

Araştırma Makalesi

**Elektrikli Araç Sektöründe Dijital Ürün Pasaportlarına Geçişin Döngüsel
Tedarik Zinciri Süreçlerine Potansiyel Katkılarının Değerlendirilmesi**

*Evaluation of the Potential Contributions of Transition to Digital Product Passports in
the Electric Vehicle Sector to Circular Supply Chain Processes*

İpek GÜRSOY

Dr. Öğr. Üyesi, Tarsus Üniversitesi

Uygulamalı Bilimler Fakültesi

ipekgursoy@tarsus.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-6409-7177>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
13.11.2025	01.06.2026

Öz

Elektrikli araç sektöründe batarya ve diğer kritik bileşenlerin üretimi ve kullanımı, çevresel ve ekonomik açıdan önemli etkiler oluşturmaktadır. Bu bağlamda dijital ürün pasaportu, ürünlerin malzeme bileşimi, kullanım geçmişi ve geri kazanım potansiyeli gibi bilgileri sunarak, tedarik zinciri boyunca kaynakların etkin yönetilmesini ve geri dönüşüm süreçlerine yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmada, dijital ürün pasaportlarına geçişin döngüsel tedarik zinciri süreçlerine katkıları Sezgisel Bulanık Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Araştırma bulgularına göre, %5,16 ağırlık ile "bilgi teknolojisi yatırımları/dijital olgunluk" kriteri en yüksek öneme sahip olurken, %4,78 ağırlık ile "tersine lojistik" kriteri en düşük öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Dijital ürün pasaportlarının, sağladığı şeffaflık ve izlenebilirlik sayesinde Avrupa Birliği ile ticaret ve uluslararası lojistik süreçlerinde sürdürülebilir tedarik zincirinin etkinliğini artıracak ve elektrikli araç sektöründe stratejik planlama ile sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Ürün Pasaportu, Döngüsel Tedarik Zinciri, Uluslararası Ticaret, Lojistik, Sezgisel Bulanık SWARA

ABSTRACT

The production and use of batteries and other critical components in the electric vehicle sector creates significant environmental and economic impacts. In this context, digital product passports provide information such as product material composition, usage history, and recovery potential, enabling the effective management of resources throughout the supply chain and their allocation to recycling processes. The study evaluated the contributions of the transition to digital product passports to circular supply chain processes using the Intuitionistic Fuzzy Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) method. According to the research findings, the "information technology investments/digital maturity" criterion received the highest weighting, with 5.16%, while the "reverse logistics" criterion received the lowest weighting, with 4.78%. It is considered that digital product passports, through the transparency and traceability they provide, will enhance the effectiveness

Önerilen Atf /Suggested Citation

Gürsoy, İ., 2026, Elektrikli Araç Sektöründe Dijital Ürün Pasaportlarına Geçişin Döngüsel Tedarik Zinciri Süreçlerine Potansiyel Katkılarının Değerlendirilmesi, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 61(2), 2598-2618.

of sustainable supply chains in trade and international logistics processes with the European Union and play a critical role in strategic planning and the achievement of sustainability goals in the electric vehicle sector.

Keywords: Digital Product Passport, Circular Supply Chain, International Trade, Logistics, Intuitionistic Fuzzy SWARA

1. Giriş

Dijital Ürün Pasaportu (Digital Product Passport-DPP), bir ürünün yaşam döngüsü verilerini dijital olarak sunarak sürdürülebilirlik ve izlenebilirliği sağlayan kritik bir bilgi altyapısıdır (Peivaste ve ark., 2025). Döngüsel ekonominin temel araçları olarak değerlendirilen bu pasaportların, kurum içi ve kurumlar arası veri paylaşımını destekleyerek, ürün ve malzemelerin maksimum fayda sağlayacak şekilde dolaşımını mümkün kılan bilinçli yaşam döngüsü karar alma süreçlerini kolaylaştırdığı ifade edilmektedir (Jensen, Kristensen, Christensen ve Waehrens, 2024). DPP'lerin yaygın benimsenmesi, üreticilerden tüketicilere kadar farklı paydaşlar arasında güçlü bir iş birliği gerektirmekle birlikte, koordinasyonun sağlanması ise çeşitli çıkarların uyumlaştırılmasında zorluklar yaratabilmektedir. Ancak DPP'lerin sürdürülebilirliği teşvik etme ve ürün yaşam döngüsü yönetimini geliştirme potansiyeli, bu zorlukların aşılmasını stratejik açıdan değerli kılmaktadır (Hulea, Miron ve Muresan, 2024). Özellikle DPP'lerin yeniden kullanım, onarım, geri dönüşüm, izlenebilirlik ve çevresel performansa ilişkin verileri içerecek biçimde tasarlanması, bu pasaportları dijital entegrasyonun ve döngüsel tedarik zincirlerinin temel kolaylaştırıcıları haline getirmektedir (D'Adamo, Fratocchi, Grosso ve Tavana, 2025). Döngüsel tedarik zinciri yönetimi, döngüsel ekonomi yaklaşımını tedarik zinciri ile onu çevreleyen endüstriyel ve ekolojik sistemlerin yönetim süreçlerine entegre etmektedir (Zhang ve Seuring, 2024). Döngüsel ekonomi ilkelerinin tedarik zincirlerine entegrasyonu, kaynakların yaşam döngüsü boyunca yeniden kullanımını ve değerlerinin korunmasını sağlamaktadır. Enerji verimliliği ve lojistik optimizasyonu gibi uygulamalarla ürünlerden kapalı döngü içerisinde maksimum fayda sağlanması hedeflenirken, döngüsel tedarik zinciri sürdürülebilir ve yeşil tedarik zinciri yaklaşımlarını tamamlayan bir model olarak öne çıkmaktadır (Bakkal ve Kabadayı, 2025).

Döngüsel tedarik zinciri perspektifinde DPP'ler, elektrikli araç bataryalarının yaşam döngüsü boyunca kaynakların etkin kullanımını ve geri dönüşüm süreçlerini destekleyen kritik bir araç olarak önem kazanmaktadır (Berger ve ark., 2023). Elektrikli araç bataryalarına yönelik sürdürülebilir bir DPP sisteminin geliştirilmesi, bütüncül bir yaşam döngüsü yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda bataryaların üretimden bertarafa kadar sürdürülebilirlik ve döngüsellik performansını artıracak stratejilerin tasarlanması gerekmektedir (Baumgartner, Berger ve Schöggel, 2024). Bu doğrultuda, DPP'nin sunduğu izlenebilirlik ve veri yönetimi kapasitesi, elektrikli araç sektöründe döngüsel ekonomi ilkelerinin tedarik zinciri süreçlerine entegrasyonunu destekleyerek kaynak verimliliği, şeffaflık ve izlenebilirlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Berger ve ark., 2023). Henüz Türkiye'de uygulanmayan, ancak AB'de 19 Temmuz 2026 tarihinde başlatılması planlanan dijital ürün pasaportu uygulamasına ilişkin geçiş süreci (European Union, 2024a), Türkiye'nin AB ile yoğun ticaret ilişkileri nedeniyle ulusal tedarik zincirlerini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda DPP, yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, izlenebilirlik ve döngüsel ekonomi hedeflerini destekleyen bütüncül bir yönetim ve veri altyapısı olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle DPP'nin tedarik zincirindeki kullanım alanlarının doğru biçimde anlaşılması, etkin şekilde uygulanması ve tedarik zinciri süreçleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi kritik önem taşımaktadır (Zhang ve Seuring, 2024). Bununla birlikte, DPP'lerin gelişimi ve erişim mekanizmaları, verinin hangi ölçüde merkezi veya dağıtık bir yapıda yönetilmesi gerektiği konusunda önemli belirsizlikler barındırmaktadır. Buna ek olarak, yasal olarak zorunlu kılınacak veri türlerinin kapsamı ve bu zorunlulukların farklı ürün kategorilerinde nasıl değişkenlik göstereceği de akademik ve sektörel düzeyde süregelen tartışmalar arasındadır (Jensen ve ark., 2024).

Mevcut literatürde DPP uygulamalarının teknik altyapısı, düzenleyici çerçevesi ve sürdürülebilirlik boyutunu ele alan çalışmalar yer almakla birlikte (Pohlmann ve ark., 2024; Tabata ve Tsai, 2025; Wagner, 2025), elektrikli araç sektöründe DPP'ye geçişin döngüsel tedarik zinciri süreçlerine olası katkılarının teknolojik uyum ve dijitalleşme, lojistik verimlilik ve izlenebilirlik, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi, uluslararası ticaret ve regülasyon uyumu ile ekonomik ve stratejik katma değer boyutları çerçevesinde değerlendirilmesi, sektörel dönüşümün yönetilmesi ve karar alma süreçlerinin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, mevcut çalışmada elektrikli araç sektöründe

DPP'ye geçişin döngüsel tedarik zinciri süreçlerine olası katkıları Sezgisel Bulanık SWARA yöntemi ile değerlendirilmektedir. SWARA yöntemi, kriterlerin görece önem düzeylerinin uzman değerlendirmeleri doğrultusunda sistematik biçimde belirlenmesine olanak sağlarken (Keršuliene, Zavadskas ve Turskis, 2010), sezgisel bulanık sayılar ise karar verme sürecinde ortaya çıkan belirsizlik, kararsızlık ve öznel yargıların analize dahil edilmesini mümkün kılmaktadır (Atanassov, 1986; Tezcan, 2021). Bu yönüyle çalışma, DPP'ye geçiş sürecinin farklı değerlendirme boyutlarının uzman görüşleri doğrultusunda sistematik biçimde analiz edilmesine uygun bir çerçeve sunmaktadır. Türkiye'nin Avrupa Birliği ile olan ticari ilişkileri ve elektrikli araç sektöründeki dönüşüm süreci dikkate alındığında, DPP'ye geçişin ulusal tedarik zinciri süreçleri üzerindeki olası etkilerini çok boyutlu olarak ele alan bu çalışmanın literatüre ve sektör paydaşlarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde, dijital ürün pasaportuna ilişkin kavramsal çerçeve sunulmuş ve ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Bunu takiben, Sezgisel Bulanık Sayılar açıklanmış ve Sezgisel Bulanık SWARA yönteminin adımları uygulanarak çalışmanın bulguları ortaya konmuştur. Son bölümde ise araştırmanın genel bir değerlendirmesi yapılmış ve gelecekteki araştırmalar için öneriler sunulmuş ve çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. Dijital Ürün Pasaportu

2024 yılından itibaren Avrupa Birliği, piyasada bulunan neredeyse tüm ürünler için dijital ürün pasaportu kullanımını zorunlu kılacak yeni bir düzenlemeyi yürürlüğe sokmayı planlamaktadır. Sürdürülebilir Ürünler için Eko Tasarım Yönetmeliği kapsamında geliştirilen bu uygulama, her ürünün menşei, içerdiği malzemeler, çevresel etkileri ve bertaraf yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi sunmayı amaçlamaktadır (European Union, 2024b). Dijital ürün pasaportu, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca temel verilerin toplanmasını sağlayan, üretim süreçlerinde şeffaflığı, izlenebilirliği, döngüsellığı ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan, üreticilerden dağıtıcılara, düzenleyicilerden son kullanıcılara kadar çeşitli paydaşların bilgi gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış merkezi bir veri yönetim sistemidir (Psarommatis ve May, 2024, s. 5). Ürün izlenebilirliğini ve tedarik zinciri şeffaflığını artırmayı amaçlayan yaklaşan zorunlu uygulama, kaynak döngüsellığını iyileştirme, emisyonları azaltma ve tedarik zinciri yönetişimini güçlendirme hedeflerini taşımaktadır (Zhang ve Seuring, 2024, s. 2513). Şirketlerin tedarik zincirlerini endüstriyel etkiler bağlamında yeniden yapılandırma yetenekleri, dijital ürün pasaportlarının sektörel benimsenmesi ve uygulanmasının belirleyici unsurudur (Jensen ve ark., 2024, s. 7113). Özellikle otomotiv, elektronik, inşaat, moda, gıda ve ilaç gibi sektörlerde uygulanması, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca ayrıntılı, şeffaf ve değiştirilemez nitelikte bilgiler sunarak izlenebilirlik, uyumluluk ve sürdürülebilirliği artırmaktadır. Bu yaklaşım, sorumlu üretim ve tüketim uygulamalarını teşvik etmekte, çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamakta ve ilgili sektörlerde yasal düzenlemelere uyum süreçlerini desteklemektedir (Hulea ve ark., 2024, s. 12).

Dijital ürün pasaportları, Avrupa Komisyonu'nun "Döngüsel Ekonomi Eylem Planı" kapsamında geliştirilen ve Komisyonun döngüsel ekonomi hedeflerini destekleyen potansiyel bir çözüm sistemi olarak değerlendirilmektedir (Voulgaridis ve ark., 2024, s. 700). Döngüsel ekonomi, işletmelere ekonomik faydalar sağlarken aynı zamanda emisyonları ve atıkları azaltma ile sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma açısından önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Wicaksono, Mengistu, Bashyal ve Fekete, 2025, s. 2981). Bu kapsamda DPP'ler, ürünlerin malzeme bileşimi, üretim süreçleri ve yaşam döngüsü hakkında şeffaf bilgiler sunarak birçok Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ne (SKH/SDG) katkı sağlamaktadır. Şekil 1'de yer verildiği üzere DPP'ler, SKH 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15 ve 17 kapsamında sağlık, enerji verimliliği, ekonomik büyüme, sürdürülebilir şehirleşme, sorumlu üretim ve tüketim, iklim eylemi, ekosistem koruma ve paydaş iş birliğini desteklemektedir (Oteng, Asante, Omrany ve Eshun, 2025, s. 6). Dolayısıyla DPP'lerin uygulanması, tedarik zincirlerinde sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan önemli bir teknolojik ilerleme olarak öne çıkmaktadır (Fares, Islam, Jauhar ve Kucukaltan, 2025, s. 2).



Şekil 1: Dijital Ürün Pasaportları ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Kaynak: Oteng ve ark., 2025'ten uyarlanmıştır.

Teknolojik bir yenilik olarak dijital ürün pasaportu, halen gelişmekte olan bir kavramdır. Tedarik zinciri kullanım senaryolarının anlaşılması, bu sistemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi ve tedarik zinciri araştırmaları ile uygulamalarına ilişkin çıkarımların değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Zhang ve Seuring, 2024, s. 2514). Adından da anlaşılacağı üzere dijital ürün pasaportu, fiziksel bir varlık değil; üretici gereksinimlerine göre uyarlanabilen ve ürünün yaşam döngüsü boyunca temel verilerin yakalanması ve depolanmasını sağlayan dijital bir varlıktır (Psarommatis ve May, 2024, s. 5). Bu dijital merkezi yönetim sistemi, ürünlerin verimli ve sürdürülebilir yönetimi için verilerin dinamik bir şekilde aktarılmasını ve birden fazla yaşam döngüsünü kapsayacak biçimde yönetilmesini sağlayan bir araç olarak ele alınmaktadır (Berger ve ark., 2023, s. 355). Bu sayede ürün değer zinciri genelinde şeffaflığın artırılması, tüketicilerin bilgi taleplerinin karşılanması ve mevcut veri eksikliklerinin giderilmesi hedeflenmektedir (European Union, 2024b). Bununla birlikte DPP'ler, yalnızca ürün bazlı veri yönetimiyle sınırlı kalmamakta, liman operasyonları, kuru limanlar ve intermodal terminaller gibi lojistik altyapıları da önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etki, tedarik zinciri bilgilerine erişim ve bu bilgilerin süreçlere entegre edilmesi gerekliliği ile açıklanmaktadır (Lopes ve Barata, 2024, s. 987). Ayrıca, tüm tedarik zinciri boyunca sürekli ve standartlaştırılmış veri paylaşımını sağlayarak departmanlar ve paydaşlar arasındaki bilgi izolasyonunu ortadan kaldırmakta; ürün iadeleri, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi kapsamlı ters lojistik süreçlerini desteklemektedir (Xia, Li, Li, Milisavljevic-Syed ve Salonitis, 2025, s. 3).

3. Literatür Özeti

Literatürde DPP'lerin sunduğu fırsatlar, uygulama alanları ve karşılaşılan zorlukları farklı açılardan değerlendiren çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Adisorn, Tholen ve Götz (2021), DPP'yi döngüsel ekonomiyi destekleyen bir politika aracı olarak incelemiş ve DPP'nin tasarım seçenekleri ile bu seçeneklerin değer zinciri paydaşlarına olası faydalarını analiz etmiştir. Araştırma sonucunda, DPP'nin üretici temelli bilgi derleme yoluyla daha döngüsel ürünler geliştirmeye katkı sağlayabileceğini, ancak bürokrasi, teşvik mekanizmaları ve veri altyapısı konularında daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu ortaya koymuşlardır. Walden, Steinbrecher ve Marinkovic (2021), döngüsel ekonomi stratejilerinde DPP kavramını incelemiş ve dünya ekonomisindeki şeffaflık, standardizasyon ve veri paylaşımı eksikliği gibi engelleri ve dijitalleşmenin bu zorlukları aşmadaki rolünü ele almıştır. Ayrıca, DPP'lerin geliştirilmesi ve benimsenmesiyle ilgili fırsatlar ve zorlukları tartışmıştır. Hulea ve ark. (2024), blok zincir tabanlı DPP'lerin ürün verilerini güvenli, şeffaf ve izlenebilir şekilde yöneterek sürdürülebilirliği ve düzenlemelere uyumu artırabileceğini göstermiştir. DPP'lerin otomotiv, elektronik, inşaat, moda, gıda ve ilaç gibi sektörlerde yaşam döngüsü boyunca ayrıntılı bilgi sağlayabileceğini ancak entegrasyon zorlukları, ölçeklenebilirlik, maliyet ve paydaş iş birliği gerekliliği gibi sınırlamaların bulunduğunu

belirtmiştir. Bununla birlikte, DPP'lerin sürdürülebilirlik ve ürün yönetimindeki potansiyel faydalarının önemine vurgu yapmıştır. Barwasser, Schuseil, Werner, Jung ve Zimmermann (2024), üretim sektöründe DPP uygulamalarının gelecekteki koşullarını ve etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, teknolojik, ekonomik ve sosyal faktörlerin DPP'nin uygulanabilirliğini ve kabulünü nasıl etkilediğini inceleyerek, türetilen senaryolar üzerinden stratejik eylem önerileri sunmuştur.

Wagner (2025), DPP'nin ürün yaşam döngüsü boyunca bilgi akışını iyileştirerek teknik, ekonomik ve sosyal engelleri azaltabileceğini ileri sürmüştür. Oteng ve ark. (2025), Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektöründe DPP kullanımının, sürdürülebilirliği artırarak SKH'lere katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Colasante, D'Adamo, Desideri, Iannilli ve Mangani (2025), DPP'nin yeşil ve dijital dönüşümü destekleyebileceğini, ancak etkinliğinin SKH 12 ile uyumlu olarak çevresel ve sosyoekonomik önlemlere bağlı olduğunu vurgulamıştır. Pulikottil, Rodriguez, Sterkens ve Peeters (2025), insan-robot işbirlikli demontajda kritik DPP bilgilerini ve demontaj kolaylığını değerlendiren ölçütleri incelemiştir. Rumetshofer, Straka ve Fischer (2024), kullanım sonrası içecek şişesi kapaklarının geri dönüştürülme sürecinde dijital ürün pasaportunun uygulanabilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, dijital ürün pasaportunun geri dönüşüm zinciri boyunca malzeme takibini kolaylaştırdığı, veri bütünlüğünü artırdığı ve döngüsel ekonomi uygulamalarına somut katkı sağladığı belirlenmiştir. Hakola, Abedi, Nordman, Smolander ve Paltakari (2025), elektronik değer zincirlerinde dijital ürün pasaportu uygulamalarını pilot ölçekte incelemiştir. Çalışmada iki boyutlu barkodlar ve akıllı etiketler geliştirilerek test edilmiş, ürün yaşam döngüsü boyunca neme maruziyeti izleyen bir göstergenin işlevselliği doğrulanmıştır. Bulgular, dijital ürün pasaportunun ürün izlenebilirliği ve döngüsel stratejilere katkı sağlama potansiyelini göstermiştir.

Pohlmann ve ark. (2024), elektrikli araç bataryaları için özel olarak tasarlanmış DPP'ler için bilgi gereksinimlerini, sürdürülebilirlik ve döngüsellik odağında incelemiştir. Çalışmada, değer zincirindeki farklı paydaşların bakış açıları bir araya getirilerek kritik bilgi boşlukları belirlenmiş ve DPP'lerin sürdürülebilir ve döngüsel ürün yönetimini geliştirme potansiyeli vurgulanmıştır. Hasan ve ark. (2025), elektrikli araç pilleri için blok zinciri tabanlı merkezi olmayan dijital pasaport önererek, izlenebilirlik, değişmezlik ve denetlenebilirlik sorunlarını ele almıştır. Araştırma sonucunda, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri, karbon ayak izi takibi ve döngüsel ekonomi girişimleri için pratik bir çerçeve sunulurken, ölçeklenebilirlik ve canlı dağıtım testleri için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Ducuing ve Reich (2023), döngüsel ekonomiye geçişte DPP uygulamalarını ve veri paylaşımının rolünü incelemiştir. Çalışmada, DPP'lerin ürün değer zincirindeki paydaşlara bilgi sağlama kapasitesine rağmen, veri erişimi, veri kalitesi ve güvenlik sorunları gibi zorluklar ortaya çıktığı vurgulanmıştır. Xia ve ark. (2025), ters tedarik zincirlerinde DPP ve blok zinciri entegrasyonunu içeren bir bilgi paylaşım çerçevesi önermiştir. Sistem dinamikleri modeli ile yapılan değerlendirmeler, çerçevenin yasadışı geri dönüşümü azaltarak çevresel etkileri düşürdüğünü, ileri tedarik zincirindeki etkisini hafiflettiğini ve pazar karşılama oranını artırdığını göstermiştir. Önerilen yaklaşım, ters tedarik zincirinin bilgi verimliliğini artırmak, ömrünü tamamlamış ürünleri kurtarmak ve kritik kaynakların kullanımını optimize ederek döngüsel ekonomiye geçişi desteklemektedir.

Tabata ve Tsai (2025), DPP sistemlerinin döngüsel ekonomide şeffaflık, izlenebilirlik ve döngüsellik desteklediğini, ancak yayınlanan çevresel etkilerin zorunlu bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerektirdiğini ifade etmiştir. Çalışmada, AB'deki DPP uygulamaları incelenmiş, Japonya'daki teknik gelişmeler bir proje üzerinden tanıtılmış ve plastiklerin döngüsel ekonomisindeki rolü ele alınmıştır. Plociennik ve ark. (2022), döngüsel ekonomide paydaşların karşılaştığı bilgi eksikliklerini ele almıştır. Çalışmada, geri dönüşümcüler, üreticiler ve müşterilerin ürünlerin geri dönüştürülebilirliği ve çevresel etkileri hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığı vurgulanmıştır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, ürün yaşam döngüsü boyunca farklı paydaşlar tarafından okunup yazılabilen bir DPP önermişlerdir. Zhang ve Seuring (2024), akademik literatürdeki 82 DPP tedarik zinciri kullanım örneğini analiz ederek, DPP'nin tedarik zinciri yönetiminde değer katabileceği alanları belirlemiştir. Bulgular, DPP'nin hem teorik hem de pratik açıdan sürdürülebilir ve döngüsel tedarik zinciri yönetimini güçlendirme potansiyelini ortaya koymuştur. D'Adamo ve ark. (2025), AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak tekstil sektöründe DPP tasarımına işletme perspektiflerini entegre etmişler ve DPP'lerin rekabet gücünü artırma, sürdürülebilirliği izleme ve döngüsellik teşvik etme potansiyelini araştırmıştır. Bulgular,

DPP'lerin özellikle ürünlerin yeniden kullanımı, onarımı ve geri dönüşümü hakkında bilgiye erişimi kolaylaştırmada stratejik değer taşıdığını göstermiştir.

4. Metodoloji

Araştırma kapsamında ilk olarak elektrikli araç sektöründe dijital ürün pasaportlarına geçişin döngüsel tedarik zinciri süreçlerine potansiyel katkılarının değerlendirilmesine yönelik beş ana kriter ve yirmi alt kriter belirlenmiştir. Ardından, veri toplama formu oluşturulmuş ve elektronik ortamda alanında uzman dokuz karar vericinin değerlendirmesine sunulmuştur. Elde edilen veriler, Sezgisel Bulanık SWARA yöntemi ile analiz edilmiştir. Araştırma kapsamına dahil edilen tüm kriterlere ilişkin detaylı bilgilere Tablo 1-2'de yer verilmiştir.

Tablo 1: Ana Kriter ve Alt Kriterler

Ana Kriter	Alt Kriterler	Kriter Kodu
Teknolojik Uyum ve Dijitalleşme (K1)	Ürün ve bileşen izlenebilirlik altyapısı	T1
	Veri paylaşımı ve güvenliği düzeyi	T2
	Üretim sistemlerinin dijital entegrasyonu	T3
	Bilgi teknolojisi yatırımları / dijital olgunluk	T4
Lojistik Verimlilik ve İzlenebilirlik (K2)	Tedarik zinciri şeffaflığı	L1
	Tersine lojistik yönetimi	L2
	Stok yönetimi ve izlenebilirlik performansı	L3
	Taşımacılıkta karbon ayak izi takibi	L4
Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi (K3)	Batarya geri dönüşümü ve yeniden kullanım kapasitesi	D1
	Ürün yaşam döngüsü yönetimi	D2
	Atık azaltımı ve yeniden kullanım uygulamaları	D3
	Enerji verimliliği ve çevresel performans göstergeleri	D4
Uluslararası Ticaret ve Regülasyon Uyumu (K4)	AB Dijital Ürün Pasaportu mevzuatına hazırlık düzeyi	U1
	Sertifikasyon ve standartlara uyum	U2
	Gümrük süreçlerinde dijital belge yönetimi	U3
	İhracat pazarlarına erişim kolaylığı	U4
Ekonomik ve Stratejik Katma Değer (K5)	Operasyonel maliyetlerde azalma potansiyeli	E1
	Rekabet avantajı ve marka itibarı	E2
	Yatırım ve finansman fırsatlarına erişim	E3
	Pazar payı genişleme potansiyeli	E4

Tablo 1'de ana kriter ve alt kriterlere ilişkin sınıflandırmaya yer verilmiştir. Aynı zamanda, alt kriterlere ait kriter kodları sunulmuştur. K1 ana kriteri T1, T2, T3 ve T4 alt kriterlerinden; K2 ana kriteri L1, L2, L3 ve L4 alt kriterlerinden; K3 ana kriteri D1, D2, D3 ve D4 alt kriterlerinden; K4 ana kriteri U1, U2, U3 ve U4 alt kriterlerinden; K5 ana kriteri ise E1, E2, E3 ve E4 alt kriterlerinden oluşmaktadır.

Tablo 2: Kriterlere İlişkin Açıklamalar

Kriter Kodu	Açıklama	Kaynak
T1	DPP'nin uygulanabilmesi için ürünler ve bileşenlerin dijital olarak takip edilebilmesini sağlar.	Plociennik ve ark., 2022; Hulea ve ark., 2024; Psarommatis ve May, 2024; Hammadi, Merschak, Diallo ve Hehenberger, 2025; Peivaste ve ark., 2025; Xia ve ark., 2025
T2	Tedarik zinciri paydaşları arasında güvenli veri alışverişi ve bütünlüğünü garanti eder.	Hulea ve ark., 2024; Jensen ve ark., 2024; Xia ve ark., 2025; D'Adamo ve ark., 2025; Peivaste ve ark., 2025
T3	Üretim ve lojistik süreçlerinin dijital platformlarla uyumlu çalışmasını destekler.	Psarommatis ve May, 2024; Hulea ve ark., 2024; Hammadi ve ark., 2025; Xia ve ark., 2025
T4	Şirketlerin dijital altyapı ve teknolojiye yaptığı yatırımın yeterliliğini ifade eder.	Jensen ve ark., 2024; Hulea ve ark., 2024
L1	Tedarikçiden son kullanıcıya kadar ürün akışının izlenebilirliğini sağlar.	Jensen, Kristensen, Adamsen, Christensen, ve Waehrens, 2023; Psarommatis ve May, 2024, D'Adamo ve ark., 2025
L2	Kullanılmış ürünlerin geri alınması ve yeniden değerlendirilmesi süreçlerini optimize eder.	Koppelaar ve ark., 2023; Jensen ve ark., 2023; Jensen ve ark., 2024; Psarommatis ve May, 2024; Xia ve ark., 2025, Fares ve ark., 2025
L3	Depo ve stok süreçlerinde ürünlerin doğru ve etkin şekilde takip edilmesini sağlar.	Adisorn ve ark., 2021; Psarommatis ve May, 2024
L4	Lojistik süreçlerinin çevresel etkilerini ölçerek sürdürülebilirlik katkısını artırır.	Lopes ve Barata, 2024; Fares ve ark., 2025; Xia ve ark., 2025
D1	Elektrikli araç bataryalarının çevresel ve ekonomik açıdan geri kazanım potansiyelini ifade eder.	Götz ve ark., 2022; Pulikottil ve ark., 2025
D2	Ürünlerin tasarımından atığa kadar çevresel etkilerini değerlendirmeyi sağlar.	Lopes ve Barata, 2024; Plociennik ve ark., 2022; Panza, Bruno ve Lombardi, 2023; Berger ve ark., 2023; Hulea ve ark., 2024; Psarommatis ve May, 2024; Jensen ve ark., 2024; Xia ve ark., 2025; D'Adamo ve ark., 2025; Wagner, 2025
D3	Malzeme ve kaynakların verimli kullanımını teşvik eder.	Pulikottil ve ark., 2025; Tabata ve Tsai, 2025
D4	Enerji tüketimi ve çevresel etkilerin minimuma indirilmesine katkı sağlar.	Plociennik ve ark., 2022; Götz ve ark., 2022; Panza ve ark., 2023, Hulea ve ark., 2024; Popowicz, Pohlmann, Schöggel ve Baumgartner, 2025; Hammadi ve ark., 2025; Peivaste ve ark., 2025; Tabata ve Tsai, 2025; Xia ve ark., 2025
U1	Sektör paydaşlarının AB Dijital Ürün Pasaportu mevzuatına uyum sürecine yönelik hazırlık düzeyini ifade eder.	Walden ve ark., 2021; Jensen ve ark., 2024; Psarommatis ve May, 2024; Wagner, 2025
U2	Ürün ve süreçlerin uluslararası standartlarla uyumunu garanti eder.	Plociennik ve ark., 2022; Psarommatis ve May, 2024; Wagner, 2025; D'Adamo ve ark., 2025
U3	İhracat ve ithalat süreçlerinde dokümantasyon verimliliğini artırır.	Götz ve ark., 2022
U4	DPP uyumunun uluslararası ticaret avantajına katkısını değerlendirir.	Walden ve ark., 2021
E1	DPP uygulamalarının süreç maliyetlerinin azaltılması üzerindeki etkisini ifade eder.	Psarommatis ve May, 2024; D'Adamo ve ark., 2025
E2	Şirketin pazardaki konumunu ve müşteri güvenini güçlendirir.	Psarommatis ve May, 2024; D'Adamo ve ark., 2025
E3	Bankalar ve finans kuruluşları, DPP ile belgelenmiş sürdürülebilir ürünler için krediler veya uygun finansman paketleri sunabilir.	Jensen-Abieva, Roedding, von Mühlhenen, Alcayaga., 2025, Haase, Lythje, Skouboe ve Petersen, 2025
E4	Yeni pazarlara giriş ve mevcut pazarda büyüme fırsatını destekler.	Jensen ve ark., 2023; Psarommatis ve May, 2024

Tablo 2’de literatür taraması sonucu elde edilen kriterlere ve özet açıklamalarına yer verilmiştir. Bununla birlikte, kriterlerin belirlenmesi aşamasında yararlanılan kaynaklar sunulmuştur. Belirlenen kriterler, alanında uzman dokuz karar verici tarafından değerlendirilmiş olup, ayrıntılı bilgilere Tablo 3’te yer verilmiştir.

Tablo 3: Karar Vericiler Hakkında Bilgiler

Uzman	Tecrübe (Yıl)	Eğitim Seviyesi	Birim	Unvan
KV-1	10+	Doktora	Uluslararası Ticaret ve Lojistik	Akademisyen
KV-2	5+	Lisans	Planlama ve Strateji	Endüstri Mühendisi
KV-3	10+	Lisans	Üretim ve Operasyon	Otomotiv Mühendisi
KV-4	20+	Lisans	Araştırma-Geliştirme	Proje Mühendisi
KV-5	20+	Lisans	Üretim ve Operasyon	Otomotiv Mühendisi
KV-6	20+	Yüksek Lisans	Kalite ve Süreç Geliştirme	Endüstri Mühendisi
KV-7	20+	Doktora	Üretim ve Operasyon	Otomotiv Mühendisi
KV-8	10+	Lisans	Tedarik Zinciri ve Lojistik	Tedarik Zinciri Uzmanı
KV-9	5+	Lisans	Tedarik Zinciri ve Lojistik	Tedarik Zinciri Uzmanı

Uzman değerlendirmesi tamamlandıktan sonra, araştırma kapsamındaki kriterler Sezgisel Bulanık SWARA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analiz sürecinde, kriterlerin göreceli önem düzeylerinin belirlenmesinde Sezgisel Bulanık Sayılar’dan yararlanılmıştır.

4.1. Sezgisel Bulanık Sayılar

Atanassov (1986), belirsizlik durumlarını daha kapsamlı biçimde değerlendirebilmek amacıyla Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets - IFS) yaklaşımını geliştirmiştir. Bu yaklaşım, klasik bulanık kümelerden farklı olarak yalnızca üyelik ve üye olmama derecelerini değil, aynı zamanda tereddüt derecesini de dikkate almaktadır. Böylece, karar vericilerin belirsizlik içeren ortamlarda daha güvenilir ve dengeli sonuçlara ulaşmalarına imkan tanımaktadır. Sezgisel bulanık sayılara ilişkin temel tanımlar ve matematiksel işlemler aşağıda sunulmuştur (Atanassov, 1986; Tezcan, 2021).

Tanım 1: Sabit bir küme X içindeki Sezgisel Bulanık sayı (IFN), \tilde{I} olarak gösterilir. IFN’ler IFS’lerin elemanları olarak ele alınır (Liang, 2020; Ayyildiz, 2022; Ayyildiz vd., 2026):

$$\tilde{I} \cong \{x, \mu_{\tilde{I}}(x), \nu_{\tilde{I}}(x); x \in X\} \quad (1)$$

$\mu_{\tilde{I}}(x): X \mapsto [0,1]$ ve $\nu_{\tilde{I}}(x): X \mapsto [0,1]$ $x \in X$ ögesinin I ögesine göre üyelik ve üye olmama derecelerini temsil eder.

burada,

$$0 \leq \mu_{\tilde{I}}(x) + \nu_{\tilde{I}}(x) \leq 1; x \in X \quad (2)$$

Tereddüt derecesi aşağıdaki gibi belirlenir (Ayyildiz vd., 2026):

$$\pi_{\tilde{I}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{I}}(x) - \nu_{\tilde{I}}(x) \quad (3)$$

Tanım 2: $\alpha = (\mu_{\alpha}, \nu_{\alpha})$ ve $\beta = (\mu_{\beta}, \nu_{\beta})$ iki IFN olmak üzere, bu sayılar üzerinde tanımlanan bazı temel matematiksel işlemler aşağıda sunulmuştur (Xu ve Yager, 2006; Liang, 2020).

$$\alpha \oplus \beta = (\mu_{\alpha} + \mu_{\beta} - \mu_{\alpha}\mu_{\beta}, \nu_{\alpha}\nu_{\beta}) \quad (4)$$

$$\alpha \otimes \beta = (\mu_{\alpha}\mu_{\beta}, \nu_{\alpha} + \nu_{\beta} - \nu_{\alpha}\nu_{\beta}) \quad (5)$$

$$\lambda\alpha = (1 - (1 - \mu_{\alpha})^{\lambda}, \nu_{\alpha}^{\lambda}), \lambda > 0 \quad (6)$$

$$\alpha^{\lambda} = (\mu_{\alpha}^{\lambda}, 1 - (1 - \nu_{\alpha})^{\lambda}), \lambda > 0 \quad (7)$$

Tanım 3: $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha)$ bir IFN olmak üzere, α 'nın puan fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Yan, Zheng ve Wang, 2010; Liang, 2020).

$$S(\alpha) = \mu_\alpha + \mu_\alpha(1 - \mu_\alpha - \nu_\alpha) \quad (8)$$

Tanım 4: $I_j = (\mu_j, \nu_j)$ IFN'leri için Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA) operatörü aşağıdaki gibi hesaplanır (Liang, 2020):

$$\text{IFWA}(I_1, I_2, \dots, I_n) = \bigoplus_{j=1}^n w_j I_j = [1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n \nu_j^{w_j}] \quad (9)$$

burada $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ I_j 'ın ağırlık vektörüdür.

4.2. Sezgisel Bulanık SWARA Yöntemi

SWARA yöntemi, Keršulienė ve ark. (2010) tarafından önerilen, kriterlerin öznel ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan etkili bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımıdır. Bu yöntemde, kriterlerin öznel ağırlıkları genellikle ÇKKV süreci sırasında karar vericilerin yargılarına dayanarak belirlenmektedir (Mishra ve ark., 2020, s. 5). Karar vericiler öncelikle kriterleri görece önem düzeylerine göre sıralamakta, ardından bu sıralamaya bağlı olarak her bir kriterin ağırlığı hesaplanmaktadır. Bu yönüyle SWARA yöntemi, karar verme sürecinin daha sistematik biçimde yürütülmesine katkı sağlayarak, özellikle çok kriterli ve karmaşık problemlerde daha rasyonel ve tutarlı değerlendirmelerin yapılmasını desteklemektedir (Hu, Yu, Jana, Simic ve Bin-Mohsin, 2024, s. 57716). Bu kapsamda, kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel ifadeler ile bunların sayısal karşılıkları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Sezgisel Bulanık SWARA için Ağırlıklandırma Ölçeği

Dilsel Terimler	Sezgisel Bulanık Sayılar	
Kesinlikle Düşük (KD)	0.10	0.80
Çok Düşük (ÇD)	0.20	0.70
Düşük (D)	0.30	0.60
Orta Düzeyde Düşük (ODD)	0.40	0.50
Eşit (E)	0.55	0.40
Orta Düzeyde Yüksek (ODY)	0.65	0.30
Yüksek (Y)	0.75	0.20
Çok Yüksek (ÇY)	0.90	0.05
Kesinlikle Yüksek (KY)	0.99	0.01

Kaynak: Mishra ve ark., 2020; Tezcan, 2021.

SWARA yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesine ilişkin işlem adımları aşağıda sunulmuştur (Mishra ve ark., 2020; Ok, 2026; Ayyıldız vd., 2026; Turgut, 2026):

Adım 1. Tablo 1'de verilen dilbilimsel terimler kullanılarak kriterlerin önemi hakkında uzman görüşleri toplanır.

Adım 2. Uzmanların kriterler hakkındaki görüşleri, her uzmana atanan ağırlık dikkate alınarak Tanım 4'te verilen IFWA operatörü kullanılarak birleştirilir.

Adım 3. Toplanan değerlendirmelerin puan değerleri Tanım 3'e göre hesaplanır.

Adım 4. Kriterler, elde edilen puan değerlerine göre azalan sırada sıralanır.

Adım 5. Her kriterin göreceli önemi (c_j), bir önceki kriterin puan değeri ile ilgili kriterin puan değeri arasındaki fark alınarak belirlenir.

Adım 6. Kriterlere ait karşılaştırmalı katsayılar belirlenir.

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ c_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (10)$$

Adım 7. Yeniden hesaplanan ağırlık katsayıları hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{q^{(j-1)}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (11)$$

Adım 8. Nihai kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (12)$$

4.3. Bulgular

Bu bölümde, çalışma kapsamında elde edilen bulgulara yer verilmiş ve kriterlere ilişkin değerlendirme sonuçları sunulmuştur. Karar vericiler tarafından yapılan ana kriterlere ilişkin dilsel değerlendirmeler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Ana Kriterlere İlişkin Dilsel Değerlendirmeler

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9
K1	ÇY	KY	KY	ÇY	ÇY	KY	ÇY	KY	KY
K2	Y	ÇY	KY	ÇY	KY	Y	ÇY	Y	KY
K3	Y	ÇY	KY	ÇY	ÇY	KY	ÇY	Y	ÇY
K4	Y	Y	KY	KY	ÇY	KY	Y	KY	KY
K5	Y	Y	KY	Y	ÇY	KY	ÇY	ODY	ÇY

Karar vericilerin alt kriterlere ilişkin dilsel değerlendirmelerine Tablo 6'da yer verilmiştir.

Tablo 6: Alt Kriterlere İlişkin Dilsel Değerlendirmeler

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9
T1	Y	ÇY	KY	KY	KY	KY	KY	ODY	ÇY
T2	ÇY	ÇY	KY	KY	ÇY	KY	ÇY	Y	ÇY
T3	Y	ÇY	KY	ÇY	KY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
T4	KY	KY	KY	ÇY	KY	KY	ÇY	ÇY	Y
L1	KY	ÇY	ÇY	ÇY	KY	E	Y	ODD	KY
L2	Y	Y	KY	E	KY	Y	ÇY	D	ÇY
L3	KY	ÇY	KY	ÇY	KY	Y	ÇY	ÇY	ÇY
L4	KY	ÇY	KY	ÇY	KY	KY	ÇY	ÇY	ÇY
D1	ODY	KY	ÇY	ÇY	KY	KY	KY	ODD	ÇY
D2	ÇY	ÇY	KY	ÇY	KY	KY	KY	ÇY	Y
D3	Y	ÇY	KY	ÇY	KY	KY	KY	Y	ÇY
D4	ÇY	Y	KY	ÇY	KY	KY	KY	KY	Y
U1	Y	ÇY	KY	ÇY	KY	KY	ÇY	D	Y
U2	Y	Y	KY	KY	KD	KY	ÇY	ÇY	KY
U3	Y	ODY	KY	ÇY	KY	KY	KY	ÇY	KY
U4	ODY	ODY	KY	ODY	KY	KY	ÇY	ÇY	ÇY
E1	ÇY	Y	KY	Y	KY	ÇY	ODY	KY	ODY
E2	ÇY	ODY	KY	E	KY	ODY	Y	KY	KY
E3	ODY	ODY	KY	ÇY	KY	Y	ÇY	ÇY	Y
E4	ODY	ODY	KY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	KY	ÇY

Karar vericilerin dilsel değerlendirmelerinin ardından hesaplanan ana kriterlere ilişkin puan değerlerine Tablo 7’de yer verilmiştir.

Tablo 7: Toplu Değerlendirme Matrisi – Ana Kriterler

	μ	ν
K1	0,9722	0,0204
K2	0,9370	0,0464
K3	0,9265	0,0476
K4	0,9622	0,0325
K5	0,9065	0,0677

Karar vericilerin dilsel değerlendirmeleri sonrasında hesaplanan alt kriterlere ilişkin puan değerleri Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8: Toplu Değerlendirme Matrisi – Alt Kriterler

	μ	ν		μ	ν
T1	0,9646	0,0291	D3	0,9559	0,0333
T2	0,9486	0,0341	D4	0,9659	0,0278
T3	0,9336	0,0408	U1	0,9294	0,0524
T4	0,9692	0,0239	U2	0,9438	0,0453
L1	0,9259	0,0555	U3	0,9646	0,0291
L2	0,8806	0,0922	U4	0,9295	0,0531
L3	0,9486	0,0341	E1	0,9248	0,0593
L4	0,9641	0,0245	E2	0,9379	0,0535
D1	0,9496	0,0385	E3	0,9029	0,0709
D2	0,9602	0,0285	E4	0,9123	0,0607

Sezgisel Bulanık SWARA yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen ana kriterlere ilişkin skor değerleri ve nihai ağırlıklara Tablo 9’da yer verilmiştir.

Tablo 9: Sezgisel Bulanık SWARA Sonuçları – Ana Kriterler

Kriter	Skor	c_j	k_j	q_j	W_i
K1	0,9793		1	1	0,2047
K4	0,9673	0,0120	1,0120	0,9881	0,2023
K2	0,9525	0,0148	1,0148	0,9737	0,1993
K3	0,9505	0,0020	1,0020	0,9718	0,1989
K5	0,9299	0,0207	1,0207	0,9521	0,1949

Ana kriterlerin nihai ağırlıkları hesaplandıktan sonra, kriterlerin göreceli önceliklerini gösteren nihai sıralamaları belirlenmiş ve bu değerlere Tablo 10’da yer verilmiştir.

Tablo 10: Ana Kriterlerin Sıralaması

Kriter	Sıra
Teknolojik Uyum ve Dijitalleşme (K1)	1
Uluslararası Ticaret ve Regülasyon Uyumu (K4)	2
Lojistik Verimlilik ve İzlenebilirlik (K2)	3
Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik (K3)	4
Ekonomik ve Stratejik Katma Değer (K5)	5

Tablo 10 incelendiğinde, ana kriterler arasında K1 kodlu “Teknolojik Uyum ve Dijitalleşme” kriterinin en yüksek önem derecesine sahip olduğu görülmektedir. Bunu, ikinci sırada yer alan K4 kodlu “Uluslararası Ticaret ve Regülasyon Uyumu” kriteri izlemektedir. Üçüncü sırada K2 kodlu “Lojistik

Verimlilik ve İzlenebilirlik”, dördüncü sırada ise K3 kodlu “Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik” kriteri yer almaktadır. K5 kodlu “Ekonomik ve Stratejik Katma Değer” kriteri ise görece daha düşük öncelikle beşinci sırada konumlanmıştır.

Sezgisel Bulanık SWARA yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen alt kriterlere ilişkin skor değerleri ve bu kriterlerin ağırlıkları, Tablo 11’de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 11: Sezgisel Bulanık SWARA Sonuçları – Alt Kriterler

Kriter	Skor	c_j	k_j	q_j	Wi
T4	0,9759		1	1	0,2522
T1	0,9707	0,0053	1,0053	0,9948	0,2508
T2	0,9650	0,0057	1,0057	0,9892	0,2494
T3	0,9575	0,0075	1,0075	0,9818	0,2476
L4	0,9751		1	1	0,2570
L3	0,9650	0,0101	1,0101	0,9900	0,2544
L1	0,9431	0,0219	1,0219	0,9688	0,2489
L2	0,9046	0,0385	1,0385	0,9328	0,2397
D4	0,9720		1	1	0,2511
D2	0,9710	0,0009	1,0009	0,9991	0,2509
D3	0,9663	0,0048	1,0048	0,9943	0,2497
D1	0,9609	0,0054	1,0054	0,9890	0,2483
U3	0,9707		1	1	0,2541
U2	0,9541	0,0166	1,0166	0,9837	0,2500
U1	0,9463	0,0078	1,0078	0,9761	0,2480
U4	0,9456	0,0006	1,0006	0,9754	0,2479
E2	0,9459		1	1	0,2522
E1	0,9396	0,0064	1,0064	0,9936	0,2506
E4	0,9369	0,0027	1,0027	0,9910	0,2499
E3	0,9266	0,0103	1,0103	0,9809	0,2474

Alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasının ardından, kriterlerin göreceli önceliklerini gösteren nihai ağırlıkları ve sıralamaları belirlenmiş ve bu değerler Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12: Alt Kriterin Sıralaması

Kriter	Nihai Ağırlıklar	Sıra	Kriter	Nihai Ağırlıklar	Sıra
Bilgi teknolojisi yatırımları / dijital olgunluk (T4)	0,0516	1	Enerji verimliliği ve çevresel performans göstergeleri (D4)	0,0499	11
Gümrük süreçlerinde dijital belge yönetimi (U3)	0,0514	2	Ürün yaşam döngüsü yönetimi (D2)	0,0499	12
Ürün ve bileşen izlenebilirlik altyapısı (T1)	0,0513	3	Atık azaltımı ve yeniden kullanım uygulamaları (D3)	0,0497	13
Taşımacılıkta karbon ayak izi takibi (L4)	0,0512	4	Tedarik zinciri şeffaflığı (L1)	0,0496	14
Veri paylaşımı ve güvenliği düzeyi (T2)	0,0511	5	Batarya geri dönüşümü ve yeniden kullanım kapasitesi (D1)	0,0494	15
Stok yönetimi ve izlenebilirlik performansı (L3)	0,0507	6	Rekabet avantajı ve marka itibarı (E2)	0,0491	16

Üretim sistemlerinin dijital entegrasyonu (T3)	0,0507	7	Operasyonel maliyetlerde azalma potansiyeli (E1)	0,0488	17
Sertifikasyon ve standartlara uyum (U2)	0,0506	8	Pazar payı genişleme potansiyeli (E4)	0,0487	18
AB Dijital Ürün Pasaportu mevzuatına hazırlık düzeyi (U1)	0,0502	9	Yatırım ve finansman fırsatlarına erişim (E3)	0,0482	19
İhracat pazarlarına erişim kolaylığı (U4)	0,0501	10	Tersine lojistik yönetimi (L2)	0,0478	20

Tablo 12’de sunulan sonuçlara göre, alt kriterler arasında en yüksek öneme sahip olan kriterin 0,0516 ağırlık değeriyle “Bilgi Teknolojisi Yatırımları/Dijital Olgunluk (T4)” olduğu görülmektedir. Bu bulgu, dijital altyapıya yapılan yatırımların ve kurumsal dijital olgunluk düzeyinin genel değerlendirme sisteminde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

İkinci sırada 0,0514 ağırlık ile “Gümrük Süreçlerinde Dijital Belge Yönetimi (U3)”, üçüncü sırada ise 0,0513 ağırlık ile “Ürün ve Bileşen İzlenebilirlik Altyapısı (T1)” yer almaktadır. Bu iki kriterin yüksek önem düzeyleri, dijital veri yönetimi ve izlenebilirlik altyapılarının tedarik zinciri performansındaki kritik rolünü ortaya koymaktadır. Dördüncü sırada “Taşımacılıkta Karbon Ayak İzi Takibi (L4)” (0,0512), beşinci sırada ise “Veri Paylaşımı ve Güvenliği Düzeyi (T2)” (0,0511) kriterleri bulunmakta olup, bu sonuçlar çevresel performans ve bilgi güvenliği boyutlarının da dijital dönüşüm süreciyle bütünleşik şekilde değerlendirildiğine işaret etmektedir. Bunu takiben, “Stok Yönetimi ve İzlenebilirlik Performansı (L3)” ve “Üretim Sistemlerinin Dijital Entegrasyonu (T3)” kriterleri 0,0507 ağırlık ile benzer önem düzeylerinde sıralanmıştır. “Sertifikasyon ve Standartlara Uyum (U2)” (0,0506), “AB Dijital ürün pasaportu Mevzuatına Hazırlık Düzeyi (U1)” (0,0502) ve “İhracat Pazarlarına Erişim Kolaylığı (U4)” (0,0501) kriterleri sırasıyla sekizinci, dokuzuncu ve onuncu sırada yer alarak, uluslararası regülasyonlara ve piyasa erişimine ilişkin faktörlerin de dikkate değer bir ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir.

Orta önem düzeyinde konumlanan kriterler arasında, “Enerji Verimliliği ve Çevresel Performans Göstergeleri (D4)” ile “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (D2)” (her ikisi de 0,0499) öne çıkmaktadır. Bunları “Atık Azaltımı ve Yeniden Kullanım Uygulamaları (D3)” (0,0497), “Tedarik Zinciri Şeffaflığı (L1)” (0,0496) ve “Batarya Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanım Kapasitesi (D1)” (0,0494) takip etmektedir. Göreli olarak daha düşük ağırlığa sahip kriterler arasında “Rekabet Avantajı ve Marka İtibarı (E2)” (0,0491), “Operasyonel Maliyetlerde Azalma Potansiyeli (E1)” (0,0488), “Pazar Payı Genişleme Potansiyeli (E4)” (0,0487) ve “Yatırım ve Finansman Fırsatlarına Erişim (E3)” (0,0482) yer almaktadır. Son sırada ise 0,0478 ağırlık değeriyle “Tersine Lojistik Yönetimi (L2)” kriteri bulunmakta olup, bu durum tersine lojistik süreçlerinin diğer kriterlere kıyasla daha düşük bir önceliğe sahip olduğunu göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Dijital Ürün Pasaportlarının (DPP), döngüsel tedarik zincirlerinde izlenebilirlik ve sürdürülebilirliği artırarak elektrikli araç sektörü gibi karmaşık endüstrilerde geri dönüşüm ve tersine lojistik uygulamalarını destekleyeceği; ayrıca uluslararası ticarete şeffaflık ve mevzuata uyumu güçlendireceği öngörülmektedir. Türkiye’de henüz uygulanmayan, ancak Avrupa Birliği’nde 19 Temmuz 2026 tarihinde yürürlüğe girmesi planlanan DPP uygulamasının (European Union, 2024a) Türkiye’nin AB ile yoğun ticari ilişkileri dikkate alındığında ulusal tedarik zincirleri üzerinde önemli etkiler yaratması beklenmektedir. Bu kapsamda çalışmada, elektrikli araç sektöründe DPP’lerin döngüsel tedarik zinciri süreçlerine olası katkıları, çok kriterli karar verme yöntemlerinden Sezgisel Bulanık SWARA yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma çerçevesinde beş ana kriter ve yirmi alt kriter belirlenmiş; uzman görüşleri doğrultusunda bu kriterlerin görece önem ağırlıkları hesaplanarak öncelik sıralaması ortaya konmuştur.

Analiz sonuçlarına göre, ana kriterler arasında en yüksek önem düzeyine K1 kodlu “Teknolojik Uyum ve Dijitalleşme” kriterinin sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dijital dönüşüm ve teknolojik entegrasyonun değerlendirme kapsamında belirleyici bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. K1

kriterini ikinci sırada K4 kodlu “Uluslararası Ticaret ve Regülasyon Uyumu” kriteri izlemektedir. Bu bulgu, küresel ticaret normları ve düzenlemelerine uyumun, özellikle sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ve ihracat potansiyeli açısından kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Üçüncü sırada yer alan K2 kodlu “Lojistik Verimlilik ve İzlenebilirlik” kriteri ise operasyonel etkinlik ile tedarik zinciri şeffaflığının öncelikli değerlendirme alanları arasında bulunduğunu ortaya koymaktadır. Dördüncü sırada bulunan K3 kodlu “Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik” kriteri, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynak verimliliğinin artırılması açısından önem taşımakla birlikte, diğer kriterlere kıyasla daha düşük bir ağırlığa sahiptir. Son sırada yer alan K5 kodlu “Ekonomik ve Stratejik Katma Değer” kriteri ise ekonomik fayda ve stratejik kazanımların önemli görülmesine rağmen, mevcut analiz kapsamında teknolojik, lojistik ve mevzuata ilişkin unsurların gerisinde değerlendirildiğini göstermektedir. Genel olarak bu sıralama, dijitalleşme ve uluslararası uyumun sistemin öncelik yapısını şekillendiren temel unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma kapsamında değerlendirilen alt kriterler incelendiğinde, K1 kodlu “Teknolojik Uyum ve Dijitalleşme” ana kriteri altında yer alan “Bilgi teknolojisi yatırımları / dijital olgunluk (T4)” alt kriterinin hem grup içi hem de genel sıralamada ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bu durum, dijital ürün pasaportlarının etkin biçimde uygulanabilmesinde dijital altyapı ve kurumsal dijital olgunluk düzeyinin belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Jensen ve ark. (2024), DPP sistemlerinin yüksek kaliteli veri toplama, analiz ve yönetim süreçlerine dayandığını belirtirken, D’Adamo ve ark. (2025) bu sürecin güçlü bir dijital altyapı ile desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, “Ürün ve bileşen izlenebilirlik altyapısı (T1)” alt kriterinin üst sıralarda yer alması, izlenebilirlik, veri bütünlüğü ve şeffaflığın döngüsel tedarik zinciri süreçlerindeki önemini göstermektedir. Bu bulgu, DPP’lerin yapay zekâ destekli veri yönetimiyle bütünleşmesinin izlenebilirliği artıracaklarını ortaya koyan Hulea ve ark. (2024) ile ürün yaşam döngüsü boyunca güvenilir veri akışının paydaşlar arası güveni güçlendirdiğini ifade eden Psarommatis ve May’in (2024) değerlendirmeleriyle örtüşmektedir. “Veri paylaşımı ve güvenliği düzeyi (T2)” alt kriterine verilen önem, DPP uygulamalarında güvenli veri yönetiminin temel bir gereklilik olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Nitekim D’Adamo ve ark. (2025), veri güvenliğinin ve verinin değiştirilemezliğinin sağlanmasında blokzincir teknolojisinin önemli katkılar sunduğunu vurgulamaktadır. Öte yandan, “Üretim sistemlerinin dijital entegrasyonu (T3)” alt kriterine ilişkin bulgular, DPP sistemlerinin mevcut üretim süreçleriyle uyumlu biçimde entegre edilmesinin uygulama başarısı açısından önemli bir unsur olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Psarommatis ve May’in (2024) DPP’nin benimsenme sürecinde teknik destek ve entegrasyon altyapısına ilişkin değerlendirmeleriyle paralellik göstermektedir.

K2 kodlu “Lojistik Verimlilik ve İzlenebilirlik” ana kriterine ait alt kriterler değerlendirildiğinde, “Taşımacılıkta karbon ayak izi takibi (L4)” alt kriterinin grup içi sıralamada ilk, genel sıralamada ise dördüncü sırada yer aldığı görülmektedir. Bu sonuç, DPP’lerin lojistik süreçlerde çevresel performansın izlenmesi açısından önemli bir işleve sahip olduğunu göstermektedir. Lopes ve Barata (2024), ürün taşımacılığı ve lojistiğine ilişkin çevresel verilerin DPP açısından kritik olduğunu vurgularken, Fares ve ark. (2025) DPP’lerin ürün yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliği destekleyen kapsamlı veri sağladığını belirtmektedir. Ayrıca, Avrupa Komisyonu’nun elektrikli araç ve endüstriyel pillere yönelik dijital pil pasaportu uygulamasını zorunlu hale getirmesi de bu yaklaşımı desteklemektedir (Fares ve ark., 2025). “Stok yönetimi ve izlenebilirlik performansı (L3)” alt kriterinin üst sıralarda yer alması, DPP’nin yalnızca ürün izlenebilirliği değil, aynı zamanda kaynakların etkin yönetimi açısından da stratejik bir araç olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, Adisorn ve ark. (2021) DPP’yi, değerli ikincil hammaddelerin yönetimini destekleyen bir sistem olarak ifade etmektedir. “Tedarik zinciri şeffaflığı (L1)” alt kriterine ilişkin bulgular ise DPP’lerin ürün kökeni, malzeme yapısı ve süreç bilgilerini görünür kılarak tedarik zinciri boyunca şeffaflığı artırdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, D’Adamo ve ark. (2025) ile Jensen ve ark. (2024) tarafından vurgulanan izlenebilirlik, veri akışı ve sürdürülebilirlik uyumu ile paralellik göstermektedir. Son olarak, “Tersine lojistik yönetimi (L2)” alt kriteri grup içi ve genel sıralamada son sırada yer almakla birlikte, kriterler arasındaki ağırlık farkının sınırlı olması tüm alt kriterlerin DPP uygulamaları açısından önem taşıdığını göstermektedir. Nitekim Jensen ve ark. (2023), tersine lojistik süreçlerinde yüksek kaliteli ürün verisine erişimin kaynak döngülerinin kapatılması açısından kritik olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde Fares ve ark. (2025), DPP’lerin veri temelli karar alma süreçlerini destekleyerek kaynak yönetimi ve yeniden kullanım uygulamalarına

katkı sağladığını, ürünlerin sökülme, yeniden kullanım ve geri kazanım süreçlerini destekleyerek atıkların azaltılması ve ürün ömrünün uzatılmasına olanak tanıdığını ifade etmektedir.

K3 kodlu “Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik” ana kriterine ait alt kriterler değerlendirildiğinde, “Enerji verimliliği ve çevresel performans göstergeleri (D4)” alt kriterinin grup içi sıralamada ilk sırada, genel sıralamada ise on birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Bu bulgu, enerji verimliliği ve çevresel performans göstergelerinin DPP’nin sürdürülebilirlik boyutunun temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Artan çevresel farkındalık ve sürdürülebilirlik bilincinin tüketici tercihleri üzerindeki belirleyici etkisi dikkate alındığında, işletmelerin çevresel performanslarını görünür kılan uygulamalara yönelmesi önem kazanmaktadır (Ok, 2025). Bu kapsamda Hammadi ve ark. (2025), DPP kullanımının çevresel performansın iyileştirilmesi ve çevresel düzenlemelere uyumun sağlanmasına katkı sunduğunu, ürünlere ilişkin çevresel verilerin erişilebilir hale gelmesiyle tüketici güvenini artırarak sürdürülebilir ürünlerin benimsenmesini desteklediğini belirtmektedir. Ayrıca Panza ve ark. (2023), dijital dönüşüm süreçlerinin enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji uygulamalarıyla birlikte ele alınmasının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada tamamlayıcı bir unsur olduğunu ifade etmektedir. “Ürün yaşam döngüsü yönetimi (D2)” alt kriterinin üst sıralarda yer alması, DPP’nin ürün yaşam döngüsü boyunca bilgi akışını destekleyerek izlenebilirlik, şeffaflık ve çevresel uyumu güçlendirdiğini göstermektedir (Hulea ve ark., 2024; Wagner, 2025). Benzer şekilde, “Atık azaltımı ve yeniden kullanım uygulamaları (D3)” alt kriterine ilişkin bulgular, DPP’nin geri dönüştürülebilirlik, kaynak verimliliği ve döngüsellik hedeflerini destekleyen bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, DPP’nin ürün sürdürülebilirliğini artıran ve döngüsel ekonomi uygulamalarını destekleyen yapısına ilişkin literatürle örtüşmektedir (Tabata ve Tsai, 2025; Pulikottil ve ark., 2025). “Batarya geri dönüşümü ve yeniden kullanım kapasitesi (D1)” alt kriterinin genel sıralamada üst sıralarda yer alması, özellikle elektrikli araç sektöründe DPP’nin batarya geri dönüşümü ve yeniden kullanım süreçlerindeki stratejik rolünü ortaya koymaktadır. Nitekim Götz ve ark. (2022) ile Pulikottil ve ark. (2025), DPP’nin geri dönüşüm performansının izlenmesi, sürdürülebilirlik verilerinin yönetilmesi ve ürün yaşam döngüsü boyunca geri kazanım süreçlerinin desteklenmesinde önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

K4 kodlu “Uluslararası Ticaret ve Regülasyon Uyumunu” ana kriterine ait alt kriterler değerlendirildiğinde, “Gümrük süreçlerinde dijital belge yönetimi (U3)” alt kriterinin grup içi sıralamada ilk, genel sıralamada ise ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Bu bulgu, DPP’lerin uluslararası ticarete izlenebilirlik, şeffaflık ve mevzuata uyum açısından önemli bir araç olarak değerlendirildiğini göstermektedir. DPP kapsamında ürünle fiziksel olarak ilişkilendirilen veri taşıyıcıları aracılığıyla dijital pasaporta erişimin sağlanması ve ürün verilerinin güvenli biçimde saklanması, ürün yaşam döngüsünün izlenmesini kolaylaştırmakta ve düzenleyici denetimleri desteklemektedir. Avrupa Komisyonu’nun gümrük süreçlerinde kullanılmak üzere merkezi bir dijital kayıt yapısı önerisi de bu yaklaşımı desteklemektedir (Götz ve ark., 2022). “Sertifika ve standartlara uyum (U2)” alt kriterinin üst sıralarda yer alması, DPP uygulamalarında veri yönetimi, güvenlik ve gizlilik açısından endüstri standartlarıyla uyumun kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Psarommatis ve May (2024), bu uyumun sistemler arası birlikte çalışabilirliği desteklediğini ve ürünlerin uluslararası pazarlardaki uygulanabilirliğini artırdığını belirtmektedir. “AB dijital ürün pasaportu mevzuatına hazırlık düzeyi (U1)” alt kriterine ilişkin bulgular ise DPP’nin ürün yaşam döngüsünün dijitalleştirilmesi yoluyla döngüsel ekonomi hedeflerini desteklediğini göstermektedir. Bu sonuç, DPP’nin dijital kimlik, ürün veri yönetimi ve sürdürülebilirlik stratejilerinin mevzuata uyum çerçevesinde değerlendirilmesine ilişkin Walden ve ark. (2021) ile Psarommatis ve May’in (2024) görüşleriyle örtüşmektedir. “İhracat pazarlarına erişim kolaylığı (U4)” alt kriterinin grup içi ve genel sıralamada son sırada yer almasına rağmen, DPP uygulamalarının ürünlere ilişkin sürdürülebilirlik ve uygunluk bilgilerinin doğrulanmasını kolaylaştırarak uluslararası pazarlara erişimi desteklediği değerlendirilmektedir. Bu durum, DPP’nin yeniden kullanım, geri kazanım ve sürdürülebilir üretim uygulamalarıyla birlikte ürünlerin küresel pazarlardaki rekabet gücünü artırabileceğini ortaya koymaktadır (Walden ve ark., 2021).

K5 kodlu “Ekonomik ve Stratejik Katma Değer” ana kriterine ait alt kriterler değerlendirildiğinde, “Rekabet avantajı ve marka itibarı (E2)” alt kriterinin grup içi sıralamada ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bu bulgu, DPP’lerin firmalara yalnızca operasyonel değil, aynı zamanda stratejik düzeyde de katkı sağlayabileceğini göstermektedir. DPP gibi dijital izlenebilirlik araçlarının tedarik

zinciri görünürlüğü artırması, bilgi izlenebilirliğini güçlendirmesi ve sürdürülebilir üretim uygulamalarını desteklemesi, işletmelerin rekabet gücü ile marka değerini olumlu yönde etkileyebilmektedir (D’Adamo ve ark., 2025). Benzer şekilde Psarommatis ve May (2024), DPP uygulamalarının üreticilere daha sürdürülebilir ve kaliteli ürün sunma imkânı sağlayarak pazarda rekabet avantajı oluşturduğunu vurgulamaktadır. “Operasyonel maliyetlerde azalma potansiyeli (E1)” alt kriterine ilişkin bulgular, DPP sistemlerinin uzun vadede verimlilik artışı sağlayabilme potansiyeline rağmen, ilk yatırım ve uygulama maliyetlerinin özellikle küçük ölçekli işletmeler açısından önemli bir sınırlılık oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, DPP’nin yaygınlaşma sürecinde finansal destek mekanizmalarının önemine işaret etmektedir (Psarommatis ve May, 2024; D’Adamo ve ark., 2025). “Pazar payı genişleme potansiyeli (E4)” alt kriterinin değerlendirme sonuçları, DPP’nin ürün verilerinin standardizasyonu yoluyla işletmelerin yeni pazarlara erişimini ve pazardaki görünürlüğü destekleyebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Avrupa pazarında sürdürülebilir ve dijital ürün yönetimine yönelik dönüşümle uyumludur (Jensen ve ark., 2023). Son olarak, “Yatırım ve finansman fırsatlarına erişim (E3)” alt kriterine ilişkin bulgular, başlangıç maliyetlerine rağmen DPP uygulamalarının uzun vadede operasyonel verimlilik, mevzuata uyum ve yeni iş fırsatları yoluyla ekonomik değer yaratma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Jensen-Abieva ve ark., 2025). Benzer şekilde Haase ve ark. (2025), DPP ve döngüsel ekonomi uygulamalarının üretim çeşitliliğini artırma ve yatırımı teşvik etme açısından stratejik katkılar sunabileceğini belirtmektedir.

Sonuç olarak, dijital ürün pasaportları, ürün yaşam döngüsü boyunca şeffaflık, izlenebilirlik ve sürdürülebilirliği destekleyen önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. DPP uygulamalarının döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir üretim uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlayarak uluslararası ticarete şeffaflığı artırabileceği ve sektörler arası iş birliğini güçlendirebileceği değerlendirilmektedir (European Union, 2024b). Gelecek çalışmalarda, DPP’nin döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir tedarik zinciri üzerindeki uzun dönemli etkileri simülasyon, vaka analizi ve modelleme yöntemleriyle incelenebilir. Bununla birlikte, DPP’nin uluslararası ticaret ve lojistik süreçlerine etkilerinin, özellikle gümrük süreçleri, sınır ötesi izlenebilirlik ve tedarik zinciri entegrasyonu çerçevesinde ele alınması literatüre önemli katkılar sağlayabilir. Ayrıca, DPP’nin farklı sektörlerde uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, gelecekteki araştırmalar açısından önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır.

Kaynakça

- Adisorn, T., Tholen, L., & Götz, T. (2021). Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy. *Energies*, 14(8), 2289. <https://doi.org/10.3390/en14082289>
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 20, 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Ayyildiz, E., Erdoğan, M., & Gul, M. (2026). An integrated intuitionistic fuzzy framework for emergency response center location planning in industrial areas. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 100813. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2025.100813>
- Ayyildiz, E. (2022). Fermatean fuzzy step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and its application to prioritizing indicators to achieve sustainable development goal-7. *Renewable Energy*, 193, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.021>
- Bakkal, S., & Kabadayı, N. (2025). Döngüsel tedarik zinciri uygulamalarının önündeki engellerin küresel bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmesi: akü sektöründe bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 17-36. doi: 10.5505/pajes.2024.08555
- Barwasser, A., Schuseil, F., Werner, A., Jung, M., & Zimmermann, N. (2024). The Digital Product Passport: Scenario-based Recommendations for the Manufacturing Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19), 1186-1191. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.097>
- Baumgartner, R. J., Berger, K., & Schögl, J. P. (2024). Digital technologies for sustainable product management in the circular economy. *Digit. Sustain*, 121. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61749-2_7
- Berger, K., Rusch, M., Pohlmann, A., Popowicz, M., Geiger, B. C., Gursch, H., ... & Baumgartner, R. J. (2023). Confidentiality-preserving data exchange to enable sustainable product management

- via digital product passports-a conceptualization. *Procedia CIRP*, 116, 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.060>
- Colasante, A., D'Adamo, I., Desideri, S., Iannilli, M., & Mangani, V. (2025). Environmental Concerns in the Fashion Industry: A Twin Transition With the Digital Product Passport. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.70078>
- D'Adamo, I., Fratocchi, L., Grosso, C., & Tavana, M. (2025). An Integrated Business Strategy for the Twin Transition: Leveraging Digital Product Passports and Circular Economy Models. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.70065>
- Ducuing, C., & Reich, R. H. (2023). Data governance: Digital product passports as a case study. *Competition and Regulation in Network Industries*, 24(1), 3-23. <https://doi.org/10.1177/1783591723115279>
- European Union (2024a). REGULATION (EU) 2024/1781 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746> (Erişim Tarihi: 26.10.2025).
- European Union (2024b). EU's Digital Product Passport: Advancing transparency and sustainability. <https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability> (Erişim Tarihi: 14.10.2025).
- Fares, N., Islam, M. S., Jauhar, S. K., & Kucukaltan, B. (2025). Towards an International Digital Product Passport: The New Paradigm of a Worldwide Circular Economy. *Circular Economy and Sustainability*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00690-5>
- Götz, T., Berg, H., Jansen, M., Adisorn, T., Cembrero, D., Markkanen, S., & Chowdhury, T. (2022). Digital Product Passport: the ticket to achieving a climate neutral and circular European economy?.
- Haase, L. M., Lythje, L. S., Skouboe, E. B., & Petersen, M. L. (2025). More than Legislation: The Strategic Benefits and Incentives for Companies to Implement the Digital Product Passport. *Journal of Circular Economy*, 2(2). <https://doi.org/10.55845/CAXG2280>
- Hakola, L., Abedi, F., Nordman, S., Smolander, M., & Paltakari, J. (2025). Smart Tags as Enablers for Digital Product Passports in Circular Electronics Value Chains. *Circular Economy and Sustainability*, 5(3), 2033-2055. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00500-y>
- Hammadi, M., Merschak, S., Diallo, T. M., & Hehenberger, P. (2025). CEF-DPP: A Circular Economy Framework Integrating Digital Product Passport for Improving Circularity of Sustainable Mechatronics Design. *Circular Economy and Sustainability*, 1-33. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00550-2>
- Hasan, H. R., Salah, K., Mayyas, A., Musamih, A., Yaqoob, I., Omar, M., & Jayaraman, R. (2025). Using composable NFTs and blockchain for the creation of EV battery digital passports with sustainability and traceability features. *Sustainable Futures*, 100847. <https://doi.org/10.1016/j.sfir.2025.100847>
- Hu, L., Yu, Q., Jana, C., Simic, V., & Bin-Mohsin, B. (2024). An intuitionistic fuzzy SWARA-AROMAN decision-making framework for sports event management. *Ieee Access*, 12, 57711-57726. DOI: [10.1109/ACCESS.2024.3377099](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3377099)
- Hulea, M., Miron, R., & Muresan, V. (2024). Digital product passport implementation based on multi-blockchain approach with decentralized identifier provider. *Applied Sciences*, 14(11), 4874. <https://doi.org/10.3390/app14114874>
- Jensen, S. F., Kristensen, J. H., Adamsen, S., Christensen, A., & Waehrens, B. V. (2023). Digital product passports for a circular economy: Data needs for product life cycle decision-making. *Sustainable Production and Consumption*, 37, 242-255. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.021>

- Jensen, S. F., Kristensen, J. H., Christensen, A., & Waehrens, B. V. (2024). An ecosystem orchestration framework for the design of digital product passports in a circular economy. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), 7100-7117. <https://doi.org/10.1002/bse.3868>
- Jensen-Abieva, E., Roedding, T.L., von Mühlénen, A., Alcayaga, A. (2025). The Economics of Digital Product Passports From Materials to Market. CircularTech-the Global Digital Product Passport Community.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.
- Koppelaar, R. H., Pamidi, S., Hajósi, E., Herreras, L., Leroy, P., Jung, H. Y., ... & Fontana, A. (2023). A digital product passport for critical raw materials reuse and recycling. *Sustainability*, 15(2), 1405. <https://doi.org/10.3390/su15021405>
- Liang, Y. (2020). An EDAS method for multiple attribute group decision-making under intuitionistic fuzzy environment and its application for evaluating green building energy-saving design projects. *Symmetry*, 12(3), 484. <https://doi.org/10.3390/sym12030484>
- Lopes, C., & Barata, J. (2024). Digital product passport: a review and research agenda. *Procedia Computer Science*, 246, 981-990. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.517>
- Mishra, A. R., Rani, P., Pandey, K., Mardani, A., Streimikis, J., Streimikiene, D., & Alrasheedi, M. (2020). Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA–COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*, 12(10), 4155. <https://doi.org/10.3390/su12104155>
- Ok, Ş. (2026). Carbon Communication Quality in Sustainability Marketing: Development of the C-Comm Index Using a Fuzzy SWARA Framework. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 61(1), 497-515. <https://doi.org/10.63556/tisej.2026.1775>
- Ok, Ş. (2025). Young consumers behaviour: The mediating role of brand trust in the effect of attitude towards sustainable products on purchase intention. *Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 15(1), 308-330. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1614056>
- Oteng, D., Asante, R., Omrany, H., & Eshun, B. T. (2025). Achieving the UN Sustainability Goals: The Role of Digital Product Passports in the Architecture, Engineering and Construction Industry. In *CIB Conferences* (Vol. 1, No. 1, p. 163). <https://doi.org/10.7771/3067-4883.1916>
- Panza, L., Bruno, G., & Lombardi, F. (2023). Integrating absolute sustainability and social sustainability in the digital product passport to promote industry 5.0. *Sustainability*, 15(16), 12552. <https://doi.org/10.3390/su151612552>
- Peivaste, I., Belouettar, S., Mercuri, F., Fantuzzi, N., Dehghani, H., Izadi, R., ... & Daouadji, A. (2025). Artificial intelligence in materials science and engineering: Current landscape, key challenges, and future trajectories. *Composite Structures*, 119419. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2025.119419>
- Plociennik, C., Pourjafarian, M., Saleh, S., Hagedorn, T., Carmo Precci Lopes, A. D., Vogelgesang, M., ... & Ciroth, A. (2022). Requirements for a Digital Product Passport to Boost the Circular Economy. *INFORMATIK 2022*. DOI: [10.18420/inf2022_127](https://doi.org/10.18420/inf2022_127)
- Pohlmann, A., Popowicz, M., Schöggel, J. P., Bachler, J., Keler, J., & Baumgartner, R. J. (2024). Conceptualization of a digital product passport to enable circular and sustainable automotive value chains—the combustion engine use case. *Procedia CIRP*, 122, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.025>
- Popowicz, M., Pohlmann, A., Schöggel, J. P., & Baumgartner, R. J. (2025). Digital Product Passports as Information Providers for Consumers—The Case of Digital Battery Passports. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.4346>

- Psarommatis, F., & May, G. (2024). Digital product passport: a pathway to circularity and sustainability in modern manufacturing. *Sustainability*, 16(1), 396. <https://doi.org/10.3390/su16010396>
- Pulikottil, T., Rodriguez, N. B., Sterkens, W., & Peeters, J. R. (2025). Ease of robotic disassembly metric and information for digital product passports in flexible remanufacturing systems. *Sustainable Production and Consumption*, 58, 123-139. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.06.008>
- Rumetshofer, T., Straka, K., & Fischer, J. (2024). How the digital product passport can lead the plastics industry towards a circular economy—a case study from bottle caps to Frisbees. *Polymers*, 16(10), 1420. <https://doi.org/10.3390/polym16101420>
- Tabata, T., & Tsai, P. (2025). The Role of Life Cycle Assessments in Digital Product Passport Implementation for Building a Plastic Circular Economy. *Circular Economy and Sustainability*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00552-0>
- Tezcan, M. C. (2021). Düşük Maliyetli Bir Türk Havayolu İşletmesi İçin Uçak Tipi Seçimi: Sezgisel Bulanık SWARA-TOPSIS Yaklaşımı. *Journal of Aerospace Science and Management*, 2(2), 1-22. E-ISSN: 3023-5928
- Turgut, M. (2026). Evaluating Export Risks Using DEMATEL, SWARA, and BWM: A Multi-Criteria Decision-Making Approach to Risk Prioritisation. *Sosyoekonomi*, 34(68), 81-109. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2026.02.04>
- Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C. M., Boulogeorgos, A. A. A., Argyriou, V., & Sarigiannidis, P. (2024). Digital product passports as enablers of digital circular economy: a framework based on technological perspective. *Telecommunication systems*, 85(4), 699-715. <https://doi.org/10.1007/s11235-024-01104-x>
- Wagner, E. (2025). Information Barriers to Circularity for Electronic Products and the Potential of Digital Product Passports. *Sustainability*, 17(12), 5554. <https://doi.org/10.3390/su17125554>
- Walden, J., Steinbrecher, A., & Marinkovic, M. (2021). Digital product passports as enabler of the circular economy. *Chemie Ingenieur Technik*, 93(11), 1717-1727. <https://doi.org/10.1002/cite.202100121>
- Wicaksono, H., Mengistu, A., Bashyal, A., & Fekete, T. (2025). Digital Product Passport (DPP) technological advancement and adoption framework: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 253, 2980-2989. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.022>
- Xia, H., Li, J., Li, Q. J., Milisavljevic-Syed, J., & Salonitis, K. (2025). Integrating blockchain with digital product passports for managing reverse supply chain. *Procedia CIRP*, 132, 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2025.01.036>
- Xu, Z., & Yager, R. R. (2006). Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International journal of general systems*, 35(4), 417-433. <https://doi.org/10.1080/03081070600574353>
- Yan, R., Zheng, J., & Wang, X. (2010). Vague set methods of multi-criteria fuzzy decision-making. In *2010 Chinese Control and Decision Conference* (pp. 658-661). IEEE. DOI: [10.1109/CCDC.2010.5498933](https://doi.org/10.1109/CCDC.2010.5498933)
- Zhang, A., & Seuring, S. (2024). Digital product passport for sustainable and circular supply chain management: a structured review of use cases. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(12), 2513-2540. <https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2374256>

Araştırma Makalesi

**Elektrikli Araç Sektöründe Dijital Ürün Pasaportlarına Geçişin Döngüsel
Tedarik Zinciri Süreçlerine Potansiyel Katkılarının Değerlendirilmesi**

*Evaluation of the Potential Contributions of Transition to Digital Product Passports in
the Electric Vehicle Sector to Circular Supply Chain Processes*

İpek GÜRSOY

Dr. Öğr. Üyesi, Tarsus Üniversitesi

Uygulamalı Bilimler Fakültesi

ipekgursoy@tarsus.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-6409-7177>

Extensive Summary

The Digital Product Passport (DPP) is a critical information infrastructure that enables sustainability and traceability by digitally presenting a product's lifecycle data (Peivaste et al., 2025). Considered fundamental tools of the circular economy, these passports facilitate conscious life cycle decision-making processes that enable the circulation of products and materials in a way that maximizes their benefit by supporting intra- and inter-organizational data sharing (Jensen, Kristensen, Christensen and Waehrens, 2024). The widespread adoption of DPPs requires strong collaboration among different stakeholders, from producers to consumers, and achieving this coordination can create challenges in reconciling various interests. However, the potential of DPPs to promote sustainability and improve product life cycle management makes overcoming these challenges strategically valuable (Hulea, Miron, and Muresan, 2024). Designing DPPs to include data on reuse, repair, recycling, traceability, and environmental performance makes them key enablers of digital integration and circular supply chains (D'Adamo, Fratocchi, Grosso and Tavana, 2025). Circular supply chain management integrates the circular economy approach into the management processes of the supply chain and the surrounding industrial and ecological systems (Zhang and Seuring, 2024). The integration of circular economy principles into supply chains ensures the reuse of resources throughout their life cycle and the preservation of their value. While applications such as energy efficiency and logistics optimization aim to maximize the benefits of products in a closed loop, the circular supply chain stands out as a model that complements sustainable and green supply chain approaches (Bakkal and Kabadayı, 2025).

DPP is expected to enhance traceability and sustainability in circular supply chains, supporting recycling and reverse logistics applications in complex industries such as the electric vehicle sector, while also strengthening transparency and regulatory compliance in international trade. Although not yet implemented in Türkiye, the DPP framework (European Union, 2024a), which is planned to enter into force in the EU on July 19, 2026, is expected to have potential impacts on national supply chains, considering Türkiye's intensive trade relations with the EU. In this study, the potential contributions of Digital Product Passports to circular supply chain processes in the electric vehicle sector were analyzed using the Intuitive Fuzzy SWARA method, one of the multi-criteria decision-making approaches. Within the scope of the research, five main criteria and twenty sub-criteria forming the basis of the evaluation structure were defined. In line with the expert opinions obtained from decision-makers, the relative importance weights of these criteria were calculated, and a priority ranking was created from highest to lowest.

The analysis reveals that, in terms of the priority ranking of the main criteria, the K1-coded "Technological Adaptation and Digitalization" criterion has the highest level of importance. This result demonstrates that digital transformation and technological integration play a decisive role among the factors considered within the scope of the assessment. Following the K1 criterion is the K4-coded "International Trade and Regulatory Compliance" criterion, which ranks second. This finding indicates that compliance with global trade norms and regulations is considered a critical element, particularly for sustainable supply chains and export potential. The third place ranking of the K2-coded "Logistics Efficiency and Traceability" criterion demonstrates that, following digital infrastructure and international regulatory alignment, operational efficiency and supply chain transparency are also considered important priorities. The fourth-place ranking, the K3-coded "Circular Economy and Sustainability" criterion, while important for reducing environmental impacts and increasing resource efficiency, appears to have a relatively lower weight. Finally, the fifth place ranking of the K5-coded "Economic and Strategic Added Value" criterion demonstrates that while economic benefits and strategic gains are considered important, they are not prioritized over technological, logistical, and regulatory factors within the context of the current analysis. When this ranking is evaluated overall, it can be said that digitalization and international regulatory alignment are the key elements determining the overall priority structure of the system.

Within the scope of the research, the main criteria and sub-criteria were evaluated holistically, and the final ranking was created accordingly. Among the sub-criteria, the criterion with the highest importance was "Information Technology Investments/Digital Maturity (T4)," with a weight value of 0.0516. This finding demonstrates that investments in digital infrastructure and the level of institutional digital maturity are decisive factors in the overall evaluation system. "Digital Document Management in Customs Processes (U3)" comes second with a weight of 0.0514, and "Product and Component Traceability Infrastructure (T1)" comes third with a weight of 0.0513. The high importance levels of these two criteria demonstrate the critical role of digital data management and traceability infrastructures in supply chain performance. "Carbon Footprint Tracking in Transportation (L4)" (0.0512) comes fourth, and "Data Sharing and Security Level (T2)" (0.0511) comes fifth. These results indicate that environmental performance and information security dimensions are also evaluated in an integrated manner within the digital transformation process. Following this, the "Stock Management and Traceability Performance (L3)" and "Digital Integration of Production Systems (T3)" criteria are ranked at similar importance levels with a weight of 0.0507. "Certification and Compliance with Standards (U2)" (0.0506), "Level of Preparedness for the EU Digital Product Passport Legislation (U1)" (0.0502), and "Ease of Access to Export Markets (U4)" (0.0501) are ranked eighth, ninth, and tenth, respectively, indicating that factors related to international regulations and market access also have significant weight. Among the criteria positioned at a medium level of importance, "Energy Efficiency and Environmental Performance Indicators (D4)" and "Product Lifecycle Management (D2)" (both 0.0499) stand out. These are followed by "Waste Reduction and Reuse Practices (D3)" (0.0497), "Supply Chain Transparency (L1)" (0.0496), and "Battery Recycling and Reuse Capacity (D1)" (0.0494). Criteria with relatively lower weights include "Competitive Advantage and Brand Reputation (E2)" (0.0491), "Potential for Reduction in Operational Costs (E1)" (0.0488), "Market Share Expansion Potential (E4)" (0.0487), and "Access to Investment and Financing Opportunities (E3)" (0.0482). Last in line is the "Reverse Logistics Management (L2)" criterion with a weight value of 0.0478, indicating that reverse logistics processes have a lower priority compared to other criteria.

In conclusion, DPPs stand out as an important tool supporting transparency, traceability, and sustainability throughout the product lifecycle. It is considered that DPP applications can increase transparency in international trade and strengthen inter-sectoral cooperation by contributing to the widespread adoption of circular economy and sustainable production practices (European Union, 2024b). Future studies could examine the long-term impacts of DPPs on the circular economy and sustainable supply chains using simulation, case analysis, and modeling methods. Furthermore, addressing the effects of DPPs on international trade and logistics processes, particularly within the framework of customs processes, cross-border traceability, and supply chain integration, could make significant contributions to literature. Additionally, evaluating the applicability of DPPs across different sectors constitutes an important area of study for future research.