

Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Döngüsel Ekonomi Stratejilerinin Bulanık PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Gökalp SOLMAZ¹, Mustafa YILMAZ¹, Aytaç YILDIZ^{1*}

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

*(aytac.yildiz@btu.edu.tr)

(Received: 02 September 2025, Accepted: 07 September 2025)

(7th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2025, September 02-03, 2025)

ATIF/REFERENCE: Solmaz, G., Yılmaz, M. & Yıldız, A. (2025). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Döngüsel Ekonomi Stratejilerinin Bulanık PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(9), 16-26.

Özet – Günümüzde artan çevresel sorunlar, iklim değişikliği ve doğal kaynaklardaki hızlı azalma, işletmeleri sürdürülebilirlik odaklı stratejiler geliştirmeye yöneltmektedir. Özellikle üretim ve tedarik zinciri süreçlerinde çevresel etkilerin azaltılması, kaynak kullanımının verimli hâle getirilmesi ve atıkların kontrol altına alınması, yalnızca bir sorumluluk değil aynı zamanda uzun vadeli rekabet avantajı sağlayan stratejik bir gereklilik hâline gelmiştir. Bu kapsamda döngüsel ekonomi yaklaşımlarının yeşil tedarik zinciri yönetimi ile bütünleşmesi, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken ekonomik fayda da yaratmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda yeşil tedarik zincirinde döngüsel ekonomi stratejilerinin etkinliğini incelemektir. Çalışmada altı strateji (döngüsel tasarım, yeniden kullanım, yeniden üretim, geri dönüşüm, tersine lojistik ve dijital izlenebilirlik) yedi çevresel ve ekonomik kriter (karbon ayak izi, kaynak verimliliği, atık yönetimi, inovasyon, regülasyon uyumu, maliyet avantajı ve rekabetçilik) çerçevesinde değerlendirilmiştir. Stratejilerin önceliklendirilmesinde belirsizlikleri modelleme yeteneği güçlü olan Bulanık PROMETHEE yöntemi kullanılmış, uzman görüşleri üçgensel bulanık sayılarla ifade edilerek Yager indeksiyle durulaştırılmıştır. Analizler sonucunda döngüsel tasarım en etkili strateji olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulguların otomotiv firmalarının sürdürülebilirlik raporlarıyla karşılaştırılması, sonuçların yüksek düzeyde tutarlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, karar vericilere stratejik öneriler sunarken; aynı zamanda model, akademik literatüre yöntemsel katkı sağlamakta ve işletmelere sürdürülebilir strateji geliştirme süreçlerinde yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Yeşil Tedarik, Döngüsel Ekonomi Stratejileri, Bulanık Promethee, Çok Kriterli Karar Verme, Sürdürülebilirlik.

I. GİRİŞ

Sanayileşme ve küreselleşmenin hız kazanmasıyla birlikte üretim ve tüketim faaliyetlerindeki artış, çevresel sorunların derinleşmesine ve doğal kaynak kullanımının önemli ölçüde yükselmesine yol açmıştır [1]. Çevre kirliliğinin artması, küresel ısınma etkilerinin daha görünür hâle gelmesi ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, işletmeleri geleneksel “al-üret-at” mantığına dayalı doğrusal ekonomi modelinden uzaklaştırarak sürdürülebilir iş modellerine yönlendirmiştir [2]. Doğrusal ekonomi yaklaşımı, kaynakların

kısa sürede tüketilmesine ve çevresel baskıların artmasına neden olurken; döngüsel ekonomi, kaynakların daha verimli kullanılması, malzemelerin yaşam döngüsünün uzatılması ve atıkların minimuma indirilmesini hedeflemektedir [3]. Bu dönüşüm sürecinde, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmeleri için yeşil tedarik zinciri yönetimi (YTZY) ile döngüsel ekonomi stratejilerinin entegrasyonu giderek daha kritik bir hâle gelmiştir [4]. Yeşil tedarik zinciri, hammadde tedariklerinden nihai tüketiciye kadar tüm aşamalarda çevresel etkilerin azaltılmasını ve sürdürülebilirlik odaklı yönetim anlayışını öne çıkarırken [5], döngüsel ekonomi ise kaynakların etkin kullanımı, atıkların azaltılması ve geri dönüşümün teşvik edilmesini esas almaktadır [6]. Bu yaklaşım “azalt, yeniden kullan, geri dönüştür” ilkeleri üzerine inşa edilmiştir [7]. Son yıllarda Avrupa Birliği (AB) ve diğer uluslararası kuruluşlar, döngüsel ekonomiyi destekleyen politika ve düzenlemeleri hayata geçirmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı (2019) ve Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (2020) aracılığıyla AB, sanayide sürdürülebilir tedarik zinciri uygulamalarının yaygınlaşmasını hedeflemektedir [8]. Türkiye’de de benzer şekilde, sanayi sektörlerinin yeşil üretim modellerine uyum sağlaması ve döngüsel ekonomi stratejilerinin benimsenmesi için çeşitli girişimler yürütülmektedir [9].

Yeşil tedarik zinciri yönetimi ile döngüsel ekonomi uygulamaları, çevresel risklerin azaltılmasının yanı sıra işletmelere uzun vadede ekonomik faydalar sunmaktadır. Döngüsel ekonomi, atıkların azaltılması, malzeme ve enerji verimliliğinin artırılması gibi süreçleri kapsarken; yeşil tedarik zinciri yönetimi, üretim, lojistik ve tedarik faaliyetlerinin çevresel boyutlarını içermektedir [10]. Sanayi sektörlerinde yapılan araştırmalar, yeşil tedarik zinciri stratejilerinin işletmelere kalıcı rekabet avantajı sağladığını ortaya koymaktadır [11]. Türkiye’de otomotiv ve kimya sektörlerinde gerçekleştirilen çalışmalar ise bu uygulamaların çevresel riskleri azalttığını ve maliyetleri optimize ettiğini göstermektedir [12]. Son yıllarda bu alanlarda akademik araştırmaların hızla artması dikkat çekmektedir. Yeşil tedarik zinciri yönetimi; karbon salınımının düşürülmesi, atık yönetimi ve enerji tasarrufu gibi faktörlerle ilişkilendirilirken [10], döngüsel ekonomi; kaynak verimliliği, geri dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir üretim modellerinin yaygınlaştırılması gibi unsurları kapsamaktadır [4].

Bu bağlamda bu çalışma yeşil tedarik zinciri yönetimi ile döngüsel ekonomi stratejilerinin nasıl bütünleştirilebileceğini ve kalkınma hedefleri doğrultusunda yeşil tedarik zincirinde döngüsel ekonomi stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

II. YEŞİL TEDARİK ZİNCİRİNDE DÖNGÜSEL EKONOMİ STRATEJİLERİ

Döngüsel ekonomi, üretim ve tüketim süreçlerinde kullanılan kaynakların en verimli şekilde değerlendirilmesi, atık miktarının en aza indirilmesi ve ürünlerin mümkün olduğunca uzun süre ekonomik sistemde tutulması esasına dayalı bir model olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım kapsamında geri dönüşüm, yeniden kullanım, onarım ve yenileme gibi uygulamalarla doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri desteklenmektedir [1]. Sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden biri olan döngüsel ekonomi, kaynakların etkin kullanımı ve atıkların azaltılması yoluyla çevresel dengenin korunmasına hizmet etmektedir. Aynı zamanda ekonomik büyümeyi destekleyerek yeni istihdam olanakları yaratmakta, toplumsal refahı artırmakta ve gelecek nesiller için yaşanabilir bir çevrenin oluşumuna katkıda bulunmaktadır [9].

Küresel düzeyde artan çevresel baskılar ve kaynakların hızla tükenmesi, işletmeleri üretim ve tedarik zinciri yapılarını daha sürdürülebilir sistemlere dönüştürmeye yöneltmektedir. Bu bağlamda, doğrusal ekonomi modelinin yerini alan döngüsel ekonomi; kaynakların yüksek verimlilikle kullanımı, atıkların sistematik olarak azaltılması ve çevresel etkilerin minimuma indirilmesi gibi stratejilerle öne çıkmaktadır [2, 4]. YTZY ise çevresel hassasiyetleri merkeze alan yaklaşımıyla bu stratejilerin uygulanabilirliğini artırmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kilit bir rol üstlenmektedir [13].

Döngüsel ekonomi yalnızca çevresel korumaya katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda maliyet avantajı ve rekabet gücü de kazandırmaktadır. Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları bütüncül biçimde ele alarak çok yönlü değer üretmektedir [6]. Avrupa Komisyonu da bu doğrultuda yasal düzenlemeleri ve teşvik mekanizmalarını güncelleyerek uygulamaları desteklemektedir [8].

Bu kapsamda öne çıkan stratejilerden biri döngüsel tasarımıdır. Ürünlerin tasarım aşamasında geri dönüştürülebilir, sökülebilir ve uzun ömürlü biçimde planlanması, enerji ve malzeme verimliliğini artırarak çevresel etkileri azaltmaktadır [2]. Türkiye’de bu uygulama özellikle ambalaj ve mobilya sektörlerinde görülmekte, ancak üreticilerin bilinç düzeyinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [9]. Avrupa’da ise çevresel ürün beyanı sistemi eko-tasarımı zorunlu kılmaktadır.

Yeniden kullanım stratejisi, ürünlerin ilk kullanım amacına uygun biçimde tekrar değerlendirilmesini içerir. Bu yöntem hem atık oluşumunu geciktirmekte hem de yeni ürün talebini azaltmaktadır [14]. Türkiye’de market zincirlerinin uyguladığı depozito sistemleri, elektronik ve tekstil sektörlerindeki ikinci el piyasaları bu stratejinin örneklerindendir [15].

Onarım ve yenileme uygulamaları, işlevini yitirmiş ürünlerin tekrar kullanılabilir hâle getirilmesini hedefler. Özellikle elektronik atıkların onarımı, gelişmekte olan ülkelerde çevresel etkilerin azaltılmasında kritik rol oynamaktadır [16]. Avrupa’da ürünlerin onarılabilirliğini belgeleyen etiketleme sistemleri yaygınlaşırken, Türkiye’de bu bilincin özellikle genç kuşaklar arasında geliştiği gözlenmektedir [9].

Yeniden üretim (remanufacturing), kullanılmış parçaların fabrika ortamında işlenerek yeni ürün kalitesine yakın hâle getirilmesidir. Bu yöntem özellikle otomotiv ve makine sanayilerinde yaygındır ve ciddi düzeyde kaynak tasarrufu sağlamaktadır [17]. Türkiye’de ise savunma ve ağır sanayide sınırlı ölçüde uygulanmakta, düzenleyici altyapı geliştikçe yaygınlaşması beklenmektedir [15].

Geri dönüşüm, kullanım dışı ürünlerin işlenerek üretim süreçlerine yeniden kazandırılmasıdır. Böylece hammadde ihtiyacı azalmakta ve çevresel etkiler düşmektedir [10]. Sanayi simbiyozu çerçevesinde bir işletmenin atığı başka bir işletmenin girdisi hâline gelebilmektedir [6].

Tersine lojistik, kullanılmış ürünlerin üreticiye geri taşınarak yeniden değerlendirilmesi sürecini kapsar. Bu sistem, bilgi teknolojileri ve rota optimizasyonu ile desteklendiğinde hem karbon emisyonlarını hem de maliyetleri azaltmaktadır [14].

Dijital izlenebilirlik, ürünlerin üretimden geri dönüşüme kadar tüm yaşam döngüsünün IoT, RFID ve QR kod gibi teknolojilerle takip edilmesini sağlar. Bu durum şeffaflığı artırmakta ve sürdürülebilirlik performansının ölçülmesine katkı sunmaktadır. AB, dijital ürün pasaportları aracılığıyla bu yaklaşımı yaygınlaştırmaktadır [8].

Son olarak, biyolojik döngüler organik atıkların doğaya zarar vermeden geri kazanımını hedeflemektedir. Kompost, biyogaz ve biyobozunur ambalajlar bu kapsama girmektedir. Tarımsal atıkların gübreye dönüştürülmesi toprak kalitesini artırmakta ve kimyasal girdilere bağımlılığı azaltmaktadır [3]. Bu süreç özellikle tarım ve gıda sektöründe döngüsel ekonominin temel taşı olarak oluşturmaktadır [2].

A. Döngüsel Ekonomi Stratejilerinin Yeşil Tedarik Zincirine Etkileri ve Değerlendirme Kriterleri

Döngüsel ekonomi stratejileri, yeşil tedarik zincirlerinin ekolojik sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir. Geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemleriyle karbon salımı düşürülmekte, hammadde ihtiyacı azalmakta ve doğal kaynaklar korunmaktadır [9]. Ayrıca yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek sürdürülebilir üretimi desteklemekte, AB Döngüsel Ekonomi Paketi de kaynak verimliliğini artırmayı hedeflemektedir [15]. Endüstriyel simbiyoz uygulamaları ise atıkları başka üretim süreçlerinde girdi hâline getirerek ekosistem üzerindeki baskıyı azaltmaktadır [1]. Döngüsel ekonomi, işletmelere maliyet avantajı ve verimlilik kazandırmaktadır. Atıkların hammadde olarak değerlendirilmesiyle giderler azalmakta, üretim süreçleri daha etkin hâle gelmektedir [9]. Sanayi tesislerinde atık metallerin yeniden işlenmesi hem maliyetleri düşürmekte hem çevresel fayda sağlamaktadır [18]. Uzun vadede bu yaklaşım, işletmeleri piyasa dalgalanmalarına karşı daha dirençli kılmakta, Avrupa’daki örnekler de geri dönüşüme dayalı üretimin krizlerde daha avantajlı olduğunu göstermektedir [15]. Döngüsel ekonomi, işletmeleri çevreye duyarlı politikalar benimsemeye yönlendirerek marka güvenilirliğini ve rekabet gücünü artırmaktadır [18]. Bu uygulamalar müşteri sadakatini güçlendirirken, kamu-özel sektör iş birlikleriyle yürütülen farkındalık kampanyaları çevre dostu tüketim alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkı sunmaktadır [15]. Çevresel etkilerin azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması, atık yönetimi ve sosyal sorumluluk gibi kriterler yalnızca yeşil tedarik zincirinin değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi stratejilerinin de temel seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Bu seçim kriterleri aşağıda açıklanmıştır.

Karbon ayak izinin azaltılması: Yeşil tedarik zinciri uygulamaları, üretim ve lojistik süreçlerinde fosil yakıt tüketimini sınırlayarak sera gazı salımlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kullanımı, çevre dostu taşımacılık yöntemleri ve enerji verimli teknolojiler öne çıkmaktadır [9].

Kaynak verimliliği: Doğal kaynakların etkin kullanımını sağlayan stratejiler, malzeme israfının önüne geçmekte ve atık yönetimini optimize etmektedir. Sürdürülebilir hammadde temini, düşük su tüketimi ve çevre dostu üretim teknikleri bu kapsamda değerlendirilmektedir [19].

Atık yönetimi ve geri dönüşüm: Üretim ve tüketim sonrası atıkların azaltılması, geri dönüşüm süreçlerinin etkinleştirilmesi ve biyobozunur malzeme kullanımı, ekolojik sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır [20].

Biyolojik çeşitliliğin korunması: Yeşil tedarik zinciri, sürdürülebilir tarım, ormancılık ve su yönetimi politikalarını destekleyerek doğal habitatların korunmasına katkı sunmaktadır [1].

Maliyet avantajları: Enerji tasarrufu, etkin atık yönetimi ve kaynak verimliliği sayesinde işletmelerin uzun vadeli maliyetleri düşmektedir [21].

Pazar rekabetçiliği: Yeşil sertifikalar ve çevre dostu üretim süreçleri, işletmelerin uluslararası pazarda tercih edilme olasılığını artırmakta ve sürdürülebilir büyümeyi desteklemektedir [19].

Regülasyonlara uyum: Çevresel düzenlemelere uyum sayesinde yasal riskler azalmakta, ayrıca teşvikler ve vergi indirimleriyle işletmeler desteklenmektedir [9].

İnovasyon ve teknoloji: Yeşil tedarik zinciri, yenilenebilir enerji sistemleri, düşük karbonlu üretim yöntemleri ve çevre dostu lojistik çözümleriyle inovasyonu teşvik etmektedir [20].

Çalışan hakları ve iş güvenliği: Kimyasal kullanımının azaltılması, ergonomik üretim sistemleri ve güvenlik standartlarının yükseltilmesiyle çalışan refahı artırılmaktadır [1].

Tüketici bilinci ve marka sadakati: Sürdürülebilirlik odaklı üretim yapan işletmeler, çevreye duyarlı tüketiciler tarafından daha fazla tercih edilmekte, bu da marka güvenilirliğini ve müşteri bağlılığını artırmaktadır [9].

Toplumsal katkı: Yerel topluluklara yönelik sosyal sorumluluk projeleri, karbon nötr girişimler ve eğitim destekleri toplumsal sürdürülebilirliği güçlendirmektedir [19].

Etik tedarik zinciri ve şeffaflık: Adil ücretlendirme, çocuk işçiliğinin önlenmesi ve izlenebilir tedarik süreçleri sayesinde sosyal sorumluluk ve kurumsal güvenilirlik pekiştirilmektedir [21].

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzdeki karmaşık ve çok boyutlu karar ortamlarında, işletmeler yalnızca ekonomik ölçütlerle sınırlı kalmaksızın; çevresel, sosyal ve yönetsel parametreleri de dikkate alarak stratejik tercihler geliştirmek durumundadır. Özellikle sürdürülebilirlik temelli modellerin ön plana çıktığı tedarik zinciri ve üretim sistemlerinde, kararların çoklu kriterlerle desteklenmesi kaçınılmaz hâle gelmiştir. Bu çerçevede, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri; karar vericilerin farklı türdeki kriterleri bütüncül ve sistematik biçimde değerlendirmelerine olanak tanıyan etkili araçlar arasında yer almaktadır [22]. ÇKKV yöntemleri, çok sayıda alternatifin çeşitli kriterler doğrultusunda değerlendirildiği karar problemlerinde karar vericilere sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), karar verici tercihlerini ikili karşılaştırmalar aracılığıyla ifade etme imkânı sağlayan hem sayısal hem de grafiksel analizlere olanak tanıyan güçlü bir yöntemdir [23]. PROMETHEE yönteminde, alternatifler arasındaki tercih derecelerine dayalı olarak pozitif (ϕ^+) ve negatif (ϕ^-) akış değerleri hesaplanmakta, ardından net akış değeri üzerinden bir sıralama elde edilmektedir. Bu sıralama, karar vericinin belirlediği kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonları doğrultusunda şekillenmektedir [24].

Gerçek dünyadaki karar verme problemleri, genellikle çok sayıda alternatif ve kriter içermekte olup, karar vericilerin değerlendirmelerinde çoğu zaman belirli bir kesinlikten yoksun, belirsiz nitelikteki ifadeler kullanılmaktadır. “Uygun”, “düşük” veya “yüksek” gibi dilsel değerlendirmeler, öznel nitelikte olup klasik sayısal yöntemlerle doğrudan işlenmesi güç olan bulanık bilgiler sunmaktadır. Bu bağlamda, karar vericilerin belirsiz ve nitel yargılarını dikkate alabilecek karar destek sistemlerine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda, bulanık mantık temelli yaklaşımlar yaygın biçimde tercih edilmeye başlanmıştır [25]. Ancak klasik PROMETHEE yöntemi yalnızca kesin (crisp) verilerle

çalışmakta, bu nedenle belirsizlik ve dilsel yargılarla başa çıkmakta yetersiz kalmaktadır. Bu eksiklik, PROMETHEE yönteminin bulanık mantık teorisiyle bütünleştirilmesini gündeme getirmiştir [26].

Bulanık PROMETHEE (Fuzzy PROMETHEE) yöntemi, klasik PROMETHEE'nin karar sürecine esneklik kazandıran bir uzantısıdır. Bu yöntemde hem kriter ağırlıkları hem de alternatiflerin kriterlere göre performans düzeyleri, üçgensel (TFN) veya yamuksal (TrFN) bulanık sayılarla ifade edilmekte, böylece modelin belirsiz verilere dayalı olarak işlemesi sağlanmaktadır [27]. Bu şekilde, karar vericilerin niteliksel değerlendirmeleri matematiksel modele entegre edilerek daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlara ulaşılabilmektedir [28]. Yöntem, karmaşık ve çok kriterli yapıya sahip sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, çevresel politika geliştirme ve üretim stratejilerinin belirlenmesi gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır [29]. Yeşil tedarik zinciri uygulamalarında çevresel, ekonomik ve sosyal kriterlerin birlikte değerlendirilebilmesine olanak sağlayarak, çok kriterli karar verme süreçlerine esneklik kazandırmaktadır [30]. Literatürde yapılan güncel çalışmalar, yöntemin farklı sektörlerde uygulanabilirliğini ve karar destek sistemlerine katkısını açıkça ortaya koymaktadır.

Bu nedenle çalışmada, belirsizlikleri matematiksel olarak modelleyebilme ve uzman görüşlerini karar sürecine entegre edebilme kapasitesiyle öne çıkan Bulanık PROMETHEE yöntemi tercih edilmiştir.

IV. BULGULAR

1.Adım: Yeşil tedarik zincirinde döngüsel ekonomi stratejileri seçimine etki eden alternatiflerin ve kriterlerin tanımlanması: Bu aşamada, yeşil tedarik zinciri kapsamında uygulanabilecek döngüsel ekonomi stratejilerinin belirlenmesi için karar modeli oluşturulmuştur. Modelin temel amacı, sürdürülebilirlik hedeflerine en uygun stratejiyi seçmektir. Bu doğrultuda literatür taraması ve uzman görüşleri ışığında Tablo 1'de sunulan yedi kriter değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 1. Stratejisi seçimine yönelik değerlendirme kriterleri

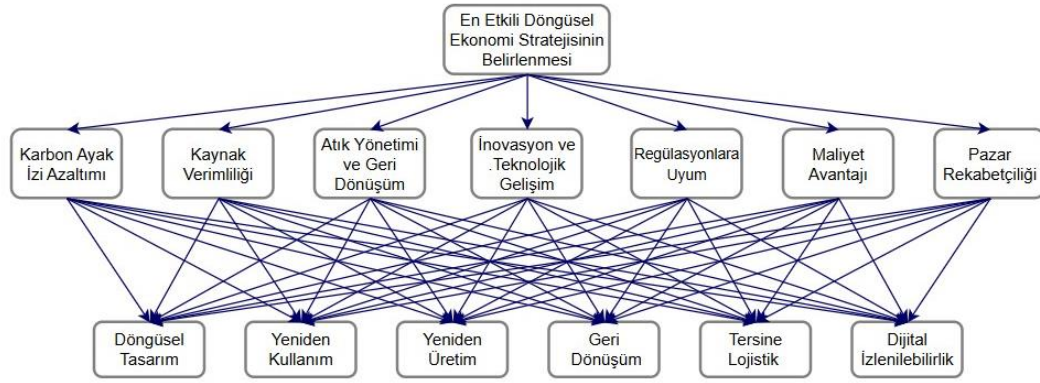
Strateji Seçim Kriteri	Kodu	Açıklaması
Karbon Ayak İzi Azaltımı	K1	Stratejinin sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyelini ifade etmektedir.
Kaynak Verimliliği	K2	Doğal kaynakların etkin, verimli ve döngüsel biçimde kullanımını kapsamaktadır.
Atık Yönetimi	K3	Atık oluşumunun önlenmesi, azaltılması ve geri kazanımıyla ilgili uygulamaları içermektedir.
İnovasyon ve Teknolojik Gelişim	K4	Süreçlerin, ürünlerin veya sistemlerin yenilenmesine ve dijitalleşmesine olan katkıyı yansıtmaktadır.
Regülasyonlara Uyum	K5	Stratejinin ulusal ve uluslararası çevresel düzenlemelere uyumluluğunu ifade etmektedir.
Maliyet Avantajı	K6	Uygulamanın kısa ve uzun vadede sağlayabileceği maliyet tasarruflarını ifade etmektedir.
Pazar Rekabetçiliği	K7	Stratejinin işletmelere rekabet avantajı kazandırma potansiyelini içermektedir.

Belirlenen kriterler, yeşil tedarik zinciri uygulamalarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu biçimde çok boyutlu olarak değerlendirilebilmesi amacıyla oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, yeşil tedarik zinciri kapsamında uygulanabilirliği yüksek görülen Tablo 2'deki altı döngüsel ekonomi stratejisi alternatif olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Döngüsel ekonomi stratejileri

Alternatifler Stratejiler	Kodu	Açıklaması
Döngüsel Tasarım	A1	Ürünlerin dayanıklı, onarılabilir, yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir şekilde tasarlanmasını ifade etmektedir.
Yeniden Kullanım	A2	Ürünlerin veya parçalarının ilk kullanımından sonra aynı işlevle yeniden değerlendirilmesini içermektedir.
Yeniden Üretim	A3	Kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin fabrikalarda yenilenip tekrar pazara sunulması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu süreç, sürdürülebilir üretim anlayışını desteklemektedir.
Geri Dönüşüm	A4	Atık malzemelerin fiziksel ya da kimyasal işlemlerle yeniden değerlendirilerek üretim sürecine dahil edilmesi sürecini kapsamaktadır.
Tersine Lojistik	A5	Kullanım sonrası ürünlerin toplanması, ayrıştırılması ve yeniden işlenerek tedarik zincirine kazandırılmasıdır.
Dijital İzlenebilirlik	A6	Ürünlerin yaşam döngüsü boyunca dijital araçlar aracılığıyla takip edilmesini sağlayan sistemlerdir.

Tanımlanan kriterler ve stratejiler doğrultusunda oluşturulan karar problemine ait hiyerarşik yapı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Yeşil tedarik zincirinde döngüsel ekonomi stratejileri için hiyerarşik karar modeli

2.Adım: Kriter ağırlıklarının hesaplanması: Kriterlerin belirlenmesinin ardından, her bir kriterin göreceli önem düzeyi, karar verme grubunda yer alan uzmanlarla yapılan birebir görüşmeler aracılığıyla tespit edilmiştir. Bu aşamada, karar vericilerden her bir kriteri çalışmanın ana hedefine sağladığı katkıya göre, 1 (en düşük katkı) ile 10 (en yüksek katkı) arasında derecelendirmeleri talep edilmiştir. Elde edilen puanlamalar ışığında, her kriter için ortalama değer hesaplanmış ve bu ortalamalar üzerinden tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamı 1 olacak şekilde normalize edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Uzman değerlendirmelerine göre kriter puanlamaları ve normalize edilmiş ağırlıklar

Stratejiler	Kriterler						
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	9	8	5	7	6	4	4
A2	7	7	6	9	4	7	4
A3	7	9	6	6	5	4	4
A4	10	6	8	5	4	5	3
A5	8	6	9	7	5	4	3
A6	7	6	5	5	6	2	2
Toplam	48	42	39	39	30	26	20
Ağırlıklar	0,2	0,17	0,16	0,16	0,12	0,11	0,08

3. Adım: Dilsel ifadelerin üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmesi: Bu çalışmada alternatiflerin değerlendirilmesinde uzman görüşlerine dayalı olarak ifade edilen dilsel yargılar, bulanık mantık kapsamında sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Tablo 4’te, değerlendirme sürecinde kullanılan dilsel ifadeler ile bu ifadeler karşılık gelen üçgen bulanık sayılar verilmiştir. Bu dönüşüm, belirsizliğin ve öznel yargıların daha sağlıklı analiz edebilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Dilsel ifadeler ve karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar

Puan Aralığı	Sözel Değer	Üçgensel Bulanık Sayı
9–10	Çok İyi (Çİ)	(0,65; 0,90; 1)
7–8	İyi (İ)	(0,50; 0,55; 0,65)
5–6	Orta (O)	(0,40; 0,45; 0,60)
3–4	Zayıf (Z)	(0,10; 0,15; 0,30)
0–2	Çok Zayıf (ÇZ)	(0; 0; 0,05)

Uzmanlar, her bir alternatfin ilgili kriter açısından performansını “çok iyi”, “iyi”, “orta”, “zayıf” ve “çok zayıf” gibi dilsel terimlerle ifade etmiştir. Bu ifadeler, Tablo 5’te verildiği gibi doğrudan alternatif-kriter karar matrisine yerleştirilmiştir. Böylece, uzmanların değerlendirme sürecine daha sezgisel ve esnek bir şekilde katkı sağlamaları amaçlanmıştır.

Tablo 5. Stratejilerin kriterlere göre dilsel değerlendirme matrisi

Stratejiler	Kriterler						
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	Çİ	İ	O	İ	O	Z	Z
A2	İ	İ	O	O	Z	İ	Z
A3	İ	Çİ	O	O	O	Z	Z
A4	Çİ	O	İ	O	Z	O	Z
A5	İ	O	Çİ	İ	O	Z	Z
A6	İ	O	O	Çİ	O	ÇZ	ÇZ

Tablo 5’teki dilsel değerlendirmeler, üçgen bulanık sayılarla eşleştirilerek Tablo 6’da verildiği gibi sayısal forma dönüştürülmüş ve Bulanık PROMETHEE yöntemiyle analiz edilmiştir.

Tablo 6. Dilsel değerlendirmelerin üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş karar matrisi

Stratejiler	Kriterler						
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	(0,65,0,9,1)	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)	(0,1,0,15,0,3)
A2	(0,5,0,55,0,65)	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)	(0,5,0,55,0,65)	(0,1,0,15,0,3)
A3	(0,5,0,55,0,65)	(0,65,0,9,1)	(0,4,0,45,0,6)	(0,4,0,45,0,6)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)	(0,1,0,15,0,3)
A4	(0,65,0,9,1)	(0,4,0,45,0,6)	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)
A5	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,65,0,9,1)	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,1,0,15,0,3)	(0,1,0,15,0,3)
A6	(0,5,0,55,0,65)	(0,4,0,45,0,6)	(0,4,0,45,0,6)	(0,65,0,9,1)	(0,4,0,45,0,6)	(0,0,0,05)	(0,0,0,05)

4. Adım: Bulanık sayıların LR Bulanık sayılara dönüştürülmesi: Alternatif-kriter karar matrisinde yer alan dilsel ifadeler, önceden tanımlanmış üçgen bulanık sayılarla eşleştirilerek sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Bu çalışmada, söz konusu üçgen bulanık sayılar, PROMETHEE yönteminde tercih fonksiyonlarının hesaplanmasında daha esnek ve sistematik bir kullanım sağlamak amacıyla L–R tipi bulanık sayılara dönüştürülmüş ve Tablo 7’de verilmiştir. Bu dönüşüm ile, her bir bulanık değer merkez değeri ile sol ve sağ yayılım genişlikleri belirlenmiş ve tercih derecelerinin hesaplanmasında bu yapılar kullanılmıştır.

Tablo 7. Üçgensel bulanık sayıların l-r tipi bulanık sayılara dönüştürülmüş karar matrisi

Stratejiler	Kriterler						
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
	(mL,R)	(m,L,R)	(m,L,R)	(mL,R)	(m,L,R)	(m,L,R)	(m,L,R)
A1	(0,9,0,25,0,1)	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)
A2	(0,55,0,05,0,1)	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)	(0,55,0,05,0,1)	(0,15,0,05,0,15)
A3	(0,55,0,05,0,1)	(0,9,0,25,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,45,0,05,0,15)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)
A4	(0,9,0,25,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)
A5	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,9,0,25,0,1)	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)	(0,15,0,05,0,15)
A6	(0,55,0,05,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,45,0,05,0,15)	(0,9,0,25,0,1)	(0,45,0,05,0,15)	(0,0,0,05)	(0,0,0,05)

5.Adım: Alternatiflerin ikili karşılaştırması, yager indeksi ile durulaştırma, tercih fonksiyonunun uygulanması ve ağırlıklı matrisin elde edilmesi: Bu aşamada, L–R tipi bulanık sayılarla alternatiflerin kriter bazlı performansları karşılaştırılmış, kendiyle kıyaslamalarda tarafsızlık gereği “0” değeri atanmıştır. Sonrasında bulanık sonuçların tekil değerlere indirgenmesi için Yager indeksi kullanılmış, böylece sıralama işlemi mümkün hâle getirilmiştir. Kriter farklılıklarının değerlendirilmesinde doğrusal tercih fonksiyonu uygulanmış, küçük farklara duyarsız kalınarak belirli eşiklerin aşılmasıyla tercihler güçlendirilmiştir. Son olarak, kriter ağırlıkları dikkate alınarak ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuş ve çevresel, ekonomik ve rekabetçi boyutlarda kapsamlı bir analiz yapılmıştır.

6.Adım: Pozitif ve negatif net akış: Ağırlıklandırılmış karar matrisinden elde edilen veriler doğrultusunda, her bir strateji için pozitif (ϕ^+) ve negatif (ϕ^-) akış değerleri hesaplanarak sıralama elde edilmiş ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Stratejilere ait pozitif, negatif ve net akış değerleri (ϕ^+ , ϕ^- , ϕ) ve sıralaması

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ϕ^+	ϕ^- ($\phi^+ - \phi^-$)	Sıralama
A1	0,00	0,18	0,12	0,11	0,12	0,17	0,14	0,06	1
A2	0,07	0,00	0,07	0,04	0,09	0,15	0,08	-0,07	6
A3	0,08	0,14	0,00	0,16	0,10	0,16	0,13	0,01	4
A4	0,08	0,12	0,17	0,00	0,15	0,22	0,15	0,02	3
A5	0,10	0,18	0,12	0,16	0,00	0,15	0,14	0,03	2
A6	0,08	0,16	0,10	0,16	0,08	0,00	0,11	-0,06	5
ϕ^-	0,08	0,15	0,12	0,12	0,11	0,17			

Tablo 8 incelendiği zaman, döngüsel tasarım stratejisinin en yüksek net akış değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu stratejiyi sırasıyla; tersine lojistik, geri dönüşüm, yeniden üretim, dijital izlenebilirlik ve yeniden kullanım stratejileri takip etmiştir.

7.Adım: Bulguların sürdürülebilirlik raporları ile karşılaştırılması: Model çıktılarının sektörel uygulamalarla ne ölçüde örtüştüğünü incelemek amacıyla, Türkiye otomotiv sanayinde faaliyet gösteren 14 firmanın sürdürülebilirlik raporları içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Her stratejinin raporlarda ne sıklıkla yer aldığı belirlenmiş ve analiz sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Sürdürülebilirlik raporlarında döngüsel ekonomi stratejilerinin kullanım frekansları

Firmalar	A1 – Döngüsel Tasarım	A2 – Yeniden Kullanım	A3 – Yeniden Üretim	A4 – Geri Dönüşüm	A5 – Tersine Lojistik	A6 – Dijital İzlenebilirlik
Akoğlu	2	0	1	2	1	0
Beyçelik	2	1	1	1	1	0
Bosch	4	1	2	3	3	1
Coşkunöz	2	1	1	2	2	0
Fiat Tofaş	3	1	2	3	2	1
Ford Otosan	3	1	2	3	2	0
HL Mando	4	1	2	3	2	1
IOCHPE-Maxion	2	1	1	1	1	0
Karsan	3	1	1	2	2	1
Orau	1	0	1	1	2	0
OYAK Renault	2	1	2	2	2	1
Toyota Boshoku	5	1	3	4	2	1
Toyotetsu	2	1	2	3	3	1
Yeşilova	2	1	1	2	1	0
Toplam	37	12	22	32	26	7

Tablo 9 incelendiğinde, Döngüsel Tasarım stratejisinin 37 tekrar ile en yüksek kullanım sıklığına sahip olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla geri dönüşüm (32 kez) ve tersine lojistik (26 kez) stratejileri izlemektedir. Tablo 10’da ise firma raporlarında belirtilen stratejiler ile bulanık PROMETHEE yöntemiyle elde edilen sonuçların karşılaştırması sunulmaktadır.

Tablo 10. Döngüsel ekonomi stratejilerinin rapor frekansı ve bulanık PROMETHEE sonuçlarına göre karşılaştırılması

	Döngüsel Tasarım	Yeniden Kullanım	Yeniden Üretim	Geri Dönüşüm	Tersine Lojistik	Dijital İzlenebilirlik
Rapor Frekansı Sıralaması	1	5	4	2	3	6
Bulanık PROMETHEE Sıralaması	1	6	4	3	2	5

Tablo 10 incelendiğinde, bulanık PROMETHEE yöntemi ile rapor analizlerinden elde edilen bulguların büyük ölçüde örtüştüğü görülmekte, bu durum modelin sektörel gerçekliği yansıtmaya gücünü doğrulamaktadır. Özellikle ilk üç stratejinin her iki yöntemde de benzer sırada yer alması, değerlendirmelerin bütüncül olduğunu göstermektedir. Ayrıca sürdürülebilirlik raporlarındaki sayısal veriler, bu stratejilerin kuramsal olmanın ötesinde uygulamada da firmalara anlamlı katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, incelenen rapor içeriklerinden elde edilen bazı örnek bulgular aşağıda sunulmuştur:

- Ürün tasarımlarında %60 oranında modülerlik sağlanarak 8 ton hammadde tasarrufu elde edilmiştir.
- Gövde tasarımındaki iyileştirmelerle %10 oranında malzeme azaltımı gerçekleştirilmiştir
- Toplam atıkların %92’si geri dönüştürülmüş, böylece kaynak geri kazanım oranı artırılmıştır. Üretim süreçlerinden çıkan atıkların %96,7’si geri dönüştürülmüş, metal atıkların ise %99’u geri kazanılmıştır.
- Toplamda 2.180 ton alüminyum atık geri kazanımı sağlanmıştır.
- Ürünlerin yeniden üretilebilirliğini artırmaya yönelik tasarım değişiklikleri sonucunda, %15 oranında iyileşme sağlanmış ve böylece döngüsel kullanım potansiyeli anlamlı ölçüde yükseltilmiştir. Ürün iade süreçlerinde, iade edilen ürünlerin %78’i yeniden değerlendirme sürecine alınmıştır.
- Lojistik süreçlerinde, müşteriye giden ambalajların %68’i sistemli bir şekilde tekrar kullanılarak hem kaynak kullanımı azaltılmış hem de tersine akış verimliliği artırılmıştır.

- Üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan toplam 5.120 ton atığın tamamı geri dönüşüm sürecine kazandırılarak, atık yönetimi performansında önemli bir başarı elde edilmiştir.
- Lojistik geri dönüş süreçlerinin optimizasyonu sayesinde stok fazlası ürünlerin %80'i yeniden kullanılabilir hâle getirilmiştir.
- Üretim süreçlerinde uygulanan geri dönüşüm politikaları ile hem atık miktarı azaltılmış hem de karbon emisyonu %12 oranında düşürülmüştür.
- Ar-Ge merkezinde geliştirilen sürdürülebilir ürün prototipleri, geri dönüştürülebilirlik oranlarını %85'in üzerine çıkarmıştır.
- Parça tasarımlarında yapılan inovasyonlarla, atık oluşumu süreç başına %20 azaltılmıştır.

Bu örneklerin ortaya koyduğu üzere, sürdürülebilirlik raporlarında yer alan veriler, seçilen stratejilerin çevresel, ekonomik ve operasyonel faydalarını doğrudan yansıtmaktadır. Böylece, modelin çıktılarının yalnızca analitik değil, pratik karşılıklarının da bulunduğu açıkça görülmektedir.

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yeşil tedarik zinciri bağlamında döngüsel ekonomi stratejilerinin etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Altı strateji, yedi kriter çerçevesinde bulanık PROMETHEE yöntemi ile değerlendirilmiş ve tercih sıralamaları elde edilmiştir. Analiz sonucunda, döngüsel tasarım en yüksek net akış değerine sahip strateji olarak öne çıkarken, tersine lojistik ve geri dönüşüm stratejileri onu takip etmiştir. Çalışmada kullanılan modelin güvenilirliğini sınamak için sektörde faaliyet gösteren 14 firmanın sürdürülebilirlik raporları analiz edilmiş, içerik analizi ile model çıktıları karşılaştırılmıştır. Bulgular, teorik sıralama ile saha uygulamaları arasında yüksek düzeyde uyum olduğunu göstermiştir. İlk üç sıradaki stratejilerin her iki yöntemde de aynı şekilde sıralanması, önerilen modelin strateji önceliklendirmesinde uygulanabilir ve güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Rapor analizleri, stratejilerin firmalara sağladığı somut faydaları da göstermektedir. Malzeme azaltımı, hammadde tasarrufu, atık geri kazanımı, karbon emisyonlarının düşürülmesi ve yeniden değerlendirme oranlarının artırılması gibi çıktılar, döngüsel ekonominin yalnızca çevresel değil aynı zamanda ekonomik açıdan da stratejik değer sunduğunu kanıtlamaktadır. Literatürdeki çalışmalar da bu bulguları desteklemektedir. Örneğin:

- Döngüsel tasarım uygulamaları, modülerlik ve ürün ömrünün uzatılmasıyla otomotiv sektöründe %10–14 maliyet avantajı sağlamaktadır.
- Tersine lojistik süreçleri, iade ve geri çağırımların etkin yönetimiyle %7–15 oranında operasyonel maliyet düşüşü yaratmaktadır.
- Geri dönüşüm stratejileri, hammaddelerin yeniden kullanımıyla %5–12 üretim maliyeti azalımı sağlamakta ve karbon ayak izini düşürmektedir.

Yapılan çalışmanın elde edilen sonuçlarına göre; firmaların sürdürülebilirlik stratejilerini belirlerken çok kriterli karar destek sistemlerinden yararlanması, raporlamalarda sayısal verilerin artırılması, ürün yaşam döngüsünün dijital izlenebilirlikle desteklenmesi, döngüsel tasarım ve tersine lojistik için kamu politikalarının geliştirilmesi ve modelin farklı sektörlere uyarlanarak geniş ölçekli etkilerinin incelenmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma yalnızca akademik literatüre katkı sağlamakla kalmamış, aynı zamanda firmalar için stratejik karar verme süreçlerinde kullanılabilecek sayısal ve uygulamalı bir yol haritası sunmuştur. Modelin hem analitik hem de sektörel verilerle desteklenmiş yapısı, döngüsel ekonomi stratejilerinin yeşil tedarik zincirlerine entegrasyonu konusunda güçlü bir yönlendirme sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Önder, H. (2018). Sürdürülebilir kalkınma anlayışında yeni bir kavram: döngüsel ekonomi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* (57), 196-204.
- [2] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal Of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- [3] Mert, B. (2023). Döngüsel Ekonomi II: Kelebek Diyagramı
- [4] Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- [5] Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2013). Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external green supply chain management practices. *Journal Of Purchasing and Supply Management*, 19(2), 106-117.
- [6] Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal Of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- [7] Sapmaz Veral, E. (2021). Döngüsel ekonomi: engeller, stratejiler ve iş modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7-18.
- [8] European Commission. (2020, March 11). A new circular economic plan: for a cleaner and more competitive Europe. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
- [9] Mukiyen Avcı, G. (2022). Döngüsel ekonomi çerçevesinde Türkiye’de atık ithalatının belirleyicileri: çekim modeli analizi. *Yönetim Bilimleri Dergisi (Özel Sayı)*, 170-193
- [10] Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal Of Management Reviews*, 9(1), 53-80.
- [11] Yarlıkaş, S., & Can, Z. V. (2019). Yeşil tedarik zinciri yönetimini etkileyen faktörlerin önem sıralamalarının swara ve copeland yöntemleri ile belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 899-924.
- [12] Koca, G., & Behdioğlu, S. (2019). Yeşil tedarik zinciri yönetiminde çok kriterli karar verme: otomotiv ana sanayi örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 14(3), 675-698.
- [13] KÖSE, A. A. S. M. (2024). Yeşil tedarik zinciri uygulamalarının işletme performansı ve rekabet edebilirliğe etkisi-imalat sanayisinde bir firma analizi ve uygulaması. *Social Sciences Studies Journal (Sssjournal)*, 5(49), 6422-6434.
- [14] Hiçyılmaz, B., Alataş, S., & Karakaya, E. (2022). Sanayide karbonsuzlaşma: malzeme etkinliği stratejilerinin rolü. *Çevre Şehir Ve İklim Dergisi*, 1(2), 81-118.
- [15] Günday, A. H. (2018). Yeşil tedarik zinciri uygulamalarının işletme performansı üzerine etkisi: Kimya sektöründe görgül bir analiz. *Yayımlanmamış Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Konya*.
- [16] Ghobadian, A., Talavera, I., Bhattacharya, A., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., & O'regan, N. (2020). Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. *International Journal of Production Economics*, 219, 457-468.
- [17] Büyüközkan, G., & Vardaloğlu, Z. (2008). Yeşil tedarik zinciri yönetimi. *Lojistik Dergisi*, 8(2008), 6-7.
- [18] Açıklan, N. (2020). Sürdürülebilir pazarlama bakış açısı ile döngüsel ekonomi incelemesi. *Sakarya Üniversitesi İktisat Dergisi*, 9(3), 238-257.
- [19] Duran, Ö., & Şen, Y. (2024). Yeşil tedarik zinciri yönetimine ilişkin bibliyometrik analiz. *Troyacademy*, 9(1), 1-23.
- [20] Feng, Y., Lai, K. H., & Zhu, Q. (2022). Green supply chain innovation: emergence, adoption, and challenges. *International Journal of Production Economics*, 248, 108497.
- [21] Kılıçlı, Y., & Kıpçak, E. (2023). Yeşil tedarik zinciri yönetimi uygulamaları ile performans arasındaki ilişkinin incelenmesi: bir meta-analiz çalışması. *Journal Of Transportation and Logistics*, 7(2), 261-287.
- [22] Ersöz, F., & Kabak, M. (2010). Savunma sanayi uygulamalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinin literatür araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125.
- [23] Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- [24] Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research*, 200(1), 198-215.
- [25] Organ, A. (2013). Implementation of fuzzy PROMETHEE method which related to multi-criteria decision making. *Electronic Journal of Social Sciences*, 12(45), 252-269.
- [26] Le Teno, J. F., & Mareschal, B. (1998). An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 522-529.
- [27] Goumas, M., & Lygerou, V. (2000). An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 606-613.
- [28] Tavana, M., Zareinejad, M., Di Caprio, D., & Kaviani, M. A. (2016). An integrated intuitionistic fuzzy AHP and SWOT method for outsourcing reverse logistics. *Applied soft computing*, 40, 544-557.
- [29] Geldermann, J., Spengler, T., & Rentz, O. (2000). Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. *Fuzzy sets and systems*, 115(1), 45-65.
- [30] Tan, M., & Alakaş, H. M. (2023). Analitik ağ süreci, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile fiziksel engelliler için aktif tekerlekli sandalye seçimi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(1), 76-87.