



# Kâğıt Endüstrisinde İkiz Dönüşüm: Yeşil ve Dijital Geleceğe Doğru

## Twin Transformation in the Paper Industry: Toward a Green and Digital Future

Mesut Yaşar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Varaka Kağıt Sanayi A.Ş., 10185 Balıkesir, Türkiye

### MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi : 22/11/2024  
Kabul Tarihi : 7/04/2025

#### Atıf:

Yaşar, M. (2025). Kâğıt Endüstrisinde İkiz Dönüşüm: Yeşil ve Dijital Geleceğe Doğru. *Ağaç ve Orman*, 6(2), 76-93.

#### \*Sorumlu yazar:

Mesut Yaşar

E-mail:

mesut.yasar@varaka.com

#### Anahtar Kelimeler / Keywords:

İkiz dönüşüm / Twin transformation  
Dijital dönüşüm / Digital transformation  
Sürdürülebilirlik / Sustainability  
Yeşil dönüşüm / Green transformation

© Telif hakkı 2025 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir:

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

### ÖZET

Günümüzde üretim sektörü, hızla değişen teknolojiler ve çevresel tehditler gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle kâğıt endüstrisi, çevresel etkileri yüksek olan sektörlerden biridir. Bu sektörün sürdürülebilirliği, yalnızca karbon salınımını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda dijital dönüşüm ve yeşil dönüşüm stratejilerinin entegrasyonu ile sağlanabilir. Kâğıt üretiminde yeşil dönüşüm, doğal kaynakların verimli kullanımını ve karbon ayak izinin azaltılmasını amaçlarken, dijital dönüşüm ise üretim süreçlerinin daha verimli hâle getirilmesi için yeni teknolojilerin uygulanmasını içerir. İkiz dönüşüm, bu iki sürecin birlikte ele alınarak üretimde daha verimli, sürdürülebilir ve çevresel etkilerinin minimize edilmesi anlamına gelir. Bu kavram, kâğıt endüstrisinin çevresel etkilerini azaltırken, aynı zamanda küresel pazarda rekabet gücünü artırmasına yardımcı olur. Yeni teknolojilerin entegrasyonu ve yeşil stratejilerin benimsenmesiyle, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabilir. Karbon salınımını azaltma çabaları, küresel sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlama hedefi doğrultusunda önem kazanmışken, karbon vergisi gibi uygulamalar da işletmeleri yeşil teknolojilere yatırım yapmaya teşvik etmektedir. Nitekim kâğıt endüstrisinde ikiz dönüşüm süreci, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken aynı zamanda ekonomik büyümeyi teşvik eder. Bu dönüşüm hem çevresel hem de ekonomik açıdan uzun vadeli başarıyı mümkün kılacak bir üretim modeline dönüştürülmelidir.

### ABSTRACT

Nowadays, the manufacturing sector faces challenges such as rapidly changing technologies and environmental threats. The paper industry in particular is one of the sectors with high environmental impacts. The sustainability of this sector can be achieved not only by reducing carbon emissions, but also by integrating digital transformation and green transformation strategies. In paper production, green transformation aims to make efficient use of natural resources and reduce the carbon footprint, while digital transformation involves the application of new technologies to make production processes more efficient. Twin transformation means taking these two processes together to make production more efficient, sustainable and minimize their environmental impact. This model helps to reduce the environmental impacts of the paper industry while also enhancing its competitiveness in the global market. Production processes can be optimized and resources used more efficiently by integrating new technologies and adopting green strategies. Efforts to reduce carbon emissions have gained importance in line with the goal of limiting the global temperature rise to 1.5 degrees, while practices such as carbon tax encourage businesses to invest in green technologies. Indeed, the twin transformation process in the paper industry promotes economic growth while supporting environmental sustainability. This transformation is a production process that will enable long-term success in both environmental and economic terms.

## 1. Giriş

Dönüşüm", "olduğundan başka bir biçime girme, başka bir durum alma" anlamına gelen bir kavramdır (TDK, 2024). Bu genel anlamdan hareketle, günümüzde dönüşümün farklı alanlardaki etkileri daha belirgin hâle gelmiştir. Endüstri 4.0, bu dönüşüm sürecinin sanayi dünyasında yaşanan dördüncü aşamasıdır ve Almanya'da ekonomik ihtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Dünya savaşları

sonrası, sanayinin merkezi ülkeler (ABD, Almanya, Japonya) üretim üstünlüklerini Asya ve Latin Amerika ülkelerine kaptırmış, bu da Avrupa ekonomilerini arayışa yönlendirmiştir. Artan işsizlik ve üretimin kayması, bir dönüşüm hamlesi gerekliliğini doğurmuştur (Kılıç & Alkan, 2018). Endüstri 4.0, ekonomiye müşteri beklentilerini karşılamak, esneklik, optimum karar alma, kaynak verimliliği, yeni hizmet fırsatları yaratmak, demografik değişime uyum sağlamak ve rekabetçi bir ekonomi oluşturmak

gibi faydalar sağlamaktadır (Kagermann vd., 2013). Endüstri 4.0, sanayi devrimlerinin ekonomik avantajlar elde etmek amacıyla gerçekleştirildiği bir süreçtir. Ülkeler, üretim maliyetlerini düşürme, işsizlik oranlarını azaltma ve ihracat gelirlerini artırma hedefiyle rekabet avantajı sağlamaya çalışmaktadır. Bu süreç hızla ilerlerken, Endüstri 5.0 ve Toplum 5.0 gibi daha ileri düzey sanayi devrimleri tartışılmaya başlanmıştır. İkiz dönüşüm, bu bağlamda önemli bir yer tutar ve yeşil dönüşüm ve dijital dönüşüm olmak üzere iki temel bileşeniyle şekillenir. *Yeşil dönüşüm* çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği odaklı bir süreçtir. Bu dönüşüm, karbon ayak izini azaltmayı ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını hedefler. Diğer yandan, *dijital dönüşüm* ise teknolojinin kullanımını yaygınlaştırarak iş süreçlerini daha verimli hâle getirmeyi ve toplumsal yaşamı dönüştürmeyi amaçlar. Bu iki dönüşüm süreci, birbirini tamamlayarak daha sürdürülebilir, verimli ve teknolojik olarak gelişmiş bir geleceğin temellerini atar (Karabaş, 2024). Yeşil dönüşümün hedefleri doğrultusunda, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılması sağlanırken, dijital dönüşüm ise üretim süreçlerinin optimizasyonu ve verimliliğin artırılması adına fırsatlar sunmaktadır. Kâğıt üretiminde, dijital teknolojilerin entegrasyonu ile enerji verimliliği artırılabilir, atık yönetimi daha etkin hâle getirilebilir ve su kullanımı optimize edilebilir (Mato vd., 2021). Örneğin, enerji sektöründe akıllı şebekelerin kurulmasıyla elektrik tüketimi daha verimli hâle getirilmektedir. Selüloz ve kâğıt sanayi, dünya genelinde enerji tüketimi bakımından beşinci sırada yer alan bir sektördür (Grieg-Gran vd., 1998). Artan enerji maliyetleri ve sınırlı enerji kaynakları göz önünde bulundurulduğunda, bu sektör ülkeler için stratejik öneme sahip bir endüstri dalı olarak kabul edilmektedir. Bir ton kâğıt üretmek için gereken enerji miktarı, 10,8 GJ/t termal enerji ve 4,5 GJ/t elektrik enerjisi olarak belirlenmiştir (Blanco vd., 2004). Bu endüstrideki enerji tüketimi, üretim maliyetlerinin yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır (CEPI, 2011) ve bu oranı azaltmak, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir önem taşımaktadır. Benzer şekilde, kâğıt endüstrisinde dijital teknolojiler, üretim süreçlerinin daha sürdürülebilir hâle getirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İkiz dönüşüm, yeşil ve dijital dönüşümün bir arada ele alınmasını ifade eder ve bu süreçlerin entegrasyonu ile daha verimli, sürdürülebilir ve rekabetçi bir ekonomi oluşturulmasını hedefler (Deniz & Büyük, 2023). Bu bağlamda, kâğıt endüstrisi gibi kaynak tüketimi yüksek ve çevresel etkileri büyük olan sektörlerde ikiz dönüşümün uygulanması kritik bir öneme sahiptir.

İkiz dönüşümün, sadece çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik büyüme ve iş olanakları yaratma potansiyeline de sahip olduğu söylenebilir. Yenilenebilir enerji sektöründe, enerji verimliliği alanında ve diğer yeşil teknoloji uygulamalarında ortaya çıkan işletmeler ve istihdam olanakları, ekonomik kalkınmaya katkıda bulunabilir (Pande & Gupta, 2005). Özellikle kâğıt endüstrisinde dijitalleşme ve yeşil dönüşümün birlikte ele alınması, bu alanda verimliliği artırırken maliyetleri de düşürebilir. Karbon ayak izinin azaltılması ve atıkların daha verimli yönetilmesi ile çevresel faydalar sağlanırken, dijitalleşme sayesinde üretim süreçlerinin hızlandırılması ve daha düşük maliyetlerle yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesi mümkün hâle gelir (López vd., 2022). Bununla birlikte, ikiz dönüşümün başarılı olabilmesi için kamu politikalarının ve düzenleyici çerçevelerin uygun biçimde şekillendirilmesi gerekmektedir. Sektörler arası iş birliği ve teknoloji transferi de ikiz dönüşümün başarısını etkileyen önemli faktörlerdendir (Nene & Raghavan, 1996). Bu kapsamda ele alınan bu çalışmada, kâğıt endüstrisinde yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün entegrasyonunu incelemeyi amaçlanmaktadır. Çalışma, yeşil dönüşümün çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği odaklı sürecini ve dijital dönüşümün iş süreçlerini daha verimli hâle getirme amacını ele alacaktır. Kâğıt üretiminde dijital teknolojilerin enerji verimliliğini artırma, atık yönetimini iyileştirme ve su kullanımını optimize etme üzerindeki etkileri incelenecektir. Ayrıca, ikiz dönüşümün, yani yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün birlikte uygulanmasının, kâğıt endüstrisinde çevresel ve ekonomik faydalar sağlayacağına dair literatürdeki bulgular sunulacaktır. Bu çalışmada metodoloji olarak literatür taraması yapılacak ve kâğıt endüstrisinin bu dönüşüm süreçlerine nasıl adapte olabileceği tartışılacaktır.

## 2. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, genel anlamda bir durumun ya da sistemin uzun vadede devamlılığını sağlayacak koşulların yaratılmasıdır. Türk Dil Kurumu'na (2024) göre, sürdürülebilirlik, “bir şeyin sürekliliğini sağlamak ve onu kalıcı kılmak” anlamına gelir. Ancak, bu kavramın tam anlamı, farklı disiplinlerde ve perspektiflerde zamanla evrimleşmiş ve pek çok farklı açıdan ele alınmıştır. Çeşitli çalışmalar, sürdürülebilirliğin çevresel, toplumsal ve ekonomik boyutlarını vurgulayarak, insanlık ve doğa arasındaki dengeyi sağlamayı amaçlayan farklı tanımlar ortaya koymuştur. Bazı araştırmacılar bu kavramı daha çok

çevresel bir endişe olarak tanımlar ve bununla sınırlı kalırlar; diğerleri ise sürdürülebilirliği, toplumsal ve ekonomik yönleriyle birlikte daha geniş bir çerçevede açıklamaya çalışırlar (Alma Savaş, 2022). Bununla birlikte, sürdürülebilirlik kavramının altında yatan temel kaygıların ekolojik olduğu söylenebilir. Sürdürülebilirliğin küresel düzeyde kabul gören ve yaygınlaşan tanımı, Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından 1987'de yayımlanan Brundtland Raporu ile pekiştirilmiştir. Bu raporda sürdürülebilir kalkınma, "bugünkü nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğini tehlikeye atmadan bu ihtiyaçları karşılamak" şeklinde tanımlanmıştır. Rapor, küresel çevre sorunları ile kalkınma arasındaki ilişkiyi çözme yönünde önemli bir kilometre taşı olmuştur ve çevre dostu bir kalkınma anlayışını hem devletler hem de şirketler için bir yol haritası olarak sunmuştur (Kuhlman & Farrington, 2010). Sürdürülebilirlik, çevreyi koruma ve doğal kaynakları dengeli bir şekilde kullanma amacı güder. Bu hedef, sadece bireyler ve toplumlar için değil, tüm küresel sistem için geçerlidir. Çevresel sürdürülebilirlik ise, kaynakların savurgan kullanımının ve hızlı tüketiminin önüne geçmeyi, ekolojik dengeyi sağlamayı ve karbon ayak izini azaltmayı amaçlar. Türkiye'nin yıllık karbondioksit miktarı (ton) (Şekil 1)'de verilmiştir.



**Şekil 1:** Türkiye'nin yıllık karbondioksit miktarı (ton) (Deniz & Büyük, 2023) (revize edilmiştir).

**Figure 1:** Turkey's annual carbon dioxide emissions (tons) (Deniz & Büyük, 2023) (revised).

Sürdürülebilir üretim, karbon ayak izini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirir. Bu stratejiler, üretim süreçlerinde kullanılan enerjinin türünü değiştirmeyi, verimliliği artırmayı ve karbon salınımını azaltmayı içerir. Yenilenebilir enerji kullanımı, daha verimli üretim teknikleri ve sürdürülebilir lojistik uygulamaları, karbon ayak izinin minimize edilmesine katkı sağlar (Bocken vd., 2014). Günümüzde

sürdürülebilirlik, sadece çevresel bir hedef olarak değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik hedefleriyle de birleştirilerek ele alınmaktadır. Ekonomik kalkınma ile çevre korumasının dengelenmesi, uzun vadeli refahın sağlanması için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik, doğal kaynakların sorumlu kullanımı, ekolojik bütünlüğün korunması ve sosyal adaletin sağlanması arasında bir denge kurmayı amaçlar (Anantharaman, 2018).

## 2.1. Temel sürdürülebilir üretim stratejileri

Günümüzde, tüketime dayalı ekonomiler, hızlı tüketim alışkanlıklarını teşvik ederek ve sürekli büyümeyi önceliklendirerek tüketim toplumları yaratmaktadır. Bu model, bireyleri sürekli yeni ürünler ve hizmetlere yönlendirirken, ekonomik büyüme ve refah seviyelerini artırmayı amaçlamaktadır. Ancak, bu büyüme modelinin sürdürülebilirliği giderek daha fazla sorgulanmaktadır. Artan tüketim, doğal kaynakların tüketilmesine, enerji tüketiminin artmasına ve çevresel zararlara yol açmaktadır. Bu süreçler, üretim faaliyetlerinin doğa üzerindeki olumsuz etkilerini derinleştirirken, endüstriyel faaliyetlerin yarattığı zararlı gaz salınımları, ekosistemler üzerinde kalıcı tahribatlara neden olmaktadır. Bu durum, küresel ısınma, biyolojik çeşitlilik kaybı, su kirliliği gibi çevresel sorunları daha da belirgin hâle getirerek, gelecek nesillere sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya bırakma amacını tehdit etmektedir. Söz konusu çevresel tehditlerle başa çıkabilmek için sürdürülebilirlik ilkesi, temel bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır (Jeswiet, 2007). Bu bağlamda, sürdürülebilir üretim stratejileri, çevresel etkilerin minimize edilmesi ve doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması amacını gütmektedir. Tablo 1'de bazı temel üretim stratejileri ve örnek uygulamaları yer almaktadır.

**Tablo 1:** Bazı temel sürdürülebilir üretim stratejileri ve örnek uygulamaları.**Table 1:** Some fundamental sustainable production strategies and example applications.

Konu Başlığı	Açıklama	Örnek Uygulama
Kaynak verimliliği	Sınırlı doğal kaynakların daha verimli kullanılması amacıyla, su, enerji ve hammadde gibi kaynakların etkin kullanımınıdır.	Enerji verimliliği artırıcı önlemler ile daha az enerji harcayarak aynı üretim kapasitesine ulaşmaktır (Golev vd., 2014).
Atık azaltımı ve geri dönüşüm	Atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına ve maliyetlerin düşürülmesine katkı sağlar.	Atık kâğıt geri dönüşümü gibi uygulamalardır (Huang vd., 2020).
Yeşil teknolojilerin uygulanması	Çevre dostu üretim yöntemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile daha sürdürülebilir bir üretim sağlanır.	Güneş, rüzgar enerjisi kullanımı; akıllı üretim sistemleridir (Porter & van der Linde, 1995).
Dijitalleşme ve endüstri 4.0	Dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonu ile daha verimli ve sürdürülebilir üretim yapılır.	IoT, yapay zekâ ve sensör teknolojileri ile süreçlerin izlenmesi ve verimliliğin artırılmasıdır (Zhang vd., 2021).
Sürdürülebilir üretim ve tedarik zinciri yönetimi	Tedarik zinciri boyunca çevresel etkilerin izlenmesi ve sürdürülebilir tedarikçilerle işbirliği yapılmasıdır.	Sürdürülebilir kaynaklardan hammadde temini ve atıkların en aza indirilmesidir (Seuring & Müller, 2008).
Karbon ayak izini azaltma	Üretim süreçlerinde karbon ayak izinin azaltılması amacıyla stratejiler geliştirilir, enerji türü değiştirilir ve verimlilik artırılır.	Yenilenebilir enerji kullanımı ve verimli üretim teknikleri ile karbon salınımının azaltılmasıdır (Bocken vd., 2014).

## 2.2. Kâğıt üretiminde sürdürülebilirlik

Kâğıt üretimi, kaynakların yoğun kullanıldığı ve çevre üzerinde önemli etkiler yaratan bir endüstri dalıdır. Kâğıt üretimi, büyük miktarda su ve enerji kullanımı, ormanların kesilmesi ve atık üretimi gibi çevresel sorunlarla ilişkilidir. Bu nedenle, kâğıt endüstrisinin sürdürülebilir hâle gelmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemlidir. Son yıllarda, kâğıt endüstrisinde sürdürülebilir üretim stratejileri benimsenmeye başlanmış ve birçok kâğıt üreticisi, çevre dostu üretim tekniklerine ve yeşil teknolojilere yatırım yapmaya başlamışlardır. Yeşil teknolojiler, kâğıt üretim süreçlerinde kullanılan suyun geri kazanımını sağlayarak su tüketimini azaltmayı, atık yönetimini iyileştirmeyi ve karbon salınımını düşürmeyi amaçlar. Örneğin, suyun geri dönüştürülmesi, enerji tasarrufu sağlayan sistemlerin kurulması ve atık kâğıtların yeniden işlenmesi gibi yöntemler, kâğıt üretiminde çevresel etkileri azaltan en önemli uygulamalardır (CEPI, 2011). Ayrıca,

yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak, kâğıt üretimi sırasında salınan karbon ayak izi azaltılabilir. Bu tür uygulamalar hem üretim maliyetlerini düşürür hem de çevre üzerindeki negatif etkileri minimize eder (Mato vd., 2021). Kâğıt endüstrisinde sürdürülebilirliği sağlamak için uygulanan bir diğer strateji ise orman yönetimi ve ağaç dikimi ile ilgilidir. Kâğıt üretiminde kullanılan hammaddelerin çoğu, ağaçlardan elde edilen selülozdan yapılmaktadır. Bu nedenle, ormanların sürdürülebilir yönetimi ve yeni ağaç dikme projeleri, kâğıt endüstrisinin çevresel etkilerini azaltmada büyük önem taşır. Bu stratejiler, kâğıt üretiminin doğal kaynakları tükenmeden devam etmesini sağlar ve orman ekosistemlerinin korunmasına katkıda bulunur. Bu sebeple kâğıt üreticileri atık yönetimi ve geri dönüşüm konusunda önemli adımlar atmaktadır. Atık kâğıtların geri dönüşümü, yeni kâğıt üretimi için gerekli olan hammaddenin miktarını azaltır ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, bu süreçte kullanılan kimyasal maddelerin miktarını da azaltarak çevre kirliliğini önler (Zhang vd., 2019). Kâğıt endüstrisinde bu tür geri dönüşüm ve yeniden kullanım stratejileri, üretim süreçlerinin daha çevre dostu ve sürdürülebilir hâle gelmesini sağlar. Dijital dönüşüm ve endüstriyel otomasyon da kâğıt üretiminde sürdürülebilirliği artıran önemli stratejilerdir. Yapay zekâ ve büyük veri analitiği kullanılarak üretim süreçleri daha verimli hâle getirilebilir, enerji ve su tüketimi optimize edilebilir. Dijital teknolojiler, üretim süreçlerinin izlenmesini, yönetilmesini ve optimize edilmesini sağlayarak hem maliyetleri düşürür hem de çevresel etkileri azaltır. Ayrıca, akıllı üretim sistemleri sayesinde daha az enerji tüketen ve daha az atık üreten üretim tesisleri kurulabilir (Mato vd., 2021). Kâğıt endüstrisinde sürdürülebilirlik, çevreye duyarlı üretim yöntemlerinin benimsenmesi ve yeşil teknolojilerin kullanılması ile mümkündür. Kâğıt üreticilerinin, çevresel etkilerini azaltarak daha verimli üretim süreçleri oluşturması hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük fırsatlar sunmaktadır (Atik & Ok, 2017). Bu süreçlerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, sektördeki tüm paydaşların iş birliği yapması ve sürdürülebilir üretim stratejilerini benimsemesi önemlidir. Ayrıca, Türkiye'nin selüloz ve kâğıt endüstrisinin sürdürülebilirliği üzerine odaklanılmalıdır. Türkiye'deki kâğıt üretimi, artan tüketimi karşılayamamakta ve bu yüzden ithalat giderek artmaktadır. Hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir üretim modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple aşağıda belirtilen hususlara dikkat çekmek önem kazanmaktadır. Türkiye'nin

kâğıt sektörünü çevre dostu ve sürdürülebilir bir şekilde dönüştürmeye yönelik öneriler sunan bu hususlar (Atik & Ok, 2017);

- *Hammadde ve teknoloji sorunları:* Türkiye'de hammadde temininde zorluklar yaşanmaktadır ve kâğıt üretimi için gereken selüloz ithalatı artmaktadır. Ayrıca, eski teknolojilerin kullanımı, sürdürülebilir bir üretim için engel teşkil etmektedir.
- *Yeşil ekonomi yaklaşımı:* Kâğıt üretimi, çevresel etkiler açısından önemli bir sektör olup, yeşil ekonomi anlayışına uygun hâle getirilmesi gerekmektedir. Bu, üretim süreçlerinin daha çevre dostu hâle getirilmesi, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve biyoteknoloji gibi yenilikçi çözümlerle sağlanabilir.
- *Orman yönetimi ve sürdürülebilirlik:* Orman kaynaklarının yönetimi, selüloz ve kâğıt üretimi için büyük önem taşımaktadır. Ormanların sürdürülebilir yönetimi, bu sektörün uzun vadeli devamlılığını sağlamak adına kritik rol oynamaktadır.
- *Yerli kaynakların kullanımı:* Türkiye'nin yerli orman kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerektiği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, orman alanlarının ve üretim tesislerinin sürdürülebilir yönetimi için stratejik planlar yapılmalıdır.
- *Geri dönüşüm ve verimlilik:* Kâğıt geri dönüşüm oranları, Türkiye'de istenilen seviyelere ulaşamamaktadır. Geri dönüşüm oranlarını artırmak, enerji verimliliği sağlamak ve daha sürdürülebilir üretim yöntemleri kullanmak gerekmektedir.
- *Eğitim ve farkındalık:* Kâğıt sektörü ve çevresel etkileri hakkında toplumsal farkındalık yaratılması gerektiği hem üreticilerin hem de tüketicilerin daha bilinçli hareket etmelerinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir.

### 3. Yeşil Dönüşüm

Yeşil dönüşüm, ekonomik kalkınmayı çevresel sürdürülebilirlik ile uyumlu hâle getirerek hem mevcut hem de gelecek nesiller için yüksek yaşam standartları sağlama amacı gütmektedir (Cheba vd., 2022). Ancak, yeşil dönüşümle ilgili kavramsal çerçeve henüz olgunlaşmamış olup bu alandaki çalışmalar devam etmektedir (Şengüllendi & Şehitoğlu, 2023). Doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevresel tahribat ve ekosistemler üzerinde geri dönüşü olmayan zararlar, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve tüketici davranışlarındaki değişimler gibi çeşitli etmenlerin bir

araya gelmesiyle şekillenmektedir. Dünya nüfusunun sürekli artışı, doğal kaynaklara olan talebi yükseltmekte ve bu durum özellikle su, gıda ve enerji gibi temel kaynakların kullanımında büyük baskılara yol açmaktadır. Nüfus artışı, doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmakta ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Teknolojik gelişmeler, üretim ve tüketim süreçlerinde verimlilik sağlamak adına pek çok avantaj sunmasına karşın, bazı durumlarda bu yenilikler, doğal kaynakların daha hızlı tükenmesine veya çevresel tahribata yol açabilmektedir. Özellikle madencilik, tarım ve sanayi sektörlerinde kullanılan teknolojiler, çevresel hasara neden olmakta ve doğal kaynakların aşırı kullanımını hızlandırmaktadır. Bu tür teknolojilerin kullanımı, ekosistemlerin dengesini bozarak çevre üzerinde kalıcı tahribatlara yol açabilmektedir. Ayrıca, tüketici davranışlarındaki değişiklikler de doğal kaynakların aşırı kullanımına zemin hazırlamaktadır. Artan tüketici talebi, doğrudan kaynakları daha yoğun şekilde tüketen ürünlerin üretimine neden olmakta ve bu da çevresel etkilerin artmasına, kaynakların tükenme hızının hızlanmasına yol açmaktadır. Tüketici davranışlarının çevresel etkileri, yalnızca bireysel düzeyde değil, aynı zamanda küresel ölçekte de büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi, doğal kaynakların aşırı tüketimi ve çevresel tahribatı beraberinde getirmektedir. Bu sebeple, gelecekte, doğal kaynaklara erişim daha zor ve maliyetli hâle gelebilecektir (Oduncu, 2020). Küresel ısınma, çevresel kirlenme ve iklim değişikliği, yeşil dönüşümün küresel çapta kritik bir mesele olarak ele alınmasına neden olmuştur (Yu & Khan, 2022). Küresel ısınma, biyolojik çeşitlilik kaybı, su kıtlığı ve toprak erozyonu gibi çevresel problemler, aşırı kaynak kullanımının doğrudan sonuçlarıdır ve insanlığın ciddi bir kaynak kıtlığı ile karşılaşabileceğine dair uyarılar sunmaktadır. Mevcut ekonomik model, büyük ölçüde doğal kaynakların aşırı kullanımına dayanmakta ve bu modelin çevresel etkileri oldukça yüksektir. Bu sebeple, mevcut ekonomik yaklaşımların sürdürülebilir olmadığı ve gelecekteki nesiller için ciddi riskler taşıdığı düşünülmektedir. Doğal kaynakların tükenmesinin ve çevresel tahribatın önlenmesi için, mevcut ekonomik yaklaşımların yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı yeni ekonomik modellerin benimsenmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve doğal kaynakların daha verimli kullanılması açısından önemli bir adım olacaktır. Bu yalnızca doğanın korunması için değil, aynı zamanda insanlığın geleceği için sağlıklı ve yaşanabilir bir dünya inşa edilmesi adına da kritik bir gerekliliktir.

Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulunduracak şekilde, doğal kaynakların korunması, çevresel tahribatın azaltılması ve sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın sağlanması için politikaların geliştirilmesi gerekmektedir (World Bank, 2012).

### 3.1. Yeşil büyüme

Yeşil büyüme, mevcut ekonomik anlayışı, ekolojik bir temel üzerine inşa etmeyi ve toplumsal alanda yeni bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlayan bir düşünce hareketinin savunucusudur. Bu dönüşümün başarılması için, öncelikli olarak her ülkenin kamu politikalarında bu yaklaşımın yer alması gerektiği bir gerçektir (Satır Reyhan, 2014). Yeşil büyüme kavramı, doğal kaynakları koruyan, verimli kaynak kullanımını teşvik eden ve çevresel etkileri azaltan bir ekonomik büyüme modelini ifade eder. Geleneksel büyüme modelleri genellikle doğal kaynakların aşırı kullanımına ve çevresel tahribata yol açmaktadır. Ancak, yeşil büyüme modeli, bu sorunlara çözüm getirmeyi hedefler. Yeşil büyüme yaklaşımı, mevcut ekonomik yapıyı doğal kaynakları koruyacak şekilde dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Bu, daha az kaynak kullanımı, atık azaltımı ve enerji verimliliği gibi uygulamaları kapsar. Aynı zamanda, gelişmiş çevre teknolojilerinin ve yeşil yatırımların teşvik edilmesiyle ekonomik büyümenin sürdürülmesi hedeflenmektedir. Yeşil büyüme modeli, çeşitli sektörlerde değişiklikler yapmayı ve yeşil teknolojilere yönelik yatırımları teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Durmuşlar vd., 2023; Cheba vd., 2022). Örneğin, enerji sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, tarımda organik tarımın teşvik edilmesi, ulaşımda elektrikli araçların yaygınlaştırılması gibi uygulamalar yeşil büyümenin bir parçasıdır. Benzer şekilde, geri dönüşümden kâğıt üreten fabrikalar da çevre dostu üretim anlayışının önemli bir örneğini oluşturmaktadır. Yeşil büyüme modelinin avantajlarından biri, sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sağlarken çevresel etkileri azaltmasıdır. Ayrıca, yeşil sektörlerde iş ve istihdam olanaklarının artması da önemli bir avantajdır. Aynı zamanda, yeşil büyüme, teknolojik ve inovasyon potansiyelini artırabilir ve ekonomik rekabet gücü kazandırır. Ancak, yeşil büyüme modelinin başarılı olabilmesi için politika yapıcılarının ve iş dünyasının desteği gereklidir. Uygun düzenlemelerin yapılması, teşviklerin sağlanması ve kamu-özel sektör iş birliğinin güçlendirilmesi, yeşil büyümenin gerçekleşmesini destekler. Yeşil büyüme stratejileri ve yeşil dönüşüm planları, başarılı bir şekilde yeşil

ekonomiye geçiş için kritik adımlar içermektedir. Bu bağlamda, bazı ülkeler yeşil dönüşüm stratejilerini benimseyerek çevresel sürdürülebilirliği ve ekonomik büyümeyi bir arada sağlamak amacıyla çeşitli politikalar geliştirmiştir (Gorji & Martek, 2023). Bu ülkelerden bazıları ve yaptıkları çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2:** Yeşil dönüşüm stratejilerini benimseyen bazı ülkeler ve bu ülkelerin yaptıkları stratejiler.

**Table 2:** Some countries that have adopted green transformation strategies and the strategies they have implemented.

Ülke	Yeşil büyüme stratejileri
Güney Kore	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beş yıllık ulusal kalkınma planı çerçevesinde yeşil dönüşümü teşvik eden anahtar sektörler belirlenmiştir.</li> <li>Düşük karbon toplumu, temiz enerji, yeşil teknolojiler ve yeşil ulaşım gibi temalar altında öncelikli sektörler oluşturulmuştur (Cheba vd., 2022).</li> </ul>
Çin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaya yönelik büyük çaplı yatırımlar yapılmıştır. Kentsel dönüşüm programları ve çevre dostu altyapı projeleri ile enerji verimliliği artırılmaktadır (Yu &amp; Khan, 2022).</li> </ul>
Fransa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Karbon vergisi gibi ekonomik araçlarla sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedeflemektedir.</li> <li>Enerji dönüşümü stratejisi, nükleer enerjiden yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hedeflemektedir (World Bank, 2012).</li> </ul>
Hindistan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yaparak kapasitesini artırmaktadır.</li> <li>Temiz hava eylem planları ve atık yönetimi stratejileri ile çevresel sürdürülebilirlik teşvik edilmektedir (Durmuşlar vd., 2023).</li> </ul>

Bu örnekler, başarılı yeşil dönüşüm stratejilerinin genellikle belirli hedeflerin açıkça tanımlanmasını, öncelikli sektörlerin belirlenmesini ve bu sektörlerle yönelik kapsamlı müdahâlelerin uygulanmasını içerdiğini göstermektedir. Ayrıca, bu stratejilerin ulusal düzeyde sahiplenilmesi ve çeşitli sektörler ile toplumun geniş kesimlerinin desteğini alması, yeşil dönüşümün başarılı bir şekilde uygulanmasında önemli bir faktör olmaktadır. Yeşil büyüme modeli, ekonomik kalkınmayı sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirirken, doğal kaynakları koruyan, çevresel etkileri azaltan ve sosyal kalkınmayı destekleyen bir yaklaşım sunmaktadır (Durmuşlar vd., 2023).

### 3.2. Yeşil dönüşümün kâğıt endüstrilerindeki etkileri

Kâğıt endüstrisinde yeşil dönüşüm, atık yönetiminin iyileştirilmesine, enerji verimliliğinin artırılmasına ve yenilenebilir enerji kullanımının geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Yeşil dönüşüm teknolojileri sayesinde hammadde ihtiyacının azaltılabildiği, makine-ekipman arızalarının düşürülebildiği ve süreç maliyetlerinin azaltılabildiği yapılan bir çok çalışmada görülmektedir. Ayrıca su ve kimyasal tüketiminin çevre dostu uygulamalarla azaltılabilir olduğu; enerji

verimliliği önlemleriyle emisyonların düşürülebilir olduğu ifade edilmektedir. Örneğin, biyokütle enerjisinin üretimde kullanılması, fosil yakıt bağımlılığını azaltarak çevresel etkileri minimize etmektedir. Ayrıca, karbon azaltımı hedefleri doğrultusunda karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin entegre edilmesi, kâğıt fabrikalarının çevresel etkilerini azaltan yenilikçi çözümler arasında yer almaktadır (Deniz & Büyük, 2023). Kâğıt fabrikalarında atık su yönetimi de yeşil dönüşümün kritik bir parçasıdır. Modern tesisler, üretim sırasında ortaya çıkan atık suyu arıtarak yeniden kullanmakta ve bu sayede su tüketimini ciddi ölçüde azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, karbon ayak izini ölçümleme ve izleme sistemleri, çevresel performansın daha etkin bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (World Bank, 2022). Yeşil dönüşüm stratejileri aynı zamanda kâğıt fabrikalarının ekonomik rekabet gücünü artırmaktadır. Daha verimli üretim süreçleri ve yenilikçi teknolojiler hem maliyetleri düşürmekte hem de sürdürülebilir ürünlere olan talebi karşılamaya yardımcı olmaktadır. Örneğin, Avrupa'daki kâğıt fabrikaları, dijitalleşme ve yeşil teknolojiler sayesinde üretim kapasitelerini artırmış ve karbon nötr hedeflerine daha hızlı ulaşmıştır (European Commission, 2023). Yeşil dönüşümün, özellikle karbon azaltımı ve kaynak verimliliği konularında odun bazlı endüstriler için kritik fırsatlar sunduğu vurgulanmaktadır. Ülkemizde ise Koska vd. (2016) yılında yaptıkları çalışmada Kipaş Kâğıt Fabrikası'nda uygulanan yeşil tedarik zinciri sürecini incelemişlerdir. Bu süreçte, geri dönüşüm oranı yüksek kâğıt üretiminde yeşil tedarik zincirinin verimli bir şekilde uygulanmasına engel teşkil edebilecek unsurlar belirlenmiştir. Çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak karar hiyerarşisi oluşturulmuş ve finans, teknoloji, bilgi, dış kaynaklar gibi ana kriterler belirlenmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, dış kaynak kriteri, yeşil tedarik zinciri uygulamalarında engel oluşturabilecek en önemli unsur olarak belirlenmiştir. Özellikle, çevre dostu politikalara devlet desteğinin eksikliği, işletmelerin yeşil uygulamalarda karşılaştığı büyük engeller arasında yer almaktadır. Yeşil dönüşüm açısından, işletmenin teknolojik ve finansal altyapısı güçlü olmakla birlikte, dış kaynaklardan kaynaklanan zorluklar yeşil uygulamaların önünde engel teşkil etmektedir. Ayrıca, modern üretim sistemleri ve bilgi işlem yatırımları ile işletmenin yeşil uygulamaları sürdürmesinde zorluk çekmediği ifade edilmiştir. Çalışma, yeşil tedarik zinciri uygulamalarındaki engellerin sektördeki tüm işletmelere genellenemeyeceğini ve gelecekte farklı sektörlerdeki

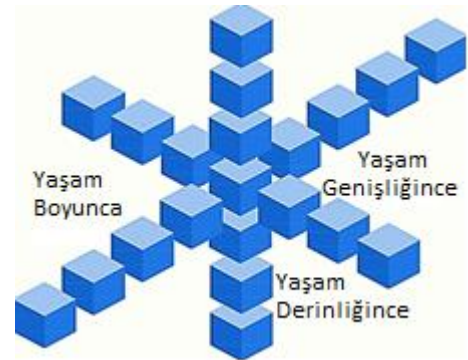
ve coğrafi bölgelerdeki yeşil dönüşüm engellerinin farklılık gösterebileceğini vurgulamaktadır (Koska vd., 2016).

#### 4. Dijital Dönüşüm

Dijital dönüşüm, son yıllarda Endüstri 4.0 konseptinin yükselişiyle daha geniş çapta gündeme gelmiş olsa da aslında işletmelerde uzun bir geçmiş sahiptir. Dijital dönüşüm, dijital teknolojilerin işletme içinde kullanılması ve iş süreçlerinin dijitalleşmesiyle başlamıştır. İşletmeler, bilgi teknolojileri ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeleri takip ederek verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve rekabet avantajı elde etmek amacıyla dijital araçları kullanmaya başlamışlardır. Bu süreç, işletmelerin manuel ve kâğıt-tabanlı iş süreçlerini dijital platformlara taşımasıyla başlamıştır. Örneğin, finansal işlemlerin elektronik ortama taşınması, müşteri ilişkilerinin yönetimi için CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi) sistemlerinin kullanılması, stok yönetimi için ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) sistemlerinin uygulanması gibi adımlar dijital dönüşümün başlangıcı olarak görülebilir. Son beş yılda Endüstri 4.0 kavramının ön plana çıkmasıyla birlikte dijital dönüşüm, daha kapsamlı ve bütünsel bir yaklaşımla ele alınmaya başlanmıştır. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin entegrasyonunu ve akıllı fabrikaların oluşturulmasını vurgular. Bu bağlamda, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri analitiği, otomasyon ve robotik gibi teknolojilerin kullanımıyla üretim süreçleri daha akıllı ve verimli hâle getirilmektedir. Dijital dönüşümün temel amacı, işletmelerin rekabet gücünü artırmak ve sürdürülebilir büyümeyi desteklemektir. Bu süreç, işletmelerin iş süreçlerini optimize etmesine, müşteri deneyimini geliştirmesine, hızlı ve esnek bir şekilde adapte olmasına ve yeni iş modelleri geliştirmesine olanak tanır. Ayrıca, dijital dönüşüm sadece işletmeler için değil, toplumun genelinde de ekonomik ve sosyal dönüşümü teşvik eder. Dijital dönüşüm, işletmelerin dijital teknolojileri kullanarak iş süreçlerini ve operasyonlarını iyileştirdiği bir süreçtir. Endüstri 4.0'ın yükselişiyle birlikte bu sürecin kapsamı ve önemi daha da artmıştır (Klein, 2020). Günümüzde, yeni dijital teknolojiler özellikle işletmelerin üretim süreçlerini dönüştürerek rekabet avantajı elde etmelerini sağlamaktadır. Yapılan tahminlere göre, firmaların bütçelerinin yaklaşık onda biri dijital dönüşüm için ayrılacakken, yapay zekâ ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler ile bu oran beşte bir seviyelerine ulaşmaktadır. Önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde ise dijital dönüşüm için ayrılacak bütçenin

toplam bütçeye oranı %40 ile %50 seviyelerine kadar yükselmesi beklenmektedir (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Bu dönüşümün sağladığı faydalar arasında, verimliliği iki katından fazla artıran, yapılan işlerin doğruluk oranını %99 civarına çıkararak ve stratejik kararlar alırken sapmayı %2 seviyesine indiren birçok örnek bulunmaktadır (Porter & Heppelmann, 2014). Dijital çözümlerle gerçekleştirilen dönüşüm süreçlerine başlamak, işletmelere başlangıçta bile %15 ile %20 arasında bir verimlilik artışı sağlayabilmektedir. Robotlar, sensörler ve otonom sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı akıllı fabrikalar, üretim süreçlerindeki dijital dönüşümün hızlanmasına neden olmaktadır (Lasi vd., 2014). Ancak dijital dönüşüm yalnızca üretim süreçlerindeki değişimlerle sınırlı kalmamaktadır; aynı zamanda sosyal medya, yapay zekâ, büyük veri gibi dijital teknolojilerin işletme süreçlerine entegrasyonu ve buna bağlı olarak yeni iş modellerinin geliştirilmesi de dijital dönüşümün kapsamına girmektedir (Choi & Cheng, 2018). İşletmelerdeki dijital dönüşüm, literatürde farklı tanımlarla ele alınmaktadır. Örneğin, işletmelerde dijital dönüşüm, yeni dijital teknolojilerin (sosyal medya, büyük veri analizi, bulut bilişim vb.) işletmeyi iyileştirmek için kullanılması olarak tanımlanabilir (Vendrell-Herrero vd., 2017). Bu, işletmelerin daha verimli ve etkili hâle gelmesini sağlayarak rekabet avantajı elde etmelerine olanak tanır. Ancak dijital dönüşüm, sadece mevcut iş süreçlerinin dijitalleştirilmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda işletmelerin yeni fırsatları keşfetmelerini ve rekabet stratejilerini yeniden şekillendirmelerini sağlar (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Dijital dönüşüm sürecinde işletmeler, müşteri deneyimini iyileştirmek, operasyonel verimliliği artırmak, pazarlama ve satış stratejilerini optimize etmek gibi farklı alanlarda faydalar elde ederler. Örneğin, müşteri ilişkileri yönetimi (CRM) sistemleri, işletmelerin müşteriyle etkileşimlerini yönetmelerine ve müşteri memnuniyetini artırmalarına yardımcı olur (Porter & Heppelmann, 2014). Büyük veri analitiği, işletmelerin büyük veri kümelerini analiz ederek trendleri belirlemelerine ve stratejik kararlar almalarına olanak tanır (Choi & Cheng, 2018). Yapay zekâ ve makine öğrenmesi, işletmelerin verileri otomatik olarak analiz ederek öngörülerde bulunmalarına ve iş süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur (Vendrell-Herrero vd., 2017). İşletmelerdeki dijital dönüşüm, yeni dijital teknolojilerin kullanılmasıyla işletmelerin daha rekabetçi hâle gelmelerini sağlayan bir süreçtir (Lasi vd., 2014). Bu süreç, işletmelerin müşteri odaklılık, operasyonel verimlilik ve yenilikçilik gibi alanlarda daha etkili olmalarını sağlar ve geleceğe daha

hazırlıklı olmalarını sağlar (Fitzgerald vd., 2014). Başka bir tanıma göre dijital dönüşüm, “dijital teknolojilerin ve yetkinliklerin gücüyle değer oluşturmak amacıyla yeni iş modelleri, işletme süreçleri ve müşteri deneyimini mümkün kılan evrimsel bir süreçtir” (Morakanyane vd., 2017). İşletmelerde dijital dönüşüm, sadece iş modellerinin dönüşmesi değil, aynı zamanda işletmelerin bütününe etkileyen ve çeşitli alanlarda değişikliklere yol açan bir süreçtir. Dijital dönüşüm, aynı zamanda bu süreçte yeniliği destekleyen bir ortam yaratmayı gerektirir, çünkü dijital çağda hızlı değişimlere uyum sağlamak, işletmelerin hayatta kalabilmesi için zorunlu bir durumdur (Westerman vd., 2011). Değişime açıklık ve sürekli öğrenme, dijital dönüşümün başka bir kültürel boyutudur. Teknolojik gelişmeler ve pazar koşullarındaki değişiklikler hızla gerçekleşmektedir. Bu hızla değişen ortamda işletmelerin esnek olmaları ve değişime uyum sağlayabilmeleri için sürekli olarak yeni bilgileri edinmeleri ve uygulamaları gerekmektedir. Öğrenme çok boyutlu; yaşam boyunca, yaşam derinliğince ve yaşam genişliğince gerçekleşen bir süreçtir (Şekil 2) (Blaschke vd., 2021).



**Şekil 2:** Öğrenme yaşam boyunca, yaşam genişliğince ve yaşam derinliğince devam eden çok boyutlu bir sürecin şematik gösterimi (Blaschke vd., 2021).

**Figure 2:** A schematic representation of learning as a multidimensional process that continues throughout life, across the breadth of life, and in the depth of life (Blaschke vd., 2021).

Literatürde dijital dönüşüm, organizasyonların yalnızca dijital becerileri değil, aynı zamanda stratejik düşünme, inovasyon ve liderlik gibi diğer alanlarda da öğrenmeye açık olmalarına olanak sağlar (Kane vd., 2015). Muşkara ve Tunçelli (2019) çalışmalarında, endüstriyel mirasın dijital yöntemlerle korunması ve aktarılması sürecine odaklanmışlardır. Çalışmada, özellikle Seka Kâğıt Fabrikası örneği üzerinden, endüstriyel mirasın dijital platformlarla nasıl daha erişilebilir hâle getirilebileceği incelenmiştir. Araştırma, dijital teknolojilerin müze ve diğer endüstriyel miras alanlarında nasıl etkili bir şekilde

kullanılabileceğini gösterirken, ziyaretçilerin bu dijitalleştirilmiş içeriklerle tarihsel deneyimlerini nasıl zenginleştirebileceği üzerine önemli bulgular sunmuştur. Bu süreç, sadece fiziksel mirasın korunmasına yönelik değil, aynı zamanda bu mirasın dijital ortama aktarılmasıyla gelecek nesillere ulaşmasının sağlanması adına da kritik bir önem taşımaktadır. Parida vd. (2019), çalışmalarında endüstriyel ortamlarda dijitalleşme, iş modeli yeniliği ve sürdürülebilirliği birbirine bağlayarak iletişim kuran ve gelecekteki araştırmalar için yön belirleyen bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Mergel vd. (2019), çalışmalarında uzman görüşlerden türetilen deneysel tabanlı bir dijital dönüşüm tanımı sağlamaktadır. Kamu sektöründeki dijital dönüşümün nedenleri, süreçleri ve beklenen sonuçlarıyla kavramsal bir çerçeve geliştirmişlerdir. Mitroulis ve Kitsios (2019), çalışmalarında kavramsal bir dijital dönüşüm stratejisi modeli önermişlerdir. Bu model; teknoloji, finansal yön, müşteride değişim deneyimi, değer yaratmadaki değişiklikler ve yapı olmak üzere beş boyuttan oluşmaktadır. Özcan ve Keskin (2020), çalışmalarında dijital dönüşümün toplumsal açıdan etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla genel bir bakış açısı geliştirilmeye çalışmışlardır. Geleceğin yapay zekâların ve robotların dünyası olarak görülmesi abartılı bir değerlendirme olmayacağını ve dijitalleşmenin bu çerçevede yeni bir aşamaya geçildiğinin bir ifadesi olarak görülebileceğini vurgulamışlardır. Ghobakhloo (2020), çalışmasında dijital devrimin temelde bireylerin yaşama ve çalışma şeklini yeniden şekillendirdiğini ve kamuoyunun, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilirlik için sunabileceği fırsatlar konusunda oldukça iyimser olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışma, dijital devrimin sürdürülebilirlik için sunabileceği fırsatlar ve Endüstri 4.0'ın dünya çapında amaçlanan sürdürülebilirlik işlevlerini etkin bir şekilde sunmasını sağlayabilmek için Endüstri 4.0 paydaşlarına hizmet etmektedir. Ritter ve Pedersen (2020), çalışmalarında işletmeler arası pazarlarda dijitalleşme ve dijitalleşme üzerine araştırmalara kısa bir tarihsel genel bakış sunmaktadırlar. Bir firmanın sayısallaştırma kapasitesinin, veriye dayalı büyümeye, yani dijitalleşmesine izin vermek için iş modeliyle nasıl etkileşime girdiğini tartışmak için bir temel olarak dijitalleştirme kabiliyetinin bir tanımını geliştirmekte ve gelecekteki araştırmalar için umut verici yolları vurgulamaktadırlar. Dijital dönüşümün başarılı bir şekilde benimsenmesi için işletmelerin dijital teknolojilere ve dijitalleşmeye yönelik bir kültür oluşturması gerekmektedir. Bu kültür, çalışanların dijital araçları aktif bir şekilde kullanmaya istekli

olmalarını, dijital yeteneklerini geliştirmelerini ve dijital dönüşüm projelerine katılmalarını teşvik eder. Ayrıca, işletmelerin dijital dönüşümü stratejik bir öncelik olarak kabul etmeleri ve bu sürece uygun kaynakları tahsis etmeleri son derece önemlidir. Dijital dönüşümün stratejik bir odak haline gelmesi, hem organizasyonel değişikliklerin hem de kültürel dönüşümün sürekliliği için gereklidir (Bharadwaj vd., 2013). Dijital dönüşüm, organizasyonel kültürlerde önemli değişikliklere yol açarak, işletmelerin dijital çağda başarılı olabilmeleri için gerekli olan inovasyon, esneklik, değişime açıklık ve sürekli öğrenme gibi unsurları birleştirmektedir. Bu unsurlar, işletmelerin dijital dönüşüm sürecinde rekabet avantajı elde etmelerine ve sürdürülebilir başarıya ulaşmalarına olanak tanımaktadır (Fitzgerald vd., 2013). Dijital dönüşüm, işletmelerin iş yapış biçimlerini köklü bir şekilde değiştirerek, daha esnek, yenilikçi ve çevik bir yapıya geçmelerini sağlar (Bharadwaj vd., 2013; Fitzgerald vd., 2013). Bu dönüşüm, aynı zamanda karar alma süreçlerini daha hızlı ve veri odaklı hâle getirir ve iş birliği ile entegrasyonu artırarak verimliliği yükseltir (Westerman vd., 2011). Dijital dönüşümün etkileri, işletmelerin yapılarını, süreçlerini ve kültürlerini dönüştürerek, daha esnek, çevik ve yenilikçi hâle gelmelerini sağlar (Bharadwaj vd., 2013). Fiziksel çalışma alanlarını da dönüştürür, uzaktan çalışma ve esnek çalışma saatleri gibi modellerin benimsenmesine olanak tanır (Fitzgerald vd., 2013). Dijital dönüşüm aynı zamanda işletmelerin iş etiği anlayışını değiştirir ve veri güvenliği, şeffaflık ve sürdürülebilirlik gibi konularda daha fazla sorumluluk yükler (Henriette vd., 2016). Dijitalleşme sürecinin başarılı bir şekilde tamamlanması, Endüstri 4.0 modelini benimsemekle mümkün olur. Bu model, dijital teknolojilerin iş süreçlerine, organizasyon yapısına ve iş modellerine entegre edilmesiyle şekillenir ve işletmelere rekabet avantajı kazandırır (Burmeister vd., 2016). Endüstri 4.0, üretim süreçlerini dijital teknolojiler aracılığıyla daha esnek ve verimli hâle getirirken, nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) ve yapay zekâ gibi teknolojiler üretim verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır (Burmeister vd., 2016).

#### **4.1. Endüstri 4.0'ın temel unsurları ve kâğıt endüstrisine etkileri**

Endüstri 4.0, endüstriyel üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin ve akıllı sistemlerin entegrasyonunun arttığı, üretimin daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hâle geldiği bir dönemi tanımlar. Bu dönüşüm,

işletmelere rekabet avantajı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevre dostu üretim süreçlerinin oluşturulmasına da olanak tanır. Kâğıt endüstrisi, Endüstri 4.0'ın sunduğu dijitalleşme ve akıllı sistem teknolojilerinden faydalanarak verimlilik, kalite ve sürdürülebilirlik alanlarında önemli iyileşmeler kaydetmektedir. Endüstri 4.0'ın temel unsurları arasında yer alan siber-fiziksel sistemler, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenimi, IoT, esnek üretim, otomasyon, robot teknolojileri, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim ve 3D yazıcılar gibi teknolojiler, kâğıt endüstrisinin üretim süreçlerini daha verimli ve sürdürülebilir hâle getirmesine olanak sağlar. Siber-fiziksel sistemler, üretim süreçlerinin dijital ortamda izlenmesini ve optimize edilmesini mümkün kılar. Kâğıt üretiminde, bu sistemler üretim makinelerinin sensörler ve akıllı cihazlar aracılığıyla internete bağlanarak, üretim verilerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine ve değerlendirilmesine olanak tanır. Siber-fiziksel sistemler, kâğıt üretim makinelerinin enerji verimliliği ve hammadde kullanımı gibi süreçlerin optimize edilmesine yardımcı olur, böylece hem maliyetler düşer hem de çevresel etkiler azaltılır. Gerçek zamanlı veri izleme, makine arızalarının erken tespit edilmesini sağlayarak üretim sürekliliğini artırır (Rüßmann vd., 2015). Büyük veri analitiği, kâğıt üretim süreçlerinde toplanan verilerin işlenmesi ve anlamlandırılması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknoloji, üreticilerin makine verimliliğini, kaliteyi, bakım ihtiyaçlarını ve üretim hızlarını daha etkili bir şekilde izlemelerini sağlar. Verilerin analizi, üretimdeki potansiyel aksaklıkları erkenden tespit ederek, üretim hatalarının önlenmesine ve verimliliğin artırılmasına olanak tanır. Ayrıca, kâğıt üreticileri bu veriler sayesinde daha bilinçli kararlar alabilir ve üretim süreçlerini optimize edebilirler (Lasi vd., 2014). Yapay zekâ ve makine öğrenimi, kâğıt endüstrisinde üretim süreçlerinin daha verimli hâle gelmesinde önemli bir rol oynar. Bu teknolojiler, üretim hatlarındaki verileri analiz ederek makinelerin daha verimli çalışmasını sağlar ve üretim süreçlerini optimize eder. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi, kalite kontrol sistemlerinde de kullanılarak hatalı üretimlerin önüne geçer ve ürün kalitesini iyileştirir. Bu sayede, üretim süreleri kısalmış ve maliyetler düşer. Yapay zekâ ayrıca, üretim hattındaki verileri analiz ederek talep değişikliklerine hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verilmesine yardımcı olur (Lasi vd., 2014). IoT teknolojisi, kâğıt üretim makinelerinin ve ekipmanlarının birbirleriyle veri alışverişinde bulunmasına olanak tanır. IoT sayesinde, makinelerin durumu sürekli izlenebilir, bakım

ihtiyaçları önceden tahmin edilebilir ve arızalar önlenebilir. IoT'nin kullanımı, üretim süreçlerinde verimliliği artırırken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli bir rol oynar. Üretim makinelerinin enerji tüketimi izlenerek tasarruf sağlanabilir ve atık üretimi azaltılabilir (Saar, 2018). IoT teknolojisi, büyük veri ve yapay zekâ gibi diğer Endüstri 4.0 unsurlarıyla birleşerek çevresel hedeflerin gerçekleştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Rehman vd., 2023). Endüstri 4.0, esnek üretim sistemlerinin kurulmasına olanak tanır. Kâğıt endüstrisinde, bu teknoloji sayesinde üretim süreçleri daha esnek hâle gelir ve müşteri taleplerine hızlı bir şekilde yanıt verilebilir. Kâğıt üreticileri, farklı kalite, gramaj ve özelliklerde kâğıt üretebilir, böylece kişiselleştirilmiş ürünler sunabilirler. Bu esneklik, üretim süreçlerini daha verimli hâle getirirken, kâğıt üreticilerinin pazara hızlı adapte olmalarını sağlar ve müşteri taleplerine en uygun ürünleri üretmelerine olanak tanır (Yankın Bilal, 2018). Otomasyon ve robot teknolojileri, kâğıt üretiminde hız, verimlilik ve kaliteyi artırır. Endüstriyel robotlar, kâğıt üretim hatlarında tekrarlayan ve yüksek hassasiyet gerektiren görevleri yerine getirir. Bu durum, üretim hızını artırırken, insan hatalarını ve iş kazalarını azaltır. Robotik sistemler, ayrıca iş gücünün daha verimli kullanılmasına olanak tanır, çünkü tekrarlayan ve yorucu işler robotlara devredilir, böylece çalışanlar daha değerli işlerde görev alır (Brettel vd., 2014). Kâğıt endüstrisinde, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, üretim süreçlerinin simülasyonu ve işçi eğitiminde kullanılabilir. Sanal gerçeklik, üretim hattının simülasyonunu yaparak potansiyel sorunların önceden tespit edilmesini sağlar. Artırılmış gerçeklik, üretim hattındaki işçilere gerçek zamanlı bilgi sunarak iş süreçlerini hızlandırır ve verimliliği artırır. Ayrıca, bu teknolojiler işçi eğitimini geliştirir ve üretim hatalarında meydana gelebilecek hataları minimize eder (Wang vd., 2019). Bulut bilişim, verilerin merkezi bir depolama alanında saklanmasını ve internet üzerinden erişilmesini sağlar. Kâğıt üreticileri, bulut bilişim sayesinde üretim süreçlerini dijital ortamda izleyebilir, veri analizi yapabilir ve departmanlar arasında hızlı veri paylaşımı yapabilirler. Bu, işletmelerin daha esnek ve verimli bir şekilde çalışmalarını sağlar. Ayrıca, bulut bilişim sayesinde, üretim süreçleri daha şeffaf hâle gelir ve iş birliği kolaylaşır (Iyer & Henderson, 2018). 3D yazıcılar, kâğıt endüstrisinde prototip üretiminden son ürün üretimine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu teknoloji, kâğıt ürünlerinin tasarımını hızlandırırken, malzeme ve enerji tasarrufu sağlar. 3D yazıcılar, kâğıt

ürünlerinin kişiye özel olarak üretilmesini ve daha hızlı bir şekilde piyasaya sunulmasını mümkün kılar. Ayrıca, bu teknoloji, üretim süreçlerinde malzeme israfını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur (Chryssolouris vd., 2013). Endüstri 4.0, kâğıt endüstrisini daha verimli, esnek, hatasız ve sürdürülebilir hâle getiren birçok teknolojiyi bünyesinde barındırmaktadır. Bu teknolojilerin entegrasyonu, kâğıt üretim süreçlerinin optimize edilmesini ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlar. Ayrıca, Endüstri 4.0, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olur ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin oluşturulmasına olanak tanır. Kâğıt endüstrisinde bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanması, sektörün gelecekte daha çevre dostu ve verimli hâle gelmesini sağlayacaktır.

#### 4.2. İşletmelerde dijital dönüşümü tetikleyen etmenler

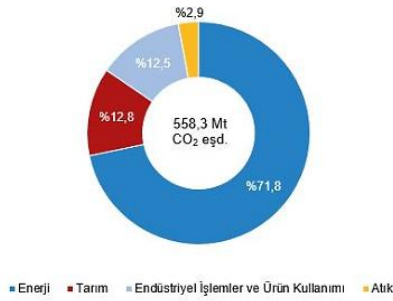
Dijital dönüşüm, işletmelerin temel iş yapış şekillerini, iş modellerini, süreçlerini ve organizasyon yapılarını köklü bir biçimde değiştirebilen yıkıcı bir değişim süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, işletmelerin rekabetçi kalabilmesi ve sürdürülebilir başarıyı elde edebilmesi için kritik öneme sahiptir. Ancak dijital dönüşümün etkin bir şekilde yönetilmesi için işletmelerin bütüncül bir dijital dönüşüm stratejisine ihtiyaç duyduğu kabul edilmektedir. Dijital dönüşüm stratejisinin başarılı bir şekilde belirlenmesi ve uygulanması, işletmelerin bu süreçte karşılaşılabileceği zorlukları aşmalarına ve dönüşümün istenilen başarıyla sonuçlanmasına olanak tanır (Kofler, 2018). Dijital dönüşüm stratejisinin oluşturulması ve uygulanmasında dört temel aşama ön plana çıkmaktadır: planlama, yürütme, kontrol ve başarının ölçülmesi. İlk aşama olan planlama, dijital dönüşüm sürecine başlamadan önce işletmenin mevcut durumunun değerlendirilmesini, hedeflerin belirlenmesini, kaynakların tahsis edilmesini ve dönüşüm sürecinin aşamalarının net bir şekilde belirlenmesini içermektedir. Bu planlama aşaması, dijital dönüşüm stratejisinin temelini oluşturur ve dönüşüm sürecinin başarılı bir şekilde yönetilmesi için gereklidir. İkinci aşama olan yürütme, stratejinin başarılı bir şekilde uygulanması için etkin bir yönetim ve kaynak tahsisini gerektirir. Dönüşüm sürecinin her aşaması titizlikle planlanmalı, uygun kaynaklar belirlenmeli ve sürecin etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanmalıdır. Üçüncü aşama olan kontrol, dönüşüm sürecinin etkili bir şekilde ilerlemesini sağlamak için sürekli izleme ve değerlendirmeyi içermektedir. Bu aşama, stratejinin uygulanmasının her adımında

düzenli olarak yapılan performans ölçümleri ve gerektiğinde strateji güncellemeleri ile gerçekleştirilir. Son olarak, başarının ölçülmesi, dijital dönüşüm stratejisinin etkinliğinin değerlendirilmesi için belirli ölçütlerin oluşturulması ve bu ölçütlerin düzenli olarak izlenmesini içerir. Başarıyı ölçmek, işletmenin dönüşüm sürecindeki ilerlemesini değerlendirmek ve stratejilerini iyileştirmek için kritik bir rol oynamaktadır (Kofler, 2018). Dijital dönüşüm stratejisinin başarılı olabilmesi için, dönüşümü tetikleyen etmenler arasındaki sebep-sonuç ilişkisini anlamak büyük bir önem taşımaktadır. Bu ilişki, dijital dönüşüm sürecinin hangi sebeplerle başlatıldığını ve bu sürecin hangi alanlarda etkili olacağını belirlemeye yardımcı olur. İlk olarak, işletmenin dijital dönüşümüne neden ihtiyaç duyduğunun net bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu nedenler arasında rekabetçi baskılar, müşteri taleplerindeki değişimler, teknolojik gelişmeler ve maliyet azaltma gereksinimleri gibi faktörler öne çıkabilir. Bu nedenlerin belirlenmesi, dönüşüm stratejisinin hedeflerinin ve önceliklerinin doğru bir şekilde şekillendirilmesine olanak sağlar (Liere-Netheler vd., 2018). Dijital dönüşümün hangi alanlarda etki yaratacağını belirlemek, stratejinin kapsamını ve odak noktalarını netleştirir. İş süreçleri, müşteri deneyimi, operasyonel verimlilik ve rekabet avantajı gibi alanlarda nasıl bir etki yaratılacağına karar verilmesi, dönüşüm sürecinin doğru şekilde planlanmasına yardımcı olur. Ayrıca, dijital dönüşümün getireceği faydalar ve sonuçlar da önceden belirlenmelidir. Bu faydalar arasında artan verimlilik, maliyet tasarrufu, müşteri memnuniyetinde artış ve rekabetçi avantaj elde etme gibi unsurlar yer alabilir. Bu sonuçların net bir şekilde belirlenmesi, dönüşüm stratejisinin başarı kriterlerini oluşturur ve işletmenin dönüşüm sürecindeki ilerlemesini değerlendirmeyi sağlar. Dönüşümü tetikleyen faktörlerin öncelik sırasının belirlenmesi, stratejinin uygulanabilirliğini artırır. İşletme, dönüşüm sürecinin hangi unsurlarını ilk olarak ele alması gerektiğini belirlerken, aciliyet derecesini ve stratejinin hedeflerine nasıl ulaşacağını göz önünde bulundurmalıdır. Tetikleyici faktörlerin öncelik sırasının doğru bir şekilde belirlenmesi, işletmelerin kaynaklarını etkin bir şekilde tahsis etmelerini ve dijital dönüşüm stratejilerini verimli bir biçimde uygulamalarını sağlar (Liere-Netheler vd., 2018). Bütüncül bir dijital dönüşüm stratejisi, işletmelerin dijital dönüşüm sürecini daha etkili bir şekilde yönetmelerine yardımcı olur. Bu strateji, işletmelerin dönüşüm sürecinde karşılaşılabilecekleri zorlukları azaltır, kaynakları daha verimli kullanmalarını sağlar ve başarılı bir dijital dönüşüm için gerekli olan temel

unsurları oluşturur. Dijital dönüşümün başarılı olabilmesi için, bu stratejinin doğru bir şekilde planlanması, uygulanması ve izlenmesi büyük önem taşır. Bu sürecin doğru yönetilmesi, işletmelerin dijital dönüşüm sürecinde elde edecekleri başarıyı doğrudan etkilemektedir (Kofler, 2018).

## 5. İkiz Dönüşüm

İkiz dönüşümü oluşturan, yeşil ve dijital dönüşüm arasındaki etkileşim, günümüzde giderek önem kazanan bir konudur ve ekonomilerin kaynak verimliliğini artırmayı, döngüsel ve karbon nötr olmayı hedefleyen süreçleri ifade etmektedir. Karbon nötr çalışmaları kapsamında sektörlere göre karbon salınımı Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3: Sektörlere göre sera gazı emisyonları 2022 (TÜİK, 2025).

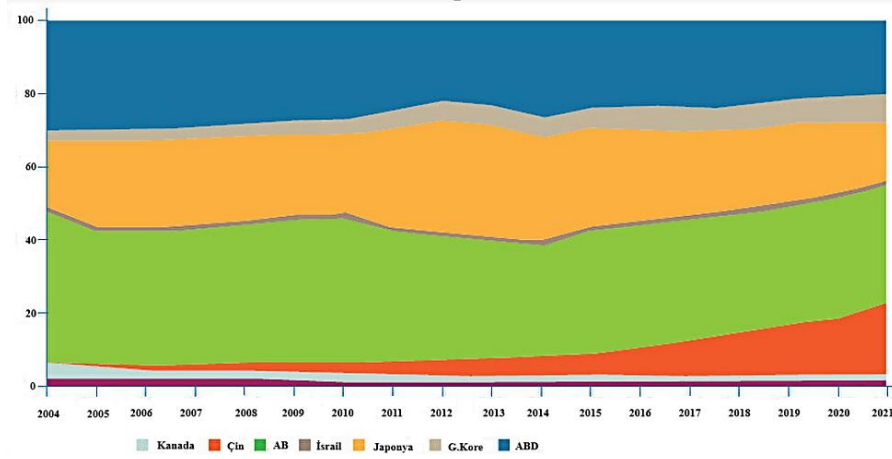
Figure 3: Greenhouse gas emissions by sector, 2022 (TUIK, 2025).

Şekilden de anlaşılacağı üzere karbon salınımında enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarım ve atıklar başı çekmektedir. Öncelikli olarak bu alanlara odaklanması ve gerekli çalışmaların başlatılması gerekmektedir. Bu bağlamda, ikiz dönüşüm kavramı hem ekonomilere katkı sağlayacak hem de daha yaşanılabilir bir çevre oluşturacak dönüşüm süreçlerini inceler. Endüstri devrimlerinin temel itici gücü her zaman verimlilik artışı olmuştur. Ancak ikiz dönüşüm, sadece verimliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda dünya kaynaklarının daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını da hedeflemiştir. Bu nedenle, ikiz dönüşüm kapsamında kabul gören üretim modelleri, sadece kâr odaklı

olmaktan ziyade çevresel ve sosyal etkileri de göz önünde bulundurarak hareket ederler. İş dünyasındaki farklı sektörler, verimlilik artışı sağlamak ve ikiz dönüşümü gerçekleştirmek adına üretim hatlarını uygun hâle getirmeye başlamışlardır. Ancak küçük ölçekli işletmeler, dönüşüm maliyetlerinden ötürü henüz bu sürece tam olarak dahil olamamışlardır. Türkiye gibi, KOBİ'lerin büyük çoğunluğu oluşturduğu ülkelerde ise bu dönüşümün henüz başında olduğu görülmektedir. Bu noktada, kamu desteğinin yanı sıra işletmelerin de dönüşüm için irade göstermesi gerekmektedir. Risklerin büyük olduğu bir dönemde, işletmelerin bir an önce harekete geçmesi gerekmektedir. İkiz dönüşüm, işletmelerin dijitalleşme ve sürdürülebilirlik alanlarında dönüşüm geçirmelerini sağlar. Bu süreç, işletmelere ekonomik zorlukları aşma, verimlilik artışı ve maliyet düşüşü gibi faydalar sunarken, çevresel ve sosyal sorumluluklarını da yerine getirmelerini sağlar. İşletmeler, dijitalleşme ile üretim süreçlerini modernize ederken, sürdürülebilirlik odaklı uygulamalarla çevreye duyarlı çözümler geliştirir. Bu dönüşüm, rekabet avantajı sağlar ve aynı zamanda geleceğe daha yaşanabilir bir dünya bırakma sorumluluğunu üstlenmelerine yardımcı olur (Karabaş, 2024).

### 5.1. İkiz dönüşümün lokomotifleri

Yeşil geçiş teknolojileri, dünya genelinde çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele konularında önemli bir yer tutmaktadır. Bu alanda öncü olarak bilinen Avrupa Birliği, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri uzun yıllardır yeşil teknolojilerdeki hakimiyetlerini sürdürmüşlerdir. Ancak son dönemlerde özellikle Çin gibi Asya ekonomileri de yeşil geçiş konusunda önemli adımlar atmaya başlamıştır. Avrupa Birliği, yeşil teknolojilerde en fazla patent sahibi olan bölgelerden biri olmasına rağmen, bu hakimiyetin zamanla azalmaya başladığı gözlemlenmektedir (World Bank, 2023). Yeşil patent küresel pay dağılım yüzdeleri Şekil 4'de verilmiştir.

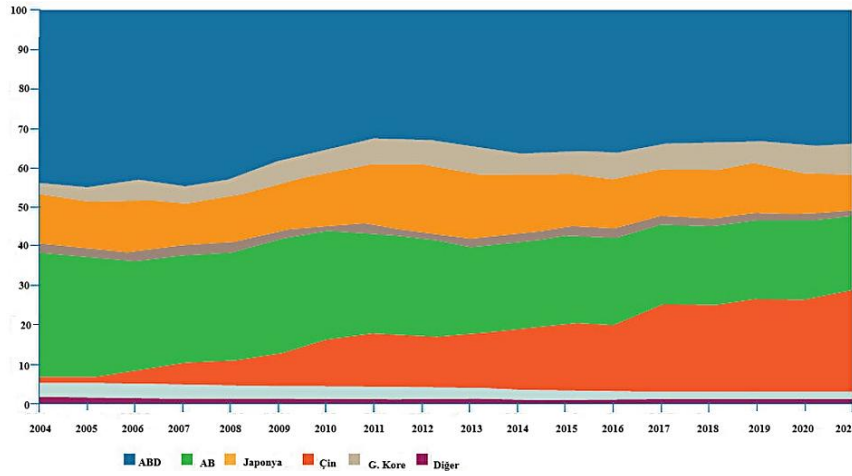


Şekil 4: Yeşil patent küresel pay dağılımları (%) (World Bank, 2023).

Figure 4: Green patent global share distribution (%) (World Bank, 2023).

Dünya Bankası verilerine göre, 2004 yılında Asya ekonomileri yeşil teknolojilerdeki patentlemenin %24'ünü gerçekleştirirken, bu oran 2021'de %42'ye yükselmiştir. Özellikle Çin'in, küresel yeşil teknolojideki payında belirgin bir artış yaşanmıştır. Doğu ve Güneydoğu Asya'daki ekonomilerin, yeşil

teknolojilerdeki yükselişinin yanı sıra dijital teknolojilerde de önemli bir rol oynadığı gözlemlenmektedir. Bu bölgelerdeki tüm ekonomilerin dijital teknolojideki patent payı %40'a ulaşmış durumdadır. Dijital teknoloji patentleri küresel paylarının dağılımı (%) Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5: Dijital teknoloji patentleri küresel paylarının dağılımı (%) (World Bank, 2023).

Figure 5: Distribution of global shares of digital technology patents (%) (World Bank, 2023).

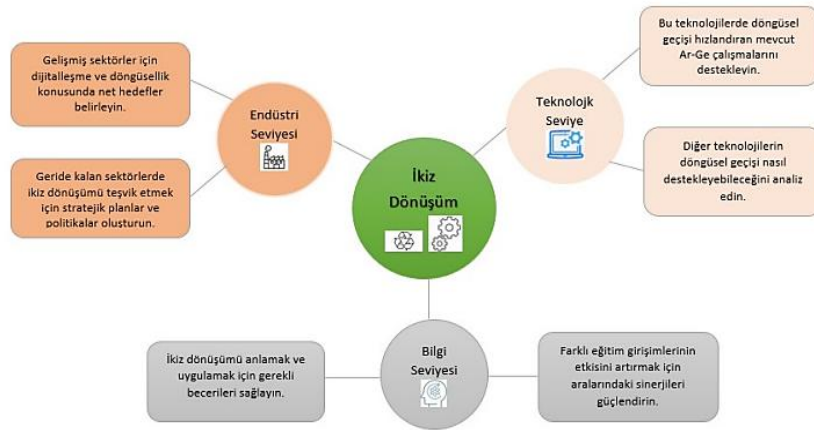
Bu durum, bölgenin sadece çevresel sürdürülebilirlik konusunda değil, aynı zamanda dijital dönüşüm ve teknolojik gelişim açısından da önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Yeşil ve dijital teknolojilerde Asya'nın yükselişi, küresel rekabeti değiştirmekte ve bu alanda daha dengeli bir dağılımı teşvik etmektedir. Bu durum, yeşil geçiş ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için küresel iş birliğinin ve teknoloji transferinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu gelişmeler, çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik büyüme arasındaki dengeyi sağlamak için daha geniş bir perspektifin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Karabaş, 2024).

## 5.2. İkiz dönüşümde Türkiye'nin konumu

İkiz dönüşüm, ekonomik kalkınma ile çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini birleştirerek, özellikle gelişmekte olan ülkeler için küresel rekabet gücünü artırma konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye, Avrupa Birliği'ne (AB) olan yakınlığı ve bu birliğin en büyük pazarlarından biri olması nedeniyle, ikiz dönüşüm sürecini ve yeşil geçişin gerekliliklerini dikkatle izlemek zorundadır. AB, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele konularında öncü bir aktör olarak, yeşil dönüşüm ve sürdürülebilirlik politikalarıyla küresel ekonomide belirleyici bir rol üstlenmektedir (European Commission, 2023). Türkiye'nin Avrupa Birliği (AB)

standartlarına uyum sağlamak için gerekli adımları atması, yalnızca iç pazarda rekabet edebilirliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda dış ticaret ilişkilerinde herhangi bir zorluk yaşamamak adına kritik bir öneme sahiptir (OECD, 2022). AB, küresel ticaretin önemli aktörlerinden biri olarak, çevresel sürdürülebilirlik ve dijitalleşme konularında belirlediği yüksek standartlarla, üye ülkeleri ve dış ticaret partnerlerini sürekli olarak bu doğrultuda şekillendirmektedir. Türkiye'nin, AB ile olan güçlü ticari ilişkilerinin sürekliliğini sağlayabilmesi ve küresel ticaret arenasında rekabet avantajı elde

edebilmesi için ikiz dönüşüm sürecine etkin bir şekilde dahil olması gerekmektedir. Bu bağlamda, sektörel adaptasyon büyük bir önem taşımaktadır; dijital ve yeşil dönüşümün entegrasyonu, Türkiye'nin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını kolaylaştıracaktır. Başarılı bir ikiz dönüşüm için dikkate alınması gereken çeşitli tavsiyeler bulunmaktadır (Şekil 6). Bu tavsiyeler, Türkiye'nin sektörel düzeyde dönüşümünü hızlandıracak ve hem iç pazarda hem de küresel ticaretteki rekabet gücünü artıracaktır. Aşağıda bu tavsiyeler özetlenmiştir:



Şekil 6: Başarılı bir ikiz dönüşüm için tavsiyeler (Ortega-Gras vd., 2021).

Figure 6: Recommendations for a successful twin conversion (Ortega-Gras vd., 2021).

Yenilenebilir enerjiye yatırım yapılması, enerji verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir üretim tekniklerinin benimsenmesi ve yeşil teknolojilere geçişin teşvik edilmesi, bu sürecin temel unsurlarıdır (Gürkan & Kurnaz, 2023). Sadece çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik olarak daha rekabetçi ve yenilikçi bir üretim altyapısı oluşturmak için sektörel yeniliklerin de hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu dönüşüm sürecinde işletmelerin iç ve dış rekabet güçlerini artıracak çözümler geliştirmeleri beklenmektedir. Türkiye'nin bu dönüşüm sürecinde başarılı olabilmesi için, kamu sektörü, özel sektör ve akademik kuruluşlar arasında güçlü bir iş birliği ve koordinasyon sağlanmalıdır. Politika yapımcıların, işletmelerin dönüşüm süreçlerine uyum sağlamalarını teşvik etmek amacıyla uygun teşvikler ve destekler sunmaları gerekmektedir (World Bank, 2023). Hazine ve Maliye Bakanlığı ile Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından belirlenen 2024 yılı hedeflerine göre, Türkiye'nin yeşil ve dijital dönüşüm alanında 3.800 patent başvurusu yapmayı planladığı belirtilmiştir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Bu hedef, Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecinde ne derecede kararlı olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, bu dönüşüm sürecinin toplumsal seviyede de yaygınlaştırılması için eğitim müfredatlarına entegre edilmesi, geleceğin iş gücünün bu süreçle ilgili farkındalık kazanmasına katkı sağlayacaktır. Türkiye'nin genç ve dinamik nüfus yapısı, ikiz dönüşümün hızla alt sektörlere yayılmasını kolaylaştırabilir (Büyük & Deniz, 2023). Böylece, Türkiye sadece ekonomik anlamda değil, çevresel sürdürülebilirlik açısından da daha güçlü bir konum elde edebilir. Türkiye'nin ikiz dönüşüm sürecine uyum sağlaması ve yeşil ekonomiye geçiş yapması, küresel rekabet gücünü artırmak ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak açısından kritik bir adım olacaktır. Bu süreçte, AB mevzuatının dikkatle takip edilmesi, sektörlerin dönüşüm sürecine adapte olmaları ve kamu-özel iş birliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

## 6. Sonuç

Kâğıt sektörü, çevresel etkilerini azaltmak ve kaynak verimliliğini artırmak amacıyla dijital ve yeşil dönüşümü benimsemektedir. Bu dönüşüm süreci, sürdürülebilir büyüme ve verimlilik hedeflerine ulaşmak için büyük fırsatlar sunmaktadır. Dijital

dönüşüm, üretim süreçlerini daha verimli hâle getirirken, enerji tüketimini optimize etmek ve atık üretimini azaltmak için kritik bir araçtır. Dijital ikizler, yapay zekâ ve IoT gibi teknolojilerle iş süreçlerinin şeffaflığı artırılmakta, operasyonel verimlilik sağlanmaktadır. Yeşil dönüşüm ise, enerji verimliliği, su kullanımı ve atık yönetimi gibi alanlarda çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilirliği desteklemektedir. Yenilenebilir enerji kullanımı, karbon salınımının azaltılması ve geri dönüşüm süreçlerinin iyileştirilmesi, kâğıt sektöründeki çevresel yükü hafifletmektedir. Bu dönüşüm, kâğıt üreticilerine ekonomik faydalar sağlayarak rekabet avantajı elde etmelerini sağlamaktadır. Dijitalleşme ve yeşil dönüşümün entegrasyonu, maliyetleri düşürmek ve çevresel hedeflere ulaşmak adına önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, bu süreçlerin başarısı için yenilikçi teknolojilerin etkin kullanımı ve stratejik yatırımlar gerekmektedir. Bu noktada sektöre yapılabilecek öneriler ve yönlendirmeler şunlardır: küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijital dönüşüm süreci hızlandırılmalı, dijital ikizler ve IoT teknolojileriyle üretim süreçlerinin verimliliği artırılmalıdır. Kâğıt üreticileri, yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği teknolojilerine yatırım yaparak karbon salınımını azaltmalıdır. Çalışanların dijitalleşme ve yeşil dönüşüm konularında eğitilmesi, sürecin etkinliğini artıracaktır. Ar-Ge yatırımlarıyla yeni sürdürülebilir teknolojiler geliştirilmelidir. Kâğıt üreticileri, dijital ikizler ve IoT teknolojilerini kullanarak üretim süreçlerini optimize etmeli ve geri dönüşüm oranlarını artırmalıdır. Tedarik zinciri yöneticileri, çevre dostu tedarik zinciri modelleri benimsemeli, tedarikçiler çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine göre seçilmelidir. Kamu politikaları, yeşil dönüşüm için teşvik sağlamalı, uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına destek olmalıdır. Sonuç olarak, kâğıt sektörü dijital ve yeşil dönüşüm süreçlerini benimseyerek hem çevresel hem de ekonomik anlamda önemli kazanımlar elde edebilir. Bu dönüşüm, rekabet gücünü artırırken sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına da katkı sağlayacaktır.

## Makale Bilgileri

**Finansal Açıklama:** Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayımlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

**Teşekkür:** Yazar makale konusunun belirlenmesinde ve çalışmadaki yardımlarından dolayı Balıkesir Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Öğretim Görevlisi

Emine Uçmuş'a, Gıda Mühendisi Buse Yaşar'a ve Jeoloji Mühendisi Ayşe Çapkan'a teşekkür eder.

**Yazarların Katkıları:** Konsept: M.Y.; Tasarım: M.Y.; Danışmanlık: M.Y.; Kaynaklar: M.Y.; Veri Toplama: M.Y.; Analiz: M.Y.; Literatür Taraması: M.Y.; Makale Yazımı: M.Y.; Eleştirel İnceleme: M.Y.

**Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar:** Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

**Etik Komite Onayı:** Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

## Kaynaklar

Alma Savaş, D. (2022). Sürdürülebilir tüketim ve çevre araştırmalarına yönelik bir analiz. *Akademik İzdüşüm Dergisi*, 7(2), 81–100.

Anantharaman, M. (2018). Critical sustainable consumption: A research agenda. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 8, 553–561.

Atik, C., & Ok, K. (2017). Türkiye'de kâğıt üretimi ve sürdürülebilir kalkınma. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32294.93761>

Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482.

Blanco, A., Negro, C., Monte, C., Fuente, E., & Tijero, J. (2004). The challenges of sustainable papermaking. *Environmental Science and Technology*, 1, 414A20A.

Blaschke, L. M., Bozkurt, A., & Cormier, D. (2021). Learner agency and the learner-centered theories for online networked learning and learning ecologies. In Hase, S. & Blaschke, L. M. (Eds.), *Unleashing the power of learner agency* (pp. 57–66). EdTech Books.

Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How to design a smart factory for Industry 4.0: A modeling approach for the production system design of cyber-physical systems. *Procedia CIRP*, 17, 17–22.

- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. W. W. Norton & Company.
- Burmeister, C., Lüttgens, D., & Piller, F. T. (2016). Business model innovation for Industrie 4.0: Why the “Industrial Internet” mandates a new perspective on innovation. *Die Unternehmung*, 70(2), 124–152.
- Brundtland, G. H. (1987). Our common future: The world commission on environment and development.
- Büyük, F., & Deniz, M. (2023). Türkiye'nin dijital dönüşümdeki yerel uygulamaları: Yenilikçi çözümler ve sektörel etkiler. *Journal of Sustainable Development & Innovation*, 19(3), 58–74.
- CEPI. (2011). CEPI sustainability report 2011.
- Cheba, K., Bâk, I., Szopik-Depczyńska, K., & Ioppolo, G. (2022). Directions of green transformation of the European Union countries. *Ecological Indicators*, 136, 108601.
- Choi, T. M., & Cheng, T. C. E. (2018). *Innovative Supply Chain Management*. Springer.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Mourtzis, D. (2013). Evolution of manufacturing systems: From classical automation to Industry 4.0. *Proceedings of the CIRP*, 12, 670–675.
- Deniz, N., & Büyük, K. (2023). İkiz dönüşüm: Yeşil ve dijital dönüşüm. *Dijital Teknolojiler ve Eğitim Dergisi*, 2(1), 57–70.
- Durmuşlar Özdemir, S., Eymirli Bigen, E., & Aylap, E. (2023). İzmir’de yeşil dönüşüm için öncelikli sektörler ve odak mekanlar. *Bölgesel Kalkınma Dergisi*, 23(1), 22–39.
- European Commission. (2023). The European green deal: A roadmap to sustainable growth. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) (Erişim tarihi: 10 Haziran 2024).
- Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2013). Embracing digital technology: A new strategic imperative. *MIT Sloan Management Review*, 54(3), 1–12.
- Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2014). Embracing digital technology: A new strategic imperative. *MIT Sloan Management Review*, 55(2), 1.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869.
- Golev, A., Corder, G. D., & Mudd, G. M. (2014). Resource use efficiency in the production of paper products. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 66–72.
- Gorji, A. A., & Martek, I. (2023). The role of renewable energy as a 'green growth' strategy for the built environment. *Buildings*, 13(5), 1356.
- Grieg-Gran, M., Bass, S., Roberts, S., Robins, N., Sandbrook, R., Bazett, M., Gadhvi, V., & Subak, S. (1998). Towards a sustainable paper. *Journal of Industrial Ecology*, 1(3), 47–68.
- Gürkan, E., & Kurnaz, M. (2023). Yeşil dönüşüm ve ekonomik etkileri: Türkiye örneği. *Journal of Green Business*, 8(2), 92–105.
- Henriette, E., Feki, M., & Boughzala, I. (2016). Digital transformation challenges. *Proceedings Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS)*, 33.
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). 2024 yılı Cumhurbaşkanlığı yıllık programı. Ankara.
- Huang, B., Li, X., & Zhang, Y. (2020). Recycling and waste management in the paper industry. *Environmental Science and Technology*, 54(5), 249–258.
- Iyer, B., & Henderson, J. (2018). The digital transformation of business models in the Industry 4.0 era. *Journal of Business Research*, 88, 153–165.
- Jeswiet, J. (2007). Sustainable manufacturing: The next industrial revolution. *Journal of Cleaner Production*, 15(4), 539–546.
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). *Strategy, not technology, drives digital transformation*. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing*

industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0.

Kılıç, S., & Alkan, R. M. (2018). Dördüncü sanayi devrimi: Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye değerlendirmeleri. *Girişimcilik, İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 2949.

Karabaş, S. (2024). Rekabetin yeni adı ikiz dönüşüm. <https://www.zraporu.com/sayilar/subat-2024/> (Erişim tarihi: 8 Mart 2024).

Klein, M. (2020). İşletmelerde dijital dönüşüm ve etmenleri. *Journal of Business in The Digital Age*, 3(1), 24–35.

Kofler, T. (2018). *Digitale Transformation in Unternehmen*. Zentrum Digitalisierung Bayern Positionspapier.

Koska, A., Göksu, N., & Sünbül, M. B. (2016). Barriers of green supply chain management implementation: An application in Kipaş paper factory. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 3(6), 142–156.

Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is sustainability? *Sustainability*, 2(11), 34363448.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.

Liere-Netheler, M., Eling, K., & Thiele, S. (2018). The impact of digital transformation on business models. *International Journal of Business Administration*, 9(2), 34–45.

López, F., González, D., & Martínez, E. (2022). Kâğıt endüstrisinde ikiz dönüşüm ve dijital sürdürülebilirlik uygulamaları. *Journal of Clean Production*, 29(6), 430–445.

Mato, F., Rodríguez, M., & Pereira, F. (2021). Kâğıt endüstrisinde sürdürülebilir üretim ve dijitalleşme. *Journal of Industrial Ecology*, 25(4), 498–509.

Mergel, I., Edelmann, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4), 101385.

Morakanyane, R., Grace, A. A., & O'Reilly, P. (2017, June 18–21). Conceptualizing digital transformation in business organizations: A systematic review of literature [Conference presentation]. Bled Slovenia.

Mitroulis, D., Kitsios, F., & Kitsios, F. (2019, February 6). Digital transformation strategy: A literature review [Conference presentation]. Xanthi, Greece.

Muşkara, Ü., & Tunçelli, O. (2019). Seka kâğıt fabrikası endüstriyel mirasın dijital yöntemlerle aktarılması. *Planning*, 29(3), 247–258.

Nene, Y., & Raghavan, M. (1996). Entegre hastalık yönetimi ve kâğıt endüstrisinde çevresel zorluklar. *Agricultural Systems*, 32(1), 85–98.

OECD. (2022). *Green growth and sustainable development*. OECD.

Oduncu, S. (2020). Grafik tasarımın sürdürülebilirlik içerisindeki rolü ve bioposter tasarımı. *Idil Journal of Art and Language*, 9(67), 481–496.

Ortega-Gras, J. J., Bueno-Delgad, M. V., Cañavate-Cruzado, G., & Garrido-Lova, J. (2021). Twin transition through the implementation of Industry 4.0 technologies: Desk-research analysis and practical use cases in Europe. *Sustainability*, 13, 13601.

Özcan, M., & Keskin, B. (2020). Dijitalizasyon bağlamında sosyal dönüşüm. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 16(29), 2214–2229.

Pande, R., & Gupta, A. (2005). Yeşil üretim ve dijitalleşmenin kâğıt endüstrisine katkıları. *International Journal of Sustainable Manufacturing*, 9(2), 145–160.

Parida, V., Sjödin, D., & Reim, W. (2019). Reviewing literature on digitalization, business model innovation, and sustainable industry: Past achievements and future promises. *Sustainability*, 11, 391.

Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Green and competitive: Ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 73(5), 120–134.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.

Rehman, S. U., Giordino, Zhang, D. Q., & Alam, G. M. (2023). *Twin transitions & Industry 4.0*:

Unpacking the relationship between digital and green factors to determine green competitive advantage. *Technology in Society*, 73, 102227.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston consulting group, 9(1), 54–89.

Ritter, T., & Pedersen, C. L. (2020). Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. *Industrial Marketing Management*, 86, 180–190.

Saar, M. (2018). The role of IoT in enhancing energy efficiency and reducing waste in production processes. *Journal of Sustainable Manufacturing*, 34(2), 85–94.

Satır Reyhan, A. (2014). Sürdürülebilir üretim-tüketim politikaları çerçevesinde yeşil ekonomi üzerine bir değerlendirme. *Memleket Siyaset Yönetim (MSY)*, 9(22), 327–347.

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 16(15), 1699–1710.

Şengüllendi, M. F., & Şehitoğlu, Y. (2023). Yeşil dönüşüm araştırmalarının kavramsal dönüşümü: En temel ve güncel araştırma konularının bibliyometrik analiz yöntemi ile tespit edilmesi. *İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 557–574.

Türk Dil Kurumu. (2024). *Dönüşüm*. Genel Türkçe sözlük. <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim tarihi: 1 Mart 2024).

TÜİK. (2025). Sera gazı emisyon istatistikleri 1990-2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701> (Erişim tarihi: 6 Mart 2025).

Wang, Y., Zhang, S., & Liu, J. (2019). Application of augmented reality technology in industrial production: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 44–58.

Westerman, G., Calmêjane, C., Bonnet, D., Ferraris, P., & McAfee, A. (2011). *Digital Transformation: A roadmap for billion-dollar organizations*. MIT Center For Digital Business and Capgemini Consulting, 1, 1–68.

World Bank. (2012). *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. The World Bank.

World Bank. (2022). *Sustainable Paper Production Strategies*. The World Bank.

World Bank. (2023). *Turkey: Climate change and green growth*. World Bank Report.

Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., Parry, G., & Giraldo, F. (2017). Servitization and digitalization: A review. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), 233–258.

Yankın Bilal, F. (2018). Dijital dönüşüm sürecinde çalışma yaşamı. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 7(2), 1–38.

Yu, Z., & Khan, S. A. R. (2022). Green supply chain network optimization under random and fuzzy environment. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1–12.

Zhang, Z., Li, Z., & Wang, L. (2019). Recycling and waste management in the paper industry. *Environmental Science and Technology*, 53(6), 1–12.

Zhang, Q., Wang, L., & Zhao, X. (2021). Digital transformation in paper industry: Opportunities and challenges. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(2), 021005.