

# Dijital Çağda Üretim Yönetiminde Dönüşüm: Dijital Ürün Pasaportu (DPP) ve Sürdürülebilirlik

## Yasemin Karabulut<sup>1</sup>

### Özet

Dijital Ürün Pasaportu (DPP), bir ürünün yaşam döngüsü boyunca hammadde tedariginden üretim, kullanım ve ömür sonu yönetimine kadar) çevresel ayak izi, malzeme bileşimi, geri dönüşüm süreçleri ve sürdürülebilirlik performansı gibi kritik verileri merkezi bir dijital platformda toplayan, depolayan ve ilgili tarafların yetki düzeylerine göre erişebildiği standartlaştırılmış bir dijital sistemdir. Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Yönetmeliği (ESPR) kapsamında geliştirilen bu araç, “Endüstri 4.0”ın temel bileşenleri olan nesnelerin interneti, yapay zekâ, büyük veri ve bulut bilişim teknolojileriyle entegre çalışarak ürünlerin dijital bir kimlik kazanmasını sağlamakta; üretim süreçlerinde anlık izlenebilirlik, kalite kontrol, kaynak verimliliği ve atık yönetimi gibi alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu çalışmada, Dijital Ürün Pasaportu kavramı mevcut literatür doğrultusunda kavramsal bir zeminde ele alınmıştır. Çalışma kapsamında; DPP'nin tanımı, teknik altyapısı, yasal çerçevesi ve üretim süreçlerine entegrasyonu incelenmektedir.

## 1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 bileşenleriyle ivme kazanan dijital dönüşüm, 21. yüzyılda üretim paradigmasının yeniden tanımlanmasına yol açacak köklü bir değişim sürecini başlatmıştır. Bu değişimin en somut yansımalarından biri olarak ortaya çıkan Dijital Ürün Pasaportu (DPP), sürdürülebilirlik, şeffaflık ve dögüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda ürünlerin yaşam döngüsü boyunca izlenebilirliğini sağlayarak geleneksel üretim anlayışının yarattığı çevresel tahribatın önlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir (Gabaçlı, Uzunöz, 2017).

1 Doktora Öğrencisi, Atılım Üniversitesi, SBE, İşletme A.B.D.,  
yasemin.karabulut2506@gmail.com, ORCID ID: 0009-0009-1606-3966

Sanayi Devrimleriyle birlikte mekanik güçten elektrığe, oradan da otomasyon sistemlerine evrilen üretim yapıları, özellikle 20. yüzyıl boyunca “*ne kadar çok üretirsek o kadar başarılıyız*” anlayışını benimseyen lineer (doğrusal) bir ekonomi modelini (al-kullan-at) hâkim kılmıştır. Ancak küresel ölçekte artan çevre kirliliği, hızla tükenen doğal kaynaklar, iklim krizi ve atık sorunları, bu geleneksel üretim anlayışının sorgulanmasına neden olmuştur. İşte tam bu noktada, 21. yüzyılın başlarından itibaren hız kazanan dijital dönüşüm, üretim süreçlerine sadece hız ve verimlilik kazandırmakla kalmamış, aynı zamanda bu küresel sorunlara çözüm üretebilecek bir paradigma değişiminin de önünü açmıştır.

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bu yeni dönemde; nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri ve bulut bilişim gibi dijital teknolojiler, üretim hatlarını akıllı fabrikalara dönüştürmektedir (Pamuk, Soysal, 2018; Ata, 2024). Bu dönüşüm, üretim süreçlerinde benzeri görülmemiş bir şeffaflık, izlenebilirlik ve esneklik sağlarken, beraberinde yeni bir üretim felsefesini de getirmiştir: Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi. Artık üretim yönetiminin temel hedeflerinden biri, sadece bugünün ihtiyaçlarını karşılamak değil, gelecek nesillerin kaynaklarını da koruyarak, atıkları minimize eden ve kaynakları verimli kullanan bir sistem inşa etmektir (Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2021). Dijital teknolojiler, bu döngüsel ekonominin hayata geçirilmesinde en büyük yardımcı konumundadır (Gabaçlı, Uzunöz, 2017).

Bu kapsamda ortaya çıkan en önemli dijital araçlardan biri hiç şüphesiz Dijital Ürün Pasaportu (DPP) kavramıdır. Dijital Ürün Pasaportu (DPP), bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirlik, döngüsellik ve yasal uyum bilgilerini saklayan ve paylaşan benzersiz bir dijital belgedir. Avrupa Birliği'nin Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Yönetmeliği (ESPR) kapsamında zorunlu hale gelen bu sistem, fiziksel bir ürünle doğrudan bağlantılı olan kapsamlı bir “*dijital kimlik kartı*” işlevi görür. Geleneksel üretim anlayışında bilgi akışı genellikle üretici ile ilk alıcı arasında sınırlı kalırken, (DPP), geleneksel sistemlerde bilginin kopukluğuna yol açan sınırları ortadan kaldırarak verinin tüm değer zinciri boyunca kesintisiz biçimde akmasını sağlamaktadır. Bu dijital sistem, bir ürünün bileşenlerinden kimyasal içeriğine, onarım kapsamından bertaraf yöntemlerine kadar geniş bir yelpazedeki detaylı verileri bünyesinde barındırarak, kaynak verimliliğini optimize eden kapsamlı bir veri seti sunmaktadır (Kılıç, Kurgun, 2025). Bu sistem, özellikle imalat süreçlerinde karmaşık bilgi eksikliklerini gidermeyi amaçlarken, ürünlerin çevresel etkilerini minimize eden şeffaf bir yönetişim mekanizması oluşturmaktadır (Wicaksono vd., 2025). Dolayısıyla Dijital Ürün Pasaportu, sadece bir teknoloji uygulaması değil, aynı zamanda üretimde şeffaflık, hesap verebilirlik ve sürdürülebilirliğin somut bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye gibi üretim ve ihracat odaklı büyüyen ekonomiler için, 2026 yılından itibaren Avrupa Birliği pazarına girişte zorunlu hale gelecek olan uygulaması hem bir uyum zorunluluğu hem de rekabet avantajı elde etme fırsatı sunmaktadır. Ancak yerli literatürde DPP kavramını üretim yönetimi, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi perspektifinden bütüncül bir şekilde ele alan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada, dijital dönüşümün üretim yönetimine getirdiği yenilikler çerçevesinde Dijital Ürün Pasaportu (DPP) kavramı detaylı bir şekilde ele alınacaktır. DPP'nin tanımı, teknik altyapısı, üretim süreçlerine entegrasyonu ve özellikle sürdürülebilirlik ile döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmadaki kritik rolü incelenecektir.

Bu çalışmanın temel amacı, son yıllarda döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemi giderek artan Dijital Ürün Pasaportu (DPP) kavramını üretim yönetimi ekseninde incelemek ve kavramsal bir çerçeve sunmaktır. Çalışmanın kapsamı; DPP'nin tanımı, temel teknik bileşenleri, yasal altyapısı ve özellikle üretim süreçlerine (*kalite kontrol, kaynak verimliliği, atık yönetimi*) entegrasyonu ile sınırlandırılmıştır. Konunun çok geniş bir teknolojik altyapıya (*örneğin yazılım kodlamaları veya donanım mühendisliği detaylarına*) sahip olması nedeniyle, çalışma daha çok yönetsel ve sürdürülebilirlik perspektifinde tutulmuştur. Çalışmada yöntem olarak nitel araştırma desenlerinden “*kavramsal inceleme* ve “*betimsel literatür taraması*” benimsenmiştir. Bu doğrultuda, ulusal ve uluslararası akademik veri tabanlarında yer alan güncel makaleler, sektörel raporlar ve yayınlar incelenmiştir. Elde edilen veriler; üretim yönetimi, sürdürülebilirlik ve dijital dönüşüm bağlamında sentezlenerek okuyucuya bütüncül bir perspektifle sunulmuştur. Bu çalışmanın yazım sürecinde, metnin dil ve anlatımının iyileştirilmesi, kaynakların düzenlenmesi ve bazı alt başlıkların yapılandırılması amacıyla yapay zekâ tabanlı bir dil modeli “*Jenni.ai*” ve “*Nebooklm*” kullanılmıştır. Çalışmanın tüm akademik içeriği, kavramsal çerçevesi, analizler ve sonuçlar yazara ait olup, yapay zekâ yalnızca yardımcı bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışma etik ilkelere uygun şekilde hazırlanmıştır.

## 2. ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM, ENDÜSTRİ 4.0 VE TEMEL BİLEŞENLERİ

### 2.1. Geleneksel Üretim Anlayışından Dijitalleşmeye: Tarihsel Evrim ve Dönüşüm Dinamikleri

Üretim sistemlerinin tarihsel gelişimi, enerji ve bilgi işleme teknolojilerindeki dönüşümler etrafında şekillenen üç sanayi devrimi ile karakterize edilmektedir. Birinci Sanayi Devrimi (Sanayi 1.0) buhar gücüyle mekanik üretimi başlatırken,

İkinci Sanayi Devrimi (Sanayi 2.0) elektrik enerjisiyle kitlesel üretim ve montaj hattı sistemlerini getirmiştir (Carvalho vd., 2025). Üçüncü Sanayi Devrimi (Sanayi 3.0) ise bilgisayar ve otomasyon teknolojileriyle üretimde programlanabilirliği ve kısmi otomasyonu sağlamıştır (Özbek, 2024). Her üç devrim de üretim kapasitesini önemli ölçüde artırmakla birlikte, sanayi yapısının temelde doğrusal ve kapalı niteliğini korumuştur. Yirminci yüzyıla damgasını vuran “*al-kullan-at*” anlayışı, esneklik eksikliği, izlenebilirlik sorunları ve verimsizlik gibi yapısal sınırlılıklar yaratmış; bu durum hem ekonomik kayıplara hem de çevresel tahribata yol açarak sürdürülebilirliği tehdit etmiştir (Chertow, 2007).

Günümüzde işletmeleri dijital dönüşüme zorlayan temel dinamikler; küresel rekabetin getirdiği hız ve kalite baskısı, tüketicilerin kişiselleştirilmiş ürünler ile şeffaf ve sürdürülebilir üretim süreçlerine yönelik talepleri ve kaynak verimliliğini merkeze alan çevresel zorunluluklar olarak sıralanmaktadır (D’Adamo, vd., 2025). Bu bağlamda nesnelere interneti, yapay zekâ ve dijital ikizler gibi teknolojiler, ürünlerin tüm yaşam döngüsünün veriye dayalı olarak yönetilmesini sağlayarak Dijital Ürün Pasaportu (DPP) gibi yenilikçi araçların teknik altyapısını oluşturmaktadır (Haase, vd., 2025).

## 2.2. Endüstri 4.0: Dördüncü Sanayi Devrimi ve Üretimde Paradigma Değişimi

Endüstri 4.0 kavramı ilk kez 2011 yılında Almanya’nın Hannover Fuarı’nda kamuoyuna sunulmuş; Alman hükümetinin “*Yüksek Teknoloji Stratejisi 2020*” programı kapsamında geliştirilen bu vizyon, kısa sürede küresel bir üretim felsefesine dönüşmüştür (Karabulut vd., 2025). Bu paradigma, fiziksel nesnelere dijital dünyayla kesintisiz entegrasyonuna dayanan siber-fiziksel sistemler (CPS) üzerine kuruludur (Lee vd., 2015). CPS, makineler, iş parçaları ve insanlar arasında kurulan iletişim ağıyla üretim sürecindeki her bir varlığı otonom kararlar alabilen akıllı aktörlere dönüştürmektedir. CPS’in üretim ortamına uygulanmasıyla ortaya çıkan akıllı fabrikalar (smart factories), “*tak ve üret*” (plug & produce) prensibiyle esnek üretim yapıları oluşturarak en küçük parti büyüklüklerinde dahi yüksek düzeyde ürün kişiselleştirmeyi mümkün kılmaktadır (Hermann, vd., 2016). Dijital ikiz (digital twin) teknolojisi ise fiziksel nesnelere yaşam geçmişinin makine tarafından okunabilir biçimde saklanması ve üretim sürecinin aktif kontrolünü sağlamaktadır (Gabaçlı, Uzunöz, 2017).

Endüstri 4.0’a geçiş, modern işletmeler için stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu dönüşüm; kitlesel kişiselleştirme (mass customization) yeteneğiyle rekabet avantajı, kestirimci bakım ve enerji optimizasyonu ile maliyet avantajı,

dijital ikiz teknolojileriyle de pazara çıkış süresinde (time-to-market) radikal kısalma sağlamaktadır (Frank vd., 2019).

### 3. ÜRETİM YÖNETİMİNDE YENİ DÖNEM: PASAPORTLU FABRİKALAR

Dijital dönüşümün üretim süreçlerine entegrasyonu, endüstri 4.0 teknolojileri aracılığıyla verimlilik, esneklik ve kalite iyileştirmeleri sağlarken, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda köklü bir paradigma değişimini de beraberinde getirmiştir (Carvalho vd., 2025). Bu değişimin merkezinde, Avrupa Birliği'nin 2050 iklim-nötr hedefi doğrultusunda şekillenen ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca izlenebilirlik, şeffaflık ve sürdürülebilirlik sağlamayı amaçlayan Dijital Ürün Pasaportu (DPP) yer almaktadır (Karabulut vd., 2025).

Endüstri 4.0'ın sağladığı teknolojik altyapı ile dögüsel ekonomi hedeflerinin keşimi, üretim yönetimde “*Pasaportlu Fabrikalar*” olarak adlandırılan yeni bir konseptin doğuşuna zemin hazırlamıştır (Kılıç, Kurgun, 2025). Bu konsept, fiziksel üretimin ötesine geçerek ürünün ardında bıraktığı ekolojik ve operasyonel izin sistematik biçimde kayıt altına alındığı, verinin üretim sürecinin ayrılmaz bir parçası haline geldiği akıllı üretim tesislerini ifade etmektedir.

Pasaportlu fabrikaların temel aktörü olan Dijital Ürün Pasaportu, geleneksel üretim sistemlerinde yaygın olarak görülen bilgi silolarını ortadan kaldırarak değer zincirindeki tüm paydaşlar (*üreticiler, tedarikçiler, tüketiciler, onarımclar, geri dönüşümcüler ve düzenleyici otoriteler*) arasında kesintisiz ve şeffaf bir veri akışı tesis etmektedir (Wicaksono vd., 2025). Bu yönüyle DPP, üretim süreçlerinde bilgi asimetrisini ortadan kaldırarak tüm aktörler için ortak bir görünürlük zemini oluşturan kritik bir mekanizma olarak işlev görmektedir.

DPP kavramı, sanayideki uzun süreli izlenebilirlik arayışının ve çevre politikalarının evrimsel sürecinin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır (Duarte vd., 2025). Kavramın kökenleri, malzeme pasaportu ve kaynak pasaportu gibi erken dönem modellerine dayanmakla birlikte, asıl ivmesini Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) ve Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Yönetmeliği (ESPR) gibi bağlayıcı düzenlemelerden almıştır (European Commission, 2020). Bu düzenlemelerle birlikte DPP, gönüllü bir uygulama olmaktan çıkarak yakın gelecekte AB pazarına erişimin ön koşulu haline gelmiştir.

Bu bağlamda DPP, yalnızca bir uyumluluk aracı olmanın ötesinde, dijital ve yeşil dönüşümün (ikiz dönüşüm) bütünleşik bir enstrümanı olarak üretim yönetimiinde yeni bir dönemi temsil etmektedir. Takip eden alt bölümlerde,

DPP'nin kavramsal çerçevesi, teknik altyapısı, içerdiği bilgiler ve tarihsel gelişim süreci detaylandırılacaktır (Gabaçlı, Uzunöz, 2017).

### 3.1. Dijital Ürün Pasaportu Kavramı: Bir Ürünün Dijital Kimliği

Dijital Ürün Pasaportu (DPP), bir ürünün ham madde tedariklerinden başlayarak üretim, kullanım ve ömür sonu geri kazanım süreçlerini kapsayan tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan verileri; sürdürülebilirlik, döngüsellik ve yasal uyum açısından kritik bilgileri şeffaflık ve izlenebilirlik odaklı olarak standartlaştırılmış bir formatta merkezi bir dijital platformda toplayan, depolayan ve yetkilendirilmiş paydaşlarla paylaşan yapılandırılmış bir kayıt sistemidir (Haase vd., 2025).

Dijital Ürün Pasaportu, yalnızca bir veri deposu işlevi görmekten ziyade, fiziksel bir ürünün döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda tasarlanmış dijital kimliğini temsil eder. Sıklıkla karıştırıldığı dijital ikiz kavramından farklı olarak dijital ürün pasaportu, ürünün mühendislik performansı ya da anlık işleyiş durumundan farklı olarak, çevresel, yasal ve bileşen temelli şeffaflığı merkeze alır. Bu yönüyle tedarik zincirindeki tüm aktörler (*tüketiciler, onarımclar, geri dönüşümcüler ve düzenleyiciler*) arasında bilginin simetrik, güvenilir ve kesintisiz akışını sağlar (Walden vd., 2021).

DPP, özünde geleneksel üretim sistemlerinin yol açtığı bilgi asimetrisi sorununa çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Mevcut piyasa koşullarında tüketiciler ve denetleyiciler, ürünlerin çevresel etkilerine ilişkin doğrulanabilir verilere erişmekte güçlük çekmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından yapılan kapsamlı çalışmalara göre, AB pazarında öne sürülen çevresel iddiaların çoğunluğu ya muğlak ifadeler içermekte ya da somut kanıtlardan yoksun bulunmaktadır (Haase vd., 2025).

Literatürde bu durum ise "*yeşil aklama*" (greenwashing) olarak adlandırılan sistematik bir soruna işaret etmektedir. DPP, sürdürülebilirlik iddialarını soyut pazarlama ifadeleri olmaktan çıkararak veri temelli, doğrulanabilir ve denetlenebilir bir nitelik kazandırır. Bu sayede piyasa şeffaflığı artar, bilgi kirliliği azalır ve haksız rekabetin önüne geçilir (Adisorn vd., 2021).

### 3.2. Dijital Ürün Pasaportu'nun Teknik Altyapısı

Pasaportlu fabrikalar, üretim sürecindeki her bir ürünün dijital bir kimlikle izlendiği, verinin üretim hattının ayrılmaz bir parçası haline geldiği akıllı üretim tesisleridir. Bu vizyonun hayata geçirilebilmesi, ileri düzeyde bir donanımyazılım bütünleşmesini zorunlu kılmaktadır. Zira DPP'nin işlevselliği, fiziksel ürün ile ona ait dijital veri kümesi arasında güvenilir bir bağ kuran sağlam bir teknolojik katmana dayanır (European Commission, 2024). Bu katman;

makine tarafından okunabilirlik, sistemler arası uyumluluk (interoperability) ve güvenli veri paylaşımını olanaklı kılacak biçimde tasarlanmıştır. Sistem, dağıtık (decentralised) bir veri mimarisi ile AB düzeyinde oluşturulan merkezi bir doğrulama altyapısının eşgüdüm içinde çalıştığı hibrit bir modele dayanmaktadır. DPP'nin teknik mimarisi, fiziksel dünya ile siber uzay arasında köprü işlevi gören üç temel altyapı bileşeninden oluşmaktadır (Wicaksono vd., 2025).

*Veri taşıyıcılar* (QR kod, RFID, NFC), ürün üzerinde bulunan ve her ürüne özgü benzersiz tanımlayıcı (UPI) taşıyan fiziksel arayüzlerdir. Kullanıcılar bu etiketleri tarayarak ürünün yaşam döngüsü verilerine anlık erişim sağlar (Hakola vd., 2025).

*Blokzincir teknolojisi*, ürünün menşei, karbon emisyon beyanları ve kritik hammadde bilgileri gibi verilerin değiştirilemez, şeffaf ve güvenli biçimde kaydedilmesini sağlar. Bu sayede “yeşil aklama” (greenwashing) riski ortadan kalkmakta ve paydaşlar arasında merkezizetsiz bir güven ağı tesis edilmektedir (Wicaksono vd., 2021).

*Bulut sistemler*, ürün yaşam döngüsü boyunca üretilen statik ve dinamik verilerin depolanması, işlenmesi ve farklı coğrafyalardaki üreticiler, tedarikçiler ile geri dönüşümcüler arasında standart protokollerle güvenli biçimde paylaşılmasını olanaklı kılar. Bulut mimarisi, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) gibi sistemlerle entegrasyonu mümkün kılarak dijital ekosistemin bütünlüğünü garanti eder (Shee-Weng, 2025).

DPP'de verilere erişim, kullanıcı rollerine göre kademelendirilmiştir: tüketiciler malzeme bileşimi, karbon ayak izi gibi temel bilgilere erişirken; piyasa gözetim ve gümrük makamları denetim için gerekli daha kapsamlı teknik verilere ulaşabilmektedir. Bu rol bazlı erişim modeli, ticari gizlilik ile kamusal denetim arasında denge kurmaktadır (Adisorn vd., 2021).

### 3.3. Dijital Ürün Pasaportu: Kapsanan Bilgi Alanları ve Veri Yapısı

Dijital Ürün Pasaportu, bir ürünün sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi ve döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde yönetilmesi için gerekli çok boyutlu veri setini bünyesinde barındırmaktadır. Bu veriler üç ana başlıkta toplanmaktadır.

*Malzeme ve Kimyasal Bileşim*: Ürünün fiziksel yapısını oluşturan tüm girdilerin izlenebilirliği sağlanır. Hammaddelerin menşei, tedarik zinciri izlenebilirliği ve çevresel açıdan kritik bileşenlerin dökümü yer alır (Kılıç, Kurgun, 2025). Ürünü oluşturan tüm alt bileşenlerin listesi (Bill of Materials –

BOM), “Çok Yüksek Önem Arz Eden Maddeler” (SVHC) olarak sınıflandırılan tehlikeli kimyasalların varlığı ve oranı, nadir toprak elementleri gibi kritik hammaddelerin menşei ile geri dönüştürülmüş içerik oranı ve kaynağı bu kapsamda detaylandırılır (Özkazancı, 2026).

*Çevresel Performans ve Döngüsellik:* Ürünün yaşam döngüsü boyunca doğal kaynaklar üzerinde oluşturduğu baskıyı niceliksel olarak ortaya koyan veriler bu başlıkta toplanır. Sera gazı emisyonları, su tüketimi ve enerji kullanımına ilişkin ölçümler detaylandırılır (Basal, Demircioğlu, 2024). Karbon ayak izi, Kapsam 3 (Scope 3) emisyonları dahil olmak üzere toplam sera gazı salınımını kapsarken; su ayak izi üretim sürecinde tüketilen tatlı su miktarını yansıtır. Ürün ömrü sonu yönetimine ilişkin demontaj talimatları, geri dönüşüm yöntemleri, geri dönüşüm indeksi, atık kodları ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) bilgileri de burada yer alır. Enerji verimliliği sınıfı, dayanıklılık, onarılabildik ve geri dönüştürülebilirdik gibi niteliksel göstergeler ile çevresel etiket bilgileri de kayıt altına alınır (Zhang , Seuring, 2024). Üretim, Kimlik ve Kullanım Verileri: Ürünün benzersiz tanımlayıcıları (GTIN, seri numarası, parti numarası), üretici bilgileri, üretim tarihi ve menşei, üretim sürecinde tüketilen kaynaklar, kalite kontrol sertifikaları ve sınıflandırma bilgileri (TARIC kodu) bu kapsamda sunulur. Yasal uygunluk ve sertifikasyon kapsamında AB uygunluk beyanı (CE işareti), test raporları ve sektörel sertifikalar yer alır (Kılıç, Kurgun, 2025). Ayrıca ürünün kullanım ömrünü uzatmaya yönelik demontaj talimatları, yedek parça bilgileri, onarım rehberleri, kullanım kılavuzları, bakım talimatları ve garanti koşulları da bu başlıkta toplanır. “*Tamir Hakkı*” (Right to Repair) düzenlemeleri çerçevesinde bu veriler, ürünlerin onarılabirliğini artırarak döngüsel ekonomi hedeflerine katkı sağlamaktadır (Hakola vd., 2025).

Özellikle karbon ayak izi, su ayak izi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) gibi çevresel performans göstergeleri, uluslararası standartlarla uyumlu ve dijital ortamlarda birlikte çalışabilir bir altyapıya kavuşturulmaktadır (European Commission, 2019). Bu alanda Yıldız Teknik Üniversitesi öncülüğünde yürütülen proje, Karbon Ayak İzi (ISO 14067), Su Ayak İzi ve LCA standartlarının yeni nesil dijital veri yapılarıyla uyumlu hale getirilmesini hedeflemektedir (Yıldız Teknik Üniversitesi, 2025).

### 3.4. DPP'nin Tarihsel Gelişimi ve Yasal Çerçeve

Dijital Ürün Pasaportu kavramı, endüstriyel ekoloji, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve bilgi yönetimi disiplinlerinin evrimsel sürecinin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. 2000'li yılların başlarında perakende ve lojistik sektörlerinde kullanılan “*Elektronik Ürün Kodu*” (EPC) ve barkod sistemleri,

ürün izlenebilirliğine yönelik ilk uygulamalar olmakla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik kaygısı taşımamaktaydı (Adisorn vd., 2021).

DPP'nin sürdürülebilirlik odaklı modern vizyonu, asıl ivmesini Avrupa Birliği'nin yeşil dönüşüm politikalarından almıştır. Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılında açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) ve 2020 yılında yayımlanan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (CEAP), bu dönüşümün temel politika çerçevesini oluşturmuş; sürdürülebilir ürünleri norm haline getirmeyi hedeflerken dijital araçların kullanımının gerekliliğini vurgulamıştır (European Commission, 2019). Bu bağlamda DPP, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca izlenebilirliğini ve şeffaflığını sağlayacak stratejik bir araç olarak tartışılmaya başlanmıştır (Kılıç, Kurgun, 2025).

Uygulama aşamasındaki en önemli dönüm noktası, döngüsel ekonomi modelini güçlendirmek amacıyla dijital araçların kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Bu doğrultuda, Küresel Batarya İttifakı tarafından 2023 yılında hayata geçirilen dünyanın ilk “*Batarya Pasaportu*” pilot uygulaması, Dijital Ürün Pasaportu ekosistemi için öncü bir model teşkil etmektedir. Bu dijital kimliklendirme sistemi; ürünün karbon ayak izi, teknik özellikleri ve sürdürülebilirlik verilerini şeffaf bir şekilde sunarak, endüstriyel değer zincirindeki kaynak verimliliğini ve geri dönüşüm süreçlerini optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu tür teknolojik altyapılar, yalnız üretim prensipleriyle birleştiğinde atık yönetiminde dijitalleşmenin sağladığı sinerjiyi en üst düzeye çıkarmaktadır (Özcan vd., 2022). Bunu takiben, Avrupa Birliği Komisyonu'nun Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Yönetmeliği (ESPR) taslağını yasalaştırma süreci, DPP'yi gönüllü bir fikir olmaktan çıkararak küresel pazara erişim için zorunlu bir ticaret ve üretim kuralına dönüştürmüştür (European Commission, 2022). ESPR kapsamında, başta bataryalar olmak üzere tekstil, elektronik ve demir-çelik gibi öncelikli sektörlerde DPP uygulaması kademeli olarak zorunlu hale getirilmektedir (European Commission, 2024). 2026 yılından itibaren başlayacak bu zorunlu uygulama süreci, dijitalleşme ile yeşil dönüşümün (ikiz dönüşüm) birbirini beslediğinin somut örneğini oluşturmakta; DPP yakın gelecekte AB pazarına erişimin ön koşulu haline gelerek küresel tedarik zincirlerinin yönetim biçimini kökten dönüştürecektir (D'Adamo vd., 2025).

#### 4. DİJİTAL ÜRÜN PASAPORTUNUN ZORUNLU KILAN DİNAMİKLER: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE DİJİTALLEŞMENİN KESİŞİMİ

Endüstri 4.0'ın imalat sanayisine kazandırdığı dijital altyapı, uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak operasyonel verimlilik ve maliyet avantajı perspektifinden

değerlendirilmiştir (Özbek, 2024). Ancak küresel iklim krizinin derinleşmesi, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve artan çevresel tahribat, dijitalleşme ile sürdürülebilirlik hedeflerini stratejik bir zorunluluk olarak bir araya getirmiştir. Günümüzde Dijital Ürün Pasaportunu (DPP) marjinal bir teknolojik kavram olmaktan çıkararak küresel tedarik zincirlerinin vazgeçilmez bir unsuru haline dönüştüren temel itici güç, çevresel krizlere karşı geliştirilen makroekonomik düzenlemelerdir (Voulgaridis vd., 2024).

#### 4.1. Sürdürülebilir Üretim, Döngüsel Ekonomi ve DPP'nin Rolü

Yaklaşık iki yüzyıldır “*al-kullan-at*” (take-make-waste) şeklinde özetlenebilecek doğrusal ekonomi modeli, ürünlerin nihai tüketiciye ulaştıktan sonraki yaşam döngüsünü büyük ölçüde dışsallaştırmış; üretim ve tüketim süreçlerinin çevresel maliyetlerini göz ardı etmiştir (Ellen MacArthur Foundation, 2020). Ancak küresel ölçekte artan çevre kirliliği, iklim krizi ve atık sorunları, bu geleneksel üretim anlayışının sorgulanmasına yol açmıştır. Bu yapısal sorunun aşılması, ekonomik büyümenin kaynak tüketiminden ayrıştırılmasını (decoupling) öngören döngüsel ekonomi paradigmasına geçişle mümkündür (Geissdoerfer vd., 2017).

Döngüsel ekonomi, ürünlerin, bileşenlerin ve malzemelerin ekonomik değerinin mümkün olan en uzun süre korunmasını, atık oluşumunun en aza indirgenmesini ve kaynak verimliliğinin maksimize edilmesini hedefleyen bir sistemdir (Kirchherr vd., 2017). Bu paradigma, ürünlerin dayanıklılık, yeniden kullanılabilirlik, tamir edilebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik gibi niteliklerini merkeze almakta; atık kavramını tasarım aşamasında ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Ancak döngüsel ekonominin teoriden pratiğe aktarılabilmesi, ürünlerin içerdiği malzemelerin, kimyasal bileşenlerinin ve çevresel etkilerinin tüm paydaşlar tarafından bilinmesini gerektirmektedir. Bu noktada şeffaflık ve izlenebilirlik, döngüsel ekonominin olmazsa olmaz koşulu haline gelmekte; DPP bu ihtiyacı karşılayan temel veri altyapısını sunmaktadır (Wicaksono vd., 2025).

Avrupa Çevre Ajansı değerlendirmeleri, ürün tasarımının döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmadaki kritik rolünü ortaya koymaktadır. Tasarım aşamasında yapılan iyileştirmeler, atık oluşumunun önlenmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması açısından en etkili müdahale alanlarından birini oluşturmaktadır (Farmer, 2019). Nitekim Avrupa Komisyonu verilerine göre, bir ürünün çevresel etkilerinin yaklaşık %80'i tasarım aşamasında belirlenmektedir (European Commission, 2022). Bu bulgu, ürünlere ilişkin doğru, güvenilir ve erken veriye erişimin stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır. DPP, ürünün malzeme içeriği, geri dönüştürülebilirlik oranı ve kimyasal bileşenleri

gibi verilerin dijitalleşmesini sağlayarak atık yönetimini “*ikincil hammadde yönetimi*”ne dönüştürmekte ve sürdürülebilir üretimi ölçülebilir bir zemine oturtmaktadır (Özkazancı, 2026).

#### 4.2. Avrupa Yeşil Mutabakatı, ESPR ve Uygulama Takvimi

DPP kavramının fikir aşamasından yasal zorunluluğa evrilmesinde temel belirleyici unsur, Avrupa Birliği’nin sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda şekillendirdiği makro politika çerçevesidir. 2019 yılında açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) ve 2020 yılında yayımlanan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı (CEAP), bu dönüşümün temel politika belgelerini oluşturmuştur (European Commission, 2019, 2020). Yeşil Mutabakat, AB’nin 2050 yılına kadar iklim-nötr bir kıta olma vizyonunu yansıtırken, CEAP bu vizyona ulaşmada ürünlerin çevresel etkilerini minimize etmeye yönelik yasal düzenlemelerin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu politika çerçevesinin en somut yasal çıktısı, 18 Temmuz 2024 tarihinde yürürlüğe giren Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Yönetmeliği (ESPR) olmuştur. ESPR, 2009 tarihli Eko-tasarım Direktifi’nin yerini alarak yalnızca enerji tüketen ürünleri kapsayan önceki düzenlemenin sınırlarını radikal biçimde genişletmiş; gıda, yem ve tıbbi ürünler hariç olmak üzere AB pazarına arz edilen neredeyse tüm fiziksel malları kapsama altına almıştır (European Commission, 2024). Yönetmeliğin en devrimci yönü, belirli ürün grupları için Dijital Ürün Pasaportu bulundurmaya yasal bir zorunluluk (mandatory requirement) olarak dikte etmesidir. ESPR kapsamında DPP, ürünlerin dayanıklılık, yeniden kullanılabilirlik, onarılabilirlik ve çevresel ayak izi gibi performans metriklerini kanıtlamak için birincil araç olarak konumlandırılmıştır (Özkazancı, 2026) Bu düzenleme ile sanayide şeffaflık, gönüllü bir kurumsal sosyal sorumluluk faaliyeti olmaktan çıkarak yasal bir uyum zorunluluğuna dönüşmüştür (Haase vd., 2025).

DPP uygulaması, sektörel önceliklere göre kademeli olarak hayata geçirilmektedir. İlk ve en kapsamlı uygulama, AB Batarya Yönetmeliği (Regulation (EU) 2023/1542) kapsamında başlamıştır. Bataryalar, karmaşık kimyasal yapıları ve elektrikli araç dönüşümündeki stratejik rolleri nedeniyle pilot sektör olarak seçilmiş; 18 Şubat 2027 itibarıyla kapasitesi 2 kWh’in üzerinde olan bataryalar için dijital pasaport zorunlu hale gelmiştir (Karabulut vd., 2025). ESPR Çalışma Programı’na göre, tekstil ve hazır giyim (2027-2028), elektronik ürünler (2028 sonrası), demir-çelik ve alüminyum (2026-2027) ile mobilya (2028-2029) gibi öncelikli sektörlerde DPP zorunluluğu kademeli olarak devreye alınacaktır (Adisorn vd., 2021; European Commission, 2024).

### 4.3. 2026 ve Sonrası: AB Pazarına Erişimde DPP Zorunluluğu

Dijital Ürün Pasaportu, tekil bir yasal düzenlemeden ziyade, birbiriyle entegre regülasyonlar ekosisteminin parçası olarak tasarlanmıştır. ESPR bu yapının temelini oluştururken, sektörel detaylar ikincil mevzuatla belirlenmekte ve uygulama takvimi ürün gruplarının öncelik derecesine göre kademeli olarak ilerlemektedir (European Commission, 2024).

DPP uygulamasının ilk ve en kapsamlı örneği, AB Batarya Yönetmeliği (Regulation (EU) 2023/1542) kapsamında hayata geçirilmektedir. 18 Şubat 2027'den itibaren kapasitesi 2 kWh'in üzerinde olan tüm elektrikli araç bataryaları, endüstriyel bataryalar ve hafif ulaşım araçları bataryaları için QR kod üzerinden batarya pasaportuna erişim zorunlu hale gelecektir (Hakola vd., 2025).

ESPR Çalışma Programı'na göre, DPP zorunluluğu diğer ürün grupları için kademeli olarak uygulanacaktır. T.C. Ticaret Bakanlığı ve sektör uzmanları tarafından paylaşılan bilgilere göre öngörülen takvim aşağıdaki gibidir:

*Tablo 1. Sektör Uygulama Grupları ve Uygulama Takvimleri*

| Sektör/Ürün Grubu                 | Uygulama Takvimi                          |
|-----------------------------------|---|
| Piller ve Bataryalar              | 2027 başı itibarıyla zorunlu              |
| Tekstil ve Hazır Giyim            | 2027-2028 arası (kademeli geçiş)          |
| Demir-Çelik ve Alüminyum          | 2026-2027 (ikincil düzenlemelerin yayımı) |
| Elektronik ve Bilişim Ürünleri    | 2028 sonrası                              |
| Mobilya (yataklar dahil)          | 2028-2029                                 |
| Lastikler                         | 2027                                      |
| Deterjanlar, Boyalar, Kimyasallar | 2028-2030                                 |

Bu tarihler, ikincil düzenlemelerin yayımlanmasının planlandığı yılları göstermekte olup, firmaların fiilen yükümlü olacağı tarihler ayrıca belirlenecektir. Komisyon tarafından yetki devrine dayanan mevzuatlar ile çıkarılacak ürün bazlı kurallara uyum için 18 aylık geçiş süresi tanınması beklenmektedir (European Commission, 2024). Bu düzenlemeler, DPP'yi Avrupa pazarına erişim için vazgeçilmez bir “*dijital vize*” haline getirmekte ve AB ile ticari ilişkisi olan tüm küresel tedarikçileri bu dönüşüme zorlamaktadır (D'Adamo vd., 2025).

Bu düzenlemeler, DPP'yi Avrupa pazarına erişim için vazgeçilmez bir “*dijital vize*” haline getirmekte ve AB ile ticari ilişkisi olan tüm küresel tedarikçileri bu dönüşüme zorlamaktadır (D'Adamo vd., 2025; Shee-Weng, 2025). Türkiye gibi ihracatının önemli bölümünü AB'ye yapan ülkeler için DPP'siz bir ürünün

yakın gelecekte Avrupa pazarında yer bulması mümkün olmayacak; dijital dönüşüm bir tercih olmaktan çıkarak stratejik bir zorunluluğa dönüşmektedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024; Zhang, Seuring, 2024).

## 5. DPP'NİN ÜRETİM YÖNETİMİNE ENTEGRASYONU VE SAĞLADIĞI AVANTAJLAR

Dijital Ürün Pasaportu, çoğunlukla ürünün pazar ve tüketici yolculuğu bağlamında ele alınsa da en dönüştürücü etkileri doğrudan işletmelerin üretim hatlarında ortaya çıkmaktadır. DPP'nin üretim yönetimine entegrasyonu, fabrikaları salt fiziksel çıktı üreten tesisler olmaktan çıkararak, her bir ürünün kendi üretim geçmişini kaydettiği dinamik bir veri üretim merkezine dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, veriyi yalnızca bir çıktı olmaktan öte, üretimin her aşamasını şekillendiren stratejik bir girdi haline getiren yeni bir operasyonel model inşa etmektedir (Kılıç, Kurgun, 2025).

### 5.1. Anlık İzlenebilirlik ve Kalite Yönetiminde Dönüşüm

DPP'nin üretim yönetimine sağladığı en önemli katkılardan biri, üretim süreçlerinde anlık izlenebilirlik ve buna bağlı olarak kalite yönetiminde sağlanan iyileştirmelerdir. DPP, bir ürünün hammaddeden nihai ürüne kadar tüm üretim aşamalarının dijital ortamda kayıt altına alınmasını ve gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini mümkün kılmaktadır (European Commission, 2024). Üretim sürecinin her aşamasında sensörler ve RFID etiketleri aracılığıyla veriler otomatik olarak kaydedilir; her bir ürüne benzersiz bir QR kod veya veri matrisi atanarak fiziksel varlık ile dijital kimlik eşleştirilir (Karabulut vd., 2025). Bu sayede üretim hattındaki her bir ürünün hangi aşamadan geçtiği, hangi makinede işlem gördüğü ve hangi operatör tarafından kontrol edildiği gibi bilgiler anlık olarak izlenebilmektedir (Karabulut vd., 2025).

Kalite yönetimi açısından DPP, geleneksel yaklaşımı öngören ve düzelten anında müdahaleci bir yapıya dönüştürmektedir. Geleneksel sistemlerde hatalı ürünler genellikle üretim sürecinin sonunda tespit edilirken, DPP ile sürecin her aşamasında toplanan veriler sayesinde olası hatalar anında tespit edilebilmekte ve düzeltici önlemler gecikmeden alınabilmektedir (Wicaksono vd., 2025). DPP'nin sağladığı en önemli kalite avantajlarından biri, bir hata tespit edildiğinde bu hatanın kaynağına hızlı bir şekilde ulaşılabilmesidir. Ürünün üretim sürecindeki tüm aşamalar geriye dönük olarak incelenebilmekte, hangi parti hammaddeden üretildiği, hangi makinede işlem gördüğü gibi bilgilere anında erişilebilmektedir. Bu izlenebilirlik, özellikle otomotiv, elektronik ve beyaz eşya gibi sektörlerde kalite yönetiminin etkinliğini artırmakta ve olası geri çağırma (recall) süreçlerini daha hedefli ve düşük maliyetli hale getirmektedir (Carvalho vd., 2025).

DPP, ürünün fiziksel varlığı ile dijital ikizi arasında sürekli senkronizasyon sağlayarak üretim sürecindeki her değişikliğin anlık olarak dijital ikize yansıtılmasına olanak tanır. Bu sayede üretim yöneticileri, üretim hattının durumunu, makinelerin performansını ve ürünlerin kalitesini gerçek zamanlı izleyebilmekte, olası darboğazları ve verimsizlikleri önceden tespit edebilmektedir (The Hashgraph Group, 2026). Üretim Yürütme Sistemleri (MES) ile entegre çalışan DPP, ürün montaj hattında ilerlerken maruz kaldığı her bir işlemin anlık olarak dijital kimliğine işlenmesini sağlayarak sıfır hata vizyonunu operasyonel bir gerçekliğe dönüştürmekle kalmayıp döngüsel iş modeline uyumu da kolay kılmaktadır (Karabulut vd., 2025).

## 5.2. Kaynak Verimliliği ve Atık Yönetimi

Üretim yönetiminde kaynak verimliliği, minimum girdi ile maksimum çıktıyı sağlama ilkesine dayanmakta olup, sürdürülebilir üretim paradigmasının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır. DPP, fabrikalardaki enerji ve malzeme tüketimini geleneksel “*makine veya hat bazlı*” hesaplama yöntemlerinden çıkararak “*tekil ürün bazlı*” hesaplamaya olanak tanımakta; böylece kaynak kullanımında benzeri görülmemiş bir ayrıntı düzeyi sunmaktadır (Zhang, Seuring, 2024).

DPP, üretimde kullanılan hammaddelerin miktarı, menşei ve kalitesi hakkında detaylı bilgi sağlayarak tedarik zinciri yönetiminde şeffaflığı artırmaktadır (European Commission, 2024). Bu bilgiler sayesinde üretim planlamacıları hammadde kullanımını daha hassas planlayabilmekte, fire oranlarını azaltabilmekte ve stok yönetimini iyileştirebilmektedir. Üretim hattında belirli bir hammaddenin tüketim miktarı anlık izlenebilmekte, stok seviyeleri otomatik güncellenmekte ve yeniden sipariş süreçleri optimize edilebilmektedir (Zhang, Seuring, 2024). Enerji yönetimi açısından ise DPP’ye entegre sensörler, üretim süreçlerinde tüketilen enerji miktarını ürün bazında takip ederek enerji yoğun süreçlerin tespit edilmesini ve iyileştirilmesini sağlamaktadır (The Hashgraph Group, 2026).

DPP’nin en önemli katkılarından biri de işletme içi atık yönetiminde yaşanmaktadır. Üretim sırasında ortaya çıkan fireler ve atıklar, geleneksel sistemlerde homojen olmayan yığınlar halinde biriktirildiği için şirket içi geri kazanımı zorlaştırmaktadır. DPP entegrasyonu sayesinde, üretim hattında hatalı ayrılan bir yarı mamulün tam malzeme kompozisyonu anında bilindiği için, bu fire doğrudan ve yüksek saflıkta işletme içi geri dönüşüm hattına yönlendirilebilmektedir (Shee-Weng, 2025). Üretim sürecinde ortaya çıkan fireler ve yan ürünler, DPP’nin sunduğu veri şeffaflığı sayesinde “*atık*” yerine “*ikincil hammadde*” potansiyeli olarak tanımlanabilmekte; bu yaklaşım sanayide

“endüstriyel metabolizma” kavramını güçlendirerek kaynakların kapalı döngü içerisinde yönetilmesini sağlamaktadır (Wicaksono vd., 2025; Kılıç, Kurgun, 2025).

### 5.3. Yeşil Aklamamanın Önlenmesi, Tüketici Güveni ve Rekabet Avantajı

Dijital Ürün Pasaportu'nun (DPP) en önemli işlevlerinden biri, işletmelerin sürdürülebilirlik iddialarını şeffaf, doğrulanabilir ve denetlenebilir bir zemine oturtmasıdır. Bu yönüyle DPP, İngilizce literatürde “greenwashing” olarak adlandırılan yeşil aklama olgusunun önüne geçilmesinde kritik bir rol üstlenmekte; sürdürülebilirlik odaklı yanıltıcı uygulamaların bertaraf edilmesini sağlayarak piyasa güveninin tesis edilmesine katkıda bulunmaktadır. Avrupa Komisyonu araştırmaları, AB pazarındaki çevresel iddiaların %50'den fazlasının muğlak, yanıltıcı veya asılsız olduğunu; %40'ının ise hiçbir somut kanıtı dayanmadığını ortaya koymaktadır (European Commission, 2019). Bu durum, tüketici güvenini zedelemekte ve gerçek anlamda sürdürülebilir üretim yapan işletmeleri haksız rekabete maruz bırakmaktadır (Wicaksono vd., 2025).

DPP, tüketicilere bir ürünün QR kodunu okutarak hammadde kaynağı, üretim süreçleri, karbon ayak izi, su tüketimi ve geri dönüştürülmüş içerik oranı gibi sürdürülebilirlik verilerine doğrudan erişim imkânı sunmaktadır. Bu sayede “eko”, “çevre dostu” veya “sürdürülebilir” gibi iddialar, pazarlama sloganı olmaktan çıkarak veriye dayalı ve bağımsız olarak doğrulanabilir bir nitelik kazanmaktadır (The Hashgraph Group, 2026). DPP'nin blokzincir tabanlı, değiştirilemez veri yapısı, yeşil aklama riskini teknik olarak ortadan kaldırmakta; tüketiciler ve denetleyici kuruluşlar, akıllı etiketleri tarayarak gerçek üretim verilerine anlık erişebilmektedir (Hakola vd., 2025).

Ayrıca DPP'nin tüketici davranışları üzerinde de özellikle Y ve Z kuşaklarının tüketim alışkanlıklarında kendini gösterdiği bilinmektedir. Tüketiciler için verilerini şeffaf ve doğrulanabilir biçimde sunan markalar, Tüketiciler nezdinde güven tesis ederken, söz konusu güven zamanla marka sadakatine evrilmektedir. Karabulut vd.'nin (2025) de vurguladığı üzere DPP, markalara ürünlerinin çevresel performansını belgeleme ve tüketicilerle doğrudan iletişim kurma imkânı tanıyarak, onları rakipleri karşısında farklılaştıran stratejik bir araç konumuna yükselmektedir.

### 5.4. Stratejik Bir Dönüşüm Aracı Olarak Dijital Ürün Pasaportu

Pek çok işletme için DPP, başlangıçta yasal bir zorunluluk olarak görülse de, stratejik bir olarak değerlendirildiğinde ihracatçı işletmeler için rekabet üstünlüğü sağlayan dönüşüm aracıdır. Sürdürülebilirliği bir uyum sorunu

olarak değil, bir inovasyon katalizörü olarak gören firmalar rakiplerine üstünlük sağlamaktadır. ESPR kapsamında birçok ürün kategorisi için 2026'dan itibaren zorunlu hale gelen DPP, özellikle elektrik, batarya, tekstil, demir-çelik, otomotiv ve beyaz eşya gibi Türkiye'nin ihracatında önemli paya sahip sektörleri doğrudan etkileyecektir (European Commission, 2024; T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024).

DPP düzenlemelerine erken uyum sağlayan işletmeler, aynı pazarda rekabet ettikleri diğer işletmelere karşı avantaj sağlayacaktır. DPP altyapısına erken yatırım yapan üreticiler, veriye dayalı operasyonel verimlilikleri sayesinde maliyet optimizasyonu sağlarken, “*şeffaf üretim*” sertifikasyonu ile küresel pazarlarda tercih sebebi haline gelmektedir (Haase vd., 2025). Ayrıca DPP, işletmelere ürünlerinin tüm yaşam döngüsü hakkında zengin veriler sunarak veri odaklı karar alma mekanizmalarının geliştirilmesine olanak tanımakta; ürün geliştirme, pazarlama ve müşteri ilişkileri stratejilerini daha etkin yönetmelerini sağlamaktadır (D'Adamo vd., 2025).

DPP'nin üretim yönetim sistemleri (MES), kurumsal kaynak planlama sistemleri (ERP) ve diğer dijital platformlara entegrasyonu, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırmakta ve endüstri 4.0 uygunluk seviyelerini artırmaktadır (The Hashgraph Group, 2026). Sonuç olarak DPP, üretimi salt bir “*mal üretme süreci*” olmaktan çıkarıp, yaşam döngüsü boyunca yönetilen ve katma değeri veriyle desteklenen sürdürülebilir bir iş modeline dönüştürmekte; işletmeleri yasal uyumluluğun ötesine taşıyarak stratejik bir rekabet aracına dönüşmektedir (Fares vd., 2025).

## 6. TÜRKİYE PERSPEKTİFİ

Küresel imalat sanayisinde eş zamanlı olarak ilerleyen dijitalleşme ve yeşil dönüşüm süreçleri, İkiz Dönüşüm kavramı etrafında şekillenmektedir. Bu paralel dönüşüm, gelişmekte olan ülkeler açısından iki yönlü bir etki yaratma potansiyeline sahiptir. Bir yandan mevcut üretim yapılarını ve rekabet avantajlarını tehdit ederek yapısal bir kırılma oluştururken, diğer yandan teknolojik sıçrama ile kalkınma süreçlerini hızlandırabilecekleri fırsat sunabilmektedir. (Karabulut vd., 2025). Türkiye ise, hem Gümrük Birliği hem Avrupa üretim ağlarına uyum nedeniyle bu dönüşümün tam merkezinde yer almaktadır. DPP,

Türkiye sanayisi için pazarda değer zincirlerindeki konumunu belirleyecek stratejik bir eşik niteliği taşıyan dönüşüme işaret etmektedir. Özellikle ihracatın bel kemiğini oluşturan sektörler başında yer alan tekstil, hazır giyim, demir-çelik, otomotiv sektörleri olmak üzere birçok sektör, Avrupa Birliği'nin 2026 itibarıyla uygulamaya aldığı dijital ürün pasaportu düzenlemelerinden

doğrudan etkilenecektirler. Bu düzenlemeler, uzun bir süre boyunca öz konusu bu sektörler başta olmak üzere tüm sektörler üzerinde tedarik zinciri yönetiminden üretimin tüm süreçlerine kadar etkili olup Türkiye'nin Avrupa pazarında rekabet gücü belirleyicisi olarak önemli rol oynayacaktır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024).

Zira Türkiye'de ihracatının yaklaşık %40-45'ini AB pazarı oluşturmaktadır. Bu pazarlarda varlığın korunması da DPP gibi uygulamalara uyumu zorunlu kılmaktadır (European Commission, 2024). DPP'siz bir ürünün özellikle Avrupa pazarında yer bulması imkansız hale gelecektir. Dolayısıyla DPP, Türk ihracatçısı için “*dijital vize*” yada “işletme karnesi” anlamı taşımaktadır (Zhang, Seuring, 2024). Öte yandan, şeffaf ve doğrulanabilir sürdürülebilirlik verileri sunan ihracatçı firmalar, küresel pazarda “*tercih edilen tedarikçi*” konumuna yükselerek rekabet avantajı elde edebilecektir (Haase, vd., 2025).

Türk imalat sanayisinin dijital olgunluk düzeyi, sektörler ve işletme ölçekleri arasında belirgin bir heterojenlik sergilemektedir. Bu durum, büyük ölçekli ve sermaye yoğun sektörlerde dijital dönüşüm süreçlerinin nispeten daha ileri seviyede olmasına karşın, küçük ve orta ölçekli işletmeler ile emek yoğun sektörlerde dijital olgunluğun sınırlı düzeyde kalması şeklinde tezahür etmektedir. Büyük ölçekli firmalar Endüstri 4.0 teknolojilerine uyumu daha hızlı elde ederken, üretim ağının omurgasını oluşturan KOBİ'lerde geleneksel yöntemlerin hâkim olmasına bağlı daha yavaş seyirde solduğu gözlemlenmektedir (TÜSİAD, 2021). Kobi'ler de DPP farkındalığı ise, genellikle ya çok az ya da yüzeysel olup, birçok sanayici dijital ürün pasaportunu QR kod veya PDF rapor olarak algılamaktadır (Kılıç, Kurgun, 2025). Bu kavramsal kargaşa, uyum sürecinin önündeki en önemli engellerden biridir.

Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler, pasaportlu fabrikalar vizyonuna geçişte üç yapısal bariyerle karşı karşıya kalmaktadır. Bunlardan birincisi, teknik altyapı yetersizliğidir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde ki çoğu işletmelerde üretim, akıllı teknolojiler yerine sensörsüz, internete bağlı olmayan eski nesil makineler üretim gerçekleşmekte ve DPP'nin gerektirdiği verilerin toplanması ise ciddi mühendislik eforu gerektirmektedir (Wicaksono vd., 2025). İkincisi, yüksek yatırım maliyetleridir. Benzer şekilde blokzincir, sensör, bulut aboneliği ve Yaşam döngüsü analizi (LCA) yazılımları gibi kalemler, sermaye birikimi kısıtlı işletmeler için ağır bir finansal yüküdür (Haase, vd., 2025). Üçüncüsü ise, nitelikli insan kaynağı eksikliğidir. DPP, veri bilimi ve çevre mühendisliğine hâkim yeteneklerin istihdamı, KOBİ'ler için büyük güçlük oluşturmaktadır (Karabulut vd., 2025). Söz konusu bariyerlerin aşılması, Türkiye'nin yapısal koşulları göz önünde bulundurulduğunda, salt teknolojik yatırımların ötesine geçen köklü bir dönüşüm sürecini gerektirmektedir.

Kurumsal düzeyde T.C. Ticaret Bakanlığı istişare süreçlerini yürütürken, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) bünyesinde kurulan GSI Türkiye ise DPP konusunda en aktif kurum olarak öne çıkmaktadır. Akademik alanda ise Yıldız Teknik Üniversitesi öncülüğünde yürütülen karbon ve su ayak izi verilerinin uluslararası standartlarla uyumlu ve birlikte çalışabilir bir altyapıya kavuşturulmasını hedefleyen proje ile (Yıldız Teknik Üniversitesi, 2025). Türkiye'nin DPP dönüşümünde önemli adımlar olmakla birlikte, dönüşümün başarısı kamu-özel sektör-akademi iş birliğine örnek çalışmalar arasında yer almaktadır.

Dijital olgunluk seviyesinin bölgesel ve sektörler arası düzeyde farklılık arz ettiği Türkiye sanayisi için teknoloji tabanlı bir sistem olan DPP'nin geliştirilmesi öncelikli çalışma alanlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

## 7. SONUÇ

Üretim yönetiminde ki teknolojik inovasyon döngüsel ekonomi iş modelinin uygulanmasında iş birlikçi rolü oynamaktadır. DPP, tedarik zincirinden başlayarak üretim sürecinden geçip son tüketiciye kadar ürünler hakkında şeffaflık, izlenebilirlik ve hesap verebilirlik sağlayarak, döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmada güçlü bir katalizör rolü oynar. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve ESPR ile birlikte DPP, gönüllülükten zorunluluğa evrilmiş; gönüllülük esasından zorunlu hale geldi ve 2026 yılına kadar AB pazarına erişim için dijital bir vize niteliği kazanacak.

Araştırma sonuçları, DPP'nin üretim sürecine entegre edilmesinin işletmelere birçok avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Anlık izlenebilirlik, sayesinde kalite yönetiminde pasif olmaktan öngörülebilir olmaya doğru bir devrim yaratıyor. Ayrıca, ürün düzeyinde kaynak kullanımı optimize ediliyor. Blok zinciri destekli veri yapıları, sürdürülebilir kalkınma yanılması riskini ortadan kaldırarak yasal uyumluluğu rekabetçi bir stratejik avantaja dönüştürebilmektedir.

Türkiye perspektifinden değerlendirildiğinde, ihracatın yaklaşık %45'ini oluşturan AB pazarına DPP'nin gerekliliklerini uygulama da isteğe bağlılıktan çıkıp zorunlu hale gelmiştir. 2026 yılı ile başlayan ve 2027 yılı sonuna kadar başta elektrik, batarya, kimya sektörleri olmak üzere tekstil, otomotiv, beyaz eşya ve demir-çelik gibi lokomotif sektörler için DPP uygulaması işletmeler özellikle Avrupa. pazarına giriş karnesi niteliği taşıyacaktır. İşletmeler için bu sisteme oryantasyonu sadece yönetsel bir değişim ile değil üretim yönetiminde yapılacak teknolojik inovasyonunu gerçekleştirebilme gücüyle de sağlayacaktır. Çünkü DPP'ye geçiş tedarik zinciri yönetiminden başlayarak ürünün lojistiğine kadar hem teknik altyapı hem nitelikli insan kaynağını

da içinde barındıran bütüncül bir sistemi gerekli kılmaktadır. Blok zinciri, IOT nesnelerin interneti gibi endüstri 4.0 araçları hem döngüsel ekonomi iş modelinin işletmede uygulanabilirliğini kolaylaştıracak hem de üretimin her aşamasındaki kaydettiği verileri koruyarak aktarımını başarıyla sağlayacaktır.

İşletmelerin uluslararasılaşmasında pazara giriş için stratejik bir rol oynayan DPP'ler hem alıcı firmalar hem de nihai tüketiciler için kapsamlı bir bilgi kaynağı niteliği taşıırken, aynı zamanda işletmenin hedef pazardaki güvenilirlik düzeyini pekiştiren stratejik bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Yüksek yatırım maliyetleri barındıran bu yeni teknolojinin, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin Avrupa pazarında varlık gösterebilmeleri açısından herkes için uygulanabilir, eşit ve adil bir sistem olup olmadığı sorusunu gündeme getirdiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu teknolojinin beraberinde getirdiği zorlukların aşılabilmesi adına yeni düzenlemelere duyulan ihtiyacı tartışmaya açmaktadır.

## 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>
- Ata, N. S. (2024). Türkiye'nin endüstri 4.0'a geçiş sürecinin değerlendirilmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 22(51), 119-141. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1344608>
- Basal, M., & Demircioğlu, A. (2024). Digital product passport in marketing and the future of sustainable development. *SCIRP*. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2024.145039>
- Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C. M., Boulogeorgos, A. A. A., Argiriou, 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>
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, 11(1), 11-30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- García Vaquero, M., Sánchez-Bayón, A., & Lominchar, J. (2021). European Green Deal and Recovery Plan: Green Jobs, Skills and Wellbeing Economics in Spain. *Energies*, 14(14), 4145. <https://doi.org/10.3390/en14144145>
- Carvalho, C., Silva, C. J., & Abreu, M. J. (2025). Circular economy: Literature review on the implementation of the digital product passport (DPP) in the textile industry. *Sustainability*, 17(5), 1802. <https://doi.org/10.3390/su17051802>
- 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*, 34(7), 9008-9022. <https://doi.org/10.1002/bsc.70065>
- Duarte, N., Pereira, C., Grzywińska-Rapca, M., Kulli, A., & Goci, E. (2025). Consumers' knowledge and decisions on circularity: Albanian, Polish, and Portuguese perspectives. *Environment, Development and Sustainability*, 27(10). <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05077-4>
- Farmer, A. (2019). Developing the circular economy in the European Union. In *Circular economy: Global perspective* (pp. 389-412). Singapore: Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6_20)
- Ellen MacArthur Foundation, *The circular economy: a transformative Covid-19 recovery strategy: How policymakers can pave the way to a low carbon, prosperous future* (2020)
- M. (2024). Models of state digital sovereignty from the global south: Diverging experiences from China, India and South Africa. *Policy & Internet*, 16(4), 727-738. <https://doi.org/10.1002/poi3.427>

- European Commission. (2019). The European Green Deal (COM(2019) 640 final). Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- European Commission. (2019). Closing the loop: Commission delivers on Circular Economy Action Plan. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_1480](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_1480)
- European Commission. (2022). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC (COM(2022) 142 final). Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0142>
- European Commission. (2024). New EU sustainability rules explained: Ecodesign Regulation FAQs. [https://environment.ec.europa.eu/news/new-eu-sustainability-rules-explained-ecodesign-regulation-faqs-2024-09-27\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/new-eu-sustainability-rules-explained-ecodesign-regulation-faqs-2024-09-27_en)
- European Commission. (2024). Ecodesign for Sustainable Products Regulation – Digital Product Passport requirements. Brussels [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en)
- 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*, <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00690-5>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Gabaçlı, N., & Uzunöz, M. (2017). IV. Sanayi devrimi: Endüstri 4.0 ve otomotiv sektörü. *ICPESS (International Congress on Politic, Economic and Social Studies)*, (3).
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- 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*, <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00500>
- 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>

- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS) (pp. 3928-3937). IEEE. <https://doi.org/0.1109/HICSS.2016.488>
- Karabulut, A. N., Çalıköğlü, G., & Bulut, Z. A. (2025). Discussing and Reviewing the Digital Product Passport: An Up-to-Date Bibliometric Analysis. *Systems*, 13(11), 930. <https://doi.org/10.3390/systems13110930>
- Kılıç, G. B., & Kurgun, A. (2025). Dijital Dönüşüm Stratejilerinin Döngüsel Ekonomi Uygulamalarına Etkisi. *Journal of Business in The Digital Age*, 8(1), 87-105. <https://doi.org/10.46238/jobda.1694308>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Koulhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International journal of production economics*, 231, 107831. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Özbek, M. E. (2024). The Age of Digitalization in Industry: From Digital Twins to Digital Product Passport *Journal of Artificial Intelligence and Data Science*, 4(1), 11-21.
- Özcan, N. A., Bulut, M., Özcan, E. C., & Eren, T. (2022). Enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin istatistiksel ve analitik olarak karşılaştırması: Türkiye örneği. *Politeknik Dergisi*, 25(2). <https://doi.org/10.2339/politeknik.763579>
- Özkazancı, F. E. (2026, Ocak 22). Dijital Ürün Pasaportu: Sürdürülebilirlikten rekabet avantajına. *Escarus*. <https://escarus.com/dijital-urun-pasaportu-surdurulebilirlikten-rekabet-avantajina>
- 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>
- Pamuk, N. S., & Soysal, M. (2018). YENİ SANAYİ DEVRİMİ ENDÜSTRİ 4.0 ÜZERİNE BİR İNCELEME. *Verimlilik Dergisi*, 1, 41-66. <https://izlik.org/JA43BX94EL>
- Shee Weng, L. (2024). Digital Product Passports: Transforming industries through transparency, circularity, and compliance. *Digital Product Passports: Transforming Industries Through Transparency, Circularity, and Compliance* (November 10, 2024). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5158550>

- T.C. Ticaret Bakanlığı. (2024). Sürdürülebilir Ürünler İçin Eko-Tasarım Tüzüğü-ESPR. ticaret.gov.tr. Erişim tarihi: 1 Mart 2026, <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/surdurulebilir-urunler-icin-eko-tasarim-tuzugu-espr>
- The Hashgraph Group. (2026). TrackTrace for EU Digital Product Passport regulation compliance. retailtechinnovationhub.com. Erişim tarihi: 1 Mart 2026, <https://retailtechinnovationhub.com/home/2026/02/15/tracktrace-launches-digital-product-passport-solution/>
- TÜSİAD. (2021). Türkiye'nin sanayide dijital dönüşüm yetkinliği: Mevcut durum ve gelecek vizyonu. <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar>
- 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>
- Yıldız Teknik Üniversitesi. (2025). YTÜ'nün 'Dijital Ürün Pasaportu' projesine Avrupa Birliği'nden destek. [yildiz.edu.tr](http://yildiz.edu.tr). Erişim tarihi: 1 Mart 2026. <https://www.yildiz.edu.tr/haber/ytunun-dijital-urun-pasaportu-projesine-avrupa-birliginden-destek>
- 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>

