

Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engellerin küresel bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmesi: Akü sektöründe bir uygulama

Evaluation of barriers to circular supply chain implementations with the spherical fuzzy AHP method: A case study of battery industry

Salih BAKKAL^{1*} , Nihan KABADAYI² 

¹Lojistik Yönetimi Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Piri Reis Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

sbakkal@pirireis.edu.tr

²Üretim Bölümü, İşletme Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

nihank@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.03.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 17.12.2023

doi: 10.5505/pajes.2024.08555

Kabul Tarihi/Accepted: 18.04.2024

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Küresel iklim krizi, globalleşen dünya, artan üretim hacimleri ve hızla değişen müşteri beklentilerini karşılamanın yarattığı rekabet ortamı kaynakların sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. 1760'lı yıllarda başlayan Sanayi Devriminden beri "al, yap, sat" mantığı ile işleyen doğrusal ekonomi modelinin kaynaklar için sürdürülebilir bir çözüm sunmaması, son yıllarda yeni bir ekonomik model arayışına sebep oldu. İlk olarak iki İngiliz çevre ekonomisti David Pearce ve R. Kerry Turner tarafından ortaya konulan döngüsel ekonomi kavramı; tedarik zinciri içerisinde dolaşımda olan ürün, malzeme ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. İçerisinde birçok aktör bulunan tedarik zincirleri bu yeni ekonomik modelde; tersine lojistik, yeniden üretim, ürün tasarımı, ürün yaşam çevrimi yönetimi, temiz üretim, sürdürülebilir paketleme, araç rotalama gibi faaliyetler ile önemli bir yere sahiptir. Fakat, giderek karmaşık bir yapıya dönüşen ve deniz aşırı faaliyet gösteren tedarik zincirlerinin yeni bir modele uyum sağlamasında birçok engel ile karşılaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de faaliyet gösteren firmaların döngüsel tedarik zinciri uygulamalarında karşılaşılabilecekleri temel engeller ile ilgili bir örnek uygulama ortaya koyarak, strateji ve planlama oluşturulmasında yöneticiler ve paydaşlar için faydalı bilgiler sunmaktır. Bu amaçla, kapsamlı bir literatür taraması yapılarak dokuz temel engel tanımlanmıştır. Bu engeller, otomotiv ve endüstriyel gruplarda akü üretimi yapan bir işletme üzerinde küresel bulanık AHP kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre üst yönetimin desteğinin eksikliği uygulamanın yapıldığı firmadaki döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki en önemli engeldir. Bu çalışmada ilgili problemin çözümünde ilk defa küresel bulanık AHP yönteminin kullanılması ile literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Döngüsel ekonomi, Tedarik zinciri, Engeller, Küresel bulanık AHP.

Abstract

The climate crisis, globalizing world, increasing production volumes, and competitive environment created by meeting rapidly changing customer needs and expectations jeopardize the sustainability of resources. Since the Industrial Revolution that started in the 1760s, a linear economy model driven by a 'take-make-dispose' has been adopted. As this model doesn't offer a sustainable solution for resources, a circular economy as a new economic model was suggested. Circular economy, put forward by environmental economists David Pearce and R. Kerry Turner, aims to use efficiently and effectively products, materials, and energy circulating throughout the supply chain. Containing many actors within, the supply chain has an important place for a circular economy with activities such as reverse logistics, remanufacturing, product design, product life cycle management, clean production, sustainable packaging, and vehicle routing. On the other hand, supply chains encounter many obstacles in adopting a new economic model because of becoming increasingly complex and operating overseas. This paper aims to determine the main barriers firms operating in Turkey may encounter while adapting to a circular supply chain and to offer useful information for decision-makers and managers. We identified nine main barriers by conducting a comprehensive literature review for that purpose. These barriers were analyzed in company manufacturing batteries for automotive and industrial groups by using spherical fuzzy AHP. According to the analysis results, lack of top management support is the most crucial barrier to circular supply chain applications. This study aimed to contribute to the literature by using the spherical fuzzy AHP method for the first time in solving the related problem.

Keywords: Circular economy, Supply chain, Barriers, Spherical fuzzy AHP.

1 Giriş

Küresel iklim krizi, globalleşen dünya, hızla gelişen teknoloji, artan üretim hacimleri, değişen müşteri beklentileri ve bu beklentileri hızlı bir şekilde karşılama iç güdüsü ile yönlendirilen rekabet ortamı, kaynakların sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. Ülkeler arasında rekabete ve kendi içlerinde refaha sebep olan ekonomik gelişmişlik düzeyini yakalamak için, sürdürülebilirliği tehlikeye atan bu faktörler çoğu kez görmezden gelinmiştir. Fakat, bir ülkenin tam olarak gelişmiş olduğundan bahsetmek için ekonomik, sosyal ve

çevresel olarak gelişmişlik düzeyini yakalamış olması gerekmektedir [1].

1760'lı yıllarda başlayan Sanayi Devrimi'nden beri, 'al, yap, sat' mantığı ile işleyen doğrusal ekonomi modelinde yaşanmıştır. Doğrusal ekonomi modelinde doğal kaynaklar satın alınır veya kaynağından çıkarılır, tek kullanımdan sonra atılacak fabrika girdilerine dönüştürülür [2]. Doğrusal ekonomi başka bir tanımla, hammaddenin kaynağından alındığı/çıkarıldığı, üretim yapıldığı ve üretilen ürünün tükettikten sonra bir çöp sahasına atıldığı ekonomik modeldir. Burada ürün veya malzemelerin değer akışı içerisinde hareketi sırasında

*Yazışılan yazar/Corresponding author

meydana gelen çevresel kirliliğe genellikle dikkat edilmemektedir [2],[3]. Küreselleşme, artan nüfus miktarı, ekonomik büyüme ve endüstriyel gelişim ile üretim maliyetleri düşmüş ve müşterilerin satın alma gücünün artmasıyla hammadde, su, enerji ve verimli araziye içeren doğal kaynakların talebinde artış meydana gelmiştir [4],[5]. Hammaddeye olan talep miktarındaki artış ve mevcut tüketim alışkanlıkları çevre ile ilgili sorunlara, iklim değişikliğine ve bununla birlikte kaynak kıtlığına neden olmuştur [6]. Doğrusal ekonominin neden olduğu olumsuz etkiler, ekonomik istikrarı ve doğal ekosistemin bütünlüğünü tehdit etmeye başlamıştır [7]. Doğrusal ekonominin kaynaklardan tam olarak fayda sağlanmasına engel olan, doğal kaynakları tüketirken sonrası için yeterince alternatif sunmayan işleyişi, son yıllarda yeni bir ekonomik model arayışına girilmesine neden olmuştur. Mevcut doğrusal ekonomi modelinin fiziksel sınırlarına ulaşması ile kaynakları ve çevreyi koruma ile ilgili planlar endüstriler arasında değerlendirmeye alınmaya başlanmıştır ([8],[9]). Çevre ekonomistleri David Pearce ve R. Kerry Turner tarafından 1989 yılında yayımlanmış olan 'Doğal kaynakların ve çevrenin ekonomisi' isimli kitap döngüsel ekonomi sistemini tanıtan ilk yayınlardan biridir. Bu kitapta Boulding'in 1966 yılında insan yaşamının sürdürülebilirliğinin korunması için bir ön koşul olarak öne sürdüğü "döngüsel bir sistem olarak ekonomi" teorisine dayandırılarak döngüsel ekonomi sistemi ele alınmıştır [7]. Döngüsel ekonominin amacı, hammaddelerin işlendikten sonra ürünlere dönüştürüldüğü ve sonrasında atık olarak kaldığı doğrusal tüketim modeline dayalı mevcut açık üretim sistemlerini, kaynakların yeniden kullanılması ve enerji tasarrufu sağlanmasını hedefleyen kapalı sistemlere dönüştürmektir [10]. Bahsedilen döngüsel süreç, sadece geri dönüşüm ve çevresel kaygılardan ibaret değildir. Kaynakların kullanılmasında israfın ortadan kaldırılması ve elde bulunan kaynaklardan son noktasına kadar yararlanarak nasıl değerlendirilebileceğini düşünmenin yeni bir yoldur [2]. Döngüsel ekonomide ürünlerin ve malzemelerin değeri mümkün olduğu kadar uzun süre korunur, atık ve kaynak kullanımı azaltılır ve kaynaklar ürün yaşam evresinin sonuna ulaştığında bile en yüksek kullanım seviyesine ulaşmak için ekonomik model içerisinde tutulur [11],[6]. Bu yeni ekonomik model, ürünlerin biyolojik ve teknik döngüleri arasında ayrım yapmaktadır [12]. Birincisi biyolojik materyal döngüsü adı verilen kaynağın biyosfere güvenli bir şekilde dönüşmesi uygulaması ve ikincisi ise teknik materyal döngüsü adı verilen ürünün tamamen tüketilene kadar tüm yaşam aktiviteleri boyunca dolaşımda bulunması uygulamasıdır [6]. Döngüsel ekonomi modelinde teknik veya biyolojik tüm atıklar, hammadde kullanımını azaltarak, onarım ve restorasyon, yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yeniden amaçlandırmayı artırarak en aza indirilmeye çalışılır [13]. Döngüsel modelde, ömrünü tamamlamış kavramının yerini restorasyon alırken, yenilenebilir enerji kullanımına dikkat çekilmektedir. Burada ürünlerin yeniden kullanımını engelleyen zehirli kimyasalların üretimde kullanımını ortadan kaldırmak ve üstün malzeme, ürün, sistem ve iş modelleri tasarımı ile atıkların tamamen ortadan kaldırılması amaçlanır [14]. Ellen MacArthur Vakfı işletmelerin döngüsel ekonomi modeline geçişini hızlandıracak dört kaldıraç belirlemiştir. Bunlar; döngüsel ürün tasarımı, hizmete elverişli iş modeli, tersine lojistik ve döngüsel ekonomiyi geçişi destekleyen stratejilerdir [15]. Döngüsel ekonomiyi destekleyen stratejilerden literatürde 3R, 6R ve en son 9R olarak bahsedilmiştir. Kazançoğlu ve diğ. [13] 9R stratejilerini; ürünü geri dönüştürülemez hale getiren malzemenin kullanımının

önlenmesi, yeniden kullanım, onarım, yenileme, yeniden üretim, yeniden amaçlandırmak, geri dönüşüm ve geri kazanım olarak tanımlamıştır.

Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren firmaların döngüsel tedarik zinciri uygulamalarında karşılaşılabilecekleri temel engelleri incelemek amacıyla otomotiv ve endüstriyel gruplarda akü üretimi yapan bir firmada örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Küresel bulanık AHP yöntemi kullanılarak bu sektörde döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili karşılaşılan engellerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın literatüre katkısı, Türkiye'de akü üretim sektöründeki döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engelleri inceleyen ilk yayın olması ve küresel bulanık AHP yönteminin ilk defa bu problemin analizinde kullanılmasıdır. Ayrıca, Türkçe dilinde bu konuda yapılmış olan çok az sayıda yayının olması nedeniyle Türkçe literatüre de katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde döngüsel ekonomi ile ilgili genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, döngüsel ekonomi ve tedarik zinciri kavramları döngüsel tedarik zinciri bağlamında sentezlenmiştir ve son yıllarda sıklıkla ifade edilen döngüsel tedarik zinciri yapısının inşa edilmesi ve uygulanmasında karşılaşılan engeller literatür taraması yapılarak belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, problem çözümünde kullanılan yöntem ve çözüm aşamaları hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, ele alınan sektör üzerinde yapılan ÇKKV uygulaması adım adım açıklanarak ilgili hesaplamalar ve matrisler gösterilmiştir. Son bölümde ise uygulama sonuçları değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2 Döngüsel ekonomi ve tedarik zinciri yönetimi

Doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye doğru geçiş iş modellerinde, tedarik zinciri konfigürasyonlarında, ürün/hizmet tasarımı, üretim, tüketim, atık yönetimi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm ile ilgili uygulamalarda önemli dönüşümler gerektirir [12]. Günümüzde tedarik zincirleri, bünyesinde bulunan paydaşları ve zincir boyunca akış içerisinde bulunan kaynakları ile giderek karmaşık bir hal almaktadır. Tedarik zincirlerinde artan talep ve karmaşıklaşan ürün yapıları nedeniyle üretimden tüketime kadar kullanılan kaynakların artmasına karşılık doğal kaynakların azalmaya başlaması doğrusal ekonomi modellerinin yerini döngüsel ekonomi modellerine bırakmasını zorunlu hale getirmiştir.

Doğrusal ekonomi modelinde tedarik zincirlerinde kaynak kullanımı; malzemelerin üretilmesi, kullanılması ve sonra çöp sahalarına, diğer ülkelere veya nehirlere ve denizlere atılması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu modelin kaynakların israf edilmesine neden olmasının yanı sıra çevreye ciddi zararlar vermiş olduğu gözlemlenmektedir [16]. Doğanın kaynaklarını belirli bir hızda ve kapasitede yenileme gücü olmasına rağmen maalesef günümüzde kaynakların tüketim hızı doğanın yenileme hızını aşan boyutlara ulaşmıştır. Gelecekte yaşanabilir bir dünyaya sahip olabilmek için doğadaki kaynakların kullanımını daha yavaş ve etkin bir şekilde gerçekleştirmemiz gerekmektedir. İşletmeler tedarik zincirlerinde gerçekleştirmiş oldukları faaliyetlerde döngüsel ekonomi modelini benimseyerek bu konuda sorumluluğunu yerine getirmelidir. Bunun yanı sıra işletmelerin faaliyetlerini sürdürebilmek için doğal kaynaklara ihtiyaç duymuş olduğu düşünüldüğünde döngüsel ekonomi modellerinin işletmeler için de yaşamsal bir önem arz ettiği söylenebilir. Bu sebeple işletmelerin tedarik zincirleri boyunca kaynak kullanımını

optimize ederek sürdürülebilir bir model benimsemesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Döngüsel ekonomi uygulamaları ile ilgili yasal düzenlemeler işletmelerin döngüsel ekonomi uygulamalarına yönelmesinde önemli bir faktör olmuştur. 1996 yılında Almanya'da "Kapalı Madde Döngüsü ve Atık Yönetimi Yasası"nın çıkarılması ile döngüsel ekonomi ile ilgili uygulamalar yaygın hale gelmiştir. Japonya'da ise "Geri Dönüşüme Dayalı Bir Toplum Kurmak için Temel Kanun" isimli kapsamlı bir yasal çerçeve geliştirilerek döngüsel ekonomi ile ilgili uygulamalar konusunda yasal düzenlemeler gerçekleştirilmiştir [17].

Tedarik zincirleri ve onu çevreleyen endüstriyel ekosistemlere döngüsel ekonomiyi entegre ederek tedarik zinciri boyunca kaynak sirkülasyonunun uzatılması mümkündür [12],[18],[19]. Döngüsel ekonomi modelinde enerji verimliliği, ürün ambalajlama, alternatif yakıt kaynaklarının kullanımı, rota optimizasyonu ile taşımaların minimizasyonu, gelir yönetimi gibi çeşitli uygulamalar ile ürünlerin zincir içerisinde kapalı bir döngüde, maksimum fayda sağlayacak şekilde hareket etmesi amaçlanır [20]. Döngüsel tedarik zinciri, sürdürülebilir tedarik zinciri ve yeşil tedarik zinciri anlayışlarını önemli ölçüde tamamlamaktadır [21]. Döngüsel ekonominin faydalarına rağmen işletmelerin doğrusal ekonomi modelinden bu modele geçişleri kolay olmamaktadır. Etkili bir döngüsel tedarik zinciri stratejisi ve politikası geliştirmek için birçok engel ve zorluğu aşmak gerekmektedir [15]. İşletmeler tedarik zinciri boyunca döngüsel ekonomi modelini uygularken karşılaşılabilecekleri engelleri belirleyerek bunları aşmak için gerekli önlemleri alabilirler. Literatürde bu konuda yapılmış olan çalışmalar işletmelere bu süreçte yol gösterici olmaktadır.

2.1 Döngüsel tedarik zinciri ile ilgili engeller

Ürünün tasarım aşamasından son kullanıcıya erişimine kadar birçok operasyon ve aktörün dahil olduğu tedarik zincirleri oldukça karmaşık bir yapıdadır. Son yıllarda deniz aşırı bir hal alan ve gelenekselleşen bu yapının herhangi bir dönüşümü benimsemesi, zincir içerisinde operasyonel, stratejik ve taktiksel bağlamda bütüncül bir değişim gerektireceğinden oldukça zordur. Sanayi devrimlerinden beri doğrusal ekonomi modeli içerisinde faaliyet gösteren tedarik zincirleri, döngüsel ekonomi modeline geçişte birçok engel ile karşılaşmaktadır. Literatürde birçok araştırmacı bu engelleri tanımlayan çalışmalar yapmıştır.

Pan ve diğ. [22] atıktan enerjiye tedarik zincirleri bağlamında döngüsel ekonomiye geçişi engelleyen faktörleri incelediği çalışmada teknoloji, finans, kurum ve mevzuat ile ilgili sorunlara dikkat çekmiştir. Govindan ve Hasanagic [4] tedarik zinciri perspektifinden döngüsel ekonomiye geçişte karşılaşılan sorunları sistematik bir literatür taraması ile incelemiştir. Bu çalışmada döngüsel ekonomiye geçişte karşılaşılan sorunlar, hükümet ile ilgili, ekonomik, teknolojik, döngüsel ekonomi ile ilgili bilgi ve beceri eksikliği, yönetsel, döngüsel ekonomi çerçevesi ile ilgili belirsizlik, sosyal faktörler, pazar ile ilgili zorluklar olmak üzere sekiz sınıf altında toplanmıştır. Saroha ve diğ. [6] sistematik literatür taraması ile döngüsel tedarik zincirinin önündeki engelleri, hükümet ile ilgili, finansal, teknolojik, bilgi ve beceri eksikliği, yönetsel, döngüsel ekonomi çerçevesi ile ilgili belirsizlik, sosyal faktörler, pazar ile ilgili zorluklar olmak üzere sekiz sınıfa ayırmıştır. Bressanelli ve diğ. [23], tedarik zincirlerini döngüsel ekonomi için yeniden tasarlarırken karşılaşılan zorlukları yapmış oldukları literatür taraması ile ekonomik ve finansal canlılık, pazar ve rekabet, ürün özellikleri, standartlar ve yasal

düzenlemeler, tedarik zinciri yönetimi, teknoloji ve müşteri davranışları olarak yedi temel başlığa ayırmıştır. Kazançoğlu ve diğ. [13] tekstil sektöründe karşılaşılan engelleri odak grup çalışması ile belirlemeyi amaçlamıştır. Buna göre tekstil sektöründe karşılaşılan engeller; yönetim ve karar verme, işgücü, ürün tasarımı, malzeme, yasal düzenlemeler, döngüsel ekonomi hakkında bilgi ve bilinç eksikliği, entegrasyon ve iş birliği ile ilgili problemler, maliyet ve teknik altyapıdan kaynaklanan engeller olmak üzere dokuz ana grup altında toplanmıştır. Ada ve diğ. [24] literatür taraması ile gıda tedarik zincirlerinde döngüsel ekonominin uygulanmasında karşılaşılan engelleri incelemiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre gıda tedarik zincirlerinde döngüsel ekonomi uygulamaları ile ilgili karşılaşılan engelleri; kültürel, finansal, politik ve yasal düzenlemeler, teknoloji, yönetim, tedarik zinciri yönetimi ve bilgi ve beceri eksikliği ile ilgili olmak üzere yedi sınıf altında toplamak mümkündür. Mehmood ve diğ. [25], tarım tedarik zincirinde döngüsel ekonomi ile ilgili engelleri incelemiş ve literatürde bahsedilme yüzdesine göre bu engelleri sıralamıştır. Tarım tedarik zincirlerinde döngüsel ekonomi uygulamaları ile ilgili engeller, finansal ve ekonomik engeller, kamu politikası ve kurumsal engeller, lojistik ve altyapı ile ilgili engeller, operasyonlar ile ilgili engeller, bilgi ve beceri engelleri ve teknolojik engeller olarak altı temel başlığa ayrılmıştır. Bu engellerden kurumsal, finansal ve teknolojik risklerin tarımsal tedarik zincirlerinin döngüsel faaliyetleri yürütmesinde karşılaştığı en önemli engeller olduğu ortaya koyulmuştur. Sopha ve diğ. [21], döngüsel ekonominin elektrikli araç bataryası sektöründe uygulanması ile ilgili engelleri teknoloji ve altyapı, tedarik zinciri operasyonları ve yönetim, ekonomi, politika ve yasal düzenlemeler ve sosyal olmak üzere beş ana başlığa ayırmıştır. Döngüsel ekonomi ve tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili karşılaşılan engeller ile ilgili yapılmış olan literatür taramaları bu konuda geniş kapsamlı bir bilgi sunmaktadır. Bunun yanı sıra, ÇKKV yöntemleri ile engellerin önceliklendirilip, neden-sonuç ilişkisini değerlendiren çalışmalar, stratejik kararlar almak ve doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçişte doğru planlama yapmak için faydalı bilgiler sunmaktadır [13]. Luthra ve diğ. [26], AHC, Bulanık Delphi ve Bulanık DEMATEL yöntemlerini kullanarak gelişmekte olan ülkelerden biri olan Hindistan'da döngüsel tedarik zinciri yönetiminde sektörler arası iş birliğini engelleyen faktörleri incelemiştir. Farklı sektörlerden profesyoneller ile yapılan görüşmeler neticesinde yirmi yedi engel tanımlanmış ve bunlar beş ana başlık altında toplanmıştır. Bulanık DEMATEL yöntemi ile bu engeller nedensel ve etki grubu olarak ikiye ayrılmıştır. Buna göre, algısal engeller, bağlamsal engeller ve yönetim engelleri nedensel engeller olarak belirlenirken operasyonel engeller ile stratejik ve yönetim engelleri etki grubu engelleri olarak sınıflandırılmıştır. Amiri ve diğ. [15], kaba küme tabanlı hiyerarşik en iyi-en kötü metodunu kullanarak döngüsel tedarik zinciri engellerini önceliklendirmiştir. Sonuçlara göre İran imalat sanayilerinde döngüsel tedarik zinciri yönetimini uygulamanın önündeki başlıca engeller finansal ve ekonomik engeller ve teknolojik engellerdir. Lahane ve diğ. [19], Pisagor bulanık AHP-DEMATEL yaklaşımını kullanarak döngüsel tedarik zinciri engelleri arasındaki karşılıklı ilişkileri incelemiştir. Sonuçlar üst yönetim desteğinin olmamasının en önemli engel olduğunu gösterirken döngüsel ekonomi stratejileri ile üretilen ürünlerin düşük kabul edilebilirliğinin en düşük öneme sahip engel olduğunu göstermektedir. Kumar ve diğ. [27], sürdürülebilir tedarik zinciri önündeki engelleri analiz etmek için AHP ve ELECTRE yöntemlerini içeren

bütünlük bir yaklaşım kullanmıştır. Çalışma sonucunda tedarik zincirlerinin sürdürülebilir faaliyetler göstermesinin önündeki en önemli engelin nitelikli işgücü eksikliği olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan literatür taraması ile çalışmaların farklı sektörler için farklı yöntemler kullanılarak temel ve alt engelleri tanımladığı görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde döngüsel tedarik zincirlerinin oluşturulmasında karşılaşılan engeller dokuz temel başlık altında ele alınmaktadır.

2.1.1 Yasal düzenlemeler

Kanun koyucular tarafından hazırlanan ve yürürlüğe konulan vergi politikası, teşvik, standartlar ve sertifikasyon gibi düzenlemelerin kurum ve işletmeler üzerinde yönlendirici bir etkisi olmaktadır. Tedarik zincirlerinde döngüsel ekonomi faaliyetlerinin uygulanması için işletmeleri hem teşvik eden hem de mecbur bırakan bu düzenlemelerin yokluğu, doğrusal ekonomi modelinde yaşanacak dönüşümün gerçekleşmesinde karşılaşılan önemli bir sorundur. Hükümetlerin döngüsel ekonomi ile ilgili politik ve yasal düzenlemeler hakkında temel bir fikir birliğine sahip olmaması tedarik zinciri ve işletmeler açısından engel oluşturmaktadır [28].

2.1.2 Yönetim ve karar verme

Bir işletmede döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının yürütülmesi hakkındaki kararların verilmesi ile ilgili olan bu temel kriter planlama, yönetim, bilgi akışı ve döngüsel ekonomi ile ilgili şirket bilincinin oluşmasında önem ifade etmektedir [13]. Yönetimin gelenekselleşmiş doğrusal ekonomi operasyonlarını terk etmedeki isteksiz tavrı, başka problemleri öncelikli olarak görmesi döngüsel tedarik zincirine geçiş sürecini yavaşlatmaktadır.

2.1.3 Bilgi, ilgi ve yetenek eksikliği

Bu kriter döngüsel ekonominin tedarik zincirleri tarafından tanımlanması ve teknik ve kalifiye bilgi ve yeteneklerin varlığı ile ilgilidir. İşletmeler mevcut operasyonlarının döngüsel iş süreçlerine nasıl uyum sağlayacağı konusunda zorlanabilir. Bu değişimin gerçekleşmesi için gerekli bilgi ve teknik becerilerin eksik olması sürecin verimli bir şekilde yürütülmesini zorlaştırmaktadır [8].

2.1.4 Ekonomi ve finans

Döngüsel tedarik zinciri faaliyetleri ile ilgili işletmelerin sıklıkla deneyimlemiş olduğu ve literatürde de en çok bahsedilen kritik engel ekonomi ve finans ile ilgili problemlerdir [25]. İşletmelerin temel amacı düşük maliyet ile yüksek kar elde etmektir. Fakat doğrusal tedarik zinciri yapısını değiştirmeyi hedefleyen işletmeler için döngüsel ekonomi modelini inşa etmek, uygulamak ve yönetmek yüksek yatırım gerektirmektedir [29]. Bu yüksek yatırımların karşılığını almaya başlayacakları başabaş noktasına erişmelerinde ki süre ile ilgili belirsizlik yaşayan işletmeler, döngüsel tedarik zinciri faaliyetlerini yürütmek konusunda isteksiz olmaktadır. Bunun yanı sıra döngüsel modeller inşa etmek için hükümet organları tarafından verilen yetersiz teşvik özellikle gelişmekte olan ülkelerde faaliyet gösteren işletmeler için önemli mali engel oluşturmaktadır [30].

2.1.5 Teknolojik kaynak ve yetenekler

Teknoloji, döngüsel ekonomi için tedarik zincirlerini yeniden tasarlarken temel ilkeler olan 9R stratejilerini uygulamada kilit faktörlerden birisidir [17]. Şirketlerin değişen operasyonel süreçlerini verimli bir şekilde yürütmeleri ve rekabet ortamına

ayak uydurmaları için yardımcı olan teknolojik kaynak ve yetenekler döngüsel ürün tasarımı, atık toplama ve geri dönüştürme, tersine lojistik altyapısının tasarımı, veri depolama ve veri analitiği gibi konularda potansiyel bir fayda sağlamaktadır [31]. Süreçleri iyileştiren ve geliştiren teknolojik yeteneklere sahip olmayan veya teknolojiyi transfer edemeyen işletmeler tedarik zinciri süreçlerinde döngüsel dönüşümü gerçekleştirirken birçok problem ile karşılaşmaktadır. Örneğin bir işletme mevcut teknoloji ve makinelerin ürünü bileşenlerine ayırma ve geri dönüştürme yeteneğine sahip olmasından dolayı makinelerin yeniden inşası ve teknolojik gelişim sürecine girecektir. Bu süreç, şirket yeterli kaynaklara sahip olmadığında oldukça zordur [32].

2.1.6 Koordinasyon ve işbirliği

Şirketlerin döngüsel ekonomiye geçişte karşılaştıkları temel engellerden birisi de koordinasyon ve işbirliğidir. Bir ürün veya hizmetin tedarik zinciri birçok operasyonel süreç ve paydaştan oluşmaktadır. Bu süreçlerin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için zincir içerisinde bulunan aktörlerin uzun vadeli, şeffaf, etkili bilgi paylaşımına dayanan ilişkiler kurması gerekmektedir [13]. Birbirine bağlı faaliyetler dizisinde paydaşların birbirlerinin yapmış oldukları planlamadan, değişimlerden ve süreçlerden haberdar olmaması zincir içerisinde karmaşık bir yapıya ve operasyonların verimliliğinde ciddi bir düşüşe sebep olacaktır [23]. Küçük bir işletmeden büyük bir uluslararası işletmeye kadar her kurumsal girişim bir ekonomik sistem ve ağına parçasıdır. Bu nedenle daha verimli operasyonlar yürütmek isteyen işletmeler sistem yaklaşımını benimseyen bir bilgi sistemi oluşturmalıdırlar [33].

2.1.7 Lojistik, taşıma ve altyapı

Döngüsel ekonominin temel hedefi atıkların azalması ve ürünlerin mümkün olduğunca yaşam döngüsü içerisinde kalmasıdır. Bu durumda etkili bir tersine lojistik ağ tasarımı gerekmektedir. Depolama, taşıma, elleçleme gibi lojistik operasyonlar döngüsel tedarik zincirlerinin inşa edilmesinde önemli bir yere sahiptir. Kullanım sonunda geri dönen ürünlerin işletme tesislerine tekrardan taşınması, stokların güncellenmesi ve ürünlerin elleçlenmesi faaliyetleri için teknik bir altyapı gerekmektedir. Tedarik zincirinin hangi evresinde olursa olsun, bir paydaşın lojistik ve teknik altyapısının yeterli olmaması tüm tedarik zincirini etkileyecektir [25]. Bunun yanı sıra toplanan veya geri dönen ürünlerin miktarı, kalitesi, zamanı ve nereden geldiği ile ilgili belirsizlikler tersine tedarik zinciri faaliyetlerinde ölçek ekonomisinin elde edilmesi olasılığını azaltmaktadır [5].

2.1.8 Ürün tasarımı

Döngüsel ekonomi anlayışında, bir ürünü belirli işlemlerden geçirerek geri dönüştürmekten daha çok ürünün bir yaşam döngüsü içerisinde küçük değişiklikler yaparak akışını sağlamak önemlidir. Bunun için ürünün henüz tasarım aşamasında 9R stratejilerinin kolayca uygulanabileceği bir ürün üretmeyi hedeflemek faydalı olacaktır. Kişiselleştirilmiş, karmaşık bir yapıya sahip ve geleneksel olmayan ürünlerin geri dönüştürülmesi, başka bir amaç için yeniden amaçlandırılması, bakım onarım faaliyetleri sonucunda yeniden kullanılması sade ve sökme, ayırma vb. işlemleri kolayca yapılabilen ürünlere göre daha zor olmaktadır [13]. Ayrıca, döngüsel olarak üretilen nihai ürünün kalitesi ile ilgili müşteri algısında oluşan olumsuz düşünce, işletmelerin kullanılmış parçaları kullanarak ürün tasarımı konusunda tereddüt etmelerine neden olmaktadır [31].

2.1.9 Kültürel ve sosyal çevre

İşletmeler için hem kendi iş ortamında oluşmuş olan kültür hem de hizmet vermiş olduğu sosyal çevre ve kültür önemlidir. Uygulamaya koymuş oldukları veya planlamış oldukları yeniliklerin ilk önce kendi kurum içi kültürel yapısında benimsenmesi, yapmış oldukları yeniliğin gelişimi için oldukça önemli olacaktır. Bunun yanı sıra, faaliyet gösterdikleri sosyal ve kültürel çevrenin bu yenilikler için talep oluşturması,

operasyonların sürdürülebilirliği için önem arz edecektir. Döngüsel ekonomi bağlamında üretilen bir ürünün veya geliştirilen bir iş modelinin bu kültürel ve sosyal çevre tarafından tereddüt ile karşılanması çoğu zaman işletmelerin yenilikçi hareketlerini engellemektedir.

Tablo 1’de döngüsel tedarik zinciri ile ilgili engeller hakkında yapılan literatür çalışması sonucunda oluşturulan ana kriterler ve bunların alt kriterleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Döngüsel tedarik zinciri önündeki engeller.

Table 1. Circular supply chain implementation barriers.

Ana Kriter	Alt Kriterler	Açıklama	Referanslar
Yasal Düzenlemeler	Yetersiz devlet desteği ve endüstriyel teşvik	Döngüsel ekonomi felsefesine uygun ürünler tasarlamak, üretmek ve operasyonlar yürütmek için önemli yatırımlar yapılması gerekir. Bu yatırımlar için devlet desteği, finansman fırsatları vb. gibi unsurların olmaması önemli bir darboğaz oluşturmaktadır.	[5], [17], [23], [25], [28], [30], [34]-[36]
	Döngüsel ekonomi uygulamalarıyla ilgili özel vergi politikası ve yasal düzenlemeler olmaması	Doğrusal ekonominin kaynakları verimsiz bir şekilde kullanımı ele almak için hükümetler mevcut yasa ve yönetmeliklerde değişiklik yaparak sıkı kurallar veya destekleyici maddeler içeren yasalar ve yönetmelikler çıkarmalıdır. Net ve açık bir düzenleyici çerçeveye sahip olmayan ülkelerde döngüsel ekonomi ilkelerini uygulamak zorlaşacaktır.	[4], [23], [24], [28], [30], [37]-[39]
	Döngüsel ekonomi ile ilgili sertifikasyon ve standartların eksikliği	Çevre yönetim sertifikaları ve sistemlerine benzer sertifika ve sektörel standardizasyon eksikliği, işletmelerin döngüsel ekonomi faaliyetlerini uygulamaya koymalarını yavaşlatmaktadır.	[13], [30]
Yönetim ve Karar Verme	Döngüsel tedarik zinciri yönetimi ile ilgili etkili planlama ve yönetimin eksikliği	Döngüsel tedarik zinciri ilkelerinin (9R) benimsenmesi ve başarılı bir şekilde yönetilmesi için etkili bir planlama ve yönetim yapılmalıdır. Aksi takdirde şirketler kritik konulara odaklanma konusunda başarısızlık yaşayabilmektedir.	[30], [33], [39]
	Diğer problemlerin işletmede öncelikli tutulması	Ürün çeşitlendirme, pazar payını genişletme gibi diğer konu ve hedeflere öncelik vermek.	[40]
	Döngüsel ekonomi ile ilgili performans değerlendirme sisteminin bulunmaması	Döngüsel tedarik zinciri faaliyetlerinin çevresel faydaları, pazara olan faydaları, işletme performansına etkisi vb. değerlendirmeleri yapabilmek için kapsamlı bir performans değerlendirme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. İşletmelerin hala doğrusal ekonomi ile ilgili metrikleri kullanması, yapmış oldukları faaliyetlerin değerlendirilmesi, izlenmesi ve raporlanmasının önünde bir engel oluşturmaktadır.	[4], [17], [32], [40]-[42]
Döngüsel Ekonomi ile ilgili Bilgi, İlgil ve Yetenek	Üst yönetim desteğinin eksikliği	Sürdürülebilirlik çalışmalarını başlatmak ve döngüsel tedarik zinciri uygulamalarını yürütmek için üst yönetimden her aktörün proaktif bir şekilde sürece dahil olması başarılı bir döngüsel ekonomi süreci için kritiktir.	[6], [8], [17], [27], [30], [36], [40], [43]
	Döngüsel ekonomi uygulamalarının faydalarının bilinmemesi	Döngüsel ekonomi ilkelerinin kaynak verimliliği gibi faydaları hakkında bilgi eksikliği bu ilkelerin uygulanmasının önündeki bir engeldir.	[35]
	Döngüsel ekonomi uygulamaları için kalifiye eleman eksikliği	İşletmeler tedarik zincirlerinde döngüsel ekonomiyi uygularken gerekli ilkeleri (geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden üretim vb.) ve yeni teknolojileri başarılı bir şekilde uygulamak için uzmanlaşmış bir iş gücüne ihtiyaç duyar.	[4], [6], [27]
Ekonomi ve Finans	Döngüsel ekonomiyi tanımlamanın zorluğu	Sürdürülebilirlik ile ilgili birçok kavram içerisinde döngüsel ekonominin ayrıştığı yönleri ve hedeflemiş olduğu ilkeleri doğru bir şekilde tanımlayamayan şirketler için döngüsel tedarik zincirleri tasarlamak zorlaşacaktır.	[24], [30]
	İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması	Döngüsel ekonomi ilkelerini gerçekleştirmek için destekleyici kaynak ve altyapı oluşturmada katlanılması gereken yüksek ön yatırım maliyetleri işletmeler için kritik bir engel oluşturmaktadır.	[28], [32], [37], [41], [44]-[47]
	Kar ile ilgili belirsizlikler	Şirketler döngüsel tedarik zincirlerine yapmış oldukları yatırımların uzun dönemde oluşacak getirilerinden dolayı endüstriyel ekolojiye yatırım yapmakta tereddütlü davranabilirler.	[13], [23], [24], [34], [40], [48]
Ekonomi ve Finans	Finansal kaynakların yetersiz olması	Tersine lojistik, geri dönüşüm, yeniden üretim vb. faaliyetleri gerçekleştirmek, insan kaynağını eğitmek, makine ve teçhizatlarda değişiklikler yapmak gibi faaliyetleri gerçekleştirmek için işletmeler finansal kaynak ve yeteneklere ihtiyaç duymaktadır.	[19], [35], [40], [49], [50]
	Çevre dostu paketleme ve malzemelerin yüksek satın alma maliyetinin olması	İşletmeler daha sürdürülebilir ürünler üretmek için ihtiyaç duyulan hammaddelerin ve bu ürünleri paketlemek için gerekli malzemelerin yüksek satın alma maliyetleri ile karşılaşmaktadır.	[40], [43]
Ekonomi ve Finans	Ölçek ekonomisi hedeflerini yakalamanın güçlüğü	Hem tersine lojistik faaliyetleri kapsamında geri dönen ürünlerin parça parça gelebileceğinden hem de döngüsel ürünlere olan talebin düşük olmasından dolayı büyük bir üretim hacmi bulunmamasından dolayı işletmeler ölçek ekonomisini yakalamakta zorlanmaktadır.	[13], [50]-[53]

Tablo 1. Devamı.

Table 1. Continued.

Ana Kriter	Alt Kriterler	Açıklama	Referanslar
Teknolojik Kaynak ve Yetenekler	Teknoloji transferlerinin yetersiz olması	Döngüsel tedarik zinciri faaliyetlerini uygularken karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek ve bu faaliyetlerin etkinliğini ve verimliliğini artırmak için en son teknolojiye sahip ülkeden teknoloji transferi gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.	[30],[54]
	Sistematiik bilgi sistemlerinin yetersiz olması	Giderek deniz aşırı ve karmaşık hale gelen tedarik zincirlerindeki her bir paydaş etkili döngüsel ekonomi faaliyetlerini uygulamak için (geri dönüştürülmüş malzemelerin izlenmesi, yeniden kullanım vb.) etkili ve sistematiik bir bilgi sistemine sahip olmalıdır.	[19],[33],[39],[41],[49],[51]
	Teknolojik kaynakların yetersizliği	Tedarik zinciri operasyonlarının her bir aşamasında teknolojiyi kullanarak iyileştirmeler yapılabilir. Teknoloji özellikle kimyasal bileşenler içeren ürünlerin bakımı ve kontrolü, ikinci kullanımdaki güvenliğinin artırılması için şirketlerin sürdürülebilir faaliyetlerinde önem arz etmektedir.	[4], [25], [31], [39], [43], [55]
Koordinasyon ve İşbirliği	Tedarik zinciri entegrasyonunun eksikliği	Döngüsel ekonomi geleneksel tedarik zincirlerindeki açık döngüyü kapatmayı hedeflerken giderek karmaşık hale gelen zincir içerisinde üyelerin operasyonlarının entegrasyonuna ihtiyaç duymaktadır.	[24], [31], [56],
	Tedarik zinciri ortakları arasındaki koordinasyon ve iş birliğinin olmaması	Daha verimli operasyonlar, yüksek karlar, pazar imajı için tüm tedarik zinciri üyelerinin koordine ve işbirliği içerisinde olması gerekir. Yetersiz işbirliği döngüsel ekonomi ilkeleri için kaynak miktarını azaltarak tedarik zinciri içerisinde bu ilkelerin gerçekleşmesini zorlaştırır.	[8], [30], [39], [49], [50], [57]
	Departmanlar arası işbirliğinin eksikliği	İşletmenin fonksiyonları (pazarlama, finans, üretim, yönetim vb.) tarafından döngüsel ekonomi ile ilgili sorumlulukların bilinmemesi ve işbirliği eksikliği ortak bir hedef etrafında çalışmayı zorlaştırmaktadır.	[28],[43]
Lojistik, Taşıma ve Altyapı	Tersine lojistik altyapısının yetersiz olması	Tersine lojistik altyapısı yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm vb. döngüsel ekonomi ilkeleri için tesise geri dönen ürünler açısından önemlidir. Dönen ürün miktarında artış olacağından dolayı etkili bir rota optimizasyonuna ihtiyaç duyulur. Tedarik zincirleri içerisinde tersine lojistik altyapısının yetersiz oluşu döngüsel ekonomi faaliyetleri için bir engel oluşturmaktadır.	[19], [25], [28]
	Fiziksel ve Bilgi teknolojileri altyapısının bulunmaması	Geri dönüşüm, yeniden işleme, ürünleri geri toplama vb. operasyonlar için yeterli tesislere ve bu operasyonları gerçekleştirmek için beceri, yöntem ve tekniklerin geliştirilmesinde yardımcı olacak bilgi teknolojilerine ihtiyaç vardır. Yeterli fiziksel ve bilgi teknolojisi altyapısının olmaması döngüsel tedarik zincirlerinin oluşturulmasında engel olarak görülmektedir.	[13], [21], [27], [58]
	Yeterli taşıma, depolama ve işleme hizmetinin bulunmaması	Geri dönen ürünlerin taşınması, özelliklerine göre depolanması ve işlenmesi için yeterli hizmet düzeyini yakalamak önemlidir.	[34], [59]
Ürün Tasarımı	Yeniden üretime katılan malzemelerden üretilen ürünün kalitesinin bozulması	Döngüsel ekonomi ilkeleri sonucu üretilen ürünün kalitesi bazen müşteri beklentilerini karşılamayabilir. Bu durumda müşteri tarafında ürünün fiyatının düşük olması beklenir. Fakat bu düşük kar marjı demektir. Bundan dolayı kaliteli döngüsel ürünler üretmeye odaklanılmalıdır.	[31],[56]
	Ürünün mimarisindeki karmaşıklık	Pazara sunulan ürünlerin bazıları birbiriyle bağlantılı parçalar içerdiğinden dolayı karmaşık yapıya sahiptirler. Bu durum sökme, parçalara ayırma, geri dönüşüm vb. faaliyetleri zorlaştırmaktadır.	[13], [15], [23], [56]
	Kişiselleştirilmiş ürünler	Kitlesel özelleştirilmiş, kişiselleştirilmiş ürünlerin yeniden üretimi ve kullanımı genellikle zordur.	[5], [15], [23]
Kültürel ve Sosyal	Müşteri bilinç ve ilgisinin eksikliği	Tüketicilerin sürdürülebilirlik ile ilgili sorumluluğunun ve döngüsel ekonomi ile ilgili bilgisinin oluşturulması geri dönüştürülmüş ürünlerin talep edilmesi için önemlidir. Hızla değişen pazar koşullarında müşteriler yeni ürünleri satın alma alışkanlığı kazanmıştır. Bu da pazara sunulan döngüsel ürünlere olan talebi azaltmaktadır. İşletmeler, tüketicilerin sürdürülebilir ürünler ile ilgili farkındalıklarını artıracak stratejiler geliştirmelidir.	[4], [8], [13], [17], [21], [24], [25], [30], [32], [37], [40]
	Şirket içerisinde sürdürülebilirlik kültürünün eksikliği	Doğrusal ekonomi modeline uygun bir şekilde operasyonlarını yürüten ve sürdürülebilir hedefleri olmayan işletmeler için döngüsel tedarik zincirleri veya sürdürülebilir iş modelleri ve süreçler tasarlamak zordur.	[8], [37], [40]
	Kararsız şirket kültürü	Döngüsel ekonomi ilkelerini uygulamak için aciliyet duygusunun yokluğu ve bu dönüşümün getirdiği risklerden korunma ve güvenli adımlar atma isteği işletmeleri döngüsel tedarik zincirleri oluşturma konusunda ikileme bırakmaktadır.	[24], [37], [60]
	Geri dönüştürülmüş ürünler ile ilgili olumsuz düşünce	İşletmeler ürünlerini pazara sunmayı ve daha fazla müşteriye ulaşmayı hedeflerler. Döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulandığı ürünlere karşı pazarın olumsuz tepkisi döngüsel ekonominin uygulanmasını zorlaştırmaktadır.	[15], [18], [19], [21], [27], [32], [40], [58]

3 Metodoloji

Bu çalışmada Türkiye'deki döngüsel tedarik zinciri uygulamalarında karşılaşılan engellerin önem derecelerinin belirlenebilmesi için küresel bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır.

3.1 Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi

1980 yılında Saaty tarafından geliştirilmiş olan AHP yöntemi literatürde çok sayıda araştırmada farklı problemlerin çözümünde kullanılmış olan popüler bir ÇKKV yöntemidir. AHP yönteminde alternatifler setinin göreceli önem dereceleri karar vericilerin ikili karşılaştırma değerlendirmelerine dayanarak hesaplanmaktadır. Bu özelliği sayesinde kalitatif ve kantitatif kriterlerin önem derecelerinin karşılaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece karmaşık yapıdaki gerçek hayat problemlerinin çözümünde uzmanların bilgi ve deneyimlerine dayanan görüşlerinden yararlanılabilmektedir [61]. AHP yöntemi benzer ÇKKV yöntemleri olan ANP, SWARA, ENTROPY, CRITIC vb. yöntemlere göre kriter önem ağırlığı belirleme konusunda bazı avantajlara sahiptir. Bu yöntemde problem hiyerarşik yapıda incelenerek değerlendirmede kullanılacak kriter setinin ve alternatiflerin önem ağırlık değerleri hesaplanmaktadır. Problemin hiyerarşik yapıda ele alınması karar verme problemlerinde ortaya çıkabilecek bazı belirsizlik unsurlarını önlemektedir. Aynı anda kalitatif ve kantitatif veriler değerlendirilebilmektedir. Uzmanlar tarafından oluşturulan karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizleri yapılarak uygun olan değerlendirmeler problemin çözümünde kullanılmaktadır [19]. Bu sebeple AHP yöntemi bu çalışmada döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engellerin önem derecelerinin belirlenebilmesi amacıyla tercih edilmiştir.

AHP yönteminin çözüm adımlarını altı adımda özetlemek mümkündür:

- Adım 1 : Problemin tanımlanarak hiyerarşik yapının en üstünde yer alacak çözüm hedefinin belirlenmesi,
- Adım 2 : En üstte hedef amaç olmak üzere sırasıyla alt kademelerde kriterler, alt kriterler ve alternatifler olacak şekilde problemin hiyerarşik yapısının oluşturulması,
- Adım 3 : Kriterler, alt kriterler ve alternatifler için ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması,
- Adım 4 : Bir önceki adımda oluşturulmuş olan ikili karşılaştırma matrisleri Saaty tarafından oluşturulmuş olan 1-9 puanlı önem skalası kullanılarak uzmanlar tarafından değerlendirilir,
- Adım 5 : İkili karar matrislerinin birleştirilmesinden oluşturulmuş olan birleştirilmiş karşılaştırma matrisi kullanılarak göreceli önem vektörü (ağırlık vektörü) hesaplanır,
- Adım 6 : İkili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık (CR) değeri hesaplanır. CR değeri 0.10'dan küçük olan matrisler tutarlı olarak kabul edilir. Tutarlı olmayan değerlendirmeler için ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilir.

Geleneksel AHP yönteminde ikili karşılaştırmalar sayısal değerler ile yapılmaktadır. Ancak gerçek hayat problemlerinin yapısında genellikle bulanıklık ve belirsizlik mevcuttur. Geleneksel net sayısal değerlerin yapısında belirsizlik ve bulanıklık barındıran problemlerin çözümünde yetersiz kalması sebebiyle bu durumunun üstesinden gelebilen bulanık sayılar geliştirilmiştir [62]. Geleneksel AHP yönteminin sözel değerlendirmeleri çözüme yansıtma konusundaki kısıtları sebebiyle bu çalışmada küresel bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır.

3.2 Küresel bulanık kümeler

Bulanık küme teorisi ilk defa 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Bulanık teoriye göre insan düşüncelerindeki anahtar ifadeler rakamsal ifadeler yerine sözel ifadeler ile değerlendirilmelidir. Buna ilaveten, sözel ifadelerin bulanık küme değerleriyle sayısallaştırılması mümkündür [63]. Literatürde geliştirilmiş olan farklı bulanık sayı kümeleri bulunmaktadır. Tablo 2'de kronolojik sıra ile ilgili bulanık sayı kümeleri gösterilmiştir.

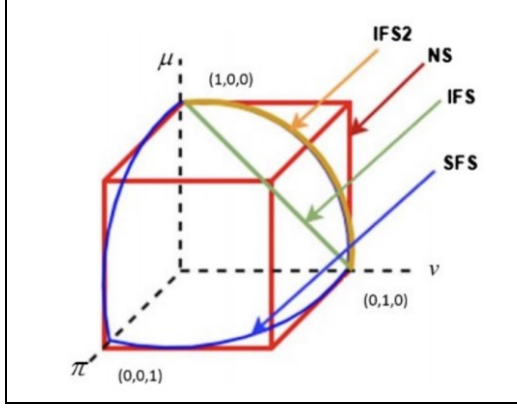
Tablo 2. Bulanık kümelerin uzantıları.

Table 2. Extensions of fuzzy sets.

Bulanık Küme	Referanslar
Sıradan Bulanık Kümeler (Ordinary Fuzzy Sets)	[64]
Tip-2 Bulanık Kümeler (Type-2 Fuzzy Sets)	[65]
Aralık Değerli Bulanık Kümeler (Interval-valued Fuzzy Sets)	[65]-[68]
Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS)	[69]
Bulanık Çoklu Kümeler (Fuzzy Multisets)	[70]
Tip-2 Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets of Second Type)	[71]
Nötrosofik Bulanık Kümeler (Neutrosophic Sets, NFS)	[72]
Durağan Olmayan Bulanık Kümeler (Nonstationary Fuzzy Sets)	[73]
Kararsız Bulanık Kümeler (Hesitant Fuzzy Sets)	[74]
Pisagor Bulanık Kümeler (Pythagorean Fuzzy Sets, PFS)	[75]
Bulanık Görüntü Kümeleri (Picture Fuzzy Sets)	[76]
Q Basamaklı Rahat Alan Bulanık Kümeler (Generalized orthopair fuzzy sets)	[77]
Küresel Bulanık Kümeler (Spherical Fuzzy Sets, SFS)	[78]

Bulanık sayı kümelerinin özel bir hali olan küresel bulanık kümeler (Spherical Fuzzy Sets, SFS), 2019 yılında Kutlu Gündoğdu tarafından geliştirilmiştir. SFS'nin temel mantığı tanımlanan üyelik işlevi ile diğer bulanık kümelerin uzantılarının genelleştirilmesi ve bu üyelik işlevinin parametrelerinin bağımsız olarak daha geniş bir etki alanına atanmasını sağlamaktır. SFS'yi diğer bulanık kümelerden ayıran özellikleri μ , ν ve π toplamının 1'den küçük olmasını sağlayarak NFS'deki bu aralığı revize etmesi ve bağımsız bir kararsızlık üyelik derecesini bir formülle atamasıdır. Bu sayede bir SFS için; üyelik derecesi μ ve üye olmama derecesi ν 'nin bilinmesi sayesinde kararsızlık üyelik derecesi olan π , küresel yay mesafesi ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Böylece uzmanlar, diğer bulanık sayılara göre daha serbest bir karar

alanına sahip olabilmektedir [79]. SFS, bilgideki belirsizliği daha başarılı bir şekilde belirlemek için etkili bir yol sağlamakta ve bu sayede uzmanların görüşlerini mevcut bulanık kümelerden daha iyi temsil edebilmektedir. SFS, uzmanların karar ortamındaki tereddütlerini bağımsız olarak atamalarına izin vermesi sebebiyle karar verme sürecinin insan yargısına daha eşdeğer, yani akıllı olmasını sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde SFS, karmaşık karar verme problemlerinde ağırlık belirleme ve alternatiflerin değerlendirilmesinde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır [80]. Şekil 1'de IFS, PFS, NS ve SFS arasındaki farklar geometrik düzlemde gösterilmektedir.



Şekil 1. SFS ve diğer bulanık kümelerin uzay geometrisindeki gösterimi [79].

Figure 1. Geometric representations of SFS and the other fuzzy sets.

SFS küme seti ile ilgili tanımlamalar aşağıdaki gibidir ([79],[81],[82]):

U evreninde tanımlı bir \tilde{A}_s küresel bulanık küme seti aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

Burada, u 'nun \tilde{A}_s 'ye olan üyelik, üye olmama ve kararsızlık derecesi her bir u için sırasıyla $\mu_{\tilde{A}_s}$, $v_{\tilde{A}_s}$, $\pi_{\tilde{A}_s}$ olarak ifade edilmekte ve $\mu_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1]$, $v_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1]$, $\pi_{\tilde{A}_s}(u): U \rightarrow [0,1]$ ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}_s}(x) + v_{\tilde{A}_s}(x) + \pi_{\tilde{A}_s}(x) \leq 1$ olmak üzere;

$$\tilde{A}_s = \left\{ \langle u, (\mu_{\tilde{A}_s}(u), v_{\tilde{A}_s}(u), \pi_{\tilde{A}_s}(u)) \mid u \in U \right\} \quad (1)$$

Küresel düzlemde $\mu_{\tilde{A}_s}$ ve $\mu_{\tilde{B}_s}$ iki küresel bulanık sayı sarasındaki uzaklık Eşitlik (2)'deki gibi hesaplanır.

$$d(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \arccos \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left((\mu_{\tilde{A}_s} - \mu_{\tilde{B}_s})^2 + (v_{\tilde{A}_s} - v_{\tilde{B}_s})^2 + (\pi_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{B}_s})^2 \right) \right\} \quad (2)$$

Bu eşitlik iki küresel bulanık set arasındaki küresel uzaklığı hesaplamak için Eşitlik (3)'teki gibi kullanılabilir.

$$d(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \arccos \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left((\mu_{\tilde{A}_s} - \mu_{\tilde{B}_s})^2 + (v_{\tilde{A}_s} - v_{\tilde{B}_s})^2 + (\pi_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{B}_s})^2 \right) \right\} \quad (3)$$

Burada, $[0,1]$ aralığında elde edilen uzaklığı ifade etmek üzere kullanılan faktör $\left[0, \frac{2}{\pi}\right]$ yerine $\frac{2}{\pi}$ olarak tanımlanmıştır. $\mu_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{A}_s}^2 + \pi_{\tilde{A}_s}^2 = 1$ olduğu için Eşitlik (4)'teki formül elde edilir.

$$d(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) = \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \arccos \left(\mu_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \mu_{\tilde{B}_s}(u_i) + v_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot v_{\tilde{B}_s}(u_i) + \pi_{\tilde{A}_s}(u_i) \cdot \pi_{\tilde{B}_s}(u_i) \right) \quad (4)$$

$$0 \leq d(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) \leq n \text{ ve } 0 \leq d(\tilde{A}_s, \tilde{B}_s) \leq 1$$

Küresel bulanık sayılar temel operatörleri aşağıdaki gibidir:

Toplama;

$$\tilde{A}_s \oplus \tilde{B}_s = \left(\left(\mu_{\tilde{A}_s}^2 + \mu_{\tilde{B}_s}^2 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \mu_{\tilde{B}_s}^2 \right)^{1/2}, v_{\tilde{A}_s} v_{\tilde{B}_s}, \left[\left(1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 \right) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + \left(1 - \mu_{\tilde{B}_s}^2 \right) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2 \right]^{1/2} \right) \quad (5)$$

Çarpma;

$$\tilde{A}_s \otimes \tilde{B}_s = \left(\mu_{\tilde{A}_s} \mu_{\tilde{B}_s}, (v_{\tilde{A}_s}^2 + v_{\tilde{B}_s}^2 - v_{\tilde{A}_s}^2 v_{\tilde{B}_s}^2)^{1/2}, \left[(1 - v_{\tilde{A}_s}^2) \pi_{\tilde{A}_s}^2 + (1 - v_{\tilde{B}_s}^2) \pi_{\tilde{B}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2 \pi_{\tilde{B}_s}^2 \right]^{1/2} \right) \quad (6)$$

Bir sayı ile çarpımı; $\lambda > 0$

$$\lambda \cdot \tilde{A}_s = \left(\left(1 - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right)^{1/2}, v_{\tilde{A}_s}^\lambda, \left[(1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - \mu_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right]^{1/2} \right) \quad (7)$$

Bir sayı ile kuvvet; $\lambda > 0$

$$\tilde{A}_s^\lambda = \left(\mu_{\tilde{A}_s}^\lambda, (1 - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda)^{1/2}, \left[(1 - v_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda - (1 - v_{\tilde{A}_s}^2 - \pi_{\tilde{A}_s}^2)^\lambda \right]^{1/2} \right) \quad (8)$$

3.3 Küresel bulanık AHP yöntemi

Küresel bulanık AHP yöntemi ilk olarak Gündoğdu ve Kahraman [81] tarafından yenilenebilir enerji lokasyon seçimi probleminin çözümü için uygulanmıştır. Daha sonra literatürde farklı problemler küresel bulanık AHP yöntemi ile çözülmüştür. Gündoğdu ve Kahraman [83] küresel bulanık AHP yöntemini endüstriyel robot seçimi problemine uygulamıştır. Ayyıldız ve Taşkın [84] küresel bulanık AHP yöntemi ve WASPAS yöntemini içeren melez bir yöntem ile benzin istasyonu yer seçimi problemini ele almıştır. Mathew ve diğ. [85] gelişmiş üretim sistemlerinin seçiminde etkili olan kriterlerin önem derecesini değerlendirmek için küresel bulanık AHP yöntemini uygulamıştır. Oztaysi ve diğ. [86] beş Endüstri 4.0 projesini dört ana proje seçim kriterine göre önceliklendirmek için küresel bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Demir ve Turan [87] Covid-19 salgınına hazırlıksız yakalanan işletmelerin yalnız altı sigma stratejilerine göre kriz yönetimi açısından karşılaşılmış

olduğu zorlukları küresel bulanık AHP yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. Dogan [88] küresel bulanık AHP yöntemi ile süreç madenciliği teknoloji seçimini ele almıştır. Kieu ve diğ. [89] gıda tedarik zincirinde dağıtım merkezi yer seçimi probleminin çözümünde etkili olabilecek faktörlerin önem derecesinin belirlenmesi için küresel bulanık AHP yöntemini uygulamıştır. Nguyen ve diğ. [90] Vietnam'da Covid-19 salgınının yayılmasını önlemek için dikkate alınması gereken önemli kriterleri küresel bulanık AHP yöntemini kullanarak ağırlıklandırmıştır. Ayyıldız ve Taşkın [80] Covid-19 döneminde ortaya çıkan sokağa çıkma yasağı kısıtlamasında hizmet verecek benzin istasyonu yer seçiminde önemli olan faktörleri küresel bulanık AHP yöntemi ile değerlendirmiştir. Buran ve Erçek [91] toplu taşıma araçlarının seçiminde önemli olan kriterleri küresel bulanık AHP yöntemiyle değerlendirmiştir. Candan ve Cengiz [92] AB ülkelerinin sürdürülebilir sanayileşme performansını değerlendirdiği çalışmada ilgili kriterlerin önem derecesini küresel bulanık AHP yöntemi ile belirlemiştir. Gocer ve Sener [93] lojistik merkez yer seçimi için belirlenen kriterlerin önem derecelerini belirlemek için küresel bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Hamal ve Senvar [94] finansal muhasebe dolandırıcılığının tespiti için çeşitli finansal oranları kriter olarak belirlemiştir. Bu kriterlerin ağırlıkları aralık değerli küresel bulanık AHP ile elde edilmiştir. Mangla ve diğ. [95] sürdürülebilir şekilde tasarlanan çay tedarik zincirinin blok zincir teknolojisi ile entegrasyonunda karşılaşılabilecek risklerin önem derecelerini küresel bulanık AHP ile belirlemiştir. Unal ve Temur [96] sürdürülebilir tedarikçi seçimini etkileyen ana ve alt kriterleri önceliklendirmek için küresel bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Yılmaz ve diğ. [82] küresel bulanık AHP yöntemini Türkiye'deki havalimanlarının operasyonel verimliliğini

değerlendirmek için önemli olan kriterlerin değerlendirilmesinde kullanmıştır. Menekşe ve Akdağ [97] bilgi teknolojileri yönetişimi değerlendirme kriterlerinin önem derecelerinin belirlenmesi için küresel bulanık AHP yöntemini uygulamıştır. Nebati ve diğ. [98] savunma sanayinde dijital dönüşüm modelini küresel bulanık AHP yöntemi ile incelemiştir. Abdul ve diğ. [99] yenilenebilir enerji gelişiminin önündeki eko-girişimcilik engellerinin önem derecelerinin değerlendirilmesi için küresel bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Tablo 3'te küresel bulanık AHP yöntemi ile ilgili literatür özeti yıllara göre sıralanarak gösterilmiştir. Burada amaç yöntemin şuna kadar hangi konularda çalışıldığını ve giderek artan bir şekilde araştırmalarda kullanıldığını göstermektir. Küresel bulanık AHP yönteminin çözüm adımları aşağıdaki gibidir [81]:

- Adım 1 : Problemin hiyerarşik yapısının oluşturulmasıdır. Bu aşamada problem tanımlanarak kriterler ve varsa alt kriterlerin tanımlanmasını sağlayan şablon oluşturulmaktadır. Problemin amacı ve değerlendirmeye alınan kriter setleri ve alternatifler hiyerarşik yapıda gösterilmektedir
- Adım 2 : İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. Tablo 4'te küresel bulanık AHP yönteminde kullanılan dilsel değerler, küresel bulanık sayı değerleri ve bunlara karşılık gelen sayı değerleri yer almaktadır. Bu adımda Tablo 4'teki sözel değerlendirme ifadeleri kullanılarak kriterler, varsa alt kriterler ve alternatifler için karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Tablo 3. Küresel bulanık AHP yöntemi ile ilgili literatür özeti.

Table 3. Literature summary on spherical fuzzy AHP method.

Konu	Yıl	Referanslar
Yenilenebilir enerji lokasyon seçimi	2020	[81]
Endüstriyel robot seçimi	2020	[83]
İstanbul ilinde benzin istasyonu yer seçimi	2020	[84]
Gelişmiş üretim sistemleri seçimi	2020	[85]
Endüstri 4.0 projesi seçimi	2020	[86]
Dinamik fiyatlandırma modelinin belirlenmesi	2020	[100]
İşletmelerde kriz yönetimi	2021	[87]
Süreç madenciliği teknoloji seçimi	2021	[88]
Dağıtım merkezi yer seçimi	2021	[89]
Covid-19 müdahale stratejisi değerlendirmesi	2021	[90]
Toplu taşımanın gelişiminin değerlendirilmesi	2021	[101]
Sokağa çıkma yasağı kısıtlaması ortamında benzin istasyonu yer seçimi	2022	[80]
Havalimanı operasyonel verimlilik değerlendirmesi	2022	[82]
Toplu taşıma araçlarının seçimi	2022	[91]
AB ülkelerinin sürdürülebilir sanayileşme performansının değerlendirilmesi	2022	[92]
Lojistik merkezi yer seçimi	2022	[93]
Finansal muhasebe dolandırıcılığının tespiti	2022	[94]
Sürdürülebilir tedarik zinciri ve blokzincir teknolojisi entegrasyonunda risk değerlendirmesi	2022	[95]
Sürdürülebilir tedarikçi seçimi	2022	[96]
Bilgi teknolojileri yönetişimi değerlendirmesi	2022	[97]
Laminant parke seçimi	2022	[102]
En iyi gıda atığı işleme seçeneğinin tespiti	2022	[103]
Tarımsal tedarik zinciri risklerinin değerlendirilmesi	2022	[104]
Dijital dönüşüm modeli incelemesi	2023	[98]
Eko-girişimcilik engellerinin değerlendirilmesi	2023	[99]
Portföy seçimi	2023	[105]

Tablo 4. Küresel bulanık ikili karşılaştırmada kullanılan dilsel değerlendirme ölçeği [81].

Table 4. Linguistic measures of importance used for pairwise comparisons.

Dilsel Değerler	(μ, ν, π)	Sayı Değerleri
Kesinlikle Daha Önemli (KÖ)	(0.9; 0.1; 0)	9
Çok Yüksek Önemli (ÇÖ)	(0.8; 0.2; 0.1)	7
Yüksek Önemli (YÖ)	(0.7; 0.3; 0.2)	5
Biraz Daha Önemli (BÖ)	(0.6; 0.4; 0.3)	3
Eşit Önemli (EÖ)	(0.5; 0.4; 0.4)	1
Biraz Düşük Önemli (BDÖ)	(0.4; 0.6; 0.3)	1/3
Düşük Önemli (DÖ)	(0.3; 0.7; 0.2)	1/5
Çok Düşük Önemli (ÇDÖ)	(0.2; 0.8; 0.1)	1/7
Kesinlikle Düşük Önemli (KDÖ)	(0.1; 0.9; 0)	1/9

Adım 3 : Tutarlılık analizinin gerçekleştirilmesidir. Bu adımda her bir karşılaştırma matrisi için tutarlılık değerleri hesaplanır. Küresel bulanık AHP yönteminde tutarlılık analizinde Tablo 4'teki küresel bulanık sayılar yerine onlara karşılık gelen sayı değerleri kullanılır. Bu sayı değerleri KÖ, ÇÖ, YÖ, BÖ ve EÖ için Eşitlik (9) ve BDÖ, DÖ, ÇDÖ ve KDÖ için Eşitlik (10)'da verilmiş olan formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$SI = \sqrt{|100 \times [(\mu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 - (\nu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2]} \quad (9)$$

$$\frac{1}{SI} = \frac{1}{\sqrt{|100 \times [(\mu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2 - (\nu_{\tilde{A}_s} - \pi_{\tilde{A}_s})^2]}} \quad (10)$$

Bu adımda karşılaştırma matrislerinin tutarlılık değerlerini hesaplamak amacıyla klasik AHP yöntemindeki tutarlılık analizi adımları uygulanır. Burada λ_{maks} değeri en büyük özdeğeri ifade etmek üzere, tutarlılık endeks (CI) değeri Eşitlik (11) yardımıyla hesaplanır. Daha sonra tutarlılık oranı (CR) değeri ise Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanır. Buradaki rassallık endeks (RI) değerleri için Tablo 5'te gösterilmiş olan değerler kullanılır.

$$CI = \frac{(\lambda_{maks} - n)}{(n - 1)} \quad (11)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (12)$$

Tablo 5. Rassallık endeks (RI) değerleri [106].

Table 5. Random consistency index (RI).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

CR değeri 0.10 'dan küçük çıkan değerlendirme matrisleri tutarlı olarak kabul edilir ve ilerleyen adımlardaki analizlerde kullanılır.

Adım 4 : Küresel bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. Tablo 4'teki küresel bulanık sayı değerleri kullanılarak

ana kriterler ve alt kriterler için bulanık ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulur,

Adım 5 : Birleştirilmiş karar matrislerinin oluşturulmasıdır. SWGM operatörü kullanılarak uzmanlar tarafından oluşturulan karar matrisleri birleştirilir.

Küresel Ağırlıklı Geometrik Ortalama (Spherical Weighted Geometric Mean/ SWGM);

$$SWGM_w(\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}) = \tilde{A}_{S1}^{w_1} + \tilde{A}_{S2}^{w_2} + \dots + \tilde{A}_{Sn}^{w_n} = \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}_{Si}}^{w_i}, \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \nu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{\tilde{A}_{Si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (13)$$

Adım 6 : Kriterlere ait küresel bulanık ağırlıkların hesaplanması. Bu adımda SWAM operatörü kullanılarak birleştirilmiş karar matrisindeki kriterlere ait küresel bulanık ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Burada tek fark SWAM operatörünün ağırlık hesaplamasında kullanılan uzmanların ağırlık katsayıları (w_i) yerine n= kriter sayısı olmak üzere $w = 1/n$ katsayısı kullanılır.

$\tilde{A}_S = (\mu_{\tilde{A}_S}, \nu_{\tilde{A}_S}, \pi_{\tilde{A}_S})$ ve $\tilde{B}_S = (\mu_{\tilde{B}_S}, \nu_{\tilde{B}_S}, \pi_{\tilde{B}_S})$ iki küresel bulanık sayı ve $\lambda, \lambda_1, \lambda_2 > 0$ ise;

Küresel Ağırlıklı Aritmetik Ortalama (Spherical Weighted Arithmetic Mean/ SWAM);

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$; $w_i \in [0, 1]$; $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ise aşağıdaki formül ile hesaplanır [81].

$$SWAM_w(\tilde{A}_{S1}, \dots, \tilde{A}_{Sn}) = w_1 \tilde{A}_{S1} + w_2 \tilde{A}_{S2} + \dots + w_n \tilde{A}_{Sn} = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2}, \prod_{i=1}^n \nu_{\tilde{A}_{Si}}^{w_i}, \left[\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{\tilde{A}_{Si}}^2 - \pi_{\tilde{A}_{Si}}^2)^{w_i} \right]^{1/2} \right\} \quad (14)$$

Adım 7 : Küresel bulanık kriter ağırlıklarının durulaştırılmasıdır. Burada bir önceki adımda elde edilen küresel bulanık ağırlık değerleri durulaştırılarak net sayı değerlerine dönüştürülmektedir. Bunun için Eşitlik (15) 'te gösterilmiş olan formül kullanılmıştır.

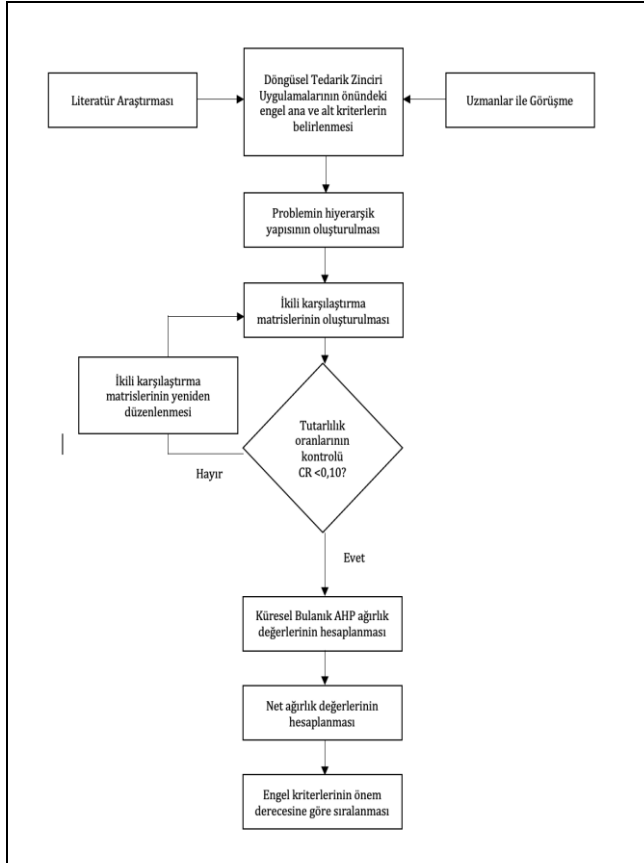
$$S(\tilde{w}_j^s) = \sqrt{|100 * \left[\left(3\mu_{\tilde{A}_S} - \frac{\pi_{\tilde{A}_S}}{2} \right) - \left(\frac{\nu_{\tilde{A}_S}}{2} - \pi_{\tilde{A}_S} \right)^2 \right]} \quad (15)$$

Adım 8 : Normalize ağırlık değerlerinin hesaplanmasıdır. Normalizasyon işlemi yapılarak kriterlerin normalize ağırlık değerleri hesaplanır.

4 Uygulama

Türkiye’de faaliyet gösteren firmaların döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili karşılaşmış oldukları engelleri değerlendirebilmek amacıyla otomotiv ve endüstriyel gruplarda akü üretimi yapan bir firmada uygulama yapılmıştır. Yılda 6 milyon akü üretim kapasitesine sahip olan firma faaliyet gösterdiği sektörde önemli bir pazar payına sahiptir. Firmanın akü üretim tesislerinin yanı sıra atık akü geri kazanım tesisleri de bulunmaktadır. Buna ilaveten firmanın Ar-Ge merkezinde yenilenebilir enerji kaynak kullanımının artırılması ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik projeler yürütülmektedir.

Şekil 2’de çözüm yönteminin akış diyagramı gösterilmiştir. Buna göre uygulamanın ilk aşamasında, firmanın döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili karşılaşmış olduğu engellerin değerlendirilmesi için kalite ve tedarik zinciri departmanlarında görev yapan üç uzman ile görüşülmüştür.



Şekil 2. Çözüm yönteminin akış diyagramı.

Figure 2. Flow chart of the solution method.

Tablo 1’de literatür araştırmasına göre belirlenmiş olan dokuz ana kriter ve otuzbir alt kriterin uzmanlar tarafından firma için uygunluğuna göre değerlendirilmesi istenilmiştir. Buna göre firmanın döngüsel tedarik zinciri uygulamalarında karşılaşılabileceği engeller, sekiz ana kriter ve yirmioç alt kriter olarak Tablo 6’daki gibi belirlenmiştir.

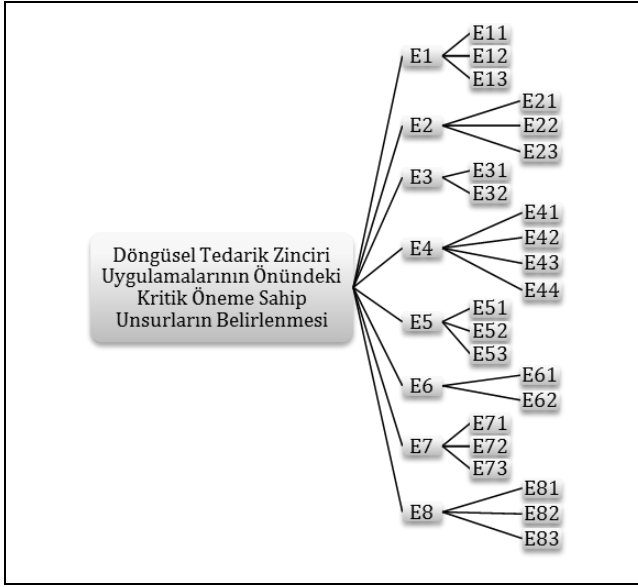
Tablo 6. Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engel faktörleri.

Table 6. Circular supply chain implementation barriers.

Ana Kriter	Alt Kriterler
Yasal Düzenlemeler E1	Yetersiz devlet desteği ve endüstriyel teşvik E11
	Döngüsel ekonomi uygulamalarıyla ilgili özel vergi politikası ve yasal düzenlemeler olmaması E12
	Döngüsel ekonomi ile ilgili sertifikasyon ve standartların eksikliği E13
Yönetim ve Karar Verme E2	Döngüsel tedarik zinciri yönetimi ilgili etkili planlama ve yönetimin eksikliği E21
	Diğer problemlerin işletmede öncelikli tutulması E22
	Döngüsel ekonomi ile ilgili performans değerlendirme sisteminin eksikliği E23
Döngüsel Ekonomi ile ilgili Bilgi, İlgil ve Yetenek Eksikliği E3	Döngüsel ekonomi uygulamalarının faydalarının bilinmemesi E31
	Döngüsel ekonomi uygulamaları için kalifiye eleman eksikliği E32
	İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması E41
Ekonomi ve Finans E4	Finansal kaynakların yetersiz olması E42
	Çevre dostu paketleme ve malzemelerin yüksek satın alma maliyetinin olması E43
	Ölçek ekonomisi hedeflerini yakalamamanın güçlüğü E44
Teknolojik Kaynak ve Yetenekler E5	Teknoloji transferlerinin yetersiz olması E51
	Sistemik bilgi sistemlerinin yetersiz olması E52
	Teknolojik kaynakların yetersizliği E53
Koordinasyon ve İşbirliği E6	Tedarik zinciri ortakları arasındaki koordinasyon ve iş birliğinin olmaması E62
	Tersine lojistik altyapısının yetersiz olması E71
	Fiziksel ve bilgi teknolojileri altyapısının bulunmaması E72
Lojistik, Taşıma ve Altyapı E7	Yeterli taşıma, depolama ve işleme hizmetinin bulunmaması E73
	Yeniden üretime katılan malzemelerden üretilen ürünün kalitesinin bozulması E81
	Ürün Tasarımı E8
	Kişiselleştirilmiş ürünler E83

Uygulamanın sonraki bölümünde, belirlenmiş olan engel kriterlerinin önem derecelerinin belirlenebilmesi için küresel bulanık AHP yöntemi aşağıdaki adımlarla uygulanmıştır:

Adım 1 : Problemin hiyerarşisi oluşturulmuştur. Problemin amacı ve değerlendirmeye alınan kriter setleri hiyerarşik yapıda düzenlenmiştir. Şekil 3’te problemin hiyerarşik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. Problemin hiyerarşik yapısı.

Figure 3. Hierarchical structure for the problem.

Adım 2 : Firmanın döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engel kriterlerinin önem derecelerinin değerlendirilmesi için sekiz ana kriter ve yirmüç alt kriter için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur,

Adım 3 : Tablo 4'teki sözel değerlendirme ifadeleri kullanılarak uzmanlar tarafından döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engel faktörleri değerlendirilmiştir. Tablo 7'de uzmanlar (D1, D2 ve D3) tarafından sözel değerlendirme ifadeleriyle

ana kriterleri değerlendirmiş oldukları matrisler örnek olarak gösterilmektedir.

Adım 4 : Uzmanların değerlendirmeleriyle oluşturulmuş olan karşılaştırma matrislerinin her biri için tutarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Burada uzmanlar tarafından kullanılan sözel değerlendirme ifadelerinin Tablo 4'teki sayısal değerler karşılığı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Buradaki sayısal değerler Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanmıştır. Klasik AHP yöntemindeki tutarlılık analizi formülleri Eşitlik (11) ve Eşitlik (12) kullanılarak yapılan hesaplamalarının sonucuna ana kriterler için uzmanlar tarafından oluşturulan karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları (CR) sırasıyla 0.07, 0.09 ve 0.05 olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları 0.10'dan küçük olduğu için analizlerde kullanılmıştır. Aynı şekilde alt kriterlerin karşılaştırma matrisleri için de tutarlılık oranları hesaplanmış ve matrislerin tutarlılık oranları 0.10'dan küçük olduğu için hesaplamalarda kullanılmıştır.

Adım 5 : Eşitlik 13'teki SWGM operatörü ile yapılmış olan hesaplamalar sonucunda ana kriterler ve alt kriterler için birleştirilmiş küresel bulanık karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Tablo 8'de ana kriterler ve Tablo 9'da alt kriterler için birleştirilmiş küresel bulanık karşılaştırma matrisleri gösterilmiştir.

Tablo 7. Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki ana engel kriterlerinin karşılaştırma matrisi.

Table 7. Pairwise comparison of main barriers to circular supply chain implementations.

D1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
E1	EÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BÖ	BÖ	BÖ	EÖ
E2	BÖ	EÖ	EÖ	EÖ	YÖ	BÖ	BÖ	EÖ
E3	EÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BÖ	BÖ	BÖ	BÖ
E4	EÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BÖ	EÖ	BÖ	YÖ
E5	BDÖ	DÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BDÖ	EÖ
E6	BDÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BÖ	BÖ
E7	BDÖ	BDÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	BÖ
E8	EÖ	EÖ	BDÖ	DÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	EÖ
D2	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
E1	EÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	BÖ	BÖ	BÖ
E2	BÖ	EÖ	BÖ	BÖ	BÖ	ÇÖ	ÇÖ	BÖ
E3	EÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	DÖ
E4	BÖ	BDÖ	BÖ	EÖ	EÖ	BÖ	YÖ	EÖ
E5	EÖ	BDÖ	BÖ	EÖ	EÖ	BÖ	BÖ	EÖ
E6	BDÖ	ÇDÖ	EÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	BÖ	EÖ
E7	BDÖ	ÇDÖ	EÖ	DÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ
E8	BDÖ	BDÖ	YÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BÖ	EÖ
D3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
E1	EÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	BÖ	BÖ
E2	BÖ	EÖ	BÖ	BÖ	BÖ	EÖ	BÖ	BÖ
E3	EÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BÖ	EÖ	BÖ	BÖ
E4	BÖ	BDÖ	EÖ	EÖ	BÖ	EÖ	BÖ	YÖ
E5	EÖ	BDÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ
E6	BÖ	EÖ	EÖ	EÖ	BÖ	EÖ	BÖ	BÖ
E7	BDÖ	BDÖ	BDÖ	BDÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	BÖ
E8	BDÖ	BDÖ	BDÖ	DÖ	EÖ	BDÖ	EÖ	EÖ

Tablo 8. Ana kriterler için birleştirilmiş küresel bulanık karşılaştırma matrisi.

Table 8. Aggregated spherical fuzzy comparison matrix for the main criteria.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
E1	(0.50;0.40;0.40)	(0.40;0.60;0.30)	(0.50;0.40;0.40)	(0.43;0.55;0.33)	(0.53;0.40;0.37)	(0.52;0.48;0.30)	(0.60;0.40;0.30)	(0.56;0.40;0.34)
E2	(0.60;0.40;0.30)	(0.50;0.40;0.40)	(0.56;0.40;0.34)	(0.56;0.40;0.34)	(0.63;0.37;0.27)	(0.62;0.35;0.30)	(0.66;0.35;0.26)	(0.56;0.40;0.34)
E3	(0.50;0.40;0.40)	(0.43;0.55;0.33)	(0.50;0.40;0.40)	(0.46;0.48;0.37)	(0.52;0.48;0.30)	(0.53;0.40;0.37)	(0.56;0.40;0.34)	(0.48;0.54;0.26)
E4	(0.56;0.40;0.34)	(0.43;0.55;0.33)	(0.53;0.40;0.37)	(0.50;0.40;0.40)	(0.56;0.40;0.34)	(0.53;0.40;0.37)	(0.63;0.37;0.27)	(0.63;0.34;0.29)
E5	(0.46;0.48;0.37)	(0.36;0.64;0.27)	(0.46;0.55;0.30)	(0.43;0.55;0.33)	(0.50;0.40;0.40)	(0.49;0.48;0.34)	(0.46;0.55;0.30)	(0.50;0.40;0.40)
E6	(0.46;0.55;0.30)	(0.34;0.65;0.27)	(0.46;0.48;0.37)	(0.46;0.48;0.37)	(0.49;0.48;0.34)	(0.50;0.40;0.40)	(0.60;0.40;0.30)	(0.56;0.40;0.34)
E7	(0.40;0.60;0.30)	(0.32;0.69;0.24)	(0.43;0.55;0.33)	(0.36;0.64;0.27)	(0.46;0.48;0.37)	(0.40;0.60;0.60)	(0.50;0.40;0.40)	(0.52;0.48;0.30)
E8	(0.43;0.55;0.33)	(0.43;0.55;0.33)	(0.48;0.53;0.28)	(0.36;0.63;0.27)	(0.50;0.40;0.40)	(0.43;0.55;0.33)	(0.53;0.40;0.37)	(0.50;0.40;0.40)

Tablo 9. Alt kriterler için birleştirilmiş küresel bulanık karşılaştırma matrisleri.

Table 9. Aggregated spherical fuzzy comparison matrix for the sub-criteria.

	E11	E12	E13	
E11	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.63; 0.40; 0.27)	(0.80; 0.30; 0.17)	
E12	(0.36; 0.60; 0.27)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.60; 0.40; 0.27)	
E13	(0.21; 0.80; 0.14)	(0.36; 0.60; 0.27)	(0.50; 0.40; 0.40)	
	E21	E22	E23	
E21	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.46; 0.50; 0.37)	(0.70; 0.30; 0.22)	
E22	(0.53; 0.40; 0.37)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.70; 0.30; 0.22)	
E23	(0.29; 0.70; 0.20)	(0.23; 0.80; 0.17)	(0.50; 0.40; 0.40)	
	E31	E32		
E31	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.31; 0.70; 0.23)		
E32	(0.56; 0.40; 0.30)	(0.50; 0.40; 0.40)		
	E41	E42	E43	E44
E41	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.53; 0.40; 0.37)	(0.59; 0.40; 0.32)	(0.60; 0.40; 0.30)
E42	(0.46; 0.48; 0.37)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.55; 0.46; 0.28)	(0.63; 0.34; 0.29)
E43	(0.39; 0.59; 0.30)	(0.42; 0.60; 0.27)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.50; 0.40; 0.40)
E44	(0.40; 0.60; 0.30)	(0.36; 0.63; 0.27)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.50; 0.40; 0.40)
	E51	E52	E53	
E51	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.47; 0.52; 0.28)	(0.56; 0.40; 0.34)	
E52	(0.47; 0.52; 0.28)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.59; 0.37; 0.32)	
E53	(0.43; 0.55; 0.33)	(0.39; 0.59; 0.30)	(0.50; 0.40; 0.40)	
	E61	E62		
E61	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.33; 0.67; 0.23)		
E62	(0.66; 0.34; 0.24)	(0.50; 0.40; 0.40)		
	E71	E72	E73	
E71	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.43; 0.55; 0.33)	(0.56; 0.40; 0.34)	
E72	(0.56; 0.40; 0.34)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.70; 0.30; 0.20)	
E73	(0.43; 0.55; 0.33)	(0.30; 0.70; 0.20)	(0.50; 0.40; 0.40)	
	E81	E82	E83	
E81	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.49; 0.48; 0.34)	(0.40; 0.62; 0.20)	
E82	(0.49; 0.48; 0.34)	(0.50; 0.40; 0.40)	(0.46; 0.55; 0.30)	
E83	(0.53; 0.50; 0.20)	(0.52; 0.48; 0.30)	(0.50; 0.40; 0.40)	

Adım 6 : Birleştirilmiş küresel bulanık karşılaştırma matrisleri kullanılarak ana ve alt kriterler için önem derecelerini ifade eden küresel ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ana kriterler ve alt kriterler için Eşitlik 14'teki SWAM operatörü uygulanarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplanan küresel ağırlık değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Adım 7 : Elde edilen küresel ağırlık değerleri Eşitlik 15'teki formül yardımıyla durulaştırılmıştır. Daha sonra normalizasyon işlemi yapılarak döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engellerin ana ve alt kriterlerinin önem derecelerini ifade eden ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 10'da döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki temel engel faktörlerine ve ilgili temel faktörlerin alt faktörlerine ait hesaplanmış olan küresel ağırlık değerleri, durulaştırılmış ağırlık değerleri ve normalize ağırlık değerleri gösterilmiştir.

Buna göre uygulamanın gerçekleştirildiği işletmenin döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki en önemli ana kriter engeli 'yönetim ve karar verme konusundaki engeller' (E2) olarak belirlenmiştir. Buradaki alt kriterlerin önem dereceleri incelendiğinde 'diğer problemlerin işletmede öncelikli tutulması' (E22) faktörünün işletmedeki döngüsel tedarik zinciri uygulamaları konusundaki yönetim ve karar verme konusundaki engeller içerisindeki en önemli alt faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Burada işletme için en düşük önem ağırlık derecesine sahip olan 'lojistik, taşıma ve alt yapı konusundaki eksiklikler' (E7) en az önemli ana kriter engeli olarak belirlenmiştir. Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki alt kriterlerin global önem derecelerine bakıldığında 'tedarik zinciri ortakları arasındaki koordinasyon ve işbirliği eksikliği'nin E(62) en önemli alt kriter engeli olarak belirlendiği gözlemlenmektedir. E(62) alt kriterine yakın global önem derecesine sahip olan bir diğer alt kriter 'döngüsel ekonomi uygulamaları için kalifiye eleman eksikliği'dir (E32). Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının teknik faaliyetleri içerisinde barındıran bir yapı olduğu düşünüldüğünde bu alt kriterin önemli bir engel olarak tanımlanması da beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Tablo 10. Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engel faktörlerine ait ağırlıklar.
Table 10. The weights of barriers to circular supply chain implementations.

Ana kriter	Küresel Ağırlık Değerleri	Durulaştırılmış Ağırlık Değerleri	Normalize Ağırlık Değerleri	Alt kriter	Küresel Ağırlık Değerleri	Durulaştırılmış Ağırlık Değerleri	Normalize Ağırlık Değerleri	Global Ağırlık Değerleri
E1	(0.51; 0.45; 0.35)	13.64	0.13	E11	(0.65; 0.33; 0.28)	18.17	0.43	0.055
				E12	(0.52; 0.46; 0.32)	13.94	0.33	0.042
				E13	(0.38; 0.59; 0.30)	9.94	0.24	0.030
E2	(0.59; 0.38; 0.32)	16.17	0.15	E21	(0.57; 0.39; 0.33)	15.52	0.37	0.056
				E22	(0.60; 0.36; 0.33)	16.47	0.40	0.060
				E23	(0.36; 0.61; 0.29)	9.47	0.23	0.034
E3	(0.50; 0.45; 0.35)	13.29	0.12	E31	(0.42; 0.53; 0.34)	10.92	0.43	0.054
				E32	(0.53; 0.42; 0.35)	14.25	0.57	0.070
E4	(0.55; 0.40; 0.34)	14.91	0.14	E41	(0.56; 0.39; 0.35)	15.05	0.28	0.040
				E42	(0.54; 0.42; 0.34)	14.58	0.27	0.038
				E43	(0.46; 0.49; 0.35)	11.91	0.22	0.031
				E44	(0.45; 0.50; 0.35)	11.60	0.22	0.030
E5	(0.46; 0.50; 0.34)	12.12	0.11	E51	(0.51; 0.44; 0.34)	13.72	0.35	0.040
				E52	(0.53; 0.43; 0.34)	14.12	0.36	0.041
				E53	(0.44; 0.51; 0.35)	11.58	0.29	0.033
E6	(0.49; 0.47; 0.34)	13.14	0.12	E61	(0.43; 0.52; 0.34)	11.12	0.41	0.050
				E62	(0.59; 0.37; 0.32)	16.22	0.59	0.073
E7	(0.43; 0.55; 0.32)	11.36	0.11	E71	(0.50; 0.44; 0.36)	13.31	0.33	0.035
				E72	(0.60; 0.36; 0.31)	16.46	0.40	0.043
				E73	(0.42; 0.54; 0.33)	10.99	0.27	0.029
E8	(0.46; 0.49; 0.35)	12.14	0.11	E81	(0.47; 0.49; 0.33)	12.36	0.32	0.036
				E82	(0.48; 0.47; 0.35)	12.78	0.33	0.037
				E83	(0.52; 0.46; 0.31)	13.96	0.36	0.041

4.1 Duyarlılık analizi

Ana ve alt kriter engelleri için belirlenen ağırlıklar, uzmanlar tarafından verilen yanıtlar sonucunda oluşturulmuştur. Dolayısıyla bu ağırlıklar uzmanların öznel yargılarına dayanmaktadır. Modelin sağlamlığını kontrol etmek için değişen ağırlık değerleri altında belirlenen kriterlerin sıralamasındaki değişikliklerin incelenmesi önemlidir. Bu amaçla gelecekteki yaşanabilecek gelişmeler veya kriterlerin önemi hakkında değişen görüşlere dayalı olarak duyarlılık analizi yapılmalıdır [107]. Çalışmada, ağırlıklardaki küçük değişikliklerin nihai sıralamada farklılıklara sebep olacağını öne süren Mangla ve diğ. [108] tarafından önerilen duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Ana kriterler arasında en yüksek ağırlığa sahip E2 (yönetim ve karar verme konusundaki engeller) kriterinin 0.1 ile 0.9 arasında değişen ağırlık değerlerinin diğer ana kriterlerin sıralamasında sebep olduğu değişiklik incelenmiştir. Bu değişiklikler Tablo 11'de gösterilmektedir. Ana kriterlerin ağırlıklarındaki değişiklikler alt kriterlerin sıralamalarında da değişikliğe sebep olmuştur.

Tablo 12'de gösterilen sonuçlara göre E2 kriter ağırlığı 0.1 olduğunda en önemli alt kriter E62 (tedarik zinciri ortakları arasındaki koordinasyon ve iş birliğinin olmaması) olurken listenin son sırasında E23 (döngüsel ekonomi ile ilgili performans değerlendirme sisteminin eksikliği) yer almaktadır. E2 kriteri normal ağırlık değerine (0.15) ulaşana kadar E62 kriteri ilk sırada yer alırken 0.2 ile 0.9 aralığında ise en önemli alt kriterin E22 (diğer problemlerin işletmede öncelikli tutulması) olduğu görülmektedir. Diğer alt kriterlerin sıralaması da normal ağırlık değerinden sonra değişerek sabit kalmıştır. Duyarlılık analizine dayalı olarak alt kriterler için değişen aralıklara göre sıralamalar Şekil 4'te gösterilmektedir.

5 Sonuç

Sanayi devrimleri ile birlikte işletmeler üretim süreçlerinde verimliliği artırarak daha çok ürünü daha ucuza üretmeye odaklanmıştır. Bunun sonucunda müşterilerin daha fazla çeşitlilikte ürüne daha ucuz bir şekilde ulaşması mümkün olurken tüketim alışkanlıkları değişmiştir.

Tablo 11. E2 ağırlık değerlerinin artırılmasından sonra ana engellerin ağırlıklarındaki değişiklikler.

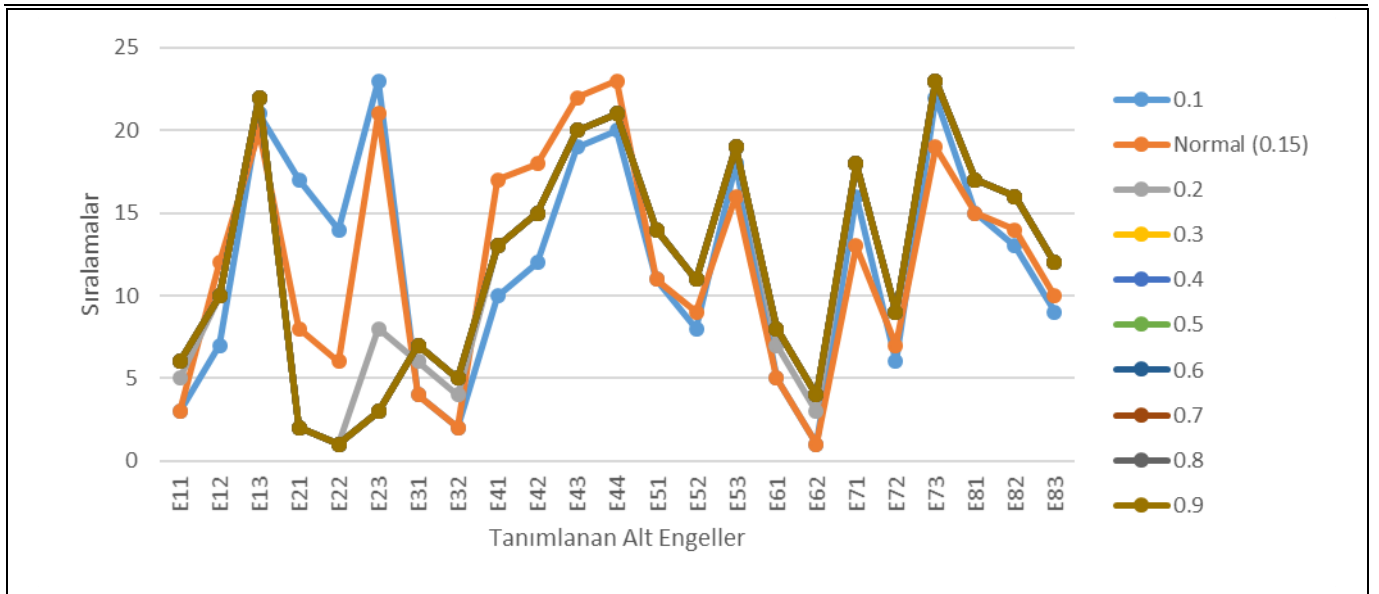
Table 11. Variation in weights of main barriers after increasing the E2 weight value.

Ana Kriter	Normalize Edilmiş Ağırlık Değerleri									
E1	0.13	0.136	0.12	0.105	0.091	0.076	0.061	0.045	0.031	0.015
E2	0.15	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
E3	0.12	0.133	0.117	0.103	0.088	0.074	0.059	0.044	0.030	0.015
E4	0.14	0.149	0.132	0.115	0.099	0.083	0.066	0.050	0.033	0.017
E5	0.11	0.121	0.107	0.094	0.081	0.067	0.054	0.040	0.027	0.014
E6	0.12	0.131	0.116	0.102	0.087	0.073	0.058	0.044	0.029	0.015
E7	0.11	0.113	0.10	0.088	0.076	0.063	0.051	0.038	0.025	0.013
E8	0.11	0.121	0.107	0.094	0.081	0.068	0.054	0.040	0.027	0.014
Toplam	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 12. (E2) ana kriterinin ağırlığı 0.1'den 0.9'a değiştiğinde alt kriterler için sıralama.

Table 12. Ranking for sub-criteria by sensitivity analysis when management and decision-making (E2) changes from 0.1 to 0.9.

Alt Kriterler	0.1	Normal (0.15)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
E11	3	3	5	6	6	6	6	6	6	6
E12	7	12	10	10	10	10	10	10	10	10
E13	21	20	22	22	22	22	22	22	22	22
E21	17	8	2	2	2	2	2	2	2	2
E22	14	6	1	1	1	1	1	1	1	1
E23	23	21	8	3	3	3	3	3	3	3
E31	4	4	6	7	7	7	7	7	7	7
E32	2	2	4	5	5	5	5	5	5	5
E41	10	17	13	13	13	13	13	13	13	13
E42	12	18	15	15	15	15	15	15	15	15
E43	19	22	20	20	20	20	20	20	20	20
E44	20	23	21	21	21	21	21	21	21	21
E51	11	11	14	14	14	14	14	14	14	14
E52	8	9	11	11	11	11	11	11	11	11
E53	18	16	19	19	19	19	19	19	19	19
E61	5	5	7	8	8	8	8	8	8	8
E62	1	1	3	4	4	4	4	4	4	4
E71	16	13	18	18	18	18	18	18	18	18
E72	6	7	9	9	9	9	9	9	9	9
E73	22	19	23	23	23	23	23	23	23	23
E81	15	15	17	17	17	17	17	17	17	17
E82	13	14	16	16	16	16	16	16	16	16
E83	9	10	12	12	12	12	12	12	12	12



Şekil 4. Duyarlılık analizi kapsamında E2 ağırlık değerindeki değişiklikler sonucu alt kriterler için sıralama.

Figure 4. Ranking for sub-criteria as a result of changes in E2 weight value within the scope of sensitivity analysis.

Zaman içinde müşterilerin tüketim oranları önemli ölçüde artarken ürün yaşam eğrileri kısalmıştır. İşletmeler tarafından 'al-yap-at' doğrusal ekonomi modelini destekleyen uygulamalar teşvik edilmiştir. Ancak geçen yıllar içerisinde bu modelin uygulanması sonucunda doğanın kendini yenileme hızını geçen bir tüketim hızına erişilmiş ve çevreye verilen zararlar ciddi boyutlara ulaşmıştır. Günümüzde artan çevre kirliliği sonucunda küresel ısınma, doğal kaynakların tükenmesi ve salgın hastalıklar gibi tehditler işletmeler ve insanlar için önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu sebeple doğrusal ekonomi modeli uygulamalarının sürdürülebilir bir model olmadığı anlaşılmıştır. Bunun yerine yeniden yaratıcı (rejeneratif) bir sistem olan döngüsel ekonomi modelinin yaygınlaşması gerekmektedir. Bu sistemde malzeme ve enerji döngülerinin yavaşlatılması, kapatılması veya kısaltılması ile girdi israfının, emisyon oranının ve enerji tüketiminin minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır. İşletmelerin varlıklarını ve üretimlerini sürdürebilmesi için döngüsel ekonomi modelini uygulamaya ihtiyacı vardır. Bunun yanı sıra yasal düzenlemeler sebebiyle de birçok işletme tüm tedarik zinciri boyunca döngüsel ekonomi modelini yaygınlaştırmaya odaklanmaktadır. Döngüsel ekonomi modelinin tedarik zinciri boyunca uygulanması işletmelere kaynakların kullanım verimliliğinin artırılması, yasalara uyum düzeninin artırılması, müşteri beklentilerini karşılama vb. konularda birçok fayda sağlamaktadır. İşletmelerin döngüsel tedarik zinciri uygulamaları konusunda bir çok motivasyon unsurunun bulunmasına rağmen doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçiş süreci kolay bir süreç değildir. Bu aşamada döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili birçok engel ile karşılaşmaktadır. İşletmelerin döngüsel tedarik zinciri uygulamalarından maksimum fayda elde edebilmesi ve başarılı olabilmesi için bu aşamada karşılaşılabilecek engelleri belirlemesi önemlidir. Literatürde bu konuda yapılmış olan Türkçe çalışmalar incelendiğinde genellikle çalışmaların döngüsel ekonomi modelini tanımlamak ve kavramsal çerçeveyi belirlemek üzere olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren firmaların döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili karşılaşılabileceği engellerin önem derecelerini belirleyebilmek için otomotiv ve endüstriyel gruplar için akü üretimi yapan bir firmada uygulama gerçekleştirilmiştir. Firmanın döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engelleri değerlendirebilmek amacıyla literatürde daha önce bu problemlerin analizinde kullanılmamış olan küresel bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. Yapılmış olan analiz sonuçlarına göre döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki en önemli ana engel kriterinin üst yönetimin desteğinin yetersizliği ile ilgili olduğu belirlenmiştir. Tedarik zincirlerinde doğrusal modelden döngüsel modele geçişte hiç kuşkusuz ki birçok yeni yatırım kararı alınmakta ve bir değişim sürecine girilmektedir. Burada üst yönetimin bu konudaki desteği ve motivasyonu oldukça önemli bir unsurdur. Buna ilaveten alt kriterler değerlendirildiğinde döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki en önemli alt kriter tedarik zinciri ortakları arasındaki işbirliği ve koordinasyon eksikliğidir. Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının tüm tedarik zinciri seviyelerinde yaygınlaşması için tedarik zincirinde yer alan bağımsız firmalar arasındaki işbirliği ve koordinasyonun sağlanması önemlidir. Zincir içerisinde yer alan farklı ölçeklerdeki firmaların doğrusal ekonomi modelinden döngüsel ekonomi modeline geçişinde işbirliği ve

koordinasyon eksikliğinin bulunması döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki önemli bir engeldir. Bu çalışma Türkiye'deki tek bir vaka ile sınırlıdır. Gelecekte, bu çalışma Türkiye'deki farklı sektörlerden diğer şirketleri de içerecek şekilde genişletilebilir. Döngüsel tedarik zinciri uygulamaları ve engeller açısından endüstriler arasındaki farklar araştırılabilir. Buna ilaveten, belirlenmiş olan döngüsel tedarik zinciri zorlukları, küresel bulanık ortamda DEMATEL, SWARA, WASPAS, COPRAS, TODIM, ELECTREE, BWM, TOPSIS, VIKOR ve PROMETHEE gibi diğer ÇKKV teknikleri kullanılarak değerlendirilebilir.

6 Conclusions

Businesses have focused on producing more products at lower costs by increasing their production efficiency with the industrial revolutions. As a result, consumers managed to buy a high variety of products at a low cost and their consumption habits have changed. While customer consumption rates have increased significantly over time, product life cycles have shortened. Practices that support the 'take-make-dispose' linear economy model have been encouraged by businesses. However, as a result of the implementation of this model over the years, a consumption rate exceeding the self-renewal rate of nature has been reached and the damage to the environment has reached serious levels. Today, as a result of increasing environmental pollution, threats such as global warming, depletion of natural resources, and epidemics cause important problems for businesses and people. For this reason, it has been understood that linear economy model applications are not sustainable models. Instead, the circular economy model, which is a regenerative system in which material and energy cycles are slowed down, closed and narrowed, and resource inputs and waste, emissions, and energy leakage are reduced to minimum levels, should become widespread. Businesses need to apply the circular economy model to maintain their existence and production. In addition, due to legal regulations, many businesses focus on expanding the circular economy model throughout the entire supply chain. The application of the circular economy model throughout the supply chain provides many benefits to companies such as increasing the efficiency of resource use, increasing the order of compliance with the law, meeting customer expectations, etc. Although there are many motivational factors for the circular supply chain practices, the transition from the linear economy model to the circular economy model is not an easy process. At this stage, many obstacles related to circular supply chain applications are encountered. Companies need to identify these obstacles in order to be successful in circular supply chain applications and to get maximum benefit from these applications. When the Turkish studies on this subject in the literature are examined, it is observed that the studies are generally about defining the circular economy model and determining the conceptual framework. In this study, an application was carried out in a company that produces batteries for automotive and industrial groups to determine the degree of importance of the obstacles that companies operating in Turkey may encounter regarding circular supply chain applications. The spherical fuzzy AHP method, which has not been used in the analysis of these problems before in the literature, has been applied to evaluate the obstacles in front of the company's circular supply chain applications. According to the results of the analysis, it has been determined that the most important main obstacle criterion in

front of circular supply chain applications is the lack of top management support. In the transition from the linear model to the circular model in supply chains, many new investment decisions are undoubtedly taken and a process of change is entered. Here, the support and motivation of the top management are very important factors. In addition, when the sub-criteria are evaluated, the most important sub-criteria in front of circular supply chain applications is the lack of collaboration and coordination between supply chain members. Successful adoption of circular economy principles throughout the supply chain requires cooperation and coordination among the independent companies involved in the supply chain. For this reason, the lack of cooperation and coordination between companies of different sizes in a supply chain during the transition from the linear economy model to the circular economy model is an important obstacle to circular supply chain applications. This research is limited to a single case in Turkey. In the future, this study can be expanded to include other companies from different industries in Turkey. Differences between industries in terms of circular supply chain practices and barriers can be explored. Additionally, the selected circular supply chain challenges can be evaluated using other MCDM techniques like DEMATEL, SWARA, WASPAS, COPRAS, TODIM, ELECTREE, BWM, TOPSIS, VIKOR, and PROMETHEE under a spherical fuzzy environment.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Salih BAKKAL problemin belirlenmesi, literatür taraması ve çalışmada kullanılacak kriterlerin belirlenmesi başlıklarında; Nihan KABADAYI yöntemin belirlenmesi, uygulanması ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur". "Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

9 Kaynaklar

- [1] Zhijun F, Nailing Y. "Putting a circular economy into practice in China". *Sustainability Science*, 2(1), 95-101, 2007.
- [2] Esposito M, Tse T, Soufani K. "Is the circular economy a new fast-expanding market?". *Thunderbird International Business Review*, 59(1), 9-14, 2017.
- [3] Sauvé S, Bernard S, Sloan P. "Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research". *Environmental Development*, 17, 48-56, 2016.
- [4] Govindan K, Hasanagic M. "A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective". *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 278-311, 2018.
- [5] Roy T, Garza-Reyes JA, Kumar V, Kumar A, Agrawal R. "Redesigning traditional linear supply chains into circular supply chains-A study into its challenges". *Sustainable Production and Consumption*, 31, 113-126, 2022.
- [6] Saroha M, Garg D, Luthra S. "Key Issues and Challenges in Circular Supply Chain Management Implementation-A Systematic Review". *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(9), 91-104, 2018.
- [7] Ghisellini P, Cialani C, Ulgiati S. "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems". *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32, 2016.
- [8] Tura N, Hanski J, Ahola T, Stähle M, Piiparinen S, Valkokari P. "Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers". *Journal of Cleaner Production*, 212, 90-98, 2019.
- [9] Saroha M, Garg D, Luthra S. "Identification and analysis of circular supply chain management practices for sustainability: a fuzzy-DEMATEL approach". *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(3), 722-746, 2021.
- [10] Urbinati A, Chiaroni D, Chiesa V. "Towards a new taxonomy of circular economy business models". *Journal of Cleaner Production*, 168, 487-498, 2017.
- [11] De Angelis R, Howard M, Miemczyk J. "Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain". *Production Planning & Control*, 29(6), 425-437, 2018.
- [12] Farooque M, Zhang A, Thürer M, Qu T, Huisigh D. "Circular supply chain management: A definition and structured literature review". *Journal Of Cleaner Production*, 228, 882-900, 2019.
- [13] Kazancoglu I, Kazancoglu Y, Yarimoglu E, Kahraman A. "A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry". *Sustainable development*, 28(5), 1477-1492, 2020.
- [14] Ellen MacArthur Foundation. "Towards The Circular Economy". <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an> (02.11.2022).
- [15] Amiri M, Hashemi-Tabatabaei M, Ghahremanloo M, Keshavarz-Ghorabae M, Zavadskas E. K, Salimi-Zavieh S. G. "Evaluating barriers and challenges of circular supply chains using a decision-making model based on rough sets". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 7275-7296, 2022.
- [16] Harvard Business Review. "Circular Supply Chains Are More Sustainable. Why Are They So Rare?". <https://hbr.org/2021/06/circular-supply-chains-are-more-sustainable-why-are-they-so-rare> (01.11.2022).
- [17] Su B, Heshmati A, Geng Y, Yu X. "A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation". *Journal of Cleaner Production*, 42, 215-227, 2013.
- [18] Ayati MS, Shekarian E, Majava J, Wæhrens B. V. "Toward a circular supply chain: Understanding barriers from the perspective of recovery approaches". *Journal of Cleaner Production*, 359, 1-18, 2022.
- [19] Lahane S, Kant R. "Evaluating the circular supply chain implementation barriers using Pythagorean fuzzy AHP-DEMATEL approach". *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 2, 1-12, 2021.
- [20] Forbes, "The Circular Supply Chain: A Push For Sustainability". <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2021/06/29/the-circular-supply-chain-a-push-for-sustainability/?sh=3e21caa137c1> (01.11.2022).

- [21] Sopha BM, Purnamasari D. M, Ma'mun S. "Barriers and Enablers of Circular Economy Implementation for Electric-Vehicle Batteries: From Systematic Literature Review to Conceptual Framework". *Sustainability*, 14(10), 1-23, 2022.
- [22] Pan SY, Du M. A, Huang IT, Liu IH, Chang EE, Chiang P. C. "Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review". *Journal of Cleaner Production*, 108, 409-421, 2015.
- [23] Bressanelli G, Perona M, Sacconi N. "Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: A literature review and a multiple case study". *International Journal of Production Research*, 57(23), 7395-7422, 2019.
- [24] Ada N, Kazancoglu Y, Sezer M. D, Ede-Senturk C, Ozer I, Ram M. "Analyzing barriers of circular food supply chains and proposing industry 4.0 solutions". *Sustainability*, 13(12), 1-29, 2021.
- [25] Mehmood A, Ahmed S, Viza E, Bogush A, Ayyub R.M. "Drivers and barriers towards circular economy in agri-food supply chain: a review". *Business Strategy & Development*, 4(4), 465-481, 2021.
- [26] Luthra S, Sharma M, Kumar A, Joshi S, Collins E, Mangla S. "Overcoming barriers to cross-sector collaboration in circular supply chain management: a multi-method approach". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 1-25, 2022.
- [27] Kumar P, Singh RK, Kumar V. "Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers". *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 1-12, 2021.
- [28] Hart J, Adams K, Giesekam J, Tingley DD, Pomponi F. "Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment". *Procedia Cirp*, 80, 619-624, 2019.
- [29] Pathak R, Endayilalu A. "Circular economy: A perspective of Ethiopian textile sector". *International Journal Of All Research Writings*, 1(11), 101-109, 2019.
- [30] Mangla S. K, Luthra S, Mishra N, Singh A, Rana NP, Dora M, Dwivedi Y. "Barriers to effective circular supply chain management in a developing country context". *Production Planning & Control*, 29(6), 551-569, 2018.
- [31] Agyemang M, Kusi-Sarpong S, Khan SA, Mani V, Rehman ST, Kusi-Sarpong H. "Drivers and barriers to circular economy implementation: An explorative study in Pakistan's automobile industry". *Management Decision*, 57(4), 971-994, 2019.
- [32] Vermunt DA, Negro SO, Verweij PA, Kuppens DV, Hekkert MP. "Exploring barriers to implementing different circular business models". *Journal of Cleaner Production*, 222, 891-902, 2019.
- [33] Geng Y, Doberstein B. "Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'". *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231-239, 2008.
- [34] Gallaud D, Laperche B. *Circular Economy, Industrial Ecology And Short Supply Chain*. Hoboken, USA, John Wiley & Sons, 2016.
- [35] Rizos V, Behrens A, Kafyke T, Hirschnitz-Garbers M, Ioannou A. "The circular economy: Barriers and opportunities for SMEs". *CEPS Working Documents*, 412, 1-22, 2015.
- [36] Liu Y, Bai Y. "An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China". *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 145-152, 2014.
- [37] Kirchherr J, Piscicelli L, Bour R, Kostense-Smit E, Muller J, Huibrechtse-Truijens A, Hekkert M. "Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU)". *Ecological Economics*, 150, 264-272, 2018.
- [38] Linder M, Williander M. "Circular business model innovation: inherent uncertainties". *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182-196, 2017.
- [39] Bouzon M, Govindan K, Rodriguez C. M. T. "Evaluating barriers for reverse logistics implementation under a multiple stakeholders' perspective analysis using grey decision making approach". *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 315-335, 2018.
- [40] Shahbazi S, Wiktorsson M, Kurdve M, Jönsson C, Bjelkemyr M. "Material efficiency in manufacturing: Swedish evidence on potential, barriers and strategies". *Journal of Cleaner Production*, 127, 438-450, 2016.
- [41] Masi D, Kumar V, Garza-Reyes J. A, Godsell J. "Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective". *Production Planning & Control*, 29(6), 539-550, 2018.
- [42] Howard M, Hopkinson P, Miemczyk J. "The regenerative supply chain: a framework for developing circular economy indicators". *International Journal of Production Research*, 57(23), 7300-7318, 2019.
- [43] Zhu Q, Geng Y. "Drivers and barriers of extended supply chain practices for energy saving and emission reduction among Chinese manufacturers". *Journal of Cleaner Production*, 40, 6-12, 2013.
- [44] Li J, Pan S. Y, Kim H, Linn JH, Chiang PC. "Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies". *Journal of Environmental Management*, 162, 158-170, 2015.
- [45] De Jesus A, Mendonça S. "Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy". *Ecological Economics*, 145, 75-89, 2018.
- [46] Lieder M, Rashid A. "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry". *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51, 2016.
- [47] Preston, F. "A Global Redesign? Shaping the Circular Economy". Energy, Environment and Resource Governance, Chatham House, London, UK, EERG BP, 02, 2012.
- [48] Kazançoğlu I, Sağnak M, Mangla S, Kazançoğlu Y. "Circular economy and the policy: A framework for improving the corporate environmental management in supply chains". *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 590-608, 2020.
- [49] Azadnia AS, Onofrei G, Ghadimi P. "Electric vehicles lithium-ion batteries reverse logistics implementation barriers analysis: A TISM-MICMAC approach". *Resources, Conservation & Recycling*, 174, 1-15, 2021.
- [50] Farooque M, Zhang A, Liu Y. "Barriers to circular food supply chains in China". *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(5), 677-696, 2019.

- [51] Defee CC, Esper T, Mollenkopf D. "Leveraging closed-loop orientation and leadership for environmental sustainability". *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 87-98, 2009.
- [52] Levering R, Vos B. *Organizational Drivers and Barriers to Circular Supply Chain Operations*. Editors: De Boer L, Andersen PH. Operations Management and Sustainability: New Research Perspectives, 43-66, Cham, Switzerland, Palgrave Macmillan, 2019.
- [53] Zhang A, Venkatesh VG, Liu Y, Wan M, Qu T, Huisingh D. "Barriers to smart waste management for a circular economy in China". *Journal of Cleaner Production*, 240, 1-12, 2019.
- [54] Shang C, Saeidi P, Goh CF. "Evaluation of circular supply chains barriers in the era of Industry 4.0 transition using an extended decision-making approach". *Journal of Enterprise Information Management*, 35(4/5), 1100-1128, 2021.
- [55] Ahuja J, Dawson L, Lee R. "A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change". *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 12(3), 235-250, 2020.
- [56] Qazi AA, Appolloni A. "A systematic review on barriers and enablers toward circular procurement management". *Sustainable Production and Consumption*, 33, 343-359, 2022.
- [57] Kurdve M, Zackrisson M, Johansson MI, Ebin B, Harlin U. "Considerations when modelling EV battery circularity systems". *Batteries*, 5(2), 1-20, 2019.
- [58] Kumar M, Raut RD, Jagtap S, Choubey VK. "Circular economy adoption challenges in the food supply chain for sustainable development". *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1334-1356, 2023.
- [59] Sharma YK, Mangla SK, Patil PP, Liu S. "When challenges impede the process For circular economy-driven sustainability practices in food supply chain". *Management Decision*, 57(4), 995-1017, 2018.
- [60] Ritzén S, Sandströma GÖ. "Barriers to the Circular Economy-integration of perspectives and domains". *Procedia Cirp*, 64, 7-12, 2017.
- [61] Chai J, Liu JNK, Ngai EWT. "Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature". *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3872-3885, 2013.
- [62] Kabir G, Sumi RS. "Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: A case study from Bangladesh". *Energy*, 72, 717-730, 2014.
- [63] Srichetta P, Thurachon W. "Applying fuzzy analytic hierarchy process to evaluate and select product of notebook computers". *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(2), 168-173, 2012.
- [64] Zadeh LA. "Fuzzy Sets". *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
- [65] Zadeh LA. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I". *Information Sciences*, 8, 199-249, 1975.
- [66] Sambuc R. Fonctions And Floues: Application A L'aide Au Diagnostic En Pathologie Thyroïdienne. Doctoral Dissertation, Faculté de Médecine de Marseille, Marseille, France, 1975.
- [67] Jahn KU. "Intervall-wertige mengen". *Mathematische Nachrichten*, 68(1), 115-132, 1975.
- [68] Grattan-Guinness I. "Fuzzy membership mapped onto intervals and many-valued quantities". *Mathematical Logic Quarterly*, 22(1), 149-160, 1976.
- [69] Atanassov K. "Intuitionistic fuzzy sets". *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96, 1986.
- [70] Yager RR. "On the theory of bags". *International Journal of General System*, 13(1), 23-37, 1986.
- [71] Atanassov K. "More on intuitionistic fuzzy sets". *Fuzzy Sets and Systems*, 33(1), 37-45, 1989.
- [72] Smarandache F. "Definition of Neutrosophic Logic - A Generalization of the Intuitionistic Fuzzy Logic". *EUSFLAT Conference, Zittau, Germany*, 10-12 September, 2003.
- [73] Garibaldi JM, Ozen T. "Uncertain Fuzzy Reasoning: A Case Study in Modelling Expert Decision Making". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1), 16-30, 2007.
- [74] Torra V. "Hesitant fuzzy sets". *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539, 2010.
- [75] Yager RR. "Pythagorean fuzzy subsets". Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society-NAFIPS, Edmonton, Canada, 24-28 June 2013.
- [76] Cuong BC, Kreinovich V. "Picture fuzzy sets". *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 30(4), 409-420, 2014.
- [77] Yager RR. "Generalized orthopair fuzzy sets". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230, 2016.
- [78] Gündoğdu FK, Kahraman C. "Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(1), 337-352, 2019.
- [79] Kocakaya K, Engin T, Tektaş M, Aydın U. "Türkiye'de bölgesel havayolları için uçak tipi seçimi: küresel bulanık AHP-TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu". *Intelligent Transportation Systems, Institute of Science*, 4(1), 27-58, 2021.
- [80] Ayyıldız E, Taşkın A. "A novel spherical fuzzy AHP-VIKOR methodology to determine serving petrol station selection during COVID-19 lockdown: A pilot study for Istanbul". *Socio-Economic Planning Sciences*, 83, 1-16, 2022.
- [81] Gündoğdu FK, Kahraman C. "A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application". *Soft Computing*, 24(6), 4607-4621, 2020.
- [82] Yılmaz MK, Kuşakçı AO, Aksoy M, Hacıoğlu Ü. "The evaluation of operational efficiencies of Turkish airports: An integrated spherical fuzzy AHP/DEA approach". *Applied Soft Computing*, 119, 1-16, 2022.
- [83] Gündoğdu FK, Kahraman C. "Spherical fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and its application to industrial robot selection". *Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making: Proceedings of the INFUS 2019 Conference*, Istanbul, Turkey, 23-25 July 2020.
- [84] Ayyıldız E, Gümüş AT. "A novel spherical fuzzy AHP-integrated spherical WASPAS methodology for petrol station location selection problem: a real case study for Istanbul". *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36109-36120, 2020.
- [85] Mathew M, Chakraborty RK, Ryan MJ. "A novel approach integrating AHP and TOPSIS under spherical fuzzy sets for advanced manufacturing system selection". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 96, 1-13, 2020.
- [86] Oztaysi B, Cevik SO, Kahraman C, Otay I. "Industry 4.0 project prioritization by using spherical fuzzy analytic hierarchy process". In *Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics: Proceedings of the 14th International FLINS Conference (FLINS 2020)*, Cologne, Germany, 18-21 August 2020.
- [87] Demir E, Turan H. "An integrated spherical fuzzy AHP multi-criteria method for Covid-19 crisis management in regarding lean six sigma". *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(4), 859-885, 2021.

- [88] Doğan O. "Process mining technology selection with spherical fuzzy AHP and sensitivity analysis". *Expert Systems with Applications*, 178, 1-9, 2021.
- [89] Kieu PT, Nguyen VT, Nguyen VT, Ho TP. "A Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) Algorithm in Distribution Center Location Selection: A Case Study in Agricultural Supply Chain". *Axioms*, 10(2), 1-13, 2021.
- [90] Nguyen PH, Tsai JF, Dang TT, Lin MH, Pham HA, Nguyen KA. "A Hybrid Spherical Fuzzy MCDM Approach to Prioritize Governmental Intervention Strategies against the COVID-19 Pandemic: A Case Study from Vietnam". *Mathematics*, 9(20), 1-26, 2021.
- [91] Buran B, Erçek M. "Public transportation business model evaluation with Spherical and Intuitionistic Fuzzy AHP and sensitivity analysis". *Expert Systems with Applications*, 204, 1-12, 2022.
- [92] Candan G, Toklu MC. "Sustainable industrialization performance evaluation of European Union countries: an integrated spherical fuzzy analytic hierarchy process and grey relational analysis approach". *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(5), 387-400, 2022.
- [93] Gocer F, Sener N. "Spherical fuzzy extension of AHP-ARAS methods integrated with modified k-means clustering for logistics hub location problem". *Expert Systems*, 39(2), 1-21, 2022.
- [94] Hamal S, Senvar O. "A novel integrated AHP and MULTIMOORA method with interval-valued spherical fuzzy sets and single-valued spherical fuzzy sets to prioritize financial ratios for financial accounting fraud detection". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 337-364, 2022.
- [95] Mangla SK, Kazançoğlu Y, Yıldızbaşı A, Öztürk C, Çalık A. "A conceptual framework for blockchain-based sustainable supply chain and evaluating implementation barriers: A case of the tea supply chain". *Business Strategy and the Environment*, 31, 3693-3716, 2022.
- [96] Unal Y, Temur GT. "Sustainable supplier selection by using spherical fuzzy AHP". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 593-603, 2022.
- [97] Menekşe A, Akdağ HC. "Information technology governance evaluation using spherical fuzzy AHP ELECTRE". In *Intelligent and Fuzzy Techniques for Emerging Conditions and Digital Transformation: Proceedings of the INFUS 2021 Conference, Istanbul, Turkey, 24-26 August 2021*.
- [98] Nebati EE, Ayvaz B, Kusakci AO. "Digital transformation in the defense industry: A maturity model combining SF-AHP and SF-TODIM approaches". *Applied Soft Computing*, 132, 1-23, 2023.
- [99] Abdul D, Wengi J, Sameeroddin M. "Prioritization of ecopreneurship barriers overcoming renewable energy technologies promotion: A comparative analysis of novel spherical fuzzy and Pythagorean fuzzy AHP approach". *Technological Forecasting and Social Change*, 186, 1-16, 2023.
- [100] Oztaysi B, Onar SC, Kahraman C. "A dynamic pricing model for location based systems by using spherical fuzzy AHP scoring". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(5), 6293-6302, 2020.
- [101] Duleba S, Kutlu FK, Moslem S. "Interval-Valued Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method to Evaluate Public Transportation Development". *Informatica*, 32(4), 661-686, 2021.
- [102] Singer H, Özşahin Ş, "Prioritization of laminate flooring selection criteria from experts' perspectives: a spherical fuzzy AHP-based model". *Architectural Engineering and Design Management*, 18(6), 911-926, 2022.
- [103] Buyuk AM, Temur GT. "Food waste treatment option selection through spherical fuzzy AHP". *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 97-107, 2022.
- [104] Nguyen PH. "Agricultural supply chain risks evaluation with spherical fuzzy analytic hierarchy process". *Computers, Materials & Continua (CMC)*, 73(2), 4211-4229, 2022.
- [105] Jawad M, Naz M, Muqaddus H. "A multi-criteria decision-making approach for portfolio selection by using an automatic spherical fuzzy AHP algorithm". *Journal of the Operational Research Society*, 75(1), 85-98, 2024.
- [106] Saaty T, *The Analytic Hierarchy Process*. 1nd ed. New York, USA, McGraw-Hill, 1980.
- [107] Chang C, Wu C, Lin C, Chen H. "An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine". *Computers & Industrial Engineering*, 52, 296-307, 2007.
- [108] Mangla SK, Kumar P, Barua MK. "Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study". *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 375-390, 2015.