, teknoloji tabanlı akıllı ürünler perspektifi, sürdürülebilir kalkınma perspektifi, iş birliği perspektifi ve yönetim stratejisi ve organizasyon perspektifi olmak üzere 5 tanedir. Bu kriterlere bağlı alt kriterler ise hizmetler yönetimi, operasyonel yönetim, stratejik kaynak kullanımı, tedarikçi yönetimi, IoT, CPS (Cyber-Physical Systems), artırılmış gerçeklik, büyük veri, ekonomik, çevre, sosyal, ortak geliştirme, lojistik entegrasyonu, tedarikçi iş birliği, müşteri yanıtını benimseme, değer odaklı yatırım, zaman yönetimi ve maliyet yönetimi olmak üzere 18 tanedir. Belirlenmiş olan karar verme problemi için çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, Endüstri 4.0' da sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde değerlendirme yapmak için kullanılan AHP ve AAS yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde uygulamaya geçilmiş ve uygulama aşamaları hakkında bilgi verilmiştir.

2. ENDÜSTRİ 4.0' DA SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Gelişen teknoloji ile birlikte teknolojinin endüstriye olan etkileri endüstri devrimleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüze gelene kadar 4 endüstri devrimi gerçekleşmiştir. Birinci endüstri devrimi 18. yüzyılın sonlarında ortaya çıkmıştır. Suyun gücünden faydalanılarak mekanik tezgâhlar oluşturulmuş buhar gücünden faydalanılarak makineler için çeşitli araçlar icat edilmiştir. İkinci endüstri devrimi 20. yüzyılda gerçekleşmiştir. Bu devrim ile elektrikten faydalanılmış, elektrikle çalışan ilk üretim bandı bu dönem ile birlikte ortaya çıkmış ve bu sayede seri üretime geçilmiştir. Üçüncü endüstri devrimi 1970'lerin başında gerçekleşmiştir. Analog sistemlerin yerini dijital sistemler almıştır. Son olarak 4. endüstri devrimi olan Endüstri 4.0, 2011 yılında ilk defa Almanya'da ortaya çıkmıştır.

Dördüncü sanayi devriminde, nesnelere internet vasıtasıyla birbirleri ile iletişim kurabilmekte etrafında olup bitenleri anlamakta –öz farkındalık kazanma-, internet ile yönetilebilmektedirler. Bunlar, sanayinin ileri teknoloji ile donatılması ve bilgisayarlar ile desteklenmesi sonucunda oluşmaktadır (Ötleş ve Özyurt, 2016). Endüstri 4.0 çağında da işletmelerin temel amacı, iletişim, bilgi ve akılcılık yoluyla üretimin esnekliğini ve verimliliğini artırarak uzun vadeli rekabet güçlerini arttırmak ve geliştirmektir (Gabriel ve Pessl, 2016). Aynı zamanda enerji ve kaynak verimliliği, üretkenliğin artırılması, inovasyonun ve pazarlama döngüsü sürelerinin kısaltılmasının yanı sıra değer ağları aracılığıyla yatay ve düşey entegrasyon ve mühendisliğin tüm değer zincirinde uçtan uca dijital entegrasyonu hedeflenmektedir (Prause, 2015). Bu bağlamda verimlilik artışıyla ekonomik sorunların çözümlerini kolaylaştırarak, şeffaf ve izlenebilir bir üretim sistemiyle ürünleri müşteriye göre özelleştirerek Endüstri 4.0, tüm değer zincirinde olumlu sürdürülebilirlik etkileri yaratma potansiyeline sahiptir (Wagner, 2016). İşletmelere değer kazandıran ve verimliliklerini arttırmada yardımcı olan, günümüzde, sosyal, ekonomik ve çevre yönünden etkileri ile önemi kavranmaya başlanılan bir diğer kavram olan sürdürülebilirlik, işletmelerin rekabet avantajı sağlayabilmelerinde önemli bir role sahiptir. Daly ve Cobb (1994)'a göre sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılamalarına engel olmayacak şekilde bugünkü gereksinimler için kaynakların gereksiz kullanımının önüne geçilerek etkin bir şekilde kullanılmasıdır.

Tedarik zinciri yönetiminde üretim, stok maliyetleri ve personel verimliliği önemli bir role sahiptir. İşletmelerin rekabet avantajı sağlamalarına katkı sağlayan etkin tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin sosyal, çevresel ve ekonomik yönden etkilerini de önemli ölçüde belirlemektedir. Bu sayede sürdürülebilir bir büyümeye de sebep olabilmektedir. Birçok etkileri ile işletmelerin verimliliğine, büyümesine ve gelişmesine destek olan sürdürülebilir bir tedarik zinciri yönetimi önemli bir başarı faktörü haline gelmiştir (Çetinkaya ve diğ., 2011: 23). İşletmeler, rekabet avantajı sağlamak, diğer işletmelerden farklılaşmak ve kendilerini göstermek için sosyal, çevresel ve ekonomik faktörleri de göz önüne almak durumundadırlar. Ürünlerin veya hizmetlerin müşteriye ulaşmasına kadar yapılan her işlemde ürüne veya hizmete her anlamda değer katmak için bu faktörler önem arz etmekte ve işletmeler bu sayede tedarik zinciri yönetimini sürdürülebilir bir hale getirebilmektedirler (Peidro ve diğ., 2009).

Doğal kaynakların hızla ve verimsizce tüketilmesinin bilincine varılmasıyla gündeme gelmeye başlayan sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin sosyal çevresel ve ekonomik faktörler ile birlikte faaliyetlerini sürdürmeleri ile mevcudiyetlerini devam ettirebilecekleri düşüncesine dayanmaktadır. Endüstri 4.0 ile sürdürülebilirlik kavramı arasındaki

ilişkiler ile ilgili yapılmış çalışmalar literatürde çok sınırlıdır. Örneğin, Toker (2018) yaptığı çalışmada sürdürülebilirliğin 3 temel unsuru olan ekonomi, çevre ve toplum kavramlarını Endüstri 4.0 bağlamında incelemiş ve sürdürülebilirliğe olumlu etkilerinden bahsetmiştir. Birbirlerine olumlu etkileri olan ve işletmelerin verimliliği açısından önem arz ettiği düşünülen Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik kavramları araştırmacılar tarafından literatürde çalışma konusu olarak ele alınmaktadır. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi performansını geliştirmede en uygun alternatif faaliyetlerin seçimi ve değerlendirilmesi sürecinde uzmanlar, yöneticiler ve araştırmacılar çoğunlukla ÇÖKV yöntemlerini tercih etmektedirler. Örneğin, Awasthi ve diğ. (2010) tedarikçilerin çevresel performanslarının değerlendirilmesi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Büyüközkan ve Çiftçi (2012) bulanık AAS yöntemi ile yeşil tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerini değerlendirmişlerdir.

Tüm bunlar ışığında bu çalışmada, işletmeler için önemli bir unsur olan tedarik zinciri yönetiminin, hem Endüstri 4.0 ile entegre hali hem de sürdürülebilirliğin sağlanmış olduğu hali dikkate alınmıştır. Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği sürdürülebilirlik kavramı, çevre, ekonomi ve toplum olmak üzere 3 temel unsura olan etkileri ile birlikte düşünülmüştür. Aynı zamanda işletmelerin verimliliğine olan etkileri üzerinde durulmuş ve Endüstri 4.0 ile birlikte sürdürülebilir bir tedarik zinciri yönetimini uygulamak isteyen işletmeler için kriterlerin önem derecelerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

3. YÖNTEM

AHP ve AAS yöntemleri kullanılarak kriterler kendi aralarında ve kriterlerin alt kriterleri kendi aralarında değerlendirilmiştir. Literatürde, AHP ve AAS yönteminin kullanıldığı farklı uygulama çalışmaları bulunmaktadır. Handfield ve diğ. (2002), AHP yönteminin kullanımını, yararlarını ve zararlarını değerlendirmişlerdir. Kırytopoulos ve diğ. (2008) ilaç sektöründe tedarikçiler arasında seçim yapmak için AAS yönteminden faydalanmışlardır. Ömürbek ve diğ. (2013), Isparta'da hayvancılık yapılabilecek alanların 5 kriter ve 7 alternatif üzerinden değerlendirmesini yapmışlardır. Çakın ve Özdemir (2013), makine sektöründeki bir işletme için tedarikçi seçim problemini ele almışlar ve 12 tedarikçi arasından doğru tedarikçinin seçimi kararı için AAS ve ELECTRE yöntemini kullanmışlardır. Gülenç ve Aydın (2010) yatırım kararlarının değerlendirmesinde; Supçiller ve Çapraz (2011) tedarikçi seçimi uygulamasında; Kecek ve Yüksel (2016) akıllı telefon seçiminde; Alakaş ve diğ. (2018) iletişim ve medya sektöründe; Gür ve diğ. (2018) sağlık sektöründe; Sevinç ve diğ. (2018), Sevinç ve Eren (2019), Uslu ve diğ. (2019) Endüstri 4.0 uygulamalarında; Hamurcu ve Eren (2019) lojistik sektöründe uygulamalar yapmıştır. Delice ve diğ. (2018), tehlikeli iş grubuna giren bir üretim fabrikasında ergonomik risk değerlendirme yöntemlerini kullanarak riskli ve sakıncalı iş durumlarını ve duruşları belirlemişlerdir. Kullanılacak yöntemin önceliklendirilmesi için AHP yöntemini kullanmışlardır.

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi, 1977 yılında Saaty tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, birçok alternatifin ve karar vericinin var olduğu çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Prosesi, karmaşık karar verme problemlerinde ana amacın, kriterlerin, bu kriterlere bağlı alt kriterlerin ve alternatiflerin aralarında bulunduğu ilişkilerin gösterilmesi için hiyerarşik yapının kurulması gerekmektedir. AHP temelde 4 adımdan oluşmaktadır (Saaty,1990:13; Zhao ve diğ.2009:416; Guang ve diğ.2009:2; Timor, 2011):

Adım 1: Modelin Kurulması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: AHP yaklaşımında karar verme sürecini etkileyen tüm faktörler konuda uzman kişilerin görüşlerine ve konu ile ilgili bilgi sahibi olan veya olabilecek kişilere yapılan anket vb. çalışmaların sonuçlarına başvurularak belirlenmektedir. Sonuçlar doğrultusunda kriterler alt kriterler ve alternatifler belirlenerek

hijerarşik yapı oluşturulmaktadır. Çok kriterli olan bir problem AHP yönteminde, belirli kriterler ve alt kriterlerden oluşan hijerarşik bir yapı şeklinde ifade edilir. (Lorcu, 2000). Aynı seviyedeki öğeler, hijerarşik yapıda birbirinden bağımsız olarak kabul edilmektedir (Erikan, 2002).

Adım 2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Elde Edilmesi: Hijerarşik yapının oluşturulması sonrasında Tablo 1'deki Saaty'nin 1-9 skalası kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi elde edilmektedir.

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki faktör aynı derecede önem taşır
3	Biraz daha önemli	Biri diğerine göre biraz daha fazla önem taşır
5	Oldukça önemli	Biri diğerine göre oldukça önem taşır
7	Çok daha önemli	Biri diğerine göre çok daha fazla önem taşır
9	Kesinlikle daha önemli	Biri diğerine göre kesinlikle daha fazla önem taşır
2,4,6,8	Ara değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır

Adım 3: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi: Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerindeki her sütunun değeri bulunduğu sütun toplamına bölünür. Bu şekilde matris normalleştirilmektedir. Normalleştirilmiş matrislerdeki tüm sütunların toplamı 1 olmalıdır. Bu şekilde her karar alternatifinin ağırlığı bulunmaktadır.

Adım 4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Tutarlılık indeksini (CI) hesaplamak için kullanılan formüller şu şekildedir;

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Formülde λ_{\max} matristeki en büyük özdeğeri ve n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir. Tutarlılık oranı (CR) ise tutarlılık indeksinin aynı boyuttaki matrise karşılık gelen rassallık indeksine (RI) bölünmesi ile elde edilmektedir;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması karar vericinin yargısının tutarlı olduğunu göstermektedir. (Öner ve Ülengin, 1995;1109).

3.2. Analitik Ağ Süreci

Saaty tarafından 1996'da ortaya atılan AAS, karmaşık karar verme problemlerine gerçekçi bir çözüm sunmaktadır. AAS'de kriterler arasındaki ilişkiler göz önüne alınmakta ve nicel gözlemlerin yanında nitel gözlemlerde çözüme dahil edilmektedir (Saaty,1999; Alptekin,2010). Çok kriterli çözüm yöntemlerinden biri olan AAS'de AHP' den farklı olarak kriterler ve alt kriterler arasındaki seviye farkı göz önünde bulundurulmaksızın aralarındaki ilişkilere, etkileşimlere ve dışsal ve içsel bağımlılıklara da dikkat edilmektedir. AAS yöntemi temelde 6 adımdan oluşmaktadır (Saaty,1996; Görener,2009):

Adım 1: Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması: Karar problemi tanımlanır ve amaç, kriterler, bu kriterler bağlı alt kriterler ve var olan alternatifler açıkça ifade edilmektedir.

Adım 2: İlişkilerin Belirlenmesi: Kriterler ve alt kriterler arasındaki etkileşimler, içsel ve dışsal bağımlılıklar belirlenir.

Adım 3: Kriterler Arası İkili Karşılaştırmaların Yapılması: Karar vericilerden oluşmuş olan uzmanlar, ölçek skala değerlerini kullanarak bir matriste ikili karşılaştırmaları gerçekleştirir.

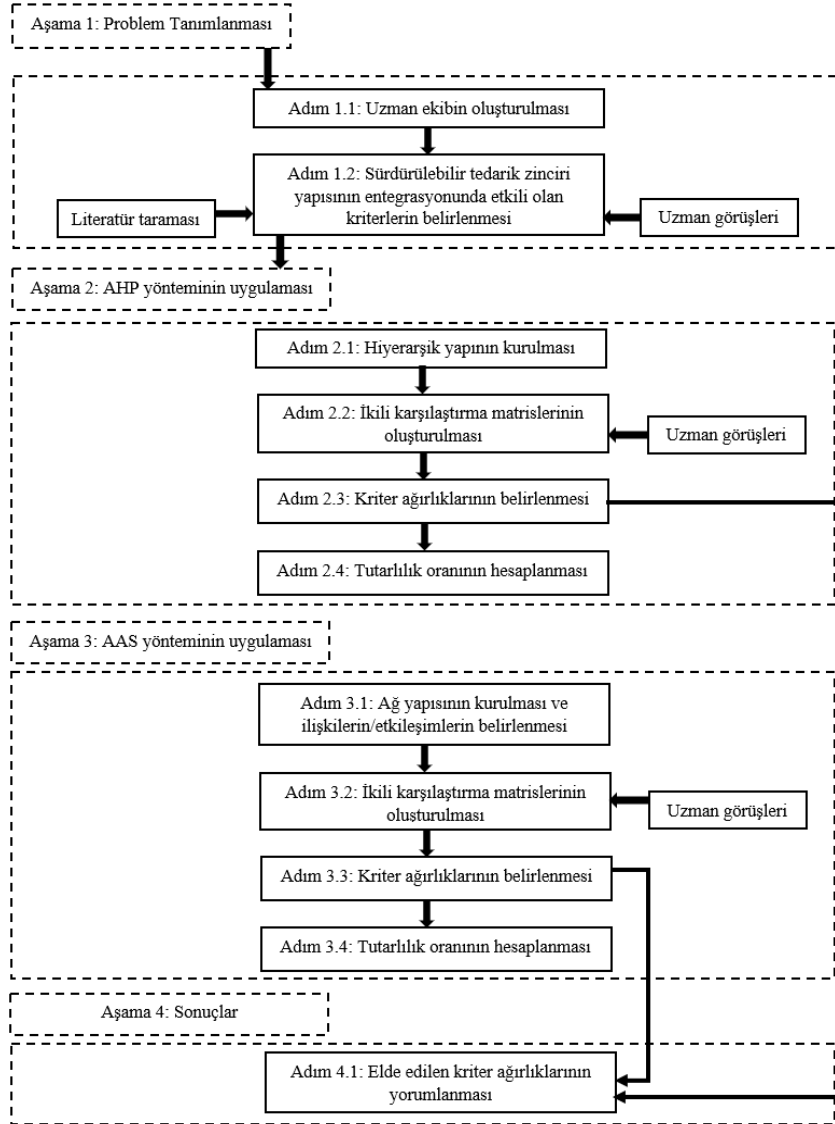
Adım 4: Karşılaştırma Matrislerinin Tutarlılık Analizlerinin Yapılması: Karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra her bir matris için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı (CR) AHP yöntemindeki gibi, tutarlılık indeksi (CI)'nin rastgele tutarlılık indeksi (RI)'ne bölümü ile elde edilmektedir. Tutarlılık oranı 0,10' dan az ise matrisin tutarlı olduğu söylenir.

Adım 5: Süper Matrisin Oluşturulması: Birbirine bağımlı etkilerin bulunduğu bir sistemde global önceliklerin elde edilmesi için, lokal öncelik vektörleri süper matris olarak bilinen matrisin kolonlarına yazılmaktadır. Süper matris, parçalı bir matristir ve buradaki her matris bölümü bir sistem içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi gösterir. Kriterlerin birbiri üzerindeki uzun dönemli nispi etkileri süper matrisin kuvveti alınarak belirlenmektedir. Önem ağırlıklarının bir noktada eşitlenmesini sağlamak için süper matrisin $(2n+1)$. kuvveti alınmaktadır. Burada n rasgele seçilmiş büyük bir sayıdır ve elde edilen yeni matris limit süper matris olarak isimlendirilir.

Adım 6: En İyi Alternatifin Seçimi: Elde edilen limit süper matris ile önem ağırlıkları belirlenmektedir. En yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatif, en yüksek önem ağırlığına sahip olan kriter ise karar verme sürecini etkileyen en önemli kriter olmaktadır.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ 4.0'IN ETKİLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ

Manavalan ve Jayakrishna (2018), çalışmasında Endüstri 4.0, tedarik zinciri yönetimi ve nesnelerin internetinin çeşitli yönlerini gözden geçirmişler ve Endüstri 4.0 dönüşümünde bulunan fırsatları değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada ise, Manavalan ve Jayakrishna (2018) çalışması baz alınmıştır. Endüstri 4.0 dönüşümü gerçekleştirmek isteyen işletmelerin kendilerini değerlendirmeleri için önerdikleri çerçeve kapsamında dönüşüm sürecinde etkili olan kriterlerin ve alt kriterlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Türkiye'de küçük ve orta ölçekli işletmeler odak noktası olarak alınmış ve lojistik ve tedarik zinciri alanlarında uzman kişilerin görüşlerine başvurulmuştur. Kriterlerin ve alt kriterlerin değerlendirilmesi bu uzman kişiler ile birlikte yapılmıştır. Çalışmada değerlendirme yapan uzman kişiler daha önce bir şirkette tedarik zinciri üzerinde yetkisi olan ve ayrıca bu alanda uzman olan akademik kişilerden oluşmaktadır. Değerlendirme sürecinde ise tüm sektörler göz önünde bulundurulmuş ve genel bir analiz amaçlanmıştır. Özel bir sektör baz alındığının kriterlerin yapısının özelleşebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1:
Çalışmanın akış şeması

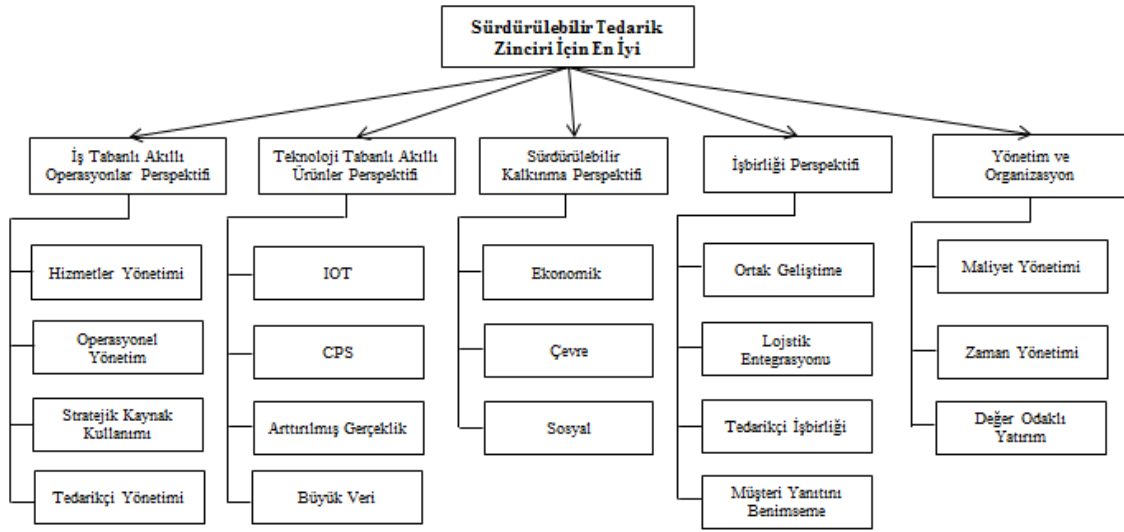
Aşama 1: Problem Tanımlaması

Tedarik zincirinin sürdürülebilir olması gerçek hayat uygulamalarında ve literatürdeki çalışmalar üzerinde önemli bir bileşen haline gelmiştir. İşletmeler son yıllarda sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarda etkiler oluşturan uygulamalara yönelmişlerdir. Sağlamış oldukları ürün ve hizmetlerin bu boyutlarda uzun vadeli olmasını sağlamak ve bu boyutlar açısından şirketin değerini korumak ve geliştirmek istemektedirler. Sürdürülebilir tedarik zincirlerinde bu boyutlar açısından işletmelerin performansının artırılması amaçlanmaktadır. Günümüz teknolojisinin getirdiği yenilikler ile paralel olarak gelişen sürdürülebilir tedarik zinciri kavramının, nesnelere interneti ile işletmeler üzerindeki etkisi önemli bir noktaya gelmiştir. Bu çalışmada da nesnelere internetinin sürdürülebilir tedarik zinciri üzerindeki etkisi incelenmiştir. İki kavramın entegrasyon sürecindeki etkili olan kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ağırlıklandırılması amaçlanmıştır. Ele alınan problem için lojistik ve tedarik zinciri alanında uzman kişilerin görüşlerine başvurulmuştur. Bu uzman kişilerin görüşleri ve literatürdeki çalışmalar ile entegrasyon

sürecindeki etkili olan kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin AHP ve AAS yöntemleri ile değerlendirmeleri yapılmıştır.

Aşama 2: Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulanması

Adım 2.1: Modelin Kurulması ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Şirketlerin Endüstri 4.0' a geçiş süreçlerinde öncelikle ağırlık vermeleri gereken kriterlerin belirlenmesi amacıyla bir model kurulmuştur. Sürdürülebilir tedarik zinciri için öncelikli kriterin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmanın ilk katmanı sürdürülebilirliği etkileyen beş kriteri içermektedir ve ikinci katmanı ise 18 sürdürülebilirlik alt kriterinden oluşmaktadır. Belirlenmiş olan kriterler ve özellikleri Tablo 2'de verildiği gibidir. Amaç, kriterler ve alt kriterler Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2:
Uygulama Hiyerarşi Yapısı

Adım 2.2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması: Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından sonra Tablo 1' de verilmiş olan ikili karşılaştırmalar ölçeğinden yararlanılarak uzmanların görüşleri doğrultusunda ikili karşılaştırmalar matrisi elde edilmiştir. Öncelikle kriterler için hesaplama yapılmıştır. Kriterler kendi aralarında uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması gibi tüm kriterlerin alt kriterlerinin kendi aralarında değerlendirmesi yine uzmanlar tarafından yapılmıştır.

Adım 2.3: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi: Ana kriterlerin ve her ana kriterin alt kriterlerinin ağırlık matrisi elde edildikten sonra ağırlıkları hesaplanmıştır. Kriterler için bulunan ağırlıklar Tablo 3' te verildiği gibidir.

Adım 2.4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması matrisin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu akış doğrultusunda tüm alt kriter matrislerinin tutarlılığı hesaplanmıştır. Bulunan tutarlılık oranları 0,10 değerinden düşük olduğu için bulunan sonuçlar tutarlı kabul edilmiştir.

Tablo 2. Kriterler ve Özellikleri

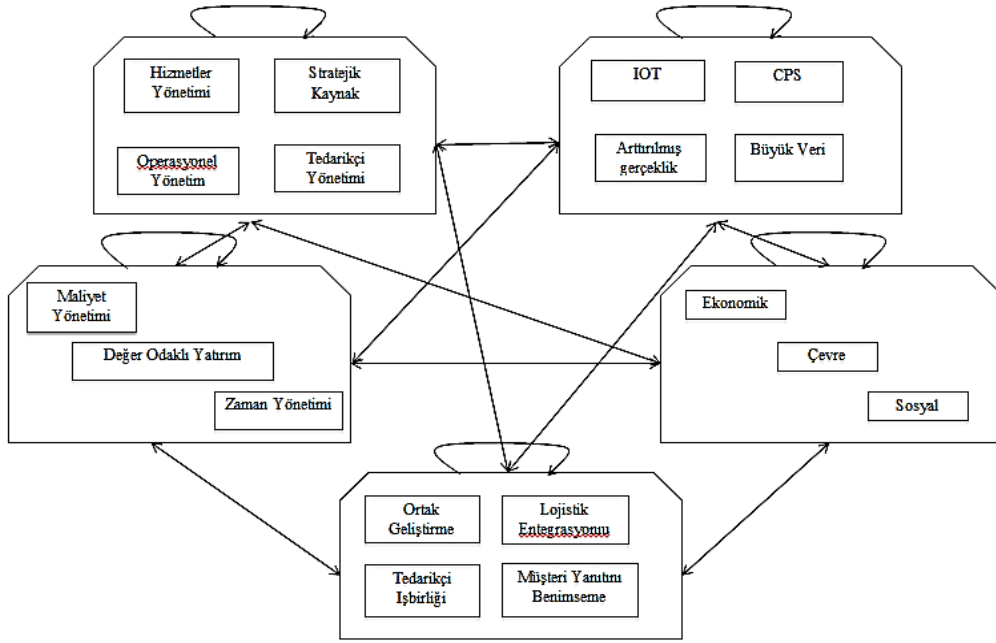
KRİTER GRUBU	TANIMLAMA
KRİTERLER	
P1: İş Tabanlı Akıllı Operasyonlar Perspektifi	
C1: Hizmet Yönetimi	• Hizmetin yürütülmesini kolaylaştırılması ve izlenmesi • Hizmet performansının izlenmesi • Uygun olduğunu bilmek için yapılan hizmetlerin eksiksiz görünümünün elde edilmesi
C2: Operasyonel Yönetim	• Rutin işlemlerin otomatik hale getirilmesi • İşlemlerin iş gereksinimlerine göre hizalanması • İş etkilenmeden önce için istisnaların yanıtlanması • Harcamaların yönetilmesi ve israfın azaltılması
C3: Stratejik Satın Alma	• Gerçekleştirilen tasarrufların en üst düzeye çıkarılması • Doğru tedarikçilerin seçilmesi ve doğru materyallerin alınması • Kalite sonuçları için müzakerelerin yapılandırılması • Uygun sözleşme sözlüğünün oluşturulması
C4: Tedarikçi Yönetimi	• Tedarikçi denetimlerinin basitleştirilmesi ve otomatikleştirilmesi • Tedarikçi performansını analiz edilmesi • Çeşitli departmanlar tarafından tedarikçilerin değerlendirilmesinin düzenlenmesi
P2: Teknoloji Tabanlı Akıllı Ürünler Perspektifi	
C5: IoT	• Tedarik zinciri ağının tamamını izlenmesi • Siber güvenliği tanıtılması • Çevresel risklerin önceden belirlenmesi • Kaynakların ve sistemlerin yönetilmesi
C6: CPS	• Gerçek zamanlı bilgi paylaşımının değerlendirilmesi • Sürecin kendi kendine izlenmesi ve kontrol edilmesi • Kullanıcıların eylemlerinin veya ihtiyaçlarının tahmin edilmesi • Kendi kendini organize eden üretim
C7: Arttırılmış Gerçeklik	• Acil durum yönetiminin geliştirilmesi • Bakım faaliyetlerinde uzaktan yardım ve rehberlik edinilmesi • Tasarım ve üretim sürecinin yeni koordinasyon yollarının değerlendirilmesi
C8: Büyük Veriler	• Tarihsel verilere dayanan proaktif risk uyarıları • Kalite sorunları ve ürün arızasının azalması • İş zekâsı için verileri birleştirmede esneklik • Öngörülebilirlik ve Tahmin Araçları
P3: Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifi	
C9: Ekonomiklik	• Finansal istikrar • Kurum genelinde risk maruziyetinin incelenmesi • Teknolojik gelişmelere yatırım yapılması • Yeni ekipman edinmeyi düşünmeden önce ekipmanların ömrünü arttırmak için güçlendirme yaklaşımının benimsenmesi
C10: Çevre	• Yenilenemeyen enerji kaynaklarının azaltılması • Hava kirliliği ile küresel ısınma bilincinde olunması • Su ve toprak kirleticilerin salınımının en aza indirgenmesi
C11: Sosyal	• Sağlık ve güvenlik uygulamalarının güçlendirilmesi • Devlet düzenlemelerine • Makro iktisat bilincinin var olması
P4: İş birliği Perspektifi	
C12: Ortak Geliştirme	• İş kolları arasında iş birliğinin yapılması • Ürün veri yönetimi (PDM) sistemlerinin kullanılması • Katma değer dışı maliyetlerin azaltılması
C13: Lojistik Entegrasyonu	• Teknolojiden yararlanılması ve bilgi odaklı karar vermenin etkinleştirilmesi • Teslimatı veya maliyet değişikliğini etkileyen engellerin kaldırılması • Transit gönderimde görünürlük konum, durum ve tahsisler
C14: Tedarikçi İş birliği	• Doğru malzemeyi sağlayarak maliyet performans endeksinin iyileştirilmesi • Çevrimiçi sistemleri kullanarak tedarikçilerle iş birliğinin kurulması • Stratejik girişimlere görünürlüğün sağlanması • Uzun vadeli tedarikçi ilişkilerinin güçlendirilmesi
C15: Müşteri yanıtını benimseme	• Maliyet, kalite ve zamanlılık açısından müşteri memnuniyetinin gerçekleştirilmesi • Kullanıcı deneyimi için evrensel uygulama ve tasarrufların en üst düzeye çıkarılması
P5: Yönetim Stratejisi ve Organizasyon Perspektifi	
C16: Maliyet yönetimi	• Yönetin, işleyin, yeniden pazarlanan ürünlerin ve hizmetlerin yönetilmesi • Değişen harcama modellerine uyumun sağlanması • Karlılığı etkileyen bileşenlerin fiyat hareketlerinin izlenmesi • Tedarik zinciri boyunca nakit akışı öngörülebilirliğinin ve görünürlüğünün iyileştirilmesi
C17: Zaman Yönetimi	• Pahalı veri yönetiminin otomatikleştirilmesi • Zamanında hizmet almak için uygunluğun sağlanması • Mobil tabanlı iletişim sistemleri
C18: Değer odaklı yatırım	• Mallar ve hizmetler için talebin oluşturulması • Birden fazla ürün kategorisinde arz tabanının yönetilmesi • Risklerin tahmin edilmesi ve azaltma planlarının sağlanması

Tablo 3. Ana Kriter ve Alt Kriter Ağırlıkları

KRİTER GRUBU			
KRİTERLER	Ağırlıklar	KRİTERLER	Ağırlıklar
P1: İş Tabanlı Akıllı Operasyonlar Perspektifi	0,261	P4: İş birliği Perspektifi	0,076
C1: Hizmet Yönetimi	0,277	C12: Ortak Geliştirme	0,061
C2: Operasyonel Yönetim	0,466	C13: Lojistik Entegrasyonu	0,268
C3: Stratejik Satın Alma	0,096	C14: Tedarikçi İş birliği	0,125
C4: Tedarikçi Yönetimi	0,161	C15: Müşteri yanıtını benimseme	0,546
P2: Teknoloji Tabanlı Akıllı Ürünler Perspektifi	0,152	P5: Yönetim Stratejisi ve Organizasyon Perspektifi	0,05
C5: IoT	0,233	C16: Maliyet yönetimi	0,12
C6: CPS	0,14	C17: Zaman Yönetimi	0,272
C7: Arttırılmış Gerçeklik	0,085	C18: Değer odaklı yatırım	0,609
C8: Büyük Veriler	0,543		
P3: Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifi	0,462		
C9: Ekonomiklik	0,539		
C10: Çevre	0,297		
C11: Sosyal	0,163		

Aşama 3: Analitik Ağ Süreci Uygulanması

Adım 3.1: Ağ yapısının kurulması ve ilişkilerin/etkileşimlerin belirlenmesi: Super Decisions paket programı kullanılarak kriterler ve alt kriterlerin ağ yapısı oluşturulmuştur. Kriterler, uzmanlar tarafından dış ve iç bağlılık kapsamında değerlendirilmiş ve ilişkilendirilmiştir. Şekil 3'te kurulan ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3:
Analitik Ağ Süreci

Adım 3.2: İkili Karşılaştırmalar Matrisinin Oluşturulması && Adım 3.3: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi: Ağ yapısı kurulduktan sonra Super Decision paket programında birbirleri ile ilişkisi bulunan kriterlerin karşılaştırma matrisleri değerlendirilmiştir. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinde Saaty'nin 1-9 skalası kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerin sonucunda kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Adım 3.4: Tutarlılık Oranının Hesaplanması: Tüm ikili karşılaştırma matrislerinde tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Bulunan tutarlılık oranları 0.10 değerinden düşük olduğu için bulunan sonuçlar tutarlı kabul edilmiştir.

Tablo 4. AAS Çıktısı

Kriterler	Alt Kriterler	Ağırlıklar
P1: İş Tabanlı Akıllı Operasyonlar Perspektifi	C1: Hizmetler Yönetimi	0,23914
	C2: Operasyonel Yönetim	0,39062
	C3: Stratejik kaynak Kullanımı	0,15845
	C4: Tedarikçi yönetimi	0,21179
P2: Teknoloji Tabanlı Akıllı Ürünler Perspektifi	C5: IOT	0,14888
	C6: CPS	0,14888
	C7: Arttırılmış gerçeklik	0,14888
	C8: Büyük veri	0,55337
P3: Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifi	C9: Ekonomiklik	0,62024
	C10: Çevre	0,19434
	C11: Sosyal	0,18543
P4: İş birliği Perspektifi	C12: Ortak Geliştirme	0,14212
	C13: Lojistik Entegrasyonu	0,44999
	C14: Tedarikçi İş birliği	0,35557
	C15: Müşteri yanıtını benimseme	0,05232
P5: Yönetim Stratejisi ve Organizasyon Perspektifi	C16: Maliyet yönetimi	0,32754
	C17: Zaman Yönetimi	0,29965
	C18: Değer odaklı yatırım	0,37281

Aşama 4: Sonuçların elde edilmesi

AHP yöntemi ile AAS yöntemi çıktıları karşılaştırıldığında ekonomikliğin, büyük verinin ve değer odaklı yatırımın iki yöntemde de yüksek ağırlıklı olduğu görülmüştür. AHP ve AAS çıktılarında elde edilen ağırlıklar ve iki yöntemin karşılaştırılması Tablo 5' te verildiği gibidir.

Tablo 5. AHP ve AAS Yöntemi Çıktıları Karşılaştırması

-	<u>AHP Çıktısı</u>	<u>AAS Çıktısı</u>
Ekonomiklik	0,539	0,620
Operasyonel Yönetim	0,466	0,391
Büyük veri	0,543	0,553
Müşteri yanıtını benimseme	0,546	0,052
Değer odaklı yatırım	0,609	0,373

AHP yönteminde elde edilmiş ağırlıklara göre ekonomiklik, sürdürülebilir kalkınma perspektifi kriterinin en önemli alt kriteri iken AAS sonucuna göre de sosyal ve çevre alt kriterlerinden daha önemli çıkmıştır. Aynı şekilde, AHP' ye göre operasyonel yönetim alt kriteri, iş tabanlı akıllı operasyonlar perspektifi kriterinin en önemli alt kriteri olarak elde edilmişken AAS'ye göre de diğer alt kriterlerden daha önemli çıkmıştır. Fakat iş birliği perspektifi kriterinin alt kriterleri arasındaki ağırlık hesaplarında iki ayrı yöntemle göre farklılık görülmüştür. AHP' ye göre müşteri yanıtını benimseme en önemli alt kriter olarak çıkmasına rağmen AAS'de lojistik entegrasyonu en önemli alt kriter olarak karşımıza çıkmış ve müşteri yanıtını benimseme alt kriteri 0,05232 değeri ile en az ağırlıklı alt kriter olarak elde edilmiştir. Bu farklılığın çıkması literatürde doğal olarak kabul edilmektedir. Örneğin, Yavaş ve diğ. (2014) AHP ve AAS yöntemlerini kullanarak otomobil seçimi problemini ele aldıkları çalışmada iki yöntemin sonuçlarındaki farklılık için, kriterlerin arasındaki bağımlılık ilişkisinin önemine dikkat çekmiştir. AAS yöntemi kriterler arasındaki etkileşimlerin dikkate alınması ve iç ve dış bağımlılık esasına dayanması sebebiyle AHP yönteminden farklıdır ve bu bağımlılıklar değerlendirildiği için AAS yöntemine göre farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Endüstri 4.0 ile entegre hale gelmiş sürdürülebilir bir tedarik zinciri yönetimi için literatür araştırması sonucu entegrasyon süreci üzerinde etkili olan kriterler belirlenmiştir. Lojistik ve tedarik zinciri alanında uzman kişiler Endüstri 4.0 kapsamında bu kriterlerin değerlendirmesini yapmışlardır. Bu değerlendirme aşamasında AHP ve AAS yöntemleri kullanılmıştır.

AHP yöntemi sonucuna göre, en önemli kriter 0,462 değeri ile “Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifi”, İş tabanlı akıllı operasyonlar perspektifi kriteri alt kriteri olarak, 0,466 ile “Operasyonel Yönetim”, Teknoloji tabanlı akıllı ürünler Perspektifi kriteri alt kriteri olarak 0,543 ile “Büyük veri”, Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifi kriteri alt kriteri olarak 0,539 ile “Ekonomiklik” , İşbirliği Perspektifi kriteri alt kriteri olarak 0,546 ile “Müşteri yanıtını benimseme” ve Yönetim Stratejisi ve Organizasyon Perspektifi kriteri alt kriteri olarak 0,609 değeri ile “Değer odaklı yatırım” öncelikli bulunmuştur. Elde edilen AHP sonucu sonrasında kriterler ve alt kriterler AAS yöntemi ile değerlendirilmiş “ekonomiklik”, “büyük veri”, “lojistik entegrasyonu”, “operasyonel yönetim” ve “değer odaklı yatırım” alt kriterlerinin en yüksek yüzdeli alt kriterler olduğu görülmektedir. Bu değerlere göre işletmelerin Endüstri 4.0 ile entegre edilmiş sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için değerlendirmeleri gereken kriterlerin öncelikli olanları elde edilmiştir.

AHP yöntemine göre elde edilen sonuçlar doğrultusunda; “Büyük veri”, “Ekonomik”, “Ortak Geliştirme”, “Müşteri yanıtını benimseme” ve “Değer odaklı yatırım” alt kriterlerinin en ağırlıklı olarak belirlenmiş olması sonucunun ardından bir diğer yöntem olan AAS yöntemi ile de değerlendirilerek “ekonomik”, “büyük veri”, “lojistik entegrasyonu” ve “değer odaklı yatırım” alt kriterlerinin ağırlıklı olduğu belirlenmiştir. En önemli alt kriterlerden olan ekonomiklik, yeni teknolojilere yatırım yapmayı ve ekipmanların gerekli bakımlarının yapılarak ömrünün uzatılması gerektiğini ifade ederken, büyük veri alt kriteri geçmiş veriler göz önünde bulundurularak risk analizlerinin yapılmasını ve önlemeyi, tahminlerin tutarlı olması için yine geçmiş verilerden faydalanmayı ifade etmektedir. Operasyonel yönetim alt kriteri harcamaların kontrolünü ve her türlü israftan kaçınmayı, işlerin belli bir hızda yürütülmesinin sağlanmasını ve otomatikleştirilmesini ifade ederken müşteri yanıtını benimseme alt kriteri müşterinin her açıdan memnun edilmesini esas almayı ve geçmiş müşteri deneyimlerinin analiz edilerek ürünün geliştirilmesini ifade etmektedir. İşletmeler Endüstri 4.0' a geçerken bu kriterlerin ne ifade ettiğini göz önünde bulundurmalı ve belirttiği faaliyetleri uygulamalıdır.

Küçük ölçekli işletmeler için Endüstri 4.0 dönüşümü mali açıdan kolay değildir. Bu süreç işletmeler için zor ve karmaşık olabilmektedir. Bu çalışma Endüstri 4.0' a geçmeyi planlayan ve Endüstri 4.0 ile entegre ve aynı zamanda sürdürülebilir bir tedarik zinciri yönetimini uygulamaya

geçmeye karar veren işletmeler için bir yol gösterici niteliğindedir. AHP ve AAS yöntemi kullanılarak elde edilmiş ağırlıklar doğrultusundaki alt kriterlerin Endüstri 4.0 dönüşümünün başlanması noktasında yardımcı olabileceği ve ifade ettikleri faaliyetler ile uygulamaya başlanmasının yolunu açacağı konusunda literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın diğer literatürlerden farkı Endüstri 4.0 için sunulan bir çerçevenin uygulanmasında tüm işletmeler için genel yol gösterici olmasıdır. İleride yapılacak çalışmalar için bu çalışma doğrultusunda belirlenen yeni kriterler ve alt kriterler çoğaltılarak çeşitlendirilebilir, başka alt kriterler için yeni özellikler türetilir hatta belirlenecek özellikler içinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilme yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Aksoy, S. (2017) Değişen teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı anlamaya dair bir giriş. SAV Katkı, 4, 34-4.
2. Alakaş, H.M., Toplu, B.E., Yurdakul, F., Eren, T. (2018) Televizyon dizilerin toplumsal yapıya uygunluk kriterlerinin çok ölçütlü karar verme yöntemiyle belirlenmesi ve ağırlıklandırılması, Journal of Education and Change, 1(2), 11-22.
3. Alptekin N. (2010) Analitik ağ süreci yaklaşımı ile Türkiye'de beyaz eşya sektörünün pazar payı tahmini, Doğu Üniversitesi Dergisi, 11 (1), 18-27.
4. Atzori L, Lera A, Morabito G (2010) The internet of things: a survey, Computer Networks, 54(15), 2787-2805, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
5. Awasthi, A. Chauhan, S. S. & Goyal S. K. (2010) A fuzzy multi criteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. International Journal of Production Economics, 126(2), 370-378, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.029>
6. Bär, K., Herbert-Hansen, Z.N.L., and Khalid, W. (2018). Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME. Production Engineering 12, 747-758, <https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y>
7. Büyüközkan G, Çifçi G. (2012) Evaluation of the green supply chain management practices: A fuzzy ANP approach, Production and Planning Control, 23(6), 405-418, <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.561814>
8. Çakın E, Özdemir A. (2013) Tedarikçi seçim kararında analitik ağ süreci (ANP) ve ELECTRE yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15(2), 339-364
9. Çetinkaya, B., Cuthbertson, R., Ewer, G., Klass-Wissing, T., Piotrowich, W. & Tyssen C. (2011). Sustainable Supply Chain Management, New York: Springer.
10. Daly, H. E. & Cobb J. (1994). For The Common Good, Boston: Beacon Press.
11. Delice E, Ayık İ, Abidinoğlu Ö, Çiftçi N, Sezer Y. (2018) Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ve AHP yöntemi ile çalışma duruşlarının analizi: ağır ve tehlikeli işler için bir uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(0), 112-124, <https://doi.org/10.21923/jesd.364394>
12. Ercan, T., & Kutay, M. (2016). Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 599-607. DOI: 10.5578/fmbd.43411
13. Erikan, L. (2002), HV.K.K.'lığında Aday Seçiminde AHP ile Etkin Karar Verme, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

14. Evren R, Ülengin F, 1922b Yönetimde Karar Verme, İTÜ Yayını, No.1478, İstanbul.
15. Gabriel, M., Pessl, E. (2016) Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering, 14(2), 131–136.
16. Görener, A. (2009) Kesici takım tedarikçisi seçiminde analitik ağ sürecinin kullanımı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(1), 99-110.
17. Guang, Yang, Huang, Wenjie & Lei, Linli (2009) NPP Conventional island apparatus supplier selection based on AHP and TOPSIS approaches. Management and Service Science (International Conference), 1-4, DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5305226
18. Gubbi J, Buyya R, Marusiz S, Palanizwami M. (2013) Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660, <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
19. Gülenç İ, Aydın B.G, (2010) Yatırım kararları için bir model önerisi: AHP yöntemi, Öneri, 9(34), 97-107.
20. Gündüz M, Daş R. (2017) Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 24(2), 327-335, 2018. doi: 10.5505/pajes.2017.89106
21. Gür, Ş., Uslu, B., Eren, T., Akça, N., Yılmaz, A., Sönmez, S. Analitik ağ süreci yöntemi kullanılarak hastanelerde ameliyathane performansının değerlendirilmesi, Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi, 3 (3), 10-25.
22. Hamurcu M., Eren T. (2019) An application of multi-criteria decision making for the evaluation of alternative monorail routes, Mathematics, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/math7010016>
23. Handfield R, Walton S, Sroufe R, Melnyk S. (2002) Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process, European Journal of Operational Research, 141(1), 70-87, [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00261-2)
24. Hofmann E, Rüsç M. (2017) Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, Computers in Industry, 89, 23-34, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
25. Kecek G, Yüksel R. (2016) Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve PROMETHEE teknikleriyle akıllı telefon seçimi, Sosyal Bilimler Dergisi, 49, 46-62.
26. Kirytopoulos K, Leopoulos V, Voulgaridou D. (2008) Supplier selection in pharmaceutical industry: An analytic network process approach, Benchmarking: An International Journal, 15(4), 494-516, <https://doi.org/10.1108/14635770810887267>
27. Lorcu, F. (2000), Analitik Hiyerarşi Prosesi Tekniği ile Kişisel Bilgisayar Tercihi Konusunda Bir Uygulama, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
28. Manavalan E, Jayakrishna K. (2018) A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements, Computers & Industrial Engineering, 925-953, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>

29. Miorandi D, Sicari S, Pellegrini F, Chlamtac I. (2012) Internet of things: Vision, applications and research challenges, *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
30. Mukhopadhyay C, Suryadevara K. (2014) Internet of Things: Challenges and Opportunities, Part of the Smart Sensors, Measurement and Instrumentation book series (SSMI, volume 9), DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-319-04223-7_1
31. Ömürbek N, Üstündağ S, Helvacıoğlu Ö. (2013) Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanımı: Isparta bölgesinde bir uygulama, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(21), 101-116.
32. Öner, A. & Ülengin, F. (1995) Silah seçiminde AHP yaklaşımı. *Kara Harp Okulu, I. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Bildiriler-II*, 1109-1122.
33. Ötleş S., Özyurt V. H. (2016) Endüstri 4.0: Gıda sektörü perspektifi, *Dünya Gıda Dergisi*, 89-96.
34. Peidro, D., Mula, J., Poler, R. & Lario F. C. (2009) Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: A review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3-4), 400-420, <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1715-y>
35. Prause, G. (2015). Sustainable business models and structures for industry 4.0 *Journal of Security and Sustainability Issues*, 2(5), 1–11, <http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2>
36. Rübmann M, Lorenz M, Gerbert P, Waldner M, Justus J, Engel P, Harnisch M. (2015) Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries, *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89.
37. Saaty, T. L. (1990) How To Make A Decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
38. Saaty, T.L., (1999) Fundamentals Of The Analytic Network Process, *Proceedings Of Isahp, Kobe, Japan*, 48-63.
39. Sevinç, A., Eren, T. (2019) Determination of KOSGEB Support Models for Small and Medium Scale Enterprises by Means of Data Envelopment Analysis and Multi Criteria Decision making methods, *Processes*, 7(3), 130-147, <https://doi.org/10.3390/pr7030130>
40. Sevinç, A., Gür, Ş., Eren, T. (2018) Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 applications by analytical hierarchy process and analytical network process, *Processes*, 6(12), 264-280, <https://doi.org/10.3390/pr6120264>
41. Supçiller A, Çapraz O. (2011) AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması, *Ekonometri ve İstatistik*, 13, 1–22.
42. Timor M. (2011) Analitik Hiyerarşi Prosesi, *Türkmen Kitabevi, İstanbul*.
43. Toker K. (2018) Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirliğe Etkileri, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 29(84), 51-64. DOI: 10.26650/imj.2018.29.84.0003
44. Uslu, B., Gür, Ş., Eren, T. (2018) 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. <https://doi.org/10.20290/aubtdb.440473>
45. Wagner T. (2016). Industry 4.0 as enabler for sustainable lifestyles. *Unconference 2016–INSIGHTS Workstudio*, 4, 1–7.

46. Yan B, Huang G (2009) Supply chain information transmission based on RFID and internet of things, 2009 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, DOI: 10.1109/CCCM.2009.5267755
47. Yavaş M, Ersöz T, Kabak M, Ersöz F. (2014) Otomobil seçimine çok kriterli yaklaşım önerisi, İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, 2(4), 110-118.
48. Yıldız, A., Karakoyun, F., Parlak, İ.E. (2018), “Endüstri 4.0 Temelli Dijital Tedarik Zinciri”, Mühendislik Alanında Akademik Araştırmalar, Editör: Salman, S., Gece Kitaplığı, Ankara, 416-426, doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v6i4.322>
49. Zhao, JinPing, Xiong, JunXing, Peng, Lin, Tu, Haining & Liu Jian Sheng (2009) Research of Modeling the Evaluation Choice on Materials Suppliers Based on AHP. World Congress on Software Engineering, 416-419, DOI: 10.1109/WCSE.2009.55

