



Döngüsellüğün Sosyoteknik İnşası: AB'nin Enerji Yoğun Sanayilerinde Ağ Kurulumu, Çeviri Süreçleri ve İktidar Dinamikleri

Constructing Circularity: Network Building, Translation Processes, and Power Dynamics in the EU's Energy-Intensive Sectors

Ömer Özdiñç^a, Adem Başpınar^b

^a Dr., SER Danışmanlık, Üsküdar, İstanbul, Türkiye.
E-posta: omer.ozdinc@sd.com.tr

^b Doç. Dr., Kırklareli Üniversitesi, fen Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji Bölümü, Kırklareli, Türkiye.
E-posta: abaspinar@klu.edu.tr

ÖZ Avrupa Birliği'nin enerji yoğun sektörlerde döngüsel ekonomiye geçiş süreci, paradoksal bir görünüm arz etmektedir: Bu sektörlerde birincil malzeme eşdeğeri ikincil hammadde gerisi kazanımını sağlayan ileri geri dönüşüm teknolojileri mevcut olmasına rağmen bu teknolojilerin benimsenme oranları oldukça düşüktür. Bu çalışma, AB'nin döngüsel ekonomi geçişlerinde (yeşil dönüşümde) heterojen aktörlerin nasıl ağlar kurduğunu ve belirli ağ konumlarının hangi süreçlerle iktidar etkisi kazandığını irdelemektedir. Çalışmada Aktör-Ağ Teorisi çerçevesinde; 2019-2024 dönemine ait AB politika dokümanları, teknik raporlar ve akademik literatür incelenmiş; poliüretan kimyasal geri dönüşümü, kompozitlerin termo-kimyasal işlenmesi, plastiklerin mekanik geri dönüşümü ve tekstil yeniden değerlendirme teknolojileri olmak üzere dört malzeme-teknoloji bileşenindeki "çeviri" süreçleri izlenmiştir. Araştırma sonucunda üç temel bulguya ulaşılmıştır. Birincisi, döngüsel malzeme akışları yalnızca teknik performansla değil; Callon'un çeviri (translation) aşamaları (sorum tanımlama, aktörleri hizalama, rol atama, harekete geçme) aracılığıyla heterojen aktörlerin çıkarılarının hizalanmasıyla istikrar kazanmaktadır. İkincisi, iktidar bir ağ etkisi olarak işlemektedir: AB düzenleyicileri, uyum zorunlulukları üzerinden; platform işletmecileri, ağ etkileri yoluyla; standart kuruluşları da teknik spesifikasyonlar aracılığıyla kendilerini "zorunlu geçiş noktası" olarak konumlandırarak diğer aktörlerin hedeflerine ulaşabilmesi için kendi katılımlarını zorunlu kılmış ve böylece iktidar elde etmiştir. Üçüncüsü, Dijital Ürün Pasaportları, yapay zekâ sistemleri ve standartlar gibi insan-dışı aktörler; belirli çıkarıları teknik gereklilikler olarak kodlayıp nötr bir görünüm altında; kodlama (inscription), yetki devri ve kara kutulaştırma mekanizmalarıyla ağları etkin biçimde şekillendirmektedir. Bu analiz, teknolojik determinizme karşı çıkarak yeşil dönüşümlerin esasen Aktör-Ağ Teorisinin kavramlarıyla sürekli müzakere, ayakta tutma ve demokratik hesap verebilirlik gerektiren sosyoteknik ağ inşa süreçleri olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler

Aktör-Ağ Teorisi • döngüsel ekonomi • enerji yoğun sanayiler • sosyoteknik geçişler • çeviri süreçleri • zorunlu geçiş noktası • Dijital Ürün Pasaportu

ABSTRACT The European Union's transition to a circular economy in energy-intensive industries presents a paradoxical phenomenon: despite the availability of advanced recycling technologies capable of recovering secondary raw materials equivalent to primary ones, adoption rates remain remarkably low. This study examines how heterogeneous actors construct networks in the EU's circular economy transitions and through which processes certain network positions acquire power effects. Employing Actor-Network Theory as an analytical framework, the study analyzes EU policy documents, technical reports, and academic literature from 2019-2024, tracing "translation" processes across four material-technology assemblages: polyurethane chemical recycling, thermo-chemical processing of composites, mechanical recycling of plastics, and textile upcycling technologies. The research yields three principal findings. First, circular material flows are stabilized not solely through technical performance but through the alignment of heterogeneous actors' interests via Callon's moments of translation (problematization, interessement, enrollment, and mobilization). Second, power operates as a network effect: EU regulators through compliance mandates, platform operators through network effects, and standards bodies through technical specifications have positioned themselves as "obligatory passage points," rendering their participation essential for other actors to achieve their objectives and thereby acquiring power. Third, non-human actors such as Digital Product Passports, artificial intelligence systems, and standards actively shape networks through inscription, delegation, and black-boxing mechanisms, encoding particular interests as technical requirements under an appearance of neutrality. This analysis challenges technological determinism, demonstrating that sustainability transitions are fundamentally sociotechnical network-building processes requiring continuous negotiation, maintenance, and democratic accountability.

Keywords

Actor-Network Theory • circular economy • energy-intensive industries • sociotechnical transitions • translation processes • obligatory passage point • Digital Product Passport



Özdiñç, Ö. & Başpınar, A. (2025). Döngüsel ekonomiye geçişte aktör ağları ve iktidar ilişkileri: AB enerji yoğun sektörlerinde gelişmiş geri dönüşüm ve yeniden değerlendirme teknolojileri. *EnergyTR*, 2, 81-123. <https://doi.org/10.65552/energytr.2025.2.2.005>

Introduction and Research Problem

The European Union's commitment to achieving net-zero greenhouse gas emissions by 2050 has placed unprecedented transformative pressure on energy-intensive industries such as steel, chemicals, cement, automotive, and electronics. At the heart of this transformation lies a striking paradox: while advanced recycling and upcycling technologies capable of recovering high-quality secondary materials from complex waste streams have been demonstrated at pilot scale, their widespread adoption remains fragmented and contested, falling far short of systematic stability needed to meet circular economy targets.

Current statistics underscore the magnitude of this challenge. Approximately 40 million mattresses are discarded annually in Europe, generating over 300 kilotons of polyurethane foam waste. Similarly, composite material waste from wind turbines, aviation, and automotive applications is projected to increase significantly by 2050. Despite promising pilot-scale demonstrations showing that chemical depolymerization can achieve high monomer recovery rates, thermo-chemical processes can recover fibers without significant strength loss, and advanced mechanical recycling can produce materials meeting industrial standards under controlled conditions, commercialization continues to lag, and established linear material flows maintain their dominance.

This puzzle cannot be resolved through technical analysis alone. The stagnation in transition processes reflects deeper dynamics concerning the coordination of heterogeneous actors, conflicts of interest, and network-building processes that shape which innovations stabilize and which remain marginal. This study addresses the central research question: How do heterogeneous actors construct networks in the EU's circular economy transitions, and through which processes do certain network positions acquire power effects?

Theoretical Framework: Actor-Network Theory

This study employs Actor-Network Theory (ANT) as its analytical framework, offering conceptual tools that avoid both technological determinism and social constructivism. ANT's commitment to the principle of generalized symmetry—treating human and non-human actors with equivalent analytical status—provides unique advantages for analyzing sociotechnical transitions where regulations, algorithms, material properties, and organizational strategies jointly determine outcomes.

The theoretical framework centers on Callon's concept of translation, which describes the process through which heterogeneous actors are linked together to form a coherent network. Translation comprises four analytically distinguishable moments: problematization (defining the problem and positioning oneself as indispensable), interessement (deploying devices that disrupt alternative alliances and attract actors to

the proposed network), enrollment (negotiating and stabilizing roles), and mobilization (maintaining commitments and enabling enrolled actors to represent broader constituencies).

Central to the analysis is the concept of the "obligatory passage point" (OPP), through which actors acquire power by making their participation essential for others to achieve their goals. Equally important is attention to non-human agency, examined through the concepts of inscription (encoding action programs into material forms), delegation (transferring agency from humans to non-humans), and black-boxing (stabilizing networks so that internal complexity becomes invisible).

Methodology

The study employs document-based theoretical analysis, examining EU policy documents, technical reports, and academic literature from 2019–2024. Documents are treated not as passive objects transparently reflecting reality but as active participants in network building—"immutable mobiles" that circulate to persuade, regulate, and coordinate.

The analytical process involved six stages: deductive coding using Callon's four translation moments as initial categories; actor mapping to systematically identify human actors (regulators, manufacturers, technology providers, standards bodies, civil society) and non-human actors (DPPs, AI systems, standards, waste materials); non-human agency analysis focusing on inscription, delegation, and black-boxing; conflict and resistance coding to identify contested claims and implementation gaps; relational interpretation treating actors relationally rather than essentialistically; and careful inference distinguishing direct evidence from interpretive conclusions.

Four material-technology assemblages were selected through theoretical sampling to represent diversity across technological maturity (TRL levels), regulatory regime history, and actor density: polyurethane chemical recycling, composite thermo-chemical processing, mechanical plastic recycling, and textile upcycling.

Key Findings

Finding 1: Translation Dynamics in Network Stabilization

Circular material flows are stabilized not through technical performance alone but through successful translation processes that align the interests of heterogeneous actors. The analysis reveals how different actors engage in competing problematizations: regulatory frameworks emphasize environmental threats and geopolitical vulnerabilities; industry actors highlight quality risks and cost uncertainties; technology providers focus on knowledge gaps; and civil society foregrounds justice demands.

Interessement operates through regulatory mandates (such as ESPR compliance requirements), technological

affordances (chemical recycling's ability to produce primary-equivalent materials under controlled conditions), and economic incentives (cost reductions, green finance opportunities). Enrollment occurs through multilateral negotiations where actors accept specific roles—OEMs as “recycled content users,” SMEs as “secondary material suppliers,” civil society as “legitimacy providers”—albeit with escape clauses and risk-sharing mechanisms. Mobilization extends enrollment through pilot projects generating quantitative evidence, digital platforms creating network effects, and knowledge hubs disseminating best practices.

Finding 2: Power as Network Effect

Power in circular economy transitions operates not as a possessed resource but as an emergent property of network configurations. Actors acquire power by successfully positioning themselves as obligatory passage points—positions through which others must pass to achieve their objectives.

The analysis identifies three primary mechanisms through which OPPs are constructed: regulatory mandates (EU regulators make compliance obligatory for market access); network effects (platform operators create conditions where participation becomes economically rational); and technical specifications (standards bodies define requirements that function as prerequisites for supply chain participation). The Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR), Digital Product Passports, and CEN/ISO standards exemplify how these mechanisms operate, creating positions from which actors can shape the conditions of others' participation.

Finding 3: Non-Human Agency Through Inscription, Delegation, and Black-Boxing

Non-human actors actively shape circular economy networks through three interrelated mechanisms. Inscription involves encoding requirements into material forms: DPPs inscribe traceability requirements into data architectures, structuring interactions so that certain actions are facilitated while others are impeded. Delegation involves transferring decision-making from humans to technical systems: AI-based quality control algorithms assume responsibility for decisions previously made by human operators, reflecting priorities inscribed by system designers that often remain invisible to end users. Black-boxing occurs when networks stabilize so that internal complexity becomes invisible: certified recycling processes become black boxes that users trust without understanding underlying chemical mechanisms or algorithmic optimizations.

These mechanisms are politically consequential. When technical standards become black-boxed, the interests embedded within them are naturalized as neutral technical requirements. The apparent objectivity of AI classifications or certification schemes obscures the value choices encoded in their design.

Discussion and Implications

The analysis challenges technological determinism by demonstrating that circular economy transitions are fundamentally sociotechnical network-building processes. The success of advanced recycling technologies depends not merely on technical performance but on capacities to construct positions that make adoption obligatory—whether through regulation, economic incentives, technical dependencies, or normative pressures.

The findings carry significant implications for transition governance. First, they suggest that policy interventions should attend not only to technological development but to the construction of network configurations that enable or constrain adoption. Second, they highlight the democratic accountability challenges posed by delegation to non-human actors: when AI systems, platforms, and standards increasingly mediate circular material flows, questions arise about who designs these systems, whose interests are inscribed, and whether participatory governance models can democratize technical decision-making. Third, they underscore the need for just transition frameworks that address distributional justice (who bears transition costs), procedural justice (who participates in technical design), and recognition justice (whose knowledge systems are legitimized).

Conclusions

Circular economy transitions remain radically open-ended processes. Their ultimate configurations will be determined not solely by technical possibilities or economic rationalities but by the networks that human and non-human actors succeed in building, stabilizing, and defending. Understanding these network dynamics is essential for designing transitions that are not only environmentally effective but also socially just and democratically accountable.

The fundamental challenge is political rather than merely technical or regulatory: constructing networks that align diverse interests while distributing power and benefits equitably. Actor-Network Theory provides powerful conceptual tools for analyzing this political challenge, recognizing that circular futures are co-produced through translation work—the resolution of technical problems, the construction of governance frameworks, the creation of market infrastructures, and the inscription of values into durable socio-material assemblages.

Future research should extend this analysis through ethnographic studies of micro-level negotiation practices, comparative analyses of DPP implementations across member states, longitudinal tracking of network stabilization and fragmentation, and empirical investigations of justice implications in circular economy transitions.

Giriş

Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar net sıfır sera gazı emisyonuna ulaşma hedefi; çelik, kimya, çimento, otomotiv ve elektronik gibi enerji yoğun sektörler üzerinde benzeri görülmemiş bir dönüşüm baskısı yaratmıştır (European Commission, 2019). Bu dönüşümün merkezinde ise dikkat çekici bir paradoks yatmaktadır: Karmaşık atık akışlarından yüksek kaliteli ikincil malzemeleri geri kazanabilen ileri düzey geri dönüşüm ve yeniden değerlendirme teknolojileri pilot ölçekte kanıtlanmış olsa da bu teknolojilerin yaygınlaşması hâlen döngüsel ekonomi hedeflerini karşılayacak sistematik bir istikrardan uzaktır (European Environment Agency, 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Birçok sektör için devasa atık miktarları söz konusudur. Örneğin Avrupa'da her yıl yaklaşık 40 milyon yatak atığı oluşmakta ve bu durum 300 kilotonun üzerinde poliüretan köpük atığına yol açmaktadır. Benzer şekilde, rüzgâr türbinleri, havacılık ve otomotiv uygulamalarından kaynaklanan kompozit malzeme atıklarının 2050 yılına kadar 840 kilotona ulaşacağı öngörülmektedir (European Bedding Industries' Association, 2021; WindEurope, 2020).

Atık miktarındaki hacme karşılık pilot ölçekteki teknik gelişmeler umut vericidir; nitekim kimyasal depolimerizasyonun yüksek oranda monomer geri kazanımı sağladığı (Zia ve ark., 2007), termo-kimyasal işlemlerin lifleri ciddi bir mukavemet kaybı olmaksızın geri kazandığı (Krauklis ve ark., 2021) ve gelişmiş mekanik geri dönüşümün kontrollü koşullarda endüstriyel standartları karşılayan malzemeler üretebildiği (Ragaert ve ark., 2017) görülmektedir. Ancak ticarileşme süreci teknik başarılarla paralel olarak gelişmemekte ve yerleşik doğrusal (lineer) malzeme akışları hâkimiyetini sürdürmektedir.

Bu bulmacayı yalnızca teknik bir analizle çözmek mümkün değildir. Geçiş sürecindeki bu duraksama; hangi yeniliklerin istikrara kavuşup hangilerinin marjinal kaldığını şekillendiren heterojen aktörlerin koordinasyonu, çıkar çatışmaları ve ağ kurulum süreçlerine dair daha derin dinamikleri yansıtmaktadır (Callon, 1986). Örneğin, Sürdürülebilir Ürünler için Eko-Tasarım Tüzüğü (ESPR) gibi düzenleyici çerçeveler Dijital Ürün Pasaportları (DPP) yoluyla izlenebilirliği zorunlu kılmasına rağmen uygulama hâlâ düzensizdir. Ham maddeye dayalı yerleşik ağlarda konumlanan aktörler, geri dönüştürülmüş girdilere karşı kalite belirsizliği ve tedarik zinciri güvensizliğini gerekçe göstererek direnç sergilemektedir. Sermaye ve standart belirleme ağlarının dışında kalan aktörler katılım engelleriyle karşılaşırken sivil toplum örgütleri ise teknokratik yönetimi sorgulayarak çevresel adalet talep etmektedir (European Commission, 2022; Gregson ve ark., 2015).

Özetle döngüsel ekonomi, yalnızca uygulanmayı bekleyen teknik bir çözüm paketi değildir. Aksine düzenleyiciler, sanayiciler, teknoloji sağlayıcılar ve yurttaşlar gibi insan aktörlerin; atık malzemeler, algoritmalar, standartlar ve altyapılar gibi insan-dışı aktörlerle işleyen ağlar hâlinde hizalanmasını gerektiren, tartışmalı bir sosyomateriyal bütünleşme sürecidir.

Bu makale şu temel soruya odaklanmaktadır: *AB'nin döngüsel ekonomi geçişlerinde heterojen aktörler ağı nasıl kurar ve bazı ağ konumları hangi süreçlerle iktidar etkisi kazanır* Geri dönüşüm ve yeniden değerlendirme teknolojilerini tarafsız araçlar olmanın ötesinde, birer sosyoteknik bileşen olarak ele alan bu analiz; farklı aktörlerin rollerini nasıl müzakere ettiklerini, kaynakları nasıl harekete geçirdiklerini ve “atık” ile “kaynak” kavramlarının anlam ve maddeselliğini nasıl tartıştıklarını ön plana çıkarmaktadır.

Araştırma dört alt soruyla yapılandırılmıştır: (1) Bu yeni ortaya çıkan ağlarda hangi aktörler yer almakta ve döngüsel malzeme akışlarını istikrara kavuşturma ya da istikrarsızlaştırma açısından ne tür roller üstlenmektedir? (2) İnsan-dışı aktörler (DPP, yapay zekâ optimizasyon sistemleri, sertifikasyon standartları, atık malzemelerin kendisi) ağ içerisindeki eylemleri nasıl kısıtlamakta ya da mümkün kılmaktadır? (3) Farklı çıkarlar hangi “çeviri” süreçleri aracılığıyla hizalanmakta ve hangi aktörler kendilerini vazgeçilmez konumlara yerleştirmede başarılı olmaktadır? (4) Bazı ağ konumları iktidar etkilerini nasıl kazanmaktadır ve bu stratejik pozisyonların inşası sürecinde hangi çatışmalar ortaya çıkmaktadır?

Bu çerçeveyi kapsayabilmek adına makale şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde döngüsel ekonomi geçişlerine uyarlanmış bir Aktör-Ağ Teorisi çerçevesi sunulmaktadır. Üçüncü bölüm, belge temelli metodolojiyi, analiz edilen metin kümesini, analitik süreci ve örneklem seçim mantığını detaylandırmaktadır. Dördüncü bölümde, AB döngüsel ekonomi ağlarında çeviri süreçleri ve insan-dışı aktörlerin çıkarlarının teknik sistemler içine gömülmesine, diğer bir deyişle “kodlanmasına” ilişkin ayrıntılı analizler sunulmaktadır. Beşinci bölüm, somut verilerle iktidar dinamiklerini ve ağ üzerindeki çekişmeleri incelemektedir. Altıncı bölüm bulguları sentezlemekte, çalışmayı yeşil dönüşüm literatürüyle ilişkilendirmekte, Callon sonrası Aktör-Ağ Teorisi gelişmeleriyle etkileşime girmekte ve normatif çıkarımlar ortaya koymaktadır. Yedinci ve son bölümde ise gelecek araştırmalar için öneriler yer almaktadır.

Aktör-Ağ Teorisi ve Yeşil Dönüşümler

Aktör-Ağ Teorisi, yeşil dönüşümleri anlamlandırmak adına hem değişimin itici gücünü yeniliğe atfeden teknolojik determinizmden hem de gerçekliği söylemin biçimlendirdiğini savunan toplumsal inşacılıktan kaçınan analitik araçlar sunar. Aktör-Ağ Teorisi genelleştirilmiş simetri ilkesine -yani insan ve insan-dışı aktörleri analitik düzlemde eşdeğer statüde ele alma prensibine- bağlıdır. Bu bağlılık; düzenlemelerin, algoritmaların, malzeme özelliklerinin ve örgütsel stratejilerin müşterek şekilde çıktıları belirlediği sosyoteknik dönüşümlerin analizine özgün bir boyut kazandırır (Latour, 2005). Bu çerçevede bir regülasyon metni, gücünü içkin yasal otoritesinden değil; uygulayıcı kurumlar, denetim mekanizmaları ve maddi altyapılar aracılığıyla hayata geçirilmesinden alır. Benzer şekilde bir DPP de -Latour’a atıfla- otonom bir niyete sahip olduğu için değil; veri akışlarını yapılandırarak üreticiler, düzenleyiciler ve tüketiciler arasındaki ilişkilere aracılık ettiği ölçüde eylemleri sınırlandırır (Latour, 1992).

Aktör-Ağ Teorisi, aktörleri münhasıran ilişkileri üzerinden tanımlayan bir ilişkisel ontoloji benimser (Law, 1992). Buna göre enerji yoğun bir sanayi, sabit çıkarlara sahip, önceden tanımlı monolitik bir yapı değil; fabrikalar, tedarik sözleşmeleri, teknik standartlar, iş gücü bilgisi ve düzenleyici yükümlülüklerden müteşekkil geçici bir bileşimdir. Burada esas olan aktörlerin ne olduğu değil ne yaptığıdır: Gerçekleştirdikleri çeviriler, kurdukları ittifaklar ve aştıkları dirençler. Söz konusu ontoloji, geleneksel mikro-makro ayrımını ortadan kaldırır. Buna göre daha üst bir düzeyde işleyen “toplumsal yapılar” yoktur; yalnızca yerel etkileşimlerin uzatılması, istikrara kavuşturulması ve kara kutulaştırılması suretiyle kalıcı bağlamlara dönüşen ağlar mevcuttur (Latour, 2005). Bu perspektiften bakıldığında Avrupa Birliği’nin döngüsel ekonomi çerçevesi, firma davranışları üzerinde belirleyici olan makro düzeyde bir kısıtlama değildir. Aksine bu çerçeve; yasa metinleri, teknik şartnameler, izleme sistemleri ve maddi akışların sayısız biçimde hizalanmasıyla ayakta duran ve sürekli idame ettirilmesi gereken kırılğan bir maniveladır.

Çeviri Süreci ve Ağ Kurulumu

Callon’un (1986) çeviri kavramı, heterojen aktörlerin ilişkilendirilerek bir ağın nasıl bütünlük kazandığını açıklayan süreci tanımlar. Çeviri, ikna ya da yayılım değil, bilakis etkin bir dönüşümdür. Aktörler, ağ kurucusunun projesiyle kendi yönelimleri uyumlu olacak biçimde yeniden tanımlanarak ağa dâhil edilirler. Bu süreç analitik olarak ayırt edilebilen dört aşamadan oluşur: sorun tanımlama (sorunun tanımlanması ve öznenin kendini vazgeçilmez bir noktada konumlandırması), aktörleri hizalama (alternatif ittifakları bozan ve aktörleri önerilen ağa çeken araçların devreye sokulması [interestment]), rol atama (rollerin müzakere edilerek istikrara kavuşturulması [enrollment]) ve harekete geçme / konuşma (ağa dâhil olan aktörlerin bağlılıklarının sürdürülmesi ve daha geniş grupları temsil edebilir hâle gelmelerinin sağlanması [mobilization]).

Döngüsel ekonomi dönüşümlerinde sorun tanımlama, atık krizine dair rekabet hâlindeki tanımlar üzerinden şekillenir. Regülasyon çerçeveleri çevresel tehditlere ve jeopolitik kırılğanlıklara odaklanırken sektör aktörleri kalite riskleri ve maliyet belirsizliklerini vurgular; teknoloji aktörleri bilgi eksikliklerine dikkat çekerken sivil toplum ise adalet taleplerini öne çıkarır. Aktörleri hizalama süreci; regülasyon zorunlulukları (örneğin ESPR uyum gereklilikleri), teknolojik olanaklar (kimyasal geri dönüşümün kontrollü koşullarda birincil malzeme eşdeğeri üretimi) ve ekonomik teşvikler (maliyet düşüşleri, yeşil finansman olanakları) aracılığıyla yürütülür. Rol atama, aktörlerin belirli rolleri kabul ettiği çok taraflı müzakerelerle gerçekleşir. Örneğin Orijinal Ekipman Üreticisi (OEM) ağlarında yer alan aktörler “geri dönüştürülmüş içerik kullanıcısı” olarak konumlanırken KOBİ’ler “ikincil malzeme tedarikçisi” rolünü üstlenir, sivil toplum ise “meşruiyet sağlayıcı” olarak yer alır. Ancak tüm bu roller, kaçış maddeleri ve risk paylaşım mekanizmaları ile müzakere edilir. Harekete geçme aşamasında ise rol atama süreci genişletilir: pilot uygulamalarla nicel ka-

nıtlar üretilir, dijital platformlar üzerinden ağ etkileri yaratılır ve bilgi merkezleri en iyi uygulamaların yayılmasını sağlar.

İnsan-Dışı Öznellik: Kodlama, Yetki Devri ve Kara Kutuya Alınma

Aktör-Ağ Teorisinin insan-dışı varlıkları pasif araçlar yerine gerçek katılımcılar olarak ele alma vurgusu, teknik sistemlerin yetkinlikleri nasıl yeniden dağıttığını ve çıkarları nasıl kodladığını ön plana çıkarır (Latour, 1992). Kodlama (inscription), bir vizyonun maddi biçimlere kodlanarak (Akrich, 1992) sonraki davranışları hem sınırlayıp hem de mümkün kıldığı süreci ifade eder. Örneğin bir DPP, izlenebilirlik gerekliliklerini veri mimarisine kodlar: döngüsel malzeme akışlarına katılmak isteyen aktörler belirli veri noktalarını standart formatlarda üretmek, iletmek ve doğrulamak zorundadır. Pasaport, bir zorlayıcı güçle uyumu otomatik olarak sağlamaz; onun yerine etkileşimleri yapılandırarak bazı eylemleri kolaylaştırır, diğerlerini ise zorlaştırır.

Yetki devri (delegation), eylem kapasitesinin insanlardan insan-dışı aktörlere aktarılmasını (Latour, 1992) tanımlar. Örneğin geri dönüşüm süreçlerinin sürekli insan denetimine dayanması yerine, kalite kontrol görevleri yapay zekâ tabanlı optimizasyon sistemlerine devredilir ve bu algoritmalar parametreleri gerçek zamanlı olarak ayarlar. Bu süreç sadece bir otomasyon değil, öznenin yeniden yapılandırılmasıdır: Algoritma, önceden insan operatörler tarafından verilen kararların sorumluluğunu üstlenir. Bu kararlar, geliştiriciler tarafından kodlanmış öncelikleri yansıtır ve söz konusu öncelikler çoğu zaman son kullanıcılar için görünmezdir (Latour, 1992).

Kara kutulaştırma (black boxing) ise bir ağın içsel karmaşıklığı artık görünmez olacak şekilde istikrara kavuşması durumunda ortaya çıkar; böylece ağ artık tekil, sorun teşkil etmeyen bir birim olarak işlem görür (Latour, 1999). Örneğin sertifikalı bir geri dönüşüm süreci kara kutuya dönüşür: kullanıcıların kimyasal mekanizmaları veya algoritmik optimizasyonları anlamasına gerek yoktur, çıktıya güvenmeleri yeterlidir. Kara kutulaştırma, ölçeklenebilirlik açısından hayati önemdedir. Şayet her etkileşimde temel varsayımların yeniden müzakere edilmesi gerekseydi, ağlar genişleyemezdi. Ancak bu süreç aynı zamanda siyaseti de görünmez kılar (Latour, 1999). Teknik standartlar kara kutulaştırıldığında, bu standartlara gömülü çıkarlar tarafsız teknik gerekliliklermiş gibi doğallaştırılır.

İktidarın Bir Ağ Etkisi Olarak Anlaşılması

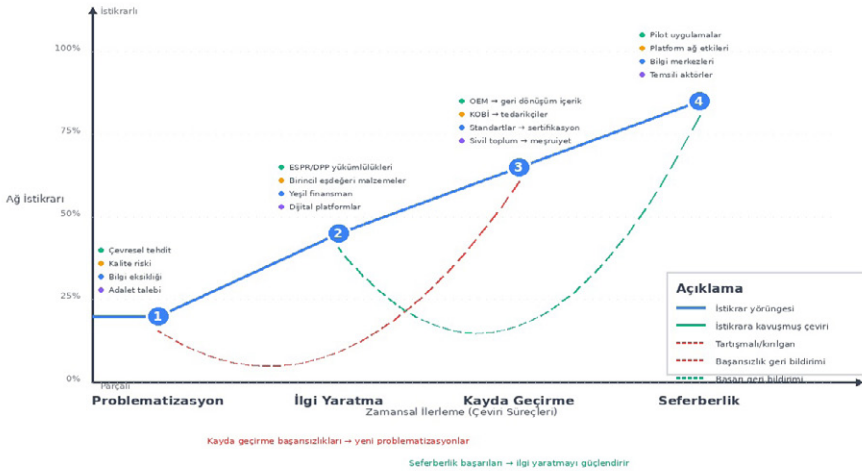
Aktör-Ağ Teorisinde iktidar, sahip olunan bir varlık ya da içsel bir kapasite değil; bir ağ konfigürasyonunun sonucudur (Law, 1992). Bir aktörün gücü, üzerinden geçen ilişkilerin yoğunluğuyla; diğer bir ifadeyle başkalarının katılım koşullarını tanımlayabilme kapasitesiyle doğru orantılıdır. Bu yaklaşımı en iyi somutlaştıran kavram “zorunlu geçiş noktası”dır (obligatory passage point [OPP]): Aktörler, diğerlerini hedeflerine ulaştırmak için kendi üzerlerinden geçmeye mecbur bırakabildikleri ölçüde iktidar (Callon, 1986) kazanır.

Zorunlu geçiş noktaları kendiliğinden keşfedilmez, bilakis inşa edilirler; bu noktalar başarılı sorun tanımlama süreçlerinin birer ürünüdür. Bu stratejik konum, diğer aktörleri amaçlarına ancak belirli bir düğümden geçerek ulaşabileceklerine ikna edebilenlerce elde edilir. Örneğin regülasyon oluşturan kurumlar, pazara erişim için uyum zorunluluğu getirdiğinde birer zorunlu geçiş noktasına dönüşür. Benzer şekilde teknoloji platformları, ağ etkileri katılımı ekonomik açıdan rasyonel kıldığında bu rolü üstlenirken; malzeme standartları, tedarik zincirlerinde sertifikasyon bir gereklilik hâlini aldığı anda zorunlu geçiş noktası işlevi görür.

Ne var ki bu tür konumlar asla kalıcı ve tartışmasız değildir: Diğer aktörler bu noktaları atlatmaya, çoğaltmaya ya da ele geçirmeye çalışırken ağ kurucular ise konumlarını muhafaza etmek adına aktörleri hizalama ve rol atama süreçlerini sürekli olarak yeniden işletmek zorundadır (Callon, 1986).

Bu çerçeve, döngüsel ekonomi geçişlerini; başarısı salt teknik üstünlüğe değil, benimsemeyi zorunlu kılan konumlar inşa etme kapasitesine dayanan bir ağ kurma projesi olarak analiz etmeyi mümkün kılar. Söz konusu zorunluluk; düzenleme, ekonomik teşvik, teknik bağımlılık veya normatif baskı yoluyla tesis edilebilir.

Şekil 1
AB döngüsel ekonomi ağlarının inşasında çeviri dinamikleri (2019-2024)



Kaynak: AB politika dokümanları (ESPR, DPP yükümlülükleri), teknik raporlar (PlasticsEurope) ve akademik literatürün (2015-2024) analizinden sentezlenmiştir. Noktalı çizgiler tartışmalı veya akamete uğramış çeviri girişimlerini; düz çizgiler ise istikrarı kavuşmuş aktör-ağ ilişkilerini temsil etmektedir.

Şekil 1'deki diyagram, Callon'un (1986) dört aşamalı çeviri sürecinin; ileri düzey geri dönüşüm ve yeniden değerlendirme politikalarının hayata geçirilmesi bağlamında nasıl

işlediğini resmetmektedir. Ağ istikrarı, başarılı çeviri hamleleriyle artış gösterse de söz konusu istikrarın doğası gereği sürekli bir müzakere zemininde kaldığı görülmektedir. Kırmızı kesikli oklarla ifade edilen rol atama başarısızlıkları; aktörlerin kendilerine atfedilen rolleri reddetmeleri veya ağdan kopmaları sonucunda, sürecin yeniden sorun tanımlama evresine dönmesine yol açar. Buna mukabil, yeşil kesikli oklarla simgelenen harekete geçme başarıları; aktörleri hizalama araçlarını tahkim ederek kanıt üretimini destekler ve yol bağımlılıkları tesis eder.

Bu çalışmada döngüsel ekonomi dönüşümlerinin analizi için Aktör-Ağ Teorisi, Çok Düzeyli Perspektif (MLP) yerine tercih edilmiştir. Bunun temel gerekçesi ontolojiktir: MLP; niş, rejim ve çevre gibi analitik düzeyleri önceden varsayılan yapısal kategoriler olarak kabul ederken Aktör-Ağ Teorisi bu düzeylerin bizzat kendisini çeviri süreçlerinin ürünü olarak sorunsallaştırır (Callon, 1986; Latour, 2005). Döngüsel ekonomi politikalarının AB düzeyinde nasıl inşa edildiğini anlamak; önceden belirlenmiş yapısal katmanlar arasındaki etkileşimleri değil, heterojen aktörlerin (düzenleyiciler, endüstriyel aktörler, malzemeler, standartlar) birbirini nasıl dönüştürdüğünü ve ağ içinde nasıl konumlandığını izlemeyi gerektirmektedir. Dolayısıyla Aktör-Ağ Teorisinin düz ontolojisi, bu çalışmanın hem kuramsal hem de yöntembilimsel gereksinimleriyle daha uyumludur; ancak iki yaklaşım arasındaki verimli gerilim, Tartışma bölümünde bulgular ışığında yeniden ele alınacaktır.

Metodoloji

Doküman Temelli Kuramsal Analiz

Bu çalışmada, Avrupa Birliği'nin döngüsel ekonomi geçişlerindeki ağ kurma süreçlerinin izini sürmek amacıyla doküman temelli kuramsal analiz yöntemi benimsenmiştir. Doküman analizi; aktörlerin sorunları nasıl tanımladığını, meşruiyeti nasıl inşa ettiğini ve çıkarlarını kalıcı altyapılara nasıl kodladığını çözümlemeyi hedefleyen araştırmalar için elverişli bir zemin sunar (Bowen, 2009; Latour, 1987; Prior, 2003).

Bu bağlamda dokümanlar, gerçekliği şeffaf bir biçimde yansıtan pasif nesneler olarak ele alınamaz. Aksine bunlar; tanımları sabitleyen, hesap verebilirlik mekanizmaları kuran ve farklı bağlamlara taşınarak uzak aktörlerin sürece eklemlenmesini sağlayan, ağ kurulumunun “etkin katılımcıları”dır. Politika dokümanları, teknik raporlar ve akademik makaleler; ikna, düzenleme ve koordinasyon sağlama gayesiyle dolaşıma sokulan “değişmeden dolaşan nesneler” (immutable mobiles) olarak işlev görür. Çalışmada esas alınan doküman seti, Tablo 1’de detaylandırıldığı üzere üç ana kategori altında tasnif edilmiştir.

Tablo 1
Doküman kümesinin özeti

Belge Türü	Tarih Aralığı	Seçim Ölçütleri	Dâhil etme	Hariç tutma
AB Politika Belgeleri	2019-2024	Enerji yoğun endüstrileri hedefleyen tüm başlıca AB dōngüsel ekonomi düzenlemeleri ve eylem planları: ESPR teklifi COM (2022) 142 final, Atık Çerçeve Direktifi 2008/98/EC ve değişiklikleri, Net Zero Industry Act, AB Tekstil Stratejisi, Hurda Araçlar Direktifi, sektörel eylem planları.	AB yargı alanı, Eİİ odağı, ileri geri dōnüşüm/yukarı dōnüşüm.	AB dışı, yalnızca geleneksel atık yönetimi.
Akademik Literatür	2015-2024	<i>Resources, Conservation and Recycling, Waste Management, Journal of Cleaner Production, Journal of Composites Science</i> vb. dergilerde plastikler, kompozitler, tekstiller için ileri geri dōnüşüm teknolojileri (kimyasal, termokimyasal, mekanik).	Q1 dergiler, ileri süreçlere teknik odak, AB bağlamı ya da aktarılabilir bulgular.	2015 öncesi (kurucu metinler hariç), yenilik içermeyen salt mekanik geri dōnüşüm, teknik olmayan politika yorumları.
Teknik Raporlar	2020-2024	Avrupa Komisyonu Joint Research Centre raporları, sektör birlikleri (PlasticsEurope, Material Economics), standart dokümanları (CEN TC 249, ISO).	Düzenleyici niyet ile endüstriyel pratik arasında aracılık, işletimsel spesifikasyonlar, pilot/ gösterim proje dokümantasyonu.	Salt tanıtım materyalleri, AB dışı yargı alanları.

Analitik Süreç

Analiz süreci, doküman setiyle kurulan yinelemeli (iteratif) bir etkileşim çerçevesinde yürütülmüştür. Bu süreçte Aktör-Ağ Teorisi kavramları kılavuz kategoriler olarak işlevselleştirilirken, aynı zamanda veri setinden doğabilecek yeni temalara karşı da açık bir yaklaşım (indüktif) benimsenmiştir (Bowen, 2009). Herhangi bir yazılım desteği olmaksızın dört yinelemeli dōngü boyunca manuel kodlama gerçekleştirilmiş; yeni çeviri mekanizmaları, aktör rolleri veya çatışma örüntüleri artık gözlemlenmediğinde veri doygunluğuna ulaşıldığı kabul edilmiştir.

Analitik süreç, aşağıda detaylandırılan altı temel aşamadan oluşmaktadır:

1. Çıkarımsal (Dedüktif) Kodlama: Callon'un (1986) tanımladığı dört çeviri anı (sorun tanımlama, aktörleri hizalama, rol atama, harekete geçme), başlangıç kodlama kategorileri olarak belirlenmiştir. Doküman bölümleri, icra ettikleri çeviri işlevine göre tasnif edilmiştir; örneğin ESPR ön sözleri "sorun tanımlama", DPP teknik şartnameleri "aktörleri hizalama araçları", pilot proje tanımları ise "harekete geçme" unsurları olarak kodlanmıştır.

2. Aktör Haritalama: Dokümanlarda zikredilen insan aktörlerin (düzenleyiciler, üreticiler, teknoloji sağlayıcıları, standart kuruluşları, sivil toplum) ve insan-dışı aktörlerin (DPP'ler, yapay zekâ sistemleri, standartlar, atık malzemeler) sistematik tespiti yapılmıştır. Müteakiben, bu aktörlere atfedilen roller, çıkarlar ve ilişkisel ağlar kayıt altına alınmıştır.
3. İnsan-Dışı Öznellik Analizi: Dokümanların teknik sistemleri tanımlama biçimlerine, bu sistemlerin maddi özelliklerine, işleyiş gerekliliklerine ve eylemleri kısıtlama ya da mümkün kılma kapasitelerine odaklanılmıştır. Kodlama süreci; kodlama (sistemlere kodlanan gereklilikler), yetki devri (karar alma süreçlerinin teknik sistemlere aktarılması) ve kara kutulaştırma (içsel karmaşıklığın görünmez hâle gelmesi) kavramları ekseninde yürütülmüştür.
4. Çatışma ve Direnç Kodlama: Tartışmalı iddialar, rekabet hâlindeki sorun tanımlamaları, uygulama boşlukları ve aktörlerin üstlendikleri rollerden sapma eğilimleri tespit edilmiştir. Bu unsurlar, “çeviri başarısızlıkları” veya “tamamlanmamış ağ istikrarı” bağlamında ele alınmıştır.
5. İlişkisel Yorumlama: Aktörleri özcü bir yaklaşımla değil, ilişkisel bir düzlemde tanımlamak adına düzenli analiz notları tutulmuştur. Gözlemlenen davranışlar, aktörlerin içsel özelliklerinden ziyade; ağ içindeki konumlarından neşet eden etkiler olarak değerlendirilmiştir.
6. Çıkarım ve Yorum: Dokümanlardaki doğrudan kanıtlar (alıntılar, açık beyanlar) ile yoruma dayalı çıkarımlar (örtük okuma) titizlikle ayrıştırılmıştır. Yorumun doğasını doğru yansıtmak adına; “dokümanlar önermektedir ki”, “bu çerçeveleme ... olarak konumlandırmaktadır”, “kanıtlar ... yönüne işaret etmektedir” gibi temkinli bir dil benimsenmiştir.

Tablo 2, Aktör-Ağ Teorisi kavramlarının kodlama kategorileri olarak nasıl işlevselleştirildiğini özetlemektedir.

Tablo 2
Kodlama Çerçevesi

Aktör-Ağ Teorisi Kavramı	İşlemsel Göstergeler	Örnek İfadeler
Sorun Tanımlama	Problem tanımı, nedensellik iddiaları, vazgeçilmez aktör konumlama	Atık krizi, kaynak bağımlılığı, koordinasyon başarısızlığı, jeopolitik kırılganlık
Aktörleri Hizalama	Zorunluluklar, teşvikler, yaptırımlar, altyapısal gereklilikler	Zorunlu DPP, uygunluk, pazar erişimi şartı, birincil eşdeğer kalite
Rol atama	Rol atamaları, taahhütler, istisnalar, risk paylaşımı	Geri dönüştürülmüş içerik kullanıcıları, ikincil malzeme tedarikçileri, sertifika sağlayıcıları, geçiş zaman çizelgeleri, güvenlik açısından kritik uygulamalar için muafiyetler
Harekete geçme	Pilot gösterimler, nicel kanıt, ölçekleme mekanizmaları	Pilot testte X ton, geri kazanım oranı %Y, gösterim tesisi, en iyi uygulama yaygınlaştırma, paydaş platformu
Kodlama	Teknik şartnameler, veri şemaları, doğrulama protokolleri	Gerekli veri alanları, test protokolü, eşik değeri, API spesifikasyonu, standartlaştırılmış format
Zorunlu Geçiş Noktası İnşası	Vazgeçilmezlik iddiası, darboğaz yaratma, kapı bekçiliği	Uyum zorunlu, katılım için gerekli, standartlar ön koşul, platform aracılı erişim

Refleksivite ve Araştırmacının Konumlanması

Bu çalışmada benimsenen analitik yaklaşım, gözlem ve yorum biçimlerini şekillendiren Aktör-Ağ Teorisinin ilişkisel ontolojisine yönelik bilinçli bir metodolojik tercihi yansıtmaktadır. Söz konusu bağlılık, beraberinde belirli riskleri de getirmektedir. Bilhassa araştırmacıyı her yerde çeviri süreçleri ve ağ etkileri görmeye sevk etme potansiyeli taşıyan “doğrulama yanlılığı” (confirmation bias) riski, bu noktada dikkate değerdir. Bu riski hafifletmek amacıyla; yalnızca başarılı ağ kurulumları değil, çeviri başarısızlıkları, rol sapmaları ve ağ entegrasyonuna direnç gösteren alternatif çerçevelmeleri içeren dokümanlar da sistematik biçimde incelemeye dâhil edilmiştir.

Araştırma tasarımı sürecinde farklı kuramsal lensler de değerlendirilmiştir. Söz gelimi kurumsal kuram resmî kurallara ve örgütsel alanlara; politik ekonomi yaklaşımı sermaye birikimi ve sınıf çatışmasına; söylem analizi ise anlam üretimi ve özne inşasına odaklanma imkânı sunabilirdi. Buna rağmen çalışmada Aktör-Ağ Teorisi’nin tercih edilmesindeki temel saik; yaklaşımın insan ve insan-dışı aktörler arasında simetrik bir analiz imkânı sunması, iktidarı mülk edinilen bir kaynaktan ziyade ilişkisel bir ağ etkisi olarak kurgulaması ve ağ kurulumuna dair maddi-anlamsal pratikleri merkeze alması bakımından özgün avantajlar

sağlamasıdır. Ne var ki bu kuramsal tercih, bazı dinamikleri (çeviri süreçleri, zorunlu geçiş noktaları) merkeze alırken bazılarını (yapısal eşitsizlikler, söylemsel oluşumlar) kaçınılmaz olarak gölgede bırakmaktadır.

Kodlama sürecinin tek bir ekip tarafından yürütülmesi, çalışmanın bir sınırlılığı olarak kabul edilmektedir. Söz konusu kısıt; politika dokümanları, teknik raporlar ve akademik literatür arasında veri üçgenlemesi (triangulation) yapılarak aşılmaya çalışılmış ve yorumların geçerliliği bu yolla desteklenmiştir. Farklı kuramsal çerçevelerden beslenen gelecek araştırmalar, bu çalışmanın bulgularına yapıcı katkılar sunabilir veya eleştirel bir perspektifle mevcut sonuçları sınavabilir.

Vaka Seçimi ve Karşılaştırmalı Strateji

Çalışma kapsamındaki dört malzeme-teknoloji bileşimi; çeviri dinamiklerini ve iktidar etkilerini çözümlemek adına kritik önem taşıyan üç farklı boyutta çeşitliliği yansıtacak biçimde, kuramsal örnekleme (theoretical sampling) yöntemiyle belirlenmiştir:

1. Teknolojik Hazırlık Seviyesi (TRL) Çeşitliliği: Poliüretan kimyasal geri dönüşümü, TRL 4-6 seviyesindeki erken aşama pilot uygulamaları örneklerken; mekanik plastik geri dönüşümü, yenilikçi dönüşümler geçiren ancak yerleşik ticari süreçleri (TRL 7-9) temsil etmektedir. Söz konusu çeşitlilik, çeviri dinamiklerinin teknolojik olgunluk düzeyine göre farklılaşma eğilimlerini analiz etme imkânı sunar. Bu bağlamda; aktörleri hizalama araçları, rol atama müzakereleri ve zorunlu geçiş noktası inşasının, filizlenen teknolojiler ile yerleşik teknolojiler arasında nasıl bir seyir izlediği sorgulanabilir.
2. Düzenleyici Rejim (Politika Geçmişi): Tekstilin yeniden değerlendirme süreçleri, 2020 sonrası gündeme gelen AB Tekstil Stratejisi ve ESPR gibi yeni düzenlemelere tabidir. Buna mukabil otomotiv kompozitlerinin geri dönüşümü, 1990'lara uzanan ve defalarca revize edilmiş Hurda Araçlar Direktifi (ELV) kapsamında değerlendirilmektedir. Bu ayrım, düzenleyici rejim geçmişine bağlı olarak zorunlu geçiş noktası oluşumunun ve iktidar dinamiklerinin nasıl şekillendiğini sınamayı amaçlar: Yeni düzenlemeler, yerleşik rejimlerin yarattığı yol bağımlılıklarını aşarak farklı aktör konfigürasyonlarına zemin hazırlayabilir mi?
3. Aktör Yoğunluğu (Ağ Topolojisi): Kompozit geri dönüşüm alanı, ihtisaslaşmış KOBİ teknoloji sağlayıcılarından oluşan parçalı ağları ve dağınık atık akışlarını barındırır. Öte yandan mekanik plastik geri dönüşümü; büyük petrokimya şirketleri ve köklü atık yönetim firmaları gibi konsolide olmuş aktörlerin hakimiyetindedir. Buradaki çeşitlilik, ağ topolojisinin iktidar dağılımını nasıl biçimlendirdiğini incelemeye olanak tanır: Konsolide ve parçalı aktör konfigürasyonları, farklı türde zorunlu geçiş noktası adayları ve çeviri darboğazları mı üretmektedir?

Tablo 3, incelenen vakalar arasında sistematik bir karşılaştırma sunmaktadır.

Tablo 3
Karşılaştırmalı Vaka Genel Görünümü

Vaka	TRL	Baskın Zorunlu Geçiş Noktası Adayları	Başlıca Çatışmalar	Çeviri Darboğazı	Kilit İnsan-Dışı Aktörler
Poliüretan Kimyasal Geri Dönüşümü	4-6	Teknoloji sağlayıcıları, AB düzenleyicileri, sertifikasyon	Birincil vs. geri dönüştürülmüş kalite; pilot vs. ticari; fikri mülkiyet	Rol atama	Moleküler yapı; DPP verisi; pilot akışları
Kompozit Termokimyasal İşlem	5-7	İhtisaslaşmış KOBİ geri dönüştürücüleri, OEM'ler, standart kuruluşları	Maliyet vs. depolama; lif dayanımı; sermaye erişimi	Harekete geçme	Lif özellikleri; proses parametreleri; heterojenlik
Gelişmiş Mekanik Plastik Geri Dönüşümü	7-9	Yerleşik petrokimya, atık yönetimi, platformlar, düzenleyiciler	Yerleşik direnç; platform kapı bekçiliği; veri egemenliği	Aktörleri hizalama	Yapay zekâ ayıklama; malzeme değişkenliği; GS1; federatif veri alanı
Tekstil İleri Dönüşümü	4-8	hızlı moda markaları, ayıklama teknoloji sağlayıcıları, düzenleyiciler, STK'lar	hızlı vs. yavaş moda; Küresel Güney'de emek; teknoloji erişimi	Sorun tanımlama	Lif karışımları; NIR/hiperspektral; DPP; emek koşulları

Söz konusu karşılaştırmalı tasarım, kuramsal düzeyde genelleme yapılmasına olanak tanımaktadır: Farklı TRL düzeylerine, düzenleyici rejimlere ve ağ topolojilerine sahip vakalar arasında tutarlılık arz eden bulgular, tekil vaka gözlemlerine kıyasla daha sağlam bir zemin teşkil eder. Vakalar arasındaki ayrımlar, bağlamsal faktörlerin çeviri süreçlerini nasıl biçimlendirdiğini görünür kılar. Bu sayede; erken aşamadaki teknolojilerin olgun teknolojilere nazaran farklı “rol atama” zorluklarıyla karşılaşp karşılaşmadığı veya yoğunlaşmış aktör ağlarının parçalı ağlara göre farklı iktidar dinamikleri üretip üretmediği gibi sorular yetkinlikle irdelenebilir.

Sınırlılıklar

Doküman temelli analiz, doğası gereği birtakım kısıtlar barındırır. Dokümanlar ekseriyetle resmî ve görünür aktörleri merkeze alırken gayriresmî koalisyonlar ve dışlanmış sesler büyük ölçüde metinlerin ve dolayısıyla analizin dışında kalır. Politika metinleri, fiili uygulamadan ayrışabilen resmî pozisyonları yansıtırken; teknik raporlar genellikle başarı

hikayelerine odaklanarak başarısızlıkları belgelemekten imtina eder. Dolayısıyla bu analiz; etnografik araştırmaların ortaya çıkarabileceği mikro düzey müzakereleri, örtük bilgiyi ve gündelik direniş pratiklerini kapsamakta yetersiz kalabilir.

Analizdeki yorumların, araştırmacının konumlanışından ve seçilen doküman setinin niteliklerinden etkilendiği göz ardı edilmemelidir. Ayrıca çalışmanın zaman aralığı (2019-2024 tarihli politika dokümanları), geçiş süreçlerinin evrimsel doğasını bütünüyle yansıtmayabilir. Tüm bu kısıtlar ışığında, elde edilen bulgular kesin ampirik hükümlerden ziyade doküman temelli kanıtlara dayanan, gerekçelendirilmiş kuramsal yorumlar olarak değerlendirilmelidir. Gelecekte yürütülecek etnografik veya saha görüşmesine dayalı çalışmalar bu yorumları doğrulama, geliştirme veya yanlışlama potansiyeline sahiptir.

AB Döngüsel Ekonomi Ağlarında Çeviri Süreçleri

Bu bölüm, Avrupa Birliği döngüsel ekonomi ağlarının kuruluşundaki çeviri süreçlerinin izini sürmekte; bilhassa ESPR ve DPP gibi örnek vakalar üzerinden ilerlemektedir. Analiz, ilk “sorun tanımlama” aşamasından başlayıp devam eden “harekete geçme” çabalarına uzanan kronolojik bir anlatı izler. Bu süreçte heterojen aktörlerin rollerini nasıl müzakere ettikleri ve insan-dışı aktörlerin ağ olanaklarını nasıl yeniden şekillendirdikleri ortaya konulmaktadır.

Sorun tanımlama: Atık Krizine Dair Rekabet Hâlindeki Tanımlar

Avrupa Komisyonu’nun 2020 tarihli Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, malzeme atığını üç boyutlu bir kriz olarak “sorun tanımlaması” yapmaktadır: (1) Çevresel bir tehdit (atıkların depolanması ve yakılmasının sera gazı emisyonlarına yol açması), (2) ekonomik bir verimsizlik (AB genelinde yıllık 600 milyar € düzeyinde kaynak değeri kaybı) ve (3) jeopolitik bir kırılganlık (arz kesintilerine açık, ithalata bağımlı birincil hammadde ve özellikle kritik hammaddelere olan bağımlılık) (European Commission, 2020). Eylem Planı, bu durumu şu ifadelerle temellendirir:

Toplam sera gazı emisyonlarının yarısı ve biyolojik çeşitlilik kaybı ile su stresinin %90’ından fazlası kaynak çıkarımı ve işlenmesinden kaynaklanmaktadır. [...] Döngüsel ekonomi ilkelerinin AB ekonomisi genelinde uygulanmasının 2030 yılına kadar AB GSYİH’sini ek %0,5 oranında artırma ve yaklaşık 700.000 yeni iş yaratma potansiyeli vardır. [...] Kapalı döngü modeller firmaların kârlılığını artırırken onları kaynak fiyatlarındaki dalgalanmalardan koruyacaktır. [...] [Yeni iş modelleri ve teknolojiler] Avrupa’yı birincil malzemelere daha az bağımlı hâle getirecektir.

Söz konusu çerçeveleme, düzenleyici koordinasyonu bir zorunluluk hâline getirir. Zira bireysel firmaların ve üye devletlerin; standartların uyumlaştırılması, zorunlu açıklama yükümlülükleri ve denetim mekanizmaları olmaksızın bilgi asimetrisini ve koordinasyon eksikliklerini gidermesi mümkün değildir. Bu mantığın somut örneği Sürdürülebilir Ürünler için Eko-Tasarım Tüzüğü teklifidir. Teklifin 5. maddesi (ve 4. madde) dayanık-

lılık, güvenilirlik ve geri dönüştürülebilirlik gibi ürün özelliklerinin iyileştirilmesini; 20. maddesi satılmamış tüketici ürünlerinin imhasının önlenmesini; 8. ve 9. maddeleri ise ürün izlenebilirliği için bir DPP oluşturulmasını öngörür. Bu düzenleme mantığı, pazara erişim için “düzenleyici uyumu” kaçınılmaz kılarak Komisyonu potansiyel bir “zorunlu geçiş noktası” olarak konumlandırır.

Ancak bu sorun tanımlama, çeşitli aktörlerce açık biçimde tartışmaya açılmıştır. PlasticsEurope’un *Plastics—The Facts 2021* başlıklı politika belgesi, risk ve belirsizlikleri öne çıkaran alternatif bir çerçeve sunmaktadır. Belgede şu ifadeler yer alır:

Ancak, birçok şirket tedarik zinciri kesintileri, öncü maddelerdeki darboğazlar ve artan enerji fiyatlarıyla başa çıkmak zorunda kalmıştır. [...] Sektör, döngüsellliği hızlandırmak için 2025’e kadar 2,6 milyar Avro ve 2030’a kadar 7,2 milyar Avro yatırım planlamaktadır.

Bu çerçeveleme, birincil hammadde temelli yerleşik ağlardaki aktörleri; geri dönüştürülmüş malzemelerin ürün performansını tehdit eden değişken özelliklere sahip olduğunu savunan taraflar olarak konumlandırır. İkincil malzeme tedarik zincirleri, birincil hammadde ağlarına kıyasla parçalı ve düzensiz olarak tanımlanırken; sermaye yatırımları ise dalgalanan emtia fiyatları nedeniyle belirsiz getirilerle ilişkilendirilir (PlasticsEurope, 2021). Bu bağlamda önerilen çözüm, katı düzenleyici zorunluluklardan ziyade teknik standardizasyon ve risk paylaşım mekanizmalarıdır. Böylece sorumluluk özel sektöre değil kamu altyapısına ve desteklerine yönlendirilmekte; yerleşik ağlardaki aktörler “gönüllü katılımcılar” olarak değil, “uygun koşulları bekleyen aktörler” olarak tanımlanmaktadır.

Teknoloji sağlayıcıların belgeleri ise odak noktasını bilgi eksikliklerine ve ölçeklendirme zorluklarına kaydırır. ERTRAC’ın 2025 tarihli *Circular Economy and Competitiveness* raporu; ileri düzey süreçlerin kontrollü pilot koşullarda yüksek geri kazanım ve malzeme kalitesi sağladığını, ancak heterojen atık akışlarıyla karşılaşıldığında sektör düzeyinde doğrulama ve süreç optimizasyonuna ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Raporda şu tespitler yer alır:

Şu anda döngüsel karbon polimer sistemi ölçeklenmeye hazır değildir ve ihtiyaç duyulan hacmi kabul edilebilir bir fiyat noktasında üretmeye hazır değildir. [...] Metal alaşımlarının, plastiklerin ve kompozitlerin çeşitliliği geri dönüşüm süreçlerini karmaşıktırmakta ve hurda kalitesini etkilemektedir.

Bu çerçeve; yeniliği destekleyen unsurları (araştırma fonları, gösterim tesisleri, fikri mülkiyet koruması) kritik bileşenler olarak konumlandırırken teknoloji geliştiricilerini ise bilimsel bilgiyi sanayiye aktaran “vazgeçilmez araçlar” olarak öne çıkarmaktadır.

Sivil toplum kuruluşlarının açıklamaları ise teknokratik çerçevelerlerin gölgesinde kalan adalet boyutlarını gündeme taşır. Schröder ve arkadaşları (2020), döngüsel ekonomi politika danışma süreçlerini belgeleyerek; geri dönüşüm tesislerinin marjinal topluluklara yer-

leştirilmesi, gayriresmî atık işçilerinin otomasyonla yerinden edilmesi ve geçişin faydaları çok uluslu şirketlere yönelirken maliyetlerin toplumsallaştırılması gibi sorunlara dikkat çeker. Bu bakış açısı, geçiş maliyet ve faydalarının adil paylaşımı ile katılımcı yönetim ihtiyacını vurgular.

Rekabet hâlindeki bu sorun tanımlama pratikleri, ağ kurulumunun esasen bir “sorun tanımı mücadelesi”yle başladığını göstermektedir. Hangi çerçevenin baskın hâle geldiği, müteakip çeviri süreçlerini şekillendirmekte ve hangi aktörlerin “vazgeçilmez” olarak konumlanacağını belirlemektedir.

Aktörleri Hizalama: Aktörleri Ağa Kilitlemek

Callon’un (1986) tanımıyla aktörleri hizalama (interessement); rakip ittifakları sönmölendiren ve aktörleri hedeflenen ağa eklemleyen maddi, ekonomik ve söylemsel araçların seferber edilmesidir. Bu bağlamda ESPR kapsamındaki DPP yükümlülüğü, düzenleyici karakterli bir aktörleri hizalama aracı olarak tebarüz eder.

ESPR teklifinin 8. Maddesi, piyasaya erişim koşullarını net bir nedensellik bağıyla kurgular: Ürünlerin piyasaya arzı veya hizmete sunulması, ancak bir ürün pasaportunun mevcudiyetiyle mümkündür. İlgili düzenleme; pasaportun içerik bilgisini, veri taşıyıcı türlerini ve bunların sunum düzenini tanımlayarak teknik sınırları çizer. Öncelikli ürün kategorileri (tekstil, elektronik, bataryalar, inşaat malzemeleri) nezdinde pazar erişimini DPP uyumuna endeksleyen bu yapı; üreticilerin şeffaflık karşısı iş modelleriyle olan bağlarını koparır ve onları dijital izlenebilirlik altyapılarına yönelmeye mecbur bırakır (European Commission, 2022).

DPP, işlevini “yetki devri” mekanizmasıyla icra eder: İnsan denetiminin sınırlarını aşan sürekli izleme ve doğrulama görevlerini üstlenerek, süreci Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri ve standart veri şemaları gibi teknik altyapılara bağımlı kılar. AB tedarik zincirlerine entegre üreticiler için ortaya çıkan tablo ikilidir: Ya DPP uyumlu sistemlere yatırım yapılacak ya da düzenlemeye tabi pazarlardan çekilinecektir. Bu dayatma, aktörleri düzenleyici ağlara kanalize ederken; söz konusu yönlendirmeyi “tarafsız bir teknik gereklilik” kisvesi altında sunar.

Kodlama Analizi: Dijital Ürün Pasaportu’nun Teknik Mimarisi

DPP; izlenebilirlik gerekliliklerini, malzeme bileşimi beyanlarını, onarılabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik göstergelerini ve tedarik zinciri menşe verilerini dijital altyapıların içersisine “kodlar” (inscribes). ESPR teklifinin Ek III bölümü, bu kapsamdaki zorunlu veri unsurlarını şu şekilde sıralamaktadır:

Ürün pasaportuna dahil edilebilecek bilgiler şunlardır: (a) ürünün benzersiz ürün tanımlayıcısı; (b) ürünün veya parçalarının Küresel Ticari Ürün Numarası (GTIN)...; (c) ilgili emtia kodları (TARIC kodu gibi); (d) uygunluk belgeleri...; (e) kullanım kılavuzları, talimatlar, uyarılar veya güvenlik bilgileri; (f) üreticiye ilişkin bilgiler (benzersiz operatör tanımlayıcısı); (g) üretici dışındaki benzersiz operatör tanımlayıcıları; (h) benzersiz tesis tanımlayıcıları.

Söz konusu gereklilikler, “sürdürülebilirlik” kavramının sınırlarını belirli bir çerçevede çiz-zer: Odak noktası malzeme akışları, enerji tüketimi ve kullanım ömrü sonrasıdır. Ancak bu çerçeveye; işçi hakları, topluluk üzerindeki etkiler veya küresel tedarik zinciri adaleti gibi unsurları, açıkça belirtilmedikleri müddetçe dışarıda bırakma riski taşır.

Peki bu süreç (maddesel mekanizmalar) nasıl işler? Kodlama, standartlaştırılmış veri şema-ları ve birlikte çalışabilirlik protokolleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Veri yakalama sistem-leri, tedarik zinciri boyunca gerçekleşen olayların “ne, ne zaman, nerede ve neden” oldu-ğunu kaydeder; böylece üretim, taşıma, dönüşüm ve bertaraf süreçlerinde denetlenebilir iz kayıtları (audit trails) oluşturur. Doğrulama mekanizmaları hususunda ESPR teklifi, teknik uygulama detaylarını yetkilendirilmiş ikincil düzenlemelere bırakarak şu ifadeye yer verir:

Komisyon, teknik ve bilimsel ilerlemeler ışığında bu Tüzüğü değiştirmek üzere... veri taşıyıcısının ve benzersiz tanımlayıcıların uyması gereken standartları değiştirmek veya yenilerini eklemek için 66. Madde uyarınca yetkilendirilmiş işlemler (delegated acts) kabul etmeye yetkilidir.

Bu mimari, aynı zamanda veri egemenliği normlarını da sisteme kodlar: Tedarik ağlarında-ki aktörler, rekabetçi bilgilerini ifşa etmeden sürece katılım sağlayabilir; ancak bunun ön koşulu uyumlu teknik standartların benimsenmesidir. Bu zorunluluk, bir “katılım eşiği” yaratır; nitekim yeterli teknik kapasiteye veya sermayeye sahip olmayan aktörler sistemden dışlanma riskiyle karşı karşıya kalır.

- Kodlama süreci, çok katmanlı bir aktör koalisyonu tarafından yürütülür.
- AB düzenleyici organları, yasal gereklilikleri (ESPR maddeleri ve ekleri) belirler.
- Standart kuruluşları (CEN, GS1, ISO), teknik spesifikasyonları geliştirir.
- Teknoloji sağlayıcıları, yazılım platformlarını ve sensör sistemlerini tasarlar.
- Endüstriyel konsorsiyumlar, pilot projeler aracılığıyla uygulama detaylarını müza-kere eder.

Bu çok katmanlı ve dağınık kodlama süreci, farklı çıkarların sisteme kodlandığını imler: Düzenleyicilerin öncelikleri (çevresel göstergeler), standart kuruluşlarının öncelikleri (bir-likte çalışabilirlik, eski sistemlerle uyum), teknoloji sağlayıcılarının öncelikleri (kilitlenme [lock-in] yaratan özel platform özellikleri) ve sanayinin öncelikleri (uyum maliyetlerini minimize etme, ticari sırları koruma) bu mimaride iç içe geçer. Ortaya çıkan DPP mi-marisi, söz konusu çıkarlar arasında müzakereyle sağlanan uzlaşıları yansıtır ve bu siyasi uzlaşılar, “tarafsız” teknik gereklilikler görünümü altında kara kutulaştırılır.

Benzer şekilde, gelişmiş geri dönüşüm teknolojileri de “aktörleri hizalama” işlevini mad-desel dönüşümler yoluyla yerine getirir. Poliüretanların kimyasal geri dönüşümü, poli-

mer zincirlerini yeniden polimerizasyonda kullanılabilir ara ürünlere (polioller, aminler, hidroksil içeren bileşenler) ayrıştırarak ikincil PU sentezini mümkün kılar. Bu maddesel dönüşüm, kalite hassasiyeti yüksek tedarik zincirlerinde konumlanan OEM'ler için cazip bir seçenektir; zira laboratuvar koşullarında elde edilen geri dönüştürülmüş malzemeler, kimyasal açıdan birincil hammaddeye eşdeğerdir (Zia ve ark., 2007). Zia ve arkadaşlarının (2007) çalışmaları, bu başarısını şöyle belgeler:

Hidroliz yöntemiyle 288°C sıcaklıkta geri kazanılan poliöl, orijinal poliöl ile benzer özellikler göstermiş ve %5 oranında birincil malzeme ile karıştırıldığında yüksek kaliteli yeni köpük üretimini mümkün kılmıştır. Glikoliz yöntemiyle elde edilen ürünler de ikincil PU sentezinde hidroksil içeren bileşenler olarak kullanılabilir niteliktedir.

Geri dönüştürülmüş içeriğin birincil malzemeden ayırt edilemeyecek hâle gelmesi, markaların tüketici algısına yönelik endişelerini hafifletir. Ne var ki belgeler, bu aktörleri hizalama sürecinin henüz kırılğan bir zeminde olduğunu göstermektedir: Pilot ölçekli gösterimler basitleştirilmiş poliüretan formülasyonları ve kontrollü koşullar altında gerçekleştirilmiştir; ticari ölçekli üretimde kaçınılmaz olan heterojenlik, kalite eşdeğerliğini istikrarsızlaştırabilir (Krauklis ve ark., 2021).

Kodlama Analizi: Yapay Zekâ Optimizasyon Sistemleri

Gelişmiş mekanik geri dönüşüm tesislerinde istihdam edilen yapay zekâ sistemleri; kalite optimizasyon önceliklerini, süreç parametresi kontrol mantığını ve malzeme sınıflandırma ile ayıklamaya yönelik karar kurallarını sisteme “kodlar” (inscribes). Bu sistemler “kalite” mefhumunu belirli hiyerarşilerle kodlar: Genellikle saflığın maksimizasyonu (kontaminasyonun minimizasyonu), tutarlılığın sağlanması (özellik değişkenliğinin azaltılması) ve işlem hızının artırılması (yüksek verim) gibi hedefler önceliklendirilirken; enerji verimliliği, iş güvenliği veya ekonomik değeri düşük (“geri dönüştürülmesi zor”) malzemelerin işlenmesi gibi diğer değerler tali plana itilebilir veya tamamen dışlanabilir.

Kodlama, belirli veri kümeleri üzerinde eğitilmiş makine öğrenmesi modelleri vasıtasıyla hayata geçer. Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN); yakın kızılötesi (NIR) spektroskopi veya hiperspektral görüntüleme tekniklerini kullanarak plastik türlerini sınıflandırır ve polimer imzalarını ayırt etme yetisini eğitim verilerinden “öğrenir”.

Bu bağlamda ERTRAC (2025) raporu, otomotiv endüstrisinde döngüsellüğün tesisi için yapay zekâ destekli teknolojilerin elzem olduğunu vurgular. Rapora göre “gelişmiş görüntü tanıma ve robotik söküm” teknolojileri, sınıflandırma süreçlerini otomatize ederek insan kapasitesini aşan bir ayrıştırma hassasiyeti sunmaktadır. Yapay zekâ algoritmaları, araç ve bileşenlerin kullanım ömrü sonuna kadar izlenmesini sağlayan sistemlerle entegre çalışarak; bilinmeyen atık akışlarını “yasal olarak uyumlu söküm ve geri dönüşüm sistem-

lerine” dahil etmeyi amaçlar. Bu süreçte algoritmalar, hangi parçanın “yeniden kullanılabilir”, hangisinin ise “geri dönüştürülebilir” olduğunu tayin eden karar vericiler hüviyetine bürünür.

Gerçek zamanlı süreç optimizasyon algoritmaları ise ekstrüder sıcaklık profilleri, bekletme süreleri ve katkı dozaj oranları gibi işlem parametrelerini sensör geri bildirimlerine (eriyik akış indeksi, renk, kontaminasyon seviyeleri) dayanarak anlık olarak regüle eder ve çıktının spesifikasyonlara uygunluğunu garanti altına alır (Brunner ve ark., 2021; WRAP, 2020).

Algoritmaların geçmiş verilerden “öğrenerek” ideal parametre kombinasyonlarını belirlediği bu süreç, aslında eğitim veri setlerini oluşturanların önceliklerini kodlar: Şayet eğitim verisi yüksek değerli ve işlenmesi kolay malzemelere odaklıysa, algoritma bu koşullara göre optimize edilir; dolayısıyla heterojen, kirlenmiş veya düşük değerli atık akışlarında sistem performansı düşüş gösterir.

Söz konusu algoritmalar, daha önce insan operatörler tarafından verilen kararları (malzeme partilerinin kabulü/reddi, işlem ayarlarının değiştirilmesi, kalite alarmlarının tetiklenmesi vb.) gerçek zamanlı olarak üstlenerek bir “yetki devri” işlevi görür. Bu senaryoda algoritma “karar alıcı” konumuna yükselir ve yaptığı “tercihler”, operatörler veya kullanıcılar açısından genellikle şeffaf olmayan (görünmez) öncelikleri yansıtır. Teknoloji sağlayıcıların kontrolündeki tescilli (proprietary) algoritmalar, yeni bağımlılık ilişkileri doğurur: Operatörler algoritmanın karar mantığını denetleyemez, optimizasyon önceliklerine müdahale edemez ve makinenin “öğrendiği” çıktıları başka sistemlere aktaramaz (Latour, 1992).

Kodlama süreci; yapay zekâ sistemi geliştiricileri, eğitim verisi küratörleri ve teknoloji sağlayıcılarından oluşan bir ağ tarafından yürütülür. Geri dönüşüm tesisi operatörleri ve nihai malzeme kullanıcıları ise ekseriyetle bu sürecin dışında bırakılır ve başkaları tarafından kodlanmış öncelikleri tevarüs eder. Bu asimetrik yapı, iktidarı teknoloji sağlayıcıların elinde konsolide eder; zira pratikte “kalite”nin ne anlama geldiğini belirleyen, algoritmaların nüvesine gömülü bu yazımsallaştırılmış önceliklerdir.

Kodlama Analizi: Teknik Standartlar

Teknik standartlar; malzeme özellikleri eşik değerlerini, test protokollerini, belge düzenleme gerekliliklerini ve sertifikasyon prosedürlerini sisteme kodlar. Bu standartlar; “kabul edilebilir kalite”, “yeterli izlenebilirlik” ve “yeterli geri dönüştürülmüş içerik oranı” gibi kavramları belirli tanımlara hapseder ve bu tanımları teknik normlara dönüştürerek sabitler.

Bu olgunun en güncel ve bağlayıcı tezahürü, ESPR teklifinde görülmektedir. COM (2022) 142 final belgesi, DPP aracılığıyla teknik izlenebilirliği yasal bir zorunluluk hâline

getirmektedir. Belgenin Ek III bölümü ve 9. Maddesi uyarınca; ürün pasaportunda yer alacak “benzersiz ürün tanımlayıcısı” ve veri taşıyıcıların, ISO/IEC 15459-6 standardına veya eşdeğer uluslararası standartlara uygun olması şart koşulmaktadır. Bu durum, izlenebilirliğin sadece bir niyet beyanı olmaktan çıkıp; belirli bir ISO standardının teknik formata (GTIN vb.) sıkı sıkıya bağlanması ve böylece somutlaşması anlamına gelir.

Kodlama, malzeme özelliklerini standartlaştırılmış ölçütlere tercüme eden test protokolleri yoluyla gerçekleşir. Örneğin Material Economics (2018) raporu, çelik geri dönüşümünde “kalite” algısının nasıl belirli bir kimyasal eşige indirgendığını gözler önüne serer. Rapora göre çelik hurdasındaki bakır içeriği %0,15 seviyesini aştığında; malzeme otomotiv gibi yüksek kaliteli uygulamalar için kullanılamaz hâle gelmekte ve inşaat demiri gibi daha düşük değerli ürünlere yönlendirilmektedir. Söz konusu %0,15’lik teknik eşik, malzemenin ekonomik kaderini ve hangi pazara (otomotiv mi, inşaat mı) girebileceğini tayin eden, kodlanmış bir “kapı bekçisi” (gatekeeper) rolü oynar.

Uygunluk sağlamak, belirli test ekipmanlarına ve uzmanlığa erişimi zorunlu kılar; ancak bu kaynaklar aktörler arasında eşit dağılmamıştır. Büyük ölçekli firmalar bu tür testleri şirket içi laboratuvarlarında gerçekleştirebilirken KOBİ’ler genellikle numune başına ciddi maliyetlerle dış kaynak kullanmak zorunda kalmaktadır (Blind ve ark., 2017). Belgelendirme gereklilikleri ise “bürokratik kapasiteyi” kodlar: Standartlar; izlenebilirlik kayıtları, parti takibi, tedarikçi beyanları ve uygunluk sertifikaları gibi dokümantasyonun tutulmasını zorunlu kılar. Bu tür belgeler, ISO 9001 gibi kalite yönetim sertifikasyonlarına ve özel uyum personeline sahip firmalar için erişilebilir rutinin bir parçasıyken daha küçük veya gayriresmî faaliyet gösteren aktörler için büyük bir idari yük ve dışlanma gerekçesi oluşturur.

Teknik standartlar genellikle yıllar süren komite süreçlerinde kodlanır. Bu süreçlerde; ulusal standart kuruluşları, sektör dernekleri ve (nadiren) sivil toplum örgütleri tarafından atanan teknik uzmanlar yer alır. Komite üyeliği sürekli bir angajman gerektirir: Brüksel gibi Avrupa merkezlerinde yapılan (çoğu zaman yüz yüze) toplantılara katılım, teknik uzmanlık sağlama ve katılım masraflarının karşılanması gibi maddi ve beşerî yükümlülükleri içerir.

Mevcut yapı; çok uluslu şirketler, sektörel birlikler ve kaynaklara sahip STK’lar gibi büyük örgütsel ağlarda yer alan aktörleri avantajlı konuma getirirken KOBİ’ler, gayriresmî geri dönüştürücüler ya da Küresel Güney kökenli aktörler süreç dışında kalabilmektedir. Sonuç olarak ortaya çıkan standartlar; bu süreçlere fiilen katılabilen aktörlerin çıkarlarını ve kurumsal kapasitelerini teknik gereklilikler içine kodlar ve söz konusu çıkarları “tarafsız” teknik normlar kisvesi altında doğallaştırır (Busch, 2011).

Kodlama Analizi: İnsan-Dışı Aktörler Olarak Malzeme Özellikleri

Malzeme özelliklerinin bizzat kendisi -moleküler yapı, mekanik davranış, kimyasal reaksiyon- bir ağ dahilinde nelerin mümkün olup olmadığını tayin eden kısıtları ve olanakları sisteme kodlar. Bu özellikler toplumsal olarak inşa edilmez ancak ilişkiseldirler. Diğer bir ifadeyle, belirli ağ konfigürasyonları içinde belirli eylemleri mümkün kılar veya sınırlar (Latour, 1993).

Kodlama, insan niyetlerine direnç gösteren fiziksel ve kimyasal mekanizmalar aracılığıyla işler. Örneğin poliüretan (PU) köpüklerin geri dönüşümünde, malzemenin kimyasal yapısı sürecin sınırlarını bizzat çizer. Zia ve arkadaşlarının (2007) çalışması; PU atıklarının hidroliz yöntemiyle geri kazanılabilmesi için malzemenin 200°C ile 288°C aralığında, basınç altında ve belirli reaktiflerle işlenmesi gerektiğini; aksi takdirde elde edilen poliölün kalite standartlarını karşılamayacağını belgeler. Malzemenin bu termal ve kimyasal direnci, geri dönüşümcüleri yüksek enerji tüketen pahalı reaktörlere yatırım yapmaya mecbur bırakır; yani malzeme, kendi geri dönüşüm koşullarını tesise “dikte eder”.

Benzer bir kısıtlılık durumu metallerin karışımında da gözlemlenir. *Material Economics* (2018) raporuna göre, otomobillerdeki döküm alüminyumun diğer alaşımlarla karışması, malzemenin geri dönüşüm döngüsünü sınırlar. Bu karışım, malzemenin motor bloğu gibi daha düşük toleranslı parçalara “hapsolmasına” (downcycling) neden olur. Söz konusu durum, elektrikli araçlara geçişle birlikte motor bloğu talebinin azalması gerçeğiyle birleştiğinde, malzemenin “geri dönüştürülemez” hâle gelme riskini doğurur. Burada malzeme özellikleri, pazarın gelecekteki yapısıyla çatışan bir kısıtlayıcı olarak hareket eder.

Malzeme özellikleri insanlar tarafından doğrudan “kodlanmaz”; bilakis üretim süreçleri, kullanım ömrü aşınması ve atık akışlarındaki karışımlar sonucu ortaya çıkan moleküler ve yapısal konfigürasyonlardan türetilir. Dolayısıyla malzeme özellikleri, ağ etkileşimleri aracılığıyla ilişkisellik kazanır. Latour’un (1993) değişken ontolojiler kavramı çerçevesinde değerlendirildiğinde, ‘aynı’ atık malzeme; uygulanan test protokolleri, kalite metrikleri ve kullanım bağlamlarına göre farklı özellikler sergileyebilir.

Sürecin ekonomik ayağı, geri dönüştürülmüş malzemeleri birincil malzemelere karşı maliyet açısından rekabetçi hâle getiren araçlarla tahkim edilir. Teknik raporlar, bazı gelişmiş geri dönüşüm teknolojilerinin belirli uygulamalarda geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla maliyet avantajı sağlayabildiğini belirtmektedir (Geyer ve ark., 2017). *Material Economics* (2018) raporu, plastik ambalaj geri dönüşümünün ekonomik potansiyeline dair çarpıcı bir projeksiyon sunar. Rapora göre, mevcut durumda geri dönüşüm süreci ekonomik riskler barındırır da daha temiz atık akışları, gelişmiş ayıklama teknolojileri ve ölçek ekonomisi sağlandığında, geri dönüşümden elde edilen gelirlerin ton başına %71 oranında artırılabilceği öngörülmektedir.

Ayrıca kalitenin iyileştirilmesi durumunda, geri dönüştürülmüş plastiğin fiyatlandırmasının birincil malzeme fiyatlarının %70'ine kadar yaklaşabileceği (ton başına 337 Avro'dan 540 Avro seviyelerine çıkabileceği) tahmin edilmektedir. Bu veriler, ekonomik aktörleri hizalamanın yalnızca sübvansiyonlarla değil, teknik iyileştirmelerin piyasa değerine tahvil edilmesiyle sağlanabileceğini gösterir. İkincil hammadde tedarikçileri ile sektördeki alıcıları eşleştiren dijital pazar platformları da bu sürece katkı sağlar; işlem maliyetlerini ve bilgi asimetrisini azaltır, artan katılımı güçlü ağ etkileri yaratır ve böylece sisteme dâhil olmayı daha cazip hâle getirir.

Rol atama: Roller Üzerinde Müzakere ve Taahhütlerin İstikrara Kavuşturulması

Callon'un (1986) tanımıyla rol atama (*enrolment*), başarılı bir aktörleri hizalama sürecinin nihai sonucudur; aktörlerin kendilerine tanımlanmış rolleri kabul ettiği ve ağı, geçici de olsa, istikrar kazandığı andır. Döngüsel ekonomi ağlarında rol atama süreci; sorumlulukların, risklerin ve faydaların çok taraflı müzakerelerle dağıtılmasını içermektedir.

Politika belgeleri; Orijinal Ekipman Üreticisi (OEM) konumundaki aktörlerin, "geri dönüştürülmüş malzeme kullanıcısı" rolünü ancak algılanan riskleri azaltan müzakereler neticesinde kabul ettiklerini (rolü üstlendiklerini) ortaya koymaktadır. CEN Teknik Komitesi 249 tarafından geliştirilen sertifikasyon sistemleri ve ESPR'nin teknik altyapısı, geri dönüştürülmüş malzeme özelliklerine yönelik üçüncü taraf doğrulaması sağlayarak bu risk algısını yönetir. ESPR teklifinin Ek III bölümü, söz konusu doğrulamayı dijital bir zemine oturtturarak şunları belirtir:

Ürün pasaportuna dahil edilebilecek bilgiler... ürünün veya parçalarının Küresel Ticari Ürün Numarası (GTIN) gibi ISO/IEC 15459-6 standardına veya eşdeğerine uygun benzersiz ürün tanımlayıcısı... ve üreticiye ilişkin bilgileri (benzersiz operatör tanımlayıcısı) içermelidir.

Bu mekanizma sayesinde, kişisel ilişkilere dayalı güven; kurumsal ve dijital garantilere tahvil edilir. Belgeler, OEM ağlarında konumlanan aktörlerin; test protokolleri birincil malzeme nitelendirme süreçlerine eşdeğer olduğunda ve düzenleyici çerçeveler geri dönüştürülmüş içeriği rekabet avantajına dönüştürdüğünde rollerini benimsediklerini göstermektedir. Bu kabullenme, *Hurda Araçlar Direktifi* (ELV) değişiklik tekliflerinde somut bir taahhüde dönüşür. Avrupa Parlamentosu'nun ilgili değişiklik önerisi (Madde 6), üreticileri şu hedefle ağı kaydederek:

Avrupa Komisyonu'nun araç döngüsellliği ve ömür sonu araç yönetimine ilişkin Tüzük teklifi (COM(2023) 451), Madde 6'da üreticilere geri dönüştürülmüş plastik içerik hedefleri koymaktadır. Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in Aralık 2025'teki uzlaşısına göre, her yeni araç tipindeki plastik, Tüzüğün yürürlüğe girmesinden 6 yıl sonra ağırlıkça minimum %15, 10 yıl sonra ise %25 oranında tüketici sonrası plastik atık akışlarından elde edilen geri dönüştürülmüş plastik içermelidir. Parlamento değişiklik önerilerinde bu içeriğin ISO 22095:2020 standardına uygun bir gözetim zinciri aracılığıyla doğrulanması öngörülmektedir.

Ancak bu rol atama süreci kırılığandır. Politika metinleri; güvenlik açısından kritik uygulamalara yönelik muafiyetlerin ve esnekliklerin sıkı bir şekilde müzakere edildiğini gözler önüne serer. Endüstri temsilcisi ACEA (2015), yasal zorunluluklara karşı direnç gösterecek; “geri dönüşümün kendisinin bir çevresel hedef olmadığını, sadece bir araç olduğunu” ve “tehlikeli maddelerin aşamalı olarak kaldırılması ile geri dönüşümün faydaları arasında bir denge gözetilmesi gerektiğini” savunur. Bu müzakereler sonucunda, *Hurda Araçlar Direktifi* düzenleme taslağında “teknik fizibilite”ye dayalı kaçış hükümleri (escape clauses) yer almıştır:

Onarım ve bakım operatörleri veya yetkili işleme tesisleri tarafından... sökülmesi ve değiştirilmesi teknik olarak mümkün olmayan parçalar için [tasarım gereklilikleri] uygulanmaz. [...] Üreticiler, araç parçalarının ve bileşenlerinin yazılım güncellemeleri kullanılarak sökülmesini ve değiştirilmesini engellemelidir.

Tam anlamıyla rol atama, yalnızca başlangıçtaki benimsemeyi değil, sürekli taahhüdü gerektirir. Geri dönüşüm tesisleri işleten KOBİ’ler; “ikincil malzeme tedarikçisi” olarak sermaye erişimi ve teknik destek odaklı müzakerelerle ağı dahil olurlar. AB Komisyonu, ESPR Madde 19 ile bu aktörleri ağı tutmak için şu destek mekanizmalarını taahhüt eder:

Üye Devletler, KOBİ’lerin... eko-tasarım gerekliliklerini uygulamalarına yardımcı olmak için uygun önlemleri alacaktır. Bu önlemler en azından... farkındalığı artırmak ve ağ oluşturma fırsatları yaratmak için tek durak noktalarının (one-stop point) mevcudiyetini sağlamayı içermelidir. Ayrıca... mali destek, finansa erişim, uzmanlaşmış yönetim ve personel eğitimi ile organizasyonel ve teknik yardımı da içerebilir (European Commission, 2022).

Sivil toplum kuruluşları ise şeffaflık ve hesap verebilirlik kriterlerini ağ işleyişine kodlayan müzakereler yoluyla “meşruiyet sağlayıcılar” olarak kayda geçerler. Ancak Schröder ve arkadaşları (2020) bu sürecin genellikle teknokratik kaldığını ve sosyal adaletin (örneğin gayriresmî atık işçilerinin durumu) ihmal edildiğini vurgulayarak; “Döngüsel Ekonomi modellerinin eşitsizlik konusunu, döngüsellik veya malzeme verimliliği ile aynı aciliyet seviyesinde ele almadığını” belirtir. Bu nedenle sivil toplumun ağı kaydı, genellikle sürecin içinde yer alan bir “eleştirel dost” rolüyle sınırlı kalmakta; tam bir sosyal içirme yerine teknik standartların ve raporlama yükümlülüklerinin denetçisi olarak konumlanmaktadır.

Harekete geçme: Temsiller ve Gösterimler Yoluyla Ölçekleme

Callon’a (1986) göre harekete geçme (*mobilization*); rol atanmış aktörlerin daha geniş kitleleri meşru bir biçimde temsil edebilmesini ve yerel başarıların genelleştirilmesini sağlayan süreçtir. Döngüsel ekonomi ağlarında bu süreç; “deniz feneri” (lighthouse) projeleri, dijital bilgi paylaşım platformları ve standartlaştırılmış protokoller aracılığıyla işler.

Yataklardan elde edilen poliüretan köpüğü veya otomotiv endüstrisinden kaynaklanan karışık plastikler gibi yüksek hacimli atık akışlarını işleyen pilot tesisler, birer “harekete

geçme aracı” işlevi görür. ERTRAC (2025) yol haritası, bu tür pilot uygulamaların sektö-
rü nasıl seferber edeceğini şu vizyonla ortaya koyar:

Önerilen üç <Deniz Feneri Projesi>, otomotiv döngüselliğini iyileştirmek adına en kritik zorluklara odaklanmaktadır... Bunlar: (1) 2050 yılına kadar karbon nötrlüğüne ulaşmak için otomotiv poli-
merlerinin fosilsizleştirilmesi, (2) Bilinmeyen lokasyonlardaki araçların gelecekteki kıtalararası geri
dönüşüm sistemine entegrasyonu ve (3) Geleceğin Geri Dönüşüm Fabrikası’dır. [...] Bu projeler,
döngüsellik ve rekabetçiliği zamanında bir üst seviyeye taşıyabilmek için milyarlarca Avro ölçeğinde
özel ve kamu kaynağını seferber etmelidir.

Bir pilot uygulama, kimyasal olarak geri dönüştürülmüş malzemenin yüksek saflığa ulaş-
tığını gösterdiğinde; bu bilgi, belirli bir sahanın ötesine taşınabilir, ölçeklenebilir bir kanıt
niteliği kazanır. Zia ve arkadaşlarının (2007) çalışması; “glikoliz yöntemiyle elde edilen
ürünlerin, ikincil PU sentezinde hidroksil içeren bileşenler olarak kullanılabilir nitelikte
olduğunu” kanıtlayarak tam da bu işlevi yerine getirir.

Ne var ki, bu harekete geçme süreci de kırılğan bir yapı arz eder. Belgeler şu tartışma-
ların sürdüğünü göstermektedir: Kontrollü pilot koşulları, gerçek dünyadaki heterojen
atık akışlarını ne ölçüde yansıtmaktadır? Pilot ölçekli ekonomik uygulanabilirlik (örneğin
yılıda 100 ton ve sübvans edilmiş hammadde ile), ticari ölçeğe (örneğin yılda 10.000 ton
ve piyasa fiyatlı hammadde ile) taşınabilir mi? Ve bir boyutta sağlanan çevresel faydalar
(madde geri kazanımı vb.), başka boyutlarda oluşan zararlarla (enerji yoğunluğu, kimya-
sal kullanımı, taşıma emisyonları vb.) dengelenmekte midir? Harekete geçme, ancak bu
temsil iddiaları meşru kabul edildiğinde başarıya ulaşır; fakat mevcut durumda bu süreç
henüz tamamlanmamış ve tartışmalıdır.

Dijital pazar platformları ve federatif veri alanı altyapıları, katılımı teşvik eden teknik mi-
mariler sunarak seferberliği tesis eder. Politika belgeleri, geri dönüştürücüler ve üreticiler
arasındaki bağlantının dijitalleşme ekseninde sağlanacağını belirtir. ERTRAC (2025) ra-
poru, dijital hareketliliğin mekanizmasını şöyle açıklar:

Malzemelerin ve bileşenlerin takibini otomatikleştirmek için veri formatları, dijital ürün pasaportla-
rı ve izleme sistemleri adına evrensel standartlar oluşturulmalıdır... Dijital Ürün Pasaportları (DPP);
bileşen sağlığı, malzeme bileşimi, geri dönüştürülebilirlik potansiyeli ve onarım geçmişi gibi temel
verileri yakalayarak otomotiv bileşenlerinin yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü kolaylaştırır-
maldır.

Bu bağlamda COM(2022) 552 final belgesi (Digitalising the energy system - EU action
plan), enerji sisteminin dijitalleşmesi üzerinden daha geniş bir vizyon sunarak; “Avrupa or-
tak enerji veri alanının konuşlandırılmasının desteklenmesi” gibi adımlarla sektörler arası
birlikte çalışabilirliğin nasıl harekete geçirileceğini gösterir.

Katılım arttıkça ağ etkileri güçlenir: Alıcılar tedarikçiler orada olduğu için, tedarikçiler de
alıcılar orada olduğu için ağa katılır; bu karşılıklı bağımlılık, kendi kendini besleyen bir

harekete geçme dinamiği yaratır. Böylece platform, potansiyel bir “zorunlu geçiş noktası” hâline gelir; dışarıda kalan aktörler piyasa bilgisine ve işlem fırsatlarına erişimlerini yitirme riskiyle karşılaşır. Gaia-X ve International Data Spaces (IDS) standartlarına dayalı federatif veri alanları, veri paylaşımına dair gizlilik endişelerini gözetken teknik ve yönetim çerçeveleri sunar. Burada merkezî veri silolarının aksine kontrollü paylaşım mekanizmaları öne çıkar: Veri sahipleri egemenliklerini korurken, birlikte çalışabilirlik mümkün hâle gelir (European Commission, 2021). Bu teknik çözüm, rekabetçi istihbaratın sızdırılması endişesi taşıyan aktörlerin katılımını harekete geçirir; güven ilişkisinin zeminini kişilerarası temaslardan kriptografik protokollere ve akıllı sözleşmelere taşır.

Pan-Avrupa düzeyindeki standartlaştırma çalışmaları ise çeşitli uygulamaları ortak protokollere tercüme ederek birlikte çalışabilirliği kolaylaştırır. ESPR (COM 2022 142 final), “Veri taşıyıcısı ve benzersiz ürün tanımlayıcısının ISO/IEC 15459:2015 standardına uygun olması gerektiğini” belirterek teknik uyumu zorunlu kılar. Bu standartlar, Latour’un (1987) ifadesiyle “değişmeden dolaşan nesneler” (immutable mobiles) olarak işlev görür: Yerel deneyimleri toplar, genellenebilir bilgiye dönüştürür ve standartlaştırılmış rehberlik biçiminde yeniden dağıtarak tüm ağı tek bir teknik dilde konuşmaya seferber eder.

Son olarak, bu teknokratik ağ kurulum sürecinde sesleri yeterince duyulmayan veya dışlanan aktörler mevcuttur. Schröder ve arkadaşları (2020), döngüsel ekonomi söyleminin genellikle “teknolojik-materyal odaklı” olduğunu ve insan boyutunu ihmal ettiğini vurgular:

Döngüsel Ekonomi çerçevelerinde gayriresmî sektör çalışanlarına (örneğin atık toplayıcılar) yeterince dikkat edilmemektedir. Otomasyon ve kapalı döngü tedarik zincirleri, düşük ve orta gelirli ülkelerdeki istihdam üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Ayrıca çalışma, mevcut modellerin “eşitsizlik konusunu, döngüsellik veya malzeme verimliliği ile aynı aciliyet seviyesinde ele almadığını” belirterek ağına adalet boyutundaki eksikliğini eleştirir.

Sonuç olarak AB döngüsel ekonomi ağları; sadece yasal metinlerin değil, bakırın kimyasal direncinin, dijital pasaportların veri standartlarının, otomotiv devlerinin lobi faaliyetlerinin ve marjinalize edilmiş atık işçileri gibi görece zayıf aktörlerin içinde bulunduğu karmaşık bir müzakere ve çatışma alanı olarak şekillenmektedir.

Güç Dinamikleri ve Ağın Tartışmalı İnşası

Ağ Etkisi Olarak İktidar: Konumlandırılmış ve Tartışmalı Zorunlu Geçiş Noktaları

Aktör-Ağ Teorisinde iktidar, aktörlerin mülkiyetindeki bir kaynak değil; ağ topolojisinin ürettiği bir etkidir ve çok sayıda ilişkinin geçmek zorunda olduğu stratejik konumları işgal etmenin bir sonucudur (Law, 1992). Bu nedenle döngüsel ekonomi geçişlerinde “zorunlu

geçiş noktaları” inşa etme mücadelesi, temel iktidar dinamiğini oluşturur. Aktörler; kendilerini vazgeçilmez kılmak, diğerlerinin katılım koşullarını tanımlamak ve ağ akışlarını koordine eden düğümleri kontrol etmek adına rekabet ederler (Callon, 1986).

Avrupa Komisyonu’nun ESPR uygulaması, düzenleyici nitelikte bir zorunlu geçiş noktası inşasına emsal teşkil eder. Belirli ürün kategorilerinde DPP’leri pazara giriş için zorunlu kılan düzenleme, uygunluk altyapısını “bypass edilemez” bir geçiş noktası olarak tahkim eder: AB tedarik ağlarına dâhil olan üreticiler, DPP sistemlerine entegre olmadan tüketicilere ulaşamaz hâle gelir (European Commission, 2022). ESPR teklifi; eko-tasarım gerekliliklerine tabi ürünlerin bir ürün pasaportuna sahip olmasını ve ekonomik işletmecilerin ürünleri piyasaya sürmeden önce uygunluğu sağlamasını hükme bağlar (European Commission, 2022, Madde 8).

Bu durum, salt bir yasal zorlama olarak okunmamalıdır; bilakis Foucault’nun (1991) “yönetimsellik” (governmentality) olarak adlandırdığı teknik-idari aygıtlar aracılığıyla, belirli davranışları rasyonel, diğerlerini ise maliyetli kılarak eylem olanaklarının yapılandırılmasıdır. Düzenleme, uyumsuz ürünleri doğrudan yasaklamaz; onları “pazarlanamaz” kılarak yaptırım görevini dijital izlenebilirlik mimarisine devreder.

Ancak zorunlu geçiş noktası statüsü asla mutlak değildir ve yasal düzenlemeyle otomatik olarak sağlanamaz. Dokümanlar; üye devletlerin uhdesindeki uygulama takdir yetkilerinin, yaptırım kapasitelerindeki farklılıkların ve lobi baskılarının; aktörlerin muafiyet, erteleme ve alternatif uygunluk yolları için pazarlık yapabilecekleri boşluklar yarattığını ortaya koymaktadır (Leipold & Petit-Boix, 2018). ESPR üzerine yapılan sektör danışmaları; geçiş sürelerinin uzatılması, güvenlik açısından kritik uygulamalarda sektörel muafiyetler ve uygulama takvimlerinde esneklik taleplerinin ısrarla dile getirildiğini göstermektedir. Bu tablo, düzenleyici zorunlu geçiş noktası konumlandırmasının edilgen bir kabullenmeyle değil, aktif bir müzakereyle karşılandığını kanıtlar.

Düzenlemenin iktidarı sürekli bir ayakta tutma (maintenance) ameliyesi gerektirir; yasal metin ancak denetimler, yaptırımlar ve teknik altyapı yatırımları sayesinde maddi bir gerçekliğe dönüşür. Bu ayakta tutma faaliyetleri zayıfladığında (örneğin üye devletler yaptırım ajanslarını yetersiz finanse ettiğinde, denetimler seyrekleştğinde veya cezalar caydırıcılığını yitirdiğinde) zorunlu geçiş noktası konumlandırması da aşınır. Bu noktada “zorunlu geçiş noktası olmak üzere konumlandırılmış” (düzenleyici niyet) ile “kanıtlanmış zorunlu geçiş noktası” (ağa fiilî bağımlılık) arasındaki ayrım belirleyicidir. Dokümanlar, fiilî ağ bağımlılıklarından ziyade çoğunlukla hedeflenen yönelimleri yansıtmaktadır (bk. Şekil 2).

Zorunlu geçiş noktası iktidar etkilerine ilişkin somut bazı kanıtlar şunlardır:

1. Uygunluk Kontrol Noktaları: DPP sistemi zorunlu veri iletim noktaları oluşturur. Buna göre üreticiler, ürünlerine pazar yetkisi verilmeden önce belirli verileri üretmek ve iletmekle mükelleftir. Bu zorunluluk, tüm uygun aktörlerin geçmek zorunda olduğu bir darboğaz yaratır ve DPP altyapı işletmecisini (AB ajansı, sözleşmeli platform ya da federatif sistem) bir tür “kapı bekçisi” konumuna taşır.
2. Dışlama Dinamikleri: DPP uyumlu sistemleri uygulayacak teknik kapasiteye veya sermayeye sahip olmayan aktörler, piyasa dışı kalma riskiyle karşı karşıyadır. Standardizasyon komitelerindeki KOBİ temsil oranları, katılım asimetrisini net biçimde ortaya koyar. Blind ve arkadaşları (2017), AB’deki işletmelerin %90’ından fazlasını oluşturan KOBİ’lerin, CEN Teknik Komitelerinde %20’den az temsil edildiğini belgelemektedir. Bu veri, standartlar tanımlanırken büyük ölçekli firmaların kapasitelerinin “nötr” gereklilikler olarak kodlanması riskine işaret eder.
3. Mücadeleye Dair Kanıtlar: ESPR danışma süreçleri; belirli ürün kategorileri için muafiyet taleplerini, yıllara yayılan kademeli uygulama takvimlerini ve ticari gizliliği korumaya yönelik veri açıklama zorunluluğunun azaltılması taleplerini kayda geçirmiştir. Bu talepler, zorunlu geçiş noktası konumlandırmasının pasif bir kabulden ziyade aktif bir direnişle karşılandığını göstermektedir.

DPP’nin gücü, doğrudan uygunluk yükümlülüklerinin ötesinde; izlenebilirliğin dışsal bir zorunluluk olarak değil, Foucault ve Latour’un kavramlarıyla konuşursak “iyi uygulama” olarak içselleştirildiği normlaşma süreçleri aracılığıyla işler (Foucault, 1991; Latour, 1992). Bu normlaşmanın izleri, sektör söylemlerindeki değişimlerde sürülebilir: PlasticsEurope’un 2021 tarihli tutum belgesinde DPP gereklilikleri bir “yük” ve “maliyet” olarak tanımlanıp uygulama zorlukları vurgulanırken (PlasticsEurope, 2021); sektörel dokümanların artzamanlı analizi, ilerleyen dönemlerde DPP’nin bir “rekabet avantajı” veya “pazar fırsatı” olarak çerçevelenip çerçevelenmediğini gösterecektir. Böylesi bir söylem dönüşümü; aktörlerin düzenleyici gereklilikleri bir dayatma değil, stratejik bir varlık olarak benimsediği anlamına gelir ki bu da başarılı bir yönetimsellik uygulamasına delalet eder.

Dijital pazar platformları ve federatif veri alanı altyapıları, zorunlu geçiş noktası konumlandırmasının ikinci bir odağını oluşturur. İkincil malzeme arz ve talebini buluşturan platformlar, işlemleri yalnızca kolaylaştırmakla kalmaz; aynı zamanda bunları algoritmik kürasyon, itibar sistemleri ve fiyatlama mekanizmaları aracılığıyla aktif biçimde şekillendirir (Srnicsek, 2017). Ağ etkileri yoğunlaştıkça platform “altyapılaşır” ve piyasaya katılım için potansiyel bir zorunlu geçiş noktasına dönüşür. Böylece platform işletmecileri kapı bekçiliği yetkisi elde eder: Katılım koşullarını (üyelik ücretleri, veri paylaşım gereklilikleri, kalite standartları) belirleyebilir, işlem ücretleri (satış değeri üzerinden yüzdelere, abonelik

modelleri) talep edebilir ve bireysel katılımcıların erişemeyeceği stratejik istihbarat sağlayan malzeme akış verilerini toplayabilir (Srniczek, 2017).

Bu tür platformların iktidar üretme pratiklerine yönelik bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

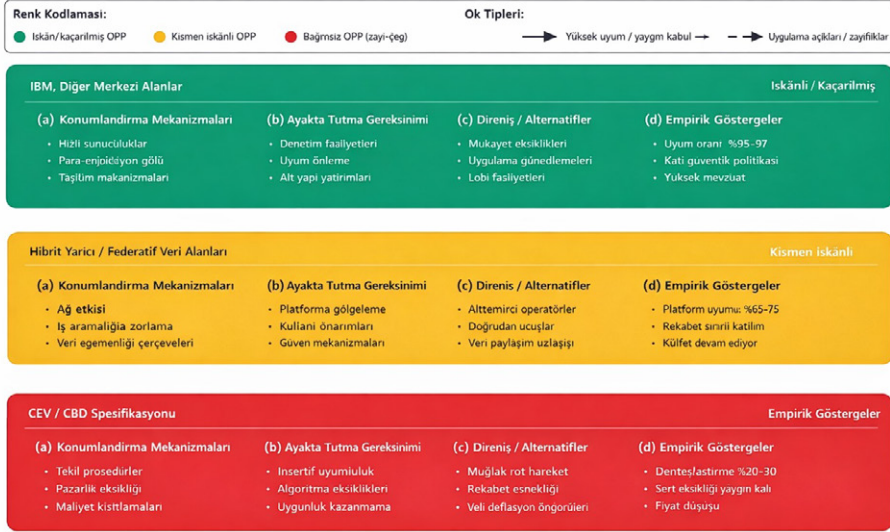
- Ağ Etkileri Yoluyla Kilitlenme (Lock-in): Bir platform kritik kütleye (yeterli alıcı ve satıcı yoğunluğuna) ulaştığında, platforma katılmayan aktörler dezavantajlı konuma düşer. Toplu piyasa bilgilerine erişemez, otomatik eşleştirme algoritmalarından faydalanamaz ve platform itibar sistemini kullanamazlar. Bu durum, katılım şartları olumsuz olsa dahi, aktörler üzerinde platforma katılma yönünde yapısal bir baskı yaratır.
- Veri Asimetrisi: Platform işletmecileri, tüm işlemleri “kuş bakışı” gözlemleyerek bireysel katılımcıların göremediği piyasa eğilimlerini, fiyat örüntülerini ve arz-talep dengesizliklerini tespit edebilir. Bu bilgi asimetrisi stratejik avantajlar doğurur; söz konusu avantajlar platform işletmecileri tarafından ya doğrudan gelir elde etmek için (malzeme ticaretine bizzat girerek) ya da dolaylı olarak (ilişkili firmalara ayrıcalıklı muamele yaparak) kullanılabilir.
- Yönetişim Kontrolü: Platform işletmecileri, etkileşimleri yapılandıran kuralları (anlaşmazlık çözüm mekanizmaları, kalite standartları, veri erişim politikaları) tek taraflı belirleme gücüne sahiptir. Katılımcılar bu kuralları “hizmet şartları” olarak kabul etmek zorundadır; bu da yönetim yetkisini platform işletmecilerinde merkezileştirir.

Benzer şekilde; CEN, ISO ve sektörel organizasyonlarca geliştirilen teknik standartlar; neyin “kabul edilebilir” kalite, “yeterli” izlenebilirlik ya da “yeterli” geri dönüştürülmüş içerik sayılacağını tanımlayarak iktidar etkileri üretir (Busch, 2011). Standardizasyon zahirde tarafsız teknik bir faaliyet gibi görünse de standartlar genellikle çok yıllık komite katılımını finanse edebilecek kaynağa sahip, büyük ağlarda konumlanmış aktörlerin çıkar ve kapasitelerini yansıtır.

Örneğin bir standart; test protokollerini (ör. 50.000 € üzeri evrensel test makineleri gerektiren ISO 527 çekme testi), malzeme özellik eşiklerini (ör. saf malzeme performansına göre kalibre edilmiş minimum çekme dayanımı) veya belge gereksinimlerini (ör. özel personel gerektiren ISO kalite yönetim sistemleri) belirlediğinde; bu gereklilikler büyük firmaların iç kaynaklarıyla kolayca karşılayabildiği rutinler hâline gelir. Buna karşılık KOBİ’ler için ya dış kaynak kullanmayı gerektiren (örneğin numune başına 200-500 € test ücretleri) ya da yıllık 10.000-50.000 € maliyetli belgelendirme sistemlerine yatırım yapmayı zorunlu kılan ciddi uyum yükleri doğar (Blind ve ark., 2017).

Şekil 2

Ağ topolojisi: Konumlandırılmış ve gerçekleşmiş zorunlu geçiş noktaları arasındaki ayrım



Çatışma Arenaları: Tartışmalı Çeviri Süreçleri

Ağların istikrarı hiçbir zaman nihayete ermiş değildir; bilakis atfedilen rollere direnen, alternatif problem tanımları öneren veya konumlandırıldıkları noktalardan kopan aktörler tarafından sürekli olarak tartışmaya açılır (Callon, 1986). Döngüsel ekonomi geçişlerinde, bu dinamik zemin üzerinde dört temel çatışma alanı tebarüz eder:

Birincisi malzeme kalitesi ve risk tahsisi tartışmalarıdır. Dokümanlar, malzeme kalitesi iddialarına ilişkin süregiden çatışmaları net bir biçimde ortaya koymaktadır. Orijinal Ekipman Üreticisi (OEM) ağlarına konumlanmış aktörler; geri dönüştürülmüş malzemelerin kabul edilemez derecede değişkenlik gösterdiğini, kontaminasyon riski barındırdığını ve gerçek dünya koşullarında performans kaybına yol açtığını öne sürmektedir (Material Economics, 2018; PlasticsEurope, 2020). Sektör paydaşları, özellikle parti bazlı değişkenlik ve kontaminantların ürün performansı ile güvenlik sertifikalarını riske atmasına dair endişelerini sıklıkla dile getirir.

Bu çerçeveleme, geri dönüştürülmüş malzemeleri “masumiyetini ispat etmekle yükümlü” bir konuma iter. Doğrusal malzeme akışları “doğal” ve varsayılan standart olarak sunulurken döngüsel aktörler, ürünlerinin hammaddeye eşdeğer olduğunu kanıtlama yükümlülüğüne (burden of proof) tabi tutulur. Teknoloji sağlayıcılar ise ileri geri dönüşüm tekno-

lojilerinin (mekanik veya kimyasal) pilot ölçeklerde saf malzemeye eşdeğer performans sağladığını gösteren verilerle bu iddialara yanıt verir (Ragaert ve ark., 2017; Zia ve ark., 2007). Örneğin Ragaert ve arkadaşları (2017), yüksek yoğunluklu polietilenin mekanik geri dönüşümünün, temiz ve önceden ayrıştırılmış girdi kullanıldığında orijinal spesifikasyonları karşılayabildiğini gösterir.

Ancak bu çatışma, teknik bir tartışmanın ötesinde, daha derin bir “risk tahsisi” mücadelesinin yansımasıdır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin benimsenmesi; riski atık yöneticilerinden (bertaraf sorumluları) üreticilere (performans garantörleri) kaydırır. Belgeler, OEM aktörlerinin bu riski; sertifikasyon sistemleri, sigorta mekanizmaları ve düzenleyici sorumluluk istisnaları yoluyla minimize etmeyi talep ettiklerini göstermektedir. Bu durum, kalite eşdeğerliğinin yalnızca içsel malzeme özellikleriyle mi, yoksa standartlar ve sertifikasyonlar gibi kurumsal güvencelerle mi tanımlanacağına ilişkin tartışmalı bir müzaker alanı doğurur (Busch, 2011; Gregson ve ark., 2015).

İkincisi maliyet ve sürdürülebilirlik arasında ekonomik gerilimdir. Hammadde fiyatları petrol piyasalarına endeksli olarak dalgalanırken toplama, ayrıştırma ve işleme maliyetleri genellikle daha yüksek olan geri dönüştürülmüş alternatifleri fiyat rekabetinde geride bırakır (Geyer ve ark., 2017). Petrol fiyatlarının düştüğü dönemlerde (örneğin varil başına 50 dolar altı), plastik geri dönüşümüne yönelik ekonomik teşvikler, düzenleyici müdahaleler olmadığı takdirde, buharlaşır.

Geri dönüşüm ağlarındaki aktörler, bu maliyet dezavantajının bir “piyasa başarısızlığı” olduğunu savunur: Hammadde fiyatları çevresel dışlılıkları (emisyonlar, kaynak tükenmesi, kirlilik) içermediğinden yanıltıcı bir kıyas noktası oluşturur (Milios, 2021). Bu aktörler; karbon fiyatlandırması, hammadde vergileri ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) ücretleri gibi politik müdahalelerle “geçiş maliyetlerinin toplumsallaştırılmasını” (kirlenin ödemesini) talep eder. Buna karşın, yerleşik hammadde tedarik zinciri aktörleri; söz konusu müdahaleleri “piyasa bozucu” olarak niteler ve uluslararası rekabet gücünün zayıflaması veya karbon sızıntısı riskini öne sürerek direnç gösterir.

Üçüncüsü şeffaflık ve ticari gizlilik gerilimidir. DPP ve izlenebilirlik gereklilikleri, şeffaflık zorunlulukları ile ticari gizlilik hakları arasında keskin bir gerilim hattı oluşturur. ESPR; malzeme bileşimi, tedarik kaynağı ve onarılabilirlik gibi bilgilerin açıklanmasını zorunlu kılar (European Commission, 2022). Ancak bu veriler, döngüsel akışları mümkün kılarken aynı zamanda ticari formülasyonları ve maliyet yapılarını da ifşa etme potansiyeli taşır.

Sektör danışma belgeleri, üretim ağlarındaki aktörlerin bu kapsamlı ifşalara direndiğini belgelemektedir. Aktörler, formülasyonların kamuya açıklanmasının tersine mühendislik riskini artıracığını ve Ar-Ge yatırımlarının karşılıksız kullanılmasına yol açacağını savunarak “fıkri mülkiyetin korunması” argümanına sığınır. Bu çatışma, veri kontrolündeki güç

asimetrileriyle daha da derinleşir: Platform işletmecileri ve düzenleyiciler, toplanan veriler üzerinden “piyasa zekâsı” ve denetim kapasitesi kazanırken veri sağlayıcı aktörler çoğunlukla sadece uygunluk yükünü üstlenir (Srnicek, 2017). Bu asimetri, aktörlerin asgari veri sağlama veya belirsiz kategorilerle bilgi verme gibi pasif direniş stratejileri geliştirmesine neden olur.

Dördüncüsü adalet ve geçişin hızıdır. Düzenleyici takvimler hızlı bir dönüşüm baskısı yaratırken (ESPR 2025-2030, İklim Nötr 2050), belgeler bu ivmenin toplumsal risklerine işaret eder. Hızlandırılmış geçişler; hammadde sektörlerindeki işçilerin (madencilik, rafineri) yerinden edilmesi, geri dönüşüm tesislerinin dezavantajlı bölgelerde yoğunlaşması ve Küresel Güney aktörlerinin (örneğin tekstil işçileri) yeni değer zincirlerinden dışlanması riskini barındırır (Schröder ve ark., 2020).

Sendikalar ve çevresel adalet örgütleri; geçiş stratejilerinin eğitim programları (adil geçiş fonları), topluluk fayda anlaşmaları ve katılımcı yönetim mekanizmaları içermesini talep eder. Schröder ve arkadaşları (2020); çevresel faydaların varlıklı topluluklara yönelirken çevresel yüklerin ve ekonomik maliyetlerin dezavantajlı gruplara yıkılmaması gerektiğini vurgulayan sivil toplum argümanlarını belgelendirmiştir. Bu bağlamda adalet talepleri, uygulamanın hızını yavaşlatsa da meşruiyetini artıran bir unsur olarak çatışma arenasında yerini alır.

Ağ İstikrarsızlığı ve Bakım Çalışmaları

Yukarıda irdelenen çatışmalar, ağların istikrarsızlaşma riskini sürekli olarak canlı tutar. Aktörler beklenen faydaların realize olmadığı, alternatif ağların daha avantajlı koşullar sunduğu ya da dışsal şokların stratejik hesapları değiştirdiği durumlarda, konumlandıkları noktalardan çekilme eğilimi gösterebilir (Callon, 1986). Örneğin, uyum maliyetlerinin yükü altında kalan KOBİ’ler düzenlenmiş pazarlardan çıkabilir; kalite sorunlarıyla yüzleşen OEM aktörleri birincil hammadde kullanımına rücu edebilir veya siyasi tepkilerle karşılaşan üye devletler uygulama takvimlerini erteleyebilir.

Ayrıca, edim kapasitesinin (eyleyciliğin) algoritmalar, standartlar ve altyapılar gibi insan-dışı aktörlere devredilmesi, beraberinde “kara kutu” risklerini getirir (Latour, 1999). Yapay zekâ sistemlerinin malzeme partilerini gerekçesiz biçimde reddetmesi, sertifikasyon şemalarının muğlak kriterler (örneğin tescilli test protokolleri) uygulaması veya platform algoritmalarının işlemleri şeffaf olmayan mekanizmalarla kürasyona tabi tutması (ilişkili tedarikçilerin önceliklendirilmesi gibi); hesap verebilirliği zayıflatır ve güveni kırılğanlaştırır. Aktörlerin, katılımlarını şekillendiren kararları anlayamaması veya bu kararlara itiraz kanallarının kapalı olması durumunda, meşruiyet krizleri baş gösterir ve ağ bütünlüğü tehdit altına girer.

Bu nedenledir ki ağ istikrarı, sürekli bir “ayakta tutma çalışması” (maintenance work) gerektirir. Bu çalışmalar; standartların teknolojik değişimleri yansıtacak biçimde güncellenmesini (yeni malzemelerle birlikte test protokollerinin revizyonu), uygulama başarısızlıklarını giderecek düzenleyici uyarlamaları (geçiş sürelerinin esnetilmesi, uyum destek programları), maliyet paylaşım düzenlemelerinin yeniden müzakere edilmesini (üretici sorumluluk ücretlerinin ayarlanması, yeşil finansmanın yeniden dağıtılması) ve kara kutuların açılarak hesap verebilirliğin yeniden tesis edilmesini (algoritmik şeffaflık, katılımcı teknoloji değerlendirmeleri) kapsar. Latour’un (2005) önerdiği “kara kutuların açılması” prensibi, günümüzde algoritmik şeffaflık ve katılımcı teknoloji değerlendirmeleri gibi uygulamalarla somutlaşmaktadır.

Nihayetinde döngüsel ekonomi geçişlerinde iktidar, statik bir dağılım değil; dinamik bir inşadır. Söz konusu inşa süreci, her ağ kurma girişiminin karşılaştığı insanî ve maddî dirençler karşısında daima kırılğan bir yapı arz eder.

Tartışma

Teknolojik Determinizmin Ötesinde: Döngüsel Geleceklerin Ortak-Üretimi

Bu analiz; döngüsel ekonomi dönüşümlerini, yeniliklerin yayılımı yoluyla kaçınılmaz biçimde gerçekleşen teknik süreçler olarak kodlayan teknolojik determinist yaklaşımları temelden sorgulamaktadır. Söz konusu yaklaşımlar; teknolojilerin araştırma laboratuvarlarında geliştirildiği, teknik fizibilitesinin kanıtlandığı ve akabinde rasyonel aktörlerce benimsendiği doğrusal bir yayılım modelini varsayar. Ancak bu model, pilot ölçekli ileri düzey geri dönüşüm süreçlerinin yüksek teknik başarılarına rağmen neden hâlâ marjinal kaldığını açıklamakta yetersiz kalır.

Aktör-Ağ Teorisi ise bunun yerine; teknolojik, siyasi, ekonomik ve kültürel unsurların eş-zamanlı olarak üretildiği, yani “birlikte oluştuğu” (co-constituted) bir perspektifi önerir. Bu unsurlar; teknik sorunların çözümüne paralel olarak düzenleyici çerçeveleri kuran, piyasa altyapılarını inşa eden ve normatif meşruiyet sağlayan çeviri süreçleri yoluyla birlikte şekillenir (Jasanoff, 2004; Latour, 1993).

Örneğin poliüretanların kimyasal geri dönüşümü, yalın bir teknik başarıdan ibaret değildir. Bu süreç; moleküler dönüşümleri koordine eden kimya süreçlerini, sermaye yatırım kararlarını, atık toplama altyapılarını, kalite sertifikasyon rejimlerini, düzenleyici uyum mekanizmalarını ve tüketici kabulünü bir arada gerektiren “sosyoteknik bir bileşim”dir (Callon, 1986). Bu bileşenlerden herhangi biri sekteye uğradığında; teknik performans ne denli yüksek olursa olsun, tüm sistem istikrarsızlaşır. Dolayısıyla başarı, teknik üstünlükten ziyade çeşitli aktörleri bir ağa dahil edebilme kapasitesine; bir diğer ifadeyle sorun tanımlama, aktörleri hizalama, rol atama ve harekete geçme aşamalarının yetkinlikle yürütülmesine bağlıdır.

Bu ortak-üretimci (co-productionist) bakış açısı, döngüsel dönüşümleri hızlandırmanın sadece teknoloji geliştirmekle veya düzenlemeleri sıkılaştırmakla mümkün olmadığını ortaya koyar. Aslolan, farklı çıkarları haiz aktörlerin hizalanmasını sağlayacak ağ kurma mesaisine odaklanmaktır. Geri dönüştürülmüş malzemelere yönelik direniş, irrasyonel bir tutuculuk olarak okunmamalıdır. Bu direnç genellikle uyumsuz teşviklerin, yönetilemeyen risklerin veya alternatif ağ bağılıklarının aktörleri hizalama süreçleriyle yeterince sönmölendirilememiş olmasının bir tezahürüdür (Callon, 1986).

Bu bağlamda politika araçları (örneğin DPP), yalnızca mevcut piyasaları düzenlemekle kalmaz; aynı zamanda yeni piyasa yapılarını bizzat kurar (performative). Veri altyapıları, şeffaflık normları ve hesap verebilirlik mekanizmaları gibi unsurların tesisiyle, yeni sosyo-teknik düzenekler inşa edilir (European Commission, 2022; Jasanoff, 2004).

Aktör-Ağ Teorisi ve Çok Düzeyli Perspektif (MLP): Düz Ontolojiye Karşı Yapısal Düzeyler

Döngüsel ekonomi dönüşümlerini açıklamada Çok Düzeyli Perspektif (MLP), niş-rejim-çevre hiyerarşisi üzerinden yapısal bir çerçeve sunar (Geels, 2002). Aktör-Ağ Teorisi ise bu apriori düzeylerin ontolojik varlığını sorunsallaştırır: “rejim” ve “niş” gibi kategoriler, önceden verili yapılar değil, başarılı çeviri süreçlerinin nihai çıktıları olarak beliren ağ etkileridir (Latour, 2005). Bu ontolojik ayırım, beraberinde yöntembilimsel sonuçlar doğurur: MLP yapısal hizalanmayı ararken, Aktör-Ağ Teorisi çeviri dizilerinin süreçsel başarısına odaklanır.

Bu çalışmanın bulguları, söz konusu kuramsal tercihi teyit etmektedir. Lineer malzeme akışlarının oluşturduğu sözde “rejim”, monolitik bir yapısal bütün değil; uzun vadeli yatırımlar, kalite standartları ve tedarikçi ilişkileri yoluyla kendilerini zorunlu geçiş noktası konumuna yerleştirmiş aktörlerin ürettiği ağsal bir etkidir. Dolayısıyla rejim direnci bir yapısal atalet değil; lobicilik, geçiş sürelerini uzatma müzakereleri ve ağ yapılarını koruyan kademeli iyileştirme yatırımları gibi stratejilerle sürdürülen aktif bir ağ bakım çalışmasıdır.

Öte yandan MLP’nin, Aktör-Ağ Teorisinin gölgede bırakabileceği kurumsal yol bağımlılıklarına ve altyapı kilitlenmelerine ışık tutma kapasitesi göz ardı edilmemelidir. Gelecek araştırmalar, Aktör-Ağ Teorisinin çevirinin mikro-süreçlerini MLP’nin daha geniş kurumsal ve kültürel bağlamlarıyla sentezleyerek yeni metodolojik ufuklar açabilir.

Döngüsel ekonomi dönüşümlerini MLP gibi bir dışsal çerçeveyle karşılaştırmak, Aktör-Ağ Teorisinin analitik tercihlerini sınamak açısından aydınlatıcıdır; ancak eleştirel diyalog yalnızca dışarıdan gelmez. Aşağıdaki bölüm, Aktör-Ağ Teorisinin kendi entelektüel geleneği içinden gelen Mol’un çoklu ontolojileri ve Law’un akışkan nesneleri gibi kavramsal açılımları bulgularla karşılaştırarak erken dönem çerçevenin sınırlarını ve genişleme olanaklarını tartışmaktadır.

Erken Aktör-Ağ Teorisinin Ağlarından Pratikler ve Çokluklara Geçiş

Bu çalışma; analiz eksenini ağırlıklı olarak Aktör-Ağ Teorisinin erken dönem kuramsal çerçevesine (Callon, 1986; Latour, 1987, 1992; Law, 1992) oturtarak çeviri süreçleri, zorunlu geçiş noktaları ve kodlama mekanizmalarına odaklanmıştır. Ancak Aktör-Ağ Teorisi literatürü, bu erken dönem çerçevenin sınırlarını aşarak döngüsel ekonomi analizlerini derinleştirebilecek yeni kavramsal açılımlar geliştirmiştir.

Annemarie Mol’ün “çoklu ontolojiler” (multiple ontologies) ve “icra/eyleme geçirme” (enactment) kavramları (Mol, 2002); Aktör-Ağ Teorisinin erken dönemindeki tekil ağ ve tekil gerçeklik varsayımına meydan okur. Mol, nesnelerin farklı pratikler içerisinde farklı biçimlerde “var edildiğini” (kurulduğunu) ortaya koyar. Örneğin bir hastalık; patoloji laboratuvarında mikroskopik bir bulgu, klinikte bir semptom deseni, ameliyathanede ise fiziksel bir lezyon olarak “farklı biçimlerde icra edilir” (eyleme geçer). Bu durum, yalnızca farklı bakış açılarını değil; farklı ontolojik gerçeklikleri imler.

Döngüsel ekonomiye uyarlandığında bu yaklaşım; “atık” ve “kaynak” mefhumlarının da pratiklere göre “çoklu” olarak kurulduğunu öne sürer:

- Poliüretan köpüğü; belediye atık sistemlerinde kirli ve heterojen bir “atık” iken,
- Kimyasal geri dönüşüm tesislerinde değerli bir “hammadde”,
- İş sağlığı yönetmeliklerinde “tehlikeli madde”,
- Yaşam döngüsü analizlerinde (LCA) ise bir “karbon emisyonu” kalemi olarak gerçekleştirilir.

Dolayısıyla döngüsel ekonomi geçişleri, bu çoklukları tekil bir tanıma indirgemeye değil; onları birbiriyle uyumlandırmaya (coordination) çabalar.

Law ve Mol’ün “akışkan nesneler” (fluid objects) kavramı (2001); bağlamlara göre sınırları ve özellikleri değişebilen, ancak buna rağmen kimliğini muhafaza edebilen nesneleri tanımlar. Geri dönüştürülmüş malzemeler, farklı saflık dereceleri ve mekanik özellikler sergilese dahi “geri dönüştürülmüş poliüretan” olarak tanınmaya devam eder. Bu durum, sabit değil; bağlama duyarlı ve esnek kimlikler anlamına gelir.

Söz konusu kuramsal gelişmeler, etnografik araştırmalara dayalı yeni bir araştırma gündemine kapı aralar: Kalite, laboratuvarlarda mı yoksa üretim hattında mı “inşa edilmektedir”? İzlenebilirlik, dijital sistemlerde mi yoksa kâğıt üzerindeki bürokraside mi “sağlanmaktadır”? Ve sürdürülebilirlik, düzenleyici uyum metinlerinde mi yoksa toplumsal hareketlerin eylemliliğinde mi “ifade bulunmaktadır”?

Hesap Verebilir Yetki Devri Doğrultusunda “Normatif Çıkarımlar”

Aktör-Ağ Teorisinin simetrik ve ilişkisel ontolojiye olan bağlılığı, tarihsel olarak “normatif bir çekimserliği” beraberinde getirmiştir. Bu yaklaşım, ağların nasıl “olması gerektiğine” ya da hangi aktörlerin “başarılı sayılması gerektiğine” dair reçeteler sunmaktan imtina eder. Söz konusu tutum, temelde “epistemolojik bir alçakgönüllülüğe” dayanır: Şayet gerçeklik ağlara içkinse normatif öneriler evrensel doğrular değil, ancak öznel tercihlerden ibarettir. Ancak çevresel risklerin kim tarafından üstlenileceği, yeşil pazarın kime hizmet edeceği ve hangi bilgi sistemlerinin meşrulaştırılacağı gibi somut “dağıtımsal sonuçlar” üreten dönüşümler söz konusu olduğunda, bu çekimserlik sürdürülemez hâle gelir. Mevcut analiz; AB döngüsel ekonomi dönüşümlerinin teknik görünümlü, fakat esasen “politik olarak yüklü” (politically charged) altyapılara dayandığını ortaya koymaktadır:

- DPP veri şemaları; malzeme bileşimi ve geri dönüştürülebilirlik gibi kriterleri öncelerken çalışma koşulları veya toplumsal etkiler gibi adalet boyutlarını dışlayabilir.
- Yapay zekâ algoritmaları; yüksek değerli atıkları optimize ederken, işlenmesi zor ya da düşük getirili atıkları sistematik olarak dışlayabilir.
- Teknik standartlar; büyük şirketlerin sahip olduğu altyapıları “normal” kabul ederken, KOBİ’leri veya kayıt dışı aktörleri oyun dışı bırakabilir.

Bu tablo kaçınılmaz bir teknik gereklilik değil; siyasal bir “kodlama” sürecidir. Jasanoff’un “alçakgönüllülük teknolojileri” (technologies of humility) çağrısı izlenerek, aşağıdaki kurumsal öneriler sunulmaktadır:

1. Katılımcı Teknik Tasarım: DPP yönetimi; üreticiler, geri dönüştürücüler, sivil toplum, sendikalar ve etkilenen topluluklardan temsilcilerin yer aldığı çok paydaşlı organlarca kurgulanmalıdır. Süreç sadece danışma ile sınırlı kalmamalı; “müşterek karar alma” yetkisi ile teknik altyapıların tasarımı demokratikleştirilmelidir.
2. Algoritmik Şeffaflık ve Açıklanabilirlik: Yapay zekâ sistemleri, neden belirli kararlar verdiğini anlaşılır kılacak düzeyde açıklanabilir olmalıdır. Burada amaç algoritmaların tamamen açık kaynak olması değil; kararların gerekçelendirilmesini ve gerektiğinde “itiraz edilebilirliğini” (contestability) mümkün kılacak mekanizmaların tesisidir.
3. Kara Kutuların Periyodik Olarak Açılması: Standartlar, DPP mimarileri ve platform kuralları belirli aralıklarla (örneğin her 5 yılda bir) gözden geçirilmeli; teknik kararların politik etkileri yeniden değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmeler, çok paydaşlı denetim mekanizmaları tarafından yürütülmeli ve kamusal raporlarla şeffaflaştırılmalıdır.

4. Adalet Çerçevesi (Dağıtım, Usul, Tanınma): Döngüsel geçişler yalnızca çevresel ölçütlerle değil; üç boyutlu bir adalet perspektifiyle değerlendirilmelidir:
 - Müvezzi Adalet (Distributive Justice): Maliyetleri kim üstleniyor, faydayı kim sağlıyor? (Ör. Adil geçiş fonları, toplumsal fayda anlaşmaları).
 - Usule Bağlı Adalet (Procedural Justice): Karar alma süreçlerine kim, nasıl katılıyor? (Ör. Veto hakkı olan temsili yapılar).
 - Tanınma Adaleti (Recognition Justice): Hangi bilgi türleri meşru kabul ediliyor? (Ör. Yerel bilgi sistemlerinin ve alternatif uygulamaların tanınması).

Bu öneriler, Aktör-Ağ Teorisinin ilişkisel ontolojisini terk etmeden hesap verebilir ve adil bir ağ inşası için kurumsal bir pusula sağlar. Güç bir ağ etkisiyse dönüşümlerin demokratikleşmesi, ağların inşa edilme biçimlerinin demokratikleşmesine bağlıdır.

Sonuç

Bu çalışma; Avrupa Birliği'nde enerji yoğun sektörlerde vuku bulan döngüsel ekonomi dönüşümlerinin, salt teknik yeniliklerin yayılımından ibaret olmadığını; bilakis esasen sosyoteknik ağ kurma projeleri hüviyetinde olduğunu ortaya koymuştur. Analiz neticesinde üç temel bulguya ulaşılmıştır:

Birincisi, döngüsel malzeme akışlarının istikrara kavuşması, yalnızca teknik performansa değil; Callon'un (1986) çeviri kuramında tanımladığı dört aşamanın yetkinlikle yürütülmesine bağlıdır:

- Sorun tanımlama: Atıkların, koordineli bir müdahale gerektiren krizler olarak tanımlanması.
- İlgi Yaratma: Mevcut durumu bozmaya yönelik düzenleyici yükümlülüklerin, kontrollü ortamlarda sunulan teknik olanakların ve ekonomik teşviklerin devreye sokulması.
- Rol atama: OEM aktörlerinin "geri dönüştürülmüş malzeme kullanıcısı", KO-Bİ'lerin "tedarikçi" ve sivil toplumun "meşruiyet sağlayıcı" olarak konumlanmaları yoluyla rollerin müzakere edilmesi.
- Harekete geçme: Pilot uygulamalar, dijital platformlar ve bilgi altyapıları aracılığıyla ağların ölçeklendirilmesi.

Bu bağlamda; pilot ölçekli projelerde teknik açıdan yüksek performans gösteren teknolojiler dahi söz konusu çeviri süreçleri heterojen aktör çıkarlarını uyumlu hâle getiremediğinde marjinal kalmaya mahkûm olmaktadır.

İkincisi, döngüsel ekonomi ağlarında iktidar, mülk edinilen bir kapasite değil; ilişkisel bir ağ etkisi olarak tebarüz eder. Kendilerini “zorunlu geçiş noktası” (OPP) hâline getirmeyi başaran aktörler (örneğin AB düzenleyicileri, platform işletmecileri ve standart belirleyici kuruluşlar) başkalarının amaçlarına ulaşabilmesi için kendi ağlarına katılımı zorunlu kıldıkları ölçüde güç kazanır. Bu iktidar, aynı anda hem yapıcı (koordinasyon sağlar, işlem maliyetlerini düşürür, kalite beklentilerini hizalar) hem de kısıtlayıcıdır (alternatifleri dışlar, karar alma yetkisini merkezileştirir, düşük kaynaklı aktörler için katılım engelleri oluşturur).

Burada kritik olan husus, zorunlu geçiş noktası statüsünün sürekli müzakereye açık ve geçici doğasıdır: “Zorunlu geçiş noktası olmaya aday konum” (düzenleyici niyet, stratejik hedef) ile “gerçekleşmiş zorunlu geçiş noktası” (ampirik zorunluluk, yaygın uyum) arasındaki ayrım; hukuki düzenlemeler ile pratik uygulama arasındaki boşlukları gözler önüne serer. Belgeler; muafiyet talepleri, geçiş süresi müzakereleri ve alternatif uyum stratejileri aracılığıyla bu statünün sürekli olarak muhalefetle karşılaştığını kanıtlamaktadır.

Üçüncüsü, insan-dışı aktörler (DPP, yapay zekâ optimizasyon sistemleri, teknik standartlar, malzeme özellikleri) pasif araçlar değil; belirli çıkarları kodlayan, sorumluluk devreden ve siyasi kararları teknik altyapılar içinde “kara kutu” hâline getiren aktif katılımcılardır:

- DPP’ler; GS1 Digital Link şemaları ve EPCIS veri protokolleri aracılığıyla malzeme bileşimi ve tedarik zinciri kökeni gibi izlenebilirlik önceliklerini kodlarken emek koşulları ve topluluk etkileri gibi değerleri dışlayabilir.
- Yapay zekâ algoritmaları; CNN sınıflandırıcıları ve gerçek zamanlı parametre optimizasyonları aracılığıyla önceden insan operatörler tarafından alınan kararları otomatikleştirerek sistem tasarımcılarının önceliklerini sisteme kodlar.
- CEN/ISO standartları; test protokollerini ve malzeme eşik değerlerini belirlerken, genellikle bu süreçlere katılabilecek kaynaklara sahip büyük firmaların kapasitelerini “nötr teknik gereklilikler” olarak doğallaştırır.

Bu tür bir yetki devri ölçekleme açısından elzem olsa da karar alma süreçleri şeffaf olmadığında ve itiraz mekanizmaları bulunmadığında demokratik hesap verebilirlik açısından ciddi sorunlar yaratır.

Sınırlılıklar ve Gelecek Araştırmalar

Bu makale; politika belgeleri, teknik raporlar ve akademik literatüre dayalı kuramsal bir analiz olup etnografik araştırmaların ortaya koyabileceği mikro düzey müzakere pratiklerini, yerleşik bilgi formlarını ve gündelik direnişleri kapsamamaktadır. AB’nin döngüsel ekonomi politikası bu analizde görece bütünlüklü bir ağ inşa süreci olarak ele alınmış; ancak üye devletler arası parçalanma ve sektörler arası özgünlükler bu kapsamda yeterince

dikkate alınmamış olabilir. Ayrıca kodlamanın tek ekip tarafından yapılması yorumların geçerliliğini sınırlandırsa da doküman türleri arasında yapılan veri üçgenlemesi (triangulation) bu kısıtı kısmen hafifletmiştir.

Gelecekte yapılacak ampirik çalışmalar; bu kuramsal iddiaları doğrulamak, geliştirmek veya sorgulamak açısından hayati önem taşımaktadır. Bu analiz, aşağıdaki araştırma gündemlerini açığa çıkarmaktadır:

1. Burada tanımlanan çeviri dinamiklerinin diğer alanlara (gıda atıklarının değerlendirilmesi, elektronik atık geri dönüşümü vb.) uygulanabilirliği veya biyolojik ve teknik döngülerdeki farklılıklar incelenebilir.
2. Aktörlerin problemleri nasıl tanımladığını, ilgi uyandırma stratejilerini nasıl uyguladıklarını ve rol atama süreçlerini nasıl gerçekleştirdiklerini yerinde gözlemleyen çalışmalar yapılabilir. Standart komitesi toplantılarının izlenmesi, pilot proje sonuçlarının nasıl ikna edici hâle getirildiğinin takibi veya sermaye ağlarına erişimi olmayan aktörlerin uyum yükümlülüklerini nasıl aştıklarının belgelenmesi; politika belgelerinde görünmeyen mikro-politik dinamikleri ortaya koyacaktır.
3. Giderek altyapı hâline gelen yapay zekâ sistemleri, DPP'ler ve veri paylaşım platformları bağlamında; bu sistemleri kimin tasarladığı, hangi değerlerin kodlandığı ve katılımcı yönetim modellerinin teknik sorumluluğu demokratikleştirip demokratikleştiremeyeceği sorgulanmalıdır (Jasanoff, 2003; Winner, 1980). DPP uygulamalarının üye ülkeler arasındaki karşılaştırmalı analizi; farklı yönetim düzenlemelerinin (merkezi-dağıtık, kamusal-özel, çok paydaşlı-teknokratik) dağıtımsal etkilerini ölçmek açısından değerlidir.
4. Döngüsel ekonomi geçişlerini on yıllara yayılan bir süreçte izleyerek ağların nasıl istikrara kavuştuğu veya parçalandığı, hangi kara kutuların inşa edilip hangi koşullarda yeniden açıldığı incelenebilir. Bu tür araştırmalar, başlangıçta zorunlu geçiş noktası olarak konumlanan aktörlerin (Avrupa Komisyonu vb.) bu konumlarını sürdürme kapasitelerini test edebilir.
5. “Eyleme geçirme” (enactment), “ontolojik çokluk” ve “akışkan nesneler” gibi kavramlarla; döngüsel malzemelerin farklı pratiklerde nasıl farklı şekillerde gerçekleştirildiği incelenebilir. Örneğin “kalite” kavramının laboratuvar, fabrika ve düzenleyici bağlamlarda farklı anlamlara gelip gelmediği irdelenebilir.
6. Bölüm 6’da önerilen dağıtımsal, usule bağlı adalet ve tanınma adaleti çerçevesini operasyonelleştirerek geçiş maliyetlerinin kimlerce üstlenildiğini, teknik tasarıma kimlerin katıldığını ve hangi bilgi sistemlerinin meşrulaştırıldığını ampirik olarak inceleyen çalışmalar yapılabilir. Örneğin tekstil geri dönüşümünün AB ve Küresel

Güney bağlamındaki karşılaştırmalı analizi; döngüsel ekonomi ağlarının sömürgeci değer zincirlerini yeniden mi ürettiğini, yoksa daha adil yapıların önünü mü açtığını gösterebilir.

Sonuç olarak döngüsel ekonomi geçişi, hâlen radikal biçimde ucu açık bir süreçtir: Nihai yapı yalnızca teknik olanaklar ya da ekonomik rasyonelitelere değil; insan ve insan-dışı aktörlerin kurmayı, istikrara kavuşturmayı ve savunmayı başardığı ağlarla belirlenecektir. Bu ağ dinamiklerini anlamak; yalnızca çevresel açıdan etkili değil, aynı zamanda toplumsal olarak adil ve demokratik açıdan hesap verebilir geçişler tasarlayabilmek adına bir zorunluluktur. Bu bağlamda esas meydan okuma teknik (daha iyi geri dönüşüm süreçleri geliştirmek) ya da düzenleyici (uyumu zorunlu kılmak) olmaktan ziyade politiktir: Farklı çıkarları uyumlu hâle getiren, gücü ve faydaları adil şekilde dağıtan ağlar kurmak gerekmektedir. Aktör-Ağ Teorisi, bu politik zorluğu analiz etme noktasında güçlü kavramsal araçlar sunar; zira döngüsel gelecekler teknik sorunların çözümü, yönetim çerçevelerinin inşası, piyasa altyapılarının oluşturulması ve değerlerin dayanıklı sosyomateriyal bileşimlere kodlanması yoluyla, çeviri çalışmaları aracılığıyla birlikte üretilir.

Finansman Beyanı	Bu araştırma; kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen sektörler kuruluşlarından herhangi bir hibe almamıştır.
Çıkar Çatışması Beyanı	Yazarlar; bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayımlanmasıyla ilgili olarak herhangi bir muhtemel çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.
Yazar Katkıları	Kavramlaştırma: A.B.; Ö.Ö.; Metodoloji: A.B.; Ö.Ö.; Araştırma: A.B.; Ö.Ö.; Yazım-Orijinal Taslak: A.B.; Yazım-İnceleme ve Düzenleme: Ö.Ö.; Danışmanlık: A.B.; Ö.Ö. Tüm yazarlar makalenin yayımlanmış versiyonunu okumuş ve onaylamıştır.
Etik Kurul Onayı	Bu çalışma, birincil veri toplama (anket, görüşme, deney vb.) içermediğinden etik kurul onayı gerektirmemektedir.
Funding Statement	This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.
Declaration of Interests	The authors declare that there is no conflict of interest regarding the research, authorship, and/or publication of this article.
Author Contributions	Conceptualization: A.B.; Ö.Ö.; Methodology: A.B.; Ö.Ö.; Investigation: A.B.; Ö.Ö.; Writing – Original Draft: A.B. Writing – Review & Editing: Ö.Ö.; Supervision: A.B.; Ö.Ö. All authors have read and approved the published version of the manuscript.
Ethics Approval	This study did not involve primary data collection (surveys, interviews, experiments, etc.) and therefore did not require ethics committee approval.

Kaynakça / References

- Akrich, M. (1992). The de-scription of technical objects. In W. E. Bijker & J. Law (Eds.), *Shaping technology/building society: Studies in sociotechnical change* (pp. 205–224). MIT Press.
- Blind, K., Petersen, S. S., & Riillo, C. A. F. (2017). The impact of standards and regulation on innovation in uncertain markets. *Research Policy*, 46(1), 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.11.003>
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Brunner, P. H., Rechberger, H., & Astrup, T. F. (2021). *Practical handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers* (2nd ed.). CRC Press.
- Busch, L. (2011). *Standards: Recipes for reality*. MIT Press.
- Callon, M. (1986). Some elements of a sociology of translation: Domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. In J. Law (Ed.), *Power, action and belief: A new sociology of knowledge?* (pp. 196–223). Routledge.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>
- European Automobile Manufacturers' Association [ACEA]. (2015, September). *ACEA position paper on circular economy*. European Automobile Manufacturers' Association.
- European Bedding Industries' Association. (2021). *Circularity roadmap for the European bedding industry*. EBIA. <https://www.europeanbedding.eu/circularity>
- European Commission. (2019). *The European Green Deal (COM(2019) 640 final)*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe (COM(2020) 98 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:98:FIN>
- European Commission. (2021). *Digitalising the energy system—EU action plan (COM(2022) 552 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0552>
- European Commission. (2022). *Proposal for a Regulation establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products (COM(2022) 142 final)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0142>
- European Environment Agency. (2019). *Paving the way for a circular economy: Insights on status and potentials* (EEA Report No. 11/2019). Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe-insights>
- European Road Transport Research Advisory Council [ERTRAC]. (2025). *Circular economy and competitiveness of the European road transport: Strengthening sustainability and resource sovereignty of the automotive industry*. European Road Transport Research Advisory Council.
- Foucault, M. (1991). Governmentality. In G. Burchell, C. Gordon, & P. Miller (Eds.), *The Foucault effect: Studies in governmentality* (pp. 87–104). University of Chicago Press.
- Gaia-X AISBL. (2022). *Gaia-X architecture document* (Release 22.04). <https://gaia-x.eu/what-is-gaia-x/architecture/>
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (2015). Interrogating the circular economy: The moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44(2), 218–243. <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>
- International Data Spaces Association. (2021). *Reference architecture model* (Version 4.0). IDSA. <https://internationaldataspaces.org/publications/>
- Jasanoff, S. (2003). Technologies of humility: Citizen participation in governing science. *Minerva*, 41(3), 223–244. <https://doi.org/10.1023/A:1025557512320>

- Jasanoff, S. (2004). *States of knowledge: The co-production of science and social order*. Routledge.
- 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>
- Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—State-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.3390/jcs5010028>
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press.
- Latour, B. (1992). Where are the missing masses? The sociology of a few mundane artifacts. In W. E. Bijker & J. Law (Eds.), *Shaping technology/building society: Studies in sociotechnical change* (pp. 225–258). MIT Press.
- Latour, B. (1993). *We have never been modern*. Harvard University Press.
- Latour, B. (1999). *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. Harvard University Press.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press.
- Law, J. (1992). Notes on the theory of the actor-network: Ordering, strategy, and heterogeneity. *Systems Practice*, 5(4), 379–393. <https://doi.org/10.1007/BF01059830>
- Law, J., & Mol, A. (2001). Situating technoscience: An inquiry into the nature of knowledge. *Environment and Planning D: Society and Space*, 19(5), 609–621. <https://doi.org/10.1068/d243t>
- Leipold, S., & Petit-Boix, A. (2018). The circular economy and the bio-based sector—Perspectives of European and German stakeholders. *Journal of Cleaner Production*, 201, 1125–1137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.019>
- Liu, P., & Barlow, C. Y. (2017). Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*, 62, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007>
- Material Economics. (2018). *The circular economy: A powerful force for climate mitigation*. <https://materialeconomics.com/node/14>
- Milios, L. (2021). Towards a circular economy taxation framework: Expectations and challenges of implementation. *Circular Economy and Sustainability*, 1(2), 477–498. <https://doi.org/10.1007/s43615-020-00002-z>
- Mol, A. (2002). *The body multiple: Ontology in medical practice*. Duke University Press.
- Niero, M., & Kalbar, P. P. (2019). Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.002>
- PlasticsEurope. (2020). *Plastics – The facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- PlasticsEurope. (2021). *Plastics—The facts 2021*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
- Prior, L. (2003). *Using documents in social research*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9780857020222>
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>
- Schröder, P., Lemille, A., & Desmond, P. (2020). Making the circular economy work for human development. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104686. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104686>
- Shuaib, N. A., & Mativenga, P. T. (2016). Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites. *Journal of Cleaner Production*, 120, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.070>
- Srnicek, N. (2017). *Platform capitalism*. Polity Press.
- WindEurope. (2020). *Accelerating wind turbine blade circularity*. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/accelerating-wind-turbine-blade-circularity/>
- Winner, L. (1980). Do artifacts have politics? *Daedalus*, 109(1), 121–136. <https://www.jstor.org/stable/20024652>
- WRAP. (2020). *Plastics market situation report 2020*. <https://wrap.org.uk/resources/report/plastics-market-situation-report-2020>

- Zheng, J., & Suh, S. (2019). Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 9(5), 374–378. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>
- Zia, K. M., Bhatti, H. N., & Bhatti, I. A. (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and Functional Polymers*, 67(8), 675–692. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004>