**Sustainability and Digitalization: How digital technologies support the transition towards a circular economy**

**Sürdürülebilirlik ve Dijitalleşme: Dijital teknolojiler döngüsel ekonomiye geçişi nasıl destekliyor**

**This lecture note is a part of the Jean Monnet Module REUSE. The project is *«funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Educatİon And Culture Executıve Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them»***

**Introduction / Giriş**

The concept of a circular economy has gained significant traction in recent years as a potential solution to the environmental challenges posed by our current linear economic model. This shift towards a more sustainable and regenerative economic system is being catalyzed by the rapid advancement of digital technologies. This lecture note explores the intersection of sustainability, digitalization, and the circular economy, with a focus on how digital technologies are enabling this transition.

Döngüsel ekonomi kavramı, mevcut doğrusal ekonomik modelimizin yarattığı çevresel sorunlara potansiyel bir çözüm olarak son yıllarda önemli bir ilgi görmeye başlamıştır. Daha sürdürülebilir ve yenileyici bir ekonomik sisteme doğru bu geçiş, dijital teknolojilerin hızlı ilerlemesiyle katalize edilmektedir. Bu ders notu, sürdürülebilirlik, dijitalleşme ve döngüsel ekonomi kesişimini, dijital teknolojilerin bu geçişi nasıl mümkün kıldığına odaklanarak incelemektedir.

**Digital Technologies and Resource Optimization / Dijital Teknolojiler ve Kaynak Optimizasyonu**

One of the key principles of a circular economy is the optimization of resource use. Digital technologies play a crucial role in this aspect by providing tools and systems that enable better tracking, management, and allocation of resources throughout their lifecycle.

Döngüsel ekonominin temel ilkelerinden biri, kaynak kullanımının optimize edilmesidir. Dijital teknolojiler, kaynakların yaşam döngüleri boyunca daha iyi izlenmesini, yönetilmesini ve tahsis edilmesini sağlayan araçlar ve sistemler sunarak bu konuda kritik bir rol oynamaktadır.

Internet of Things (IoT) devices, for instance, can be employed to monitor resource consumption in real-time. Sensors attached to manufacturing equipment can track energy usage, material input, and output, allowing for precise adjustments to optimize efficiency. This granular level of data collection and analysis was previously impossible, but now enables businesses to identify and eliminate waste at every stage of production (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Örneğin, Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları, kaynak tüketimini gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılabilir. Üretim ekipmanlarına takılan sensörler, enerji kullanımını, malzeme girdisini ve çıktısını takip edebilir, böylece verimliliği optimize etmek için hassas ayarlamalar yapılmasına olanak tanır. Daha önce imkânsız olan bu detaylı veri toplama ve analiz düzeyi, artık işletmelerin üretimin her aşamasında israfı tespit etmesine ve ortadan kaldırmasına olanak sağlamaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) algorithms can process this vast amount of data to identify patterns and predict resource needs. This predictive capability allows for just-in-time production and inventory management, reducing overproduction and minimizing waste. For example, in the fashion industry, AI can analyze sales data, social media trends, and even weather patterns to predict demand more accurately, potentially reducing the estimated 30% of clothes that are produced but never sold (Global Fashion Agenda, 2020).

Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi (ML) algoritmaları, bu büyük miktardaki veriyi işleyerek kalıpları belirleyebilir ve kaynak ihtiyaçlarını öngörebilir. Bu öngörü yeteneği, tam zamanında üretim ve envanter yönetimine olanak tanıyarak aşırı üretimi azaltır ve israfı en aza indirir. Örneğin, moda endüstrisinde AI, satış verilerini, sosyal medya trendlerini ve hatta hava durumu modellerini analiz ederek talebi daha doğru bir şekilde tahmin edebilir ve potansiyel olarak üretilen ancak hiç satılmayan tahminî %30 oranındaki giysiyi azaltabilir (Global Fashion Agenda, 2020).

**Increasing Transparency in Supply Chains / Tedarik Zincirlerinde Şeffaflığın Artırılması**

Digital technologies are revolutionizing supply chain management by enabling unprecedented levels of transparency and traceability. Blockchain technology, in particular, has emerged as a powerful tool for creating transparent and tamper-proof records of transactions and movements within supply chains.

Dijital teknolojiler, benzeri görülmemiş düzeyde şeffaflık ve izlenebilirlik sağlayarak tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratmaktadır. Özellikle blockchain teknolojisi, tedarik zincirleri içindeki işlemlerin ve hareketlerin şeffaf ve değiştirilemez kayıtlarını oluşturmak için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır.

By creating an immutable digital ledger, blockchain allows every stakeholder in the supply chain to trace the journey of a product from raw material to end-user. This level of transparency is crucial for ensuring the authenticity of recycled materials, verifying ethical sourcing practices, and facilitating the implementation of extended producer responsibility schemes (Kouhizadeh et al., 2021).

Değiştirilemez bir dijital defter oluşturarak blockchain, tedarik zincirindeki her paydaşın bir ürünün ham maddeden son kullanıcıya kadar olan yolculuğunu izlemesine olanak tanır. Bu şeffaflık düzeyi, geri dönüştürülmüş malzemelerin orijinalliğini sağlamak, etik kaynak kullanım uygulamalarını doğrulamak ve genişletilmiş üretici sorumluluğu planlarının uygulanmasını kolaylaştırmak için çok önemlidir (Kouhizadeh ve ark., 2021).

For instance, in the food industry, blockchain is being used to trace the origins of products, ensuring food safety and reducing waste. Walmart, in collaboration with IBM, has implemented a blockchain-based system that allows them to trace the origin of mangoes in seconds rather than days, enabling quick identification and removal of contaminated products and reducing food waste (Kamath, 2018).

Örneğin, gıda endüstrisinde blockchain, ürünlerin kökenlerini izlemek, gıda güvenliğini sağlamak ve israfı azaltmak için kullanılmaktadır. Walmart, IBM ile işbirliği içinde, mangoların kökenini günler yerine saniyeler içinde izlemelerine olanak tanıyan blockchain tabanlı bir sistem uygulamıştır. Bu sistem, kontamine olmuş ürünlerin hızlı bir şekilde tespit edilmesini ve ortadan kaldırılmasını sağlayarak gıda israfını azaltmaktadır (Kamath, 2018).

**Enabling New Business Models / Yeni İş Modellerinin Etkinleştirilmesi**

Digital technologies are not just optimizing existing processes; they are enabling entirely new business models that align with circular economy principles. These new models often focus on shifting from product ownership to service-based consumption, maximizing asset utilization, and facilitating sharing and reuse.

Dijital teknolojiler sadece mevcut süreçleri optimize etmekle kalmıyor; aynı zamanda döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu tamamen yeni iş modellerini de mümkün kılıyor. Bu yeni modeller genellikle ürün sahipliğinden hizmet tabanlı tüketime geçmeye, varlık kullanımını maksimize etmeye ve paylaşım ve yeniden kullanımı kolaylaştırmaya odaklanmaktadır.

Digital platforms have given rise to the sharing economy, allowing for more efficient use of resources. Companies like Airbnb and Uber have demonstrated how digital platforms can increase the utilization of existing assets. In the context of circular economy, similar platforms are emerging for sharing industrial equipment, office spaces, and even excess production capacity (Lacy et al., 2020).

Dijital platformlar, paylaşım ekonomisinin ortaya çıkmasına yol açarak kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak sağlamıştır. Airbnb ve Uber gibi şirketler, dijital platformların mevcut varlıkların kullanımını nasıl artırabileceğini göstermiştir. Döngüsel ekonomi bağlamında, endüstriyel ekipmanların, ofis alanlarının ve hatta fazla üretim kapasitesinin paylaşımı için benzer platformlar ortaya çıkmaktadır (Lacy ve ark., 2020).

The concept of Product-as-a-Service (PaaS) is another business model enabled by digital technologies. In this model, manufacturers retain ownership of their products and sell the service they provide instead. This incentivizes manufacturers to design for durability, repairability, and recyclability. Philips, for example, offers "light as a service," where they retain ownership of the lighting infrastructure and are responsible for its maintenance and upgrade, encouraging a more circular approach to product design and use (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Ürün-Hizmet-Sistemi (Product-as-a-Service, PaaS) kavramı, dijital teknolojiler tarafından mümkün kılınan bir başka iş modelidir. Bu modelde, üreticiler ürünlerinin mülkiyetini ellerinde tutarlar ve bunun yerine sağladıkları hizmeti satarlar. Bu, üreticileri dayanıklılık, onarılabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik için tasarım yapmaya teşvik eder. Örneğin Philips, "hizmet olarak ışık" sunmaktadır; burada aydınlatma altyapısının mülkiyetini elinde tutmakta ve bakım ve yükseltmesinden sorumlu olmaktadır. Bu yaklaşım, ürün tasarımı ve kullanımında daha döngüsel bir yaklaşımı teşvik etmektedir (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

**Digital Twins and Circular System Design / Dijital İkizler ve Döngüsel Sistem Tasarımı**

Digital twin technology is emerging as a powerful tool for designing and planning circular systems. A digital twin is a virtual representation of a physical product, process, or system that can be used for various purposes, including simulation, analysis, and optimization.

Dijital ikiz teknolojisi, döngüsel sistemlerin tasarlanması ve planlanması için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Dijital ikiz, simülasyon, analiz ve optimizasyon dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için kullanılabilen fiziksel bir ürünün, sürecin veya sistemin sanal bir temsilidir.

In the context of circular economy, digital twins can be used to model entire product lifecycles, from design and manufacturing to use and end-of-life management. This allows companies to simulate different scenarios and optimize for circularity before any physical resources are committed. For instance, a digital twin of a manufacturing process can help identify opportunities for waste reduction, energy efficiency improvements, and material substitutions (Uhlemann et al., 2017).

Döngüsel ekonomi bağlamında dijital ikizler, tasarım ve üretimden kullanım ve kullanım ömrü sonu yönetimine kadar tüm ürün yaşam döngülerini modellemek için kullanılabilir. Bu, şirketlerin herhangi bir fiziksel kaynak taahhüt edilmeden önce farklı senaryoları simüle etmelerine ve döngüsellik için optimize etmelerine olanak tanır. Örneğin, bir üretim sürecinin dijital ikizi, atık azaltma, enerji verimliliği iyileştirmeleri ve malzeme ikamesi için fırsatları belirlemeye yardımcı olabilir (Uhlemann ve ark., 2017).

Moreover, digital twins can facilitate predictive maintenance, extending the lifespan of products and reducing waste. By constantly monitoring the performance of a product through its digital twin, companies can predict when maintenance is needed and prevent failures before they occur. This not only reduces downtime and extends product life but also allows for more efficient resource use in maintenance and repair operations (Bressanelli et al., 2018).

Ayrıca, dijital ikizler öngörücü bakımı kolaylaştırarak ürünlerin ömrünü uzatabilir ve atıkları azaltabilir. Şirketler, bir ürünün performansını dijital ikizi aracılığıyla sürekli izleyerek, ne zaman bakım gerektiğini tahmin edebilir ve arızalar meydana gelmeden önce önleyebilirler. Bu, sadece kesinti süresini azaltmakla ve ürün ömrünü uzatmakla kalmaz, aynı zamanda bakım ve onarım işlemlerinde daha verimli kaynak kullanımına olanak tanır (Bressanelli ve ark., 2018).

**Challenges and Future Directions / Zorluklar ve Gelecek Yönelimler**

While digital technologies offer immense potential for supporting the transition to a circular economy, several challenges need to be addressed. These include:

Dijital teknolojiler döngüsel ekonomiye geçişi desteklemek için muazzam bir potansiyel sunarken, ele alınması gereken çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bunlar arasında şunlar yer alır:

1. Data privacy and security concerns: As more data is collected and shared across supply chains, ensuring the privacy and security of sensitive information becomes crucial.
2. Veri gizliliği ve güvenlik endişeleri: Tedarik zincirleri boyunca daha fazla veri toplandıkça ve paylaşıldıkça, hassas bilgilerin gizliliğini ve güvenliğini sağlamak çok önemli hale gelmektedir.
3. Digital divide: There's a risk that smaller businesses or those in developing countries might be left behind in the digital transformation, potentially exacerbating existing inequalities.
4. Dijital uçurum: Daha küçük işletmelerin veya gelişmekte olan ülkelerdeki işletmelerin dijital dönüşümün gerisinde kalma riski vardır ve bu durum mevcut eşitsizlikleri potansiyel olarak artırabilir.
5. Environmental impact of digital technologies: The energy consumption and electronic waste associated with digital technologies need to be addressed to ensure that the shift towards digitalization aligns with sustainability goals.
6. Dijital teknolojilerin çevresel etkisi: Dijitalleşmeye geçişin sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmasını sağlamak için dijital teknolojilerle ilişkili enerji tüketimi ve elektronik atık sorunlarının ele alınması gerekmektedir.
7. Standardization and interoperability: For digital technologies to effectively support circular economy principles across global supply chains, there's a need for standardized data formats and interoperable systems.
8. Standardizasyon ve birlikte çalışabilirlik: Dijital teknolojilerin küresel tedarik zincirleri genelinde döngüsel ekonomi ilkelerini etkili bir şekilde destekleyebilmesi için standartlaştırılmış veri formatlarına ve birlikte çalışabilir sistemlere ihtiyaç vardır.

Despite these challenges, the potential of digital technologies to accelerate the transition to a circular economy is significant. Future developments are likely to focus on:

Bu zorluklara rağmen, dijital teknolojilerin döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırma potansiyeli önemlidir. Gelecekteki gelişmelerin muhtemelen şu konulara odaklanması beklenmektedir:

1. Integration of AI and IoT: The convergence of AI and IoT technologies, often referred to as AIoT, is expected to enable more sophisticated predictive maintenance, resource optimization, and waste reduction strategies (Gu et al., 2021).
2. AI ve IoT entegrasyonu: Genellikle AIoT olarak adlandırılan AI ve IoT teknolojilerinin yakınsamasının, daha sofistike öngörücü bakım, kaynak optimizasyonu ve atık azaltma stratejilerini mümkün kılması beklenmektedir (Gu ve ark., 2021).
3. Blockchain for circular supply chains: Further development and adoption of blockchain technology are expected to enhance transparency, traceability, and trust in circular supply chains, facilitating the transition to more sustainable business models (Kouhizadeh et al., 2021).
4. Döngüsel tedarik zincirleri için blockchain: Blockchain teknolojisinin daha fazla geliştirilmesi ve benimsenmesinin, döngüsel tedarik zincirlerinde şeffaflığı, izlenebilirliği ve güveni artırması ve daha sürdürülebilir iş modellerine geçişi kolaylaştırması beklenmektedir (Kouhizadeh ve ark., 2021).
5. Advanced materials tracking: Development of new technologies for tracking materials at a molecular level could revolutionize recycling and enable more efficient closed-loop systems (Ellen MacArthur Foundation, 2019).
6. Gelişmiş malzeme takibi: Malzemeleri moleküler düzeyde izlemek için yeni teknolojilerin geliştirilmesi, geri dönüşümde devrim yaratabilir ve daha verimli kapalı döngü sistemlerini mümkün kılabilir (Ellen MacArthur Foundation, 2019).
7. Digital marketplaces for secondary materials: The growth of digital platforms facilitating the trade of secondary materials and by-products could significantly boost the circularity of various industries (Lacy et al., 2020).
8. İkincil malzemeler için dijital pazaryerleri: İkincil malzemelerin ve yan ürünlerin ticaretini kolaylaştıran dijital platformların büyümesi, çeşitli endüstrilerin döngüselliğini önemli ölçüde artırabilir (Lacy ve ark., 2020).

**Conclusion / Sonuç**

The transition to a circular economy represents a paradigm shift in how we approach production, consumption, and resource management. Digital technologies are playing a pivotal role in enabling this transition by optimizing resource use, increasing supply chain transparency, enabling new circular business models, and facilitating the design of circular systems.

Döngüsel ekonomiye geçiş, üretim, tüketim ve kaynak yönetimine yaklaşımımızda bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Dijital teknolojiler, kaynak kullanımını optimize ederek, tedarik zinciri şeffaflığını artırarak, yeni döngüsel iş modellerini mümkün kılarak ve döngüsel sistemlerin tasarımını kolaylaştırarak bu geçişi sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır.

As we move forward, it is crucial for businesses, policymakers, and researchers to collaborate in addressing the challenges associated with this digital transition while harnessing its full potential to create a more sustainable and circular economy. The integration of sustainability principles into digital innovation strategies, and vice versa, will be key to achieving this goal.

İleriye doğru ilerlerken, işletmelerin, politika yapıcıların ve araştırmacıların bu dijital geçişle ilişkili zorlukları ele almak için işbirliği yapması ve aynı zamanda daha sürdürülebilir ve döngüsel bir ekonomi yaratma potansiyelinden tam olarak yararlanması çok önemlidir. Sürdürülebilirlik ilkelerinin dijital inovasyon stratejilerine entegre edilmesi ve bunun tersi, bu hedefe ulaşmak için kilit rol oynayacaktır.

The journey towards a fully circular economy is complex and multifaceted, but digital technologies offer powerful tools to navigate this transition. As these technologies continue to evolve, they will undoubtedly play an increasingly central role in shaping a more sustainable and regenerative economic system for the future.

Tam anlamıyla döngüsel bir ekonomiye giden yol karmaşık ve çok yönlüdür, ancak dijital teknolojiler bu geçişte yol almak için güçlü araçlar sunmaktadır. Bu teknolojiler geliştikçe, şüphesiz gelecek için daha sürdürülebilir ve yenileyici bir ekonomik sistemin şekillenmesinde giderek daha merkezi bir rol oynayacaklardır.

**References / Kaynakça**

1. Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models: an exploratory case study. Procedia CIRP, 73, 216-221.
2. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Artificial intelligence and the circular economy - AI as a tool to accelerate the transition. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>
3. Global Fashion Agenda. (2020). CEO Agenda 2020: Eight Priorities for a Prosperous Industry. Retrieved from <https://www.globalfashionagenda.com/ceo-agenda-2020/>
4. Gu, F., Ma, B., Guo, J., Summers, P. A., & Hall, P. (2021). Internet of things and Big Data as potential solutions to the problems in waste electrical and electronic equipment management: An exploratory study. Waste Management, 68, 434-448.
5. Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. The Journal of the British Blockchain Association, 1(1), 1-12.
6. Kouhizadeh, M., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2021). Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. Production Planning & Control, 32(7), 547-565.
7. Lacy, P., Long, J., & Spindler, W. (2020). The circular economy handbook: Realizing the circular advantage. Springer.
8. Uhlemann, T. H. J., Lehmann, C., & Steinhilper, R. (2017). The digital twin: Realizing the cyber-physical production system for industry 4.0. Procedia CIRP, 61, 335-340.