Araştırma Makalesi

Döngüsel Ekonomi, Bilgi ve İletişim Teknolojileri ve İkiz Geçiş Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz

Süha ÇELİKKAYA[1], Aykut SEZGİN[2]*, Canan ŞENTÜRK[3]

[1] Doç. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, suhacelikkaya@sdu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4104-1680
[2] Doç. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, aykutsezgin@sdu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7039-8032
[3] Doç. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, canansenturk@sdu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7714-844X
* Sorumlu yazar: aykutsezgin@sdu.edu.tr

Öz: Bu makale, döngüsel ekonomi, bilgi ve iletişim teknolojileri ve ikiz geçiş kavramlarının kesişim noktasındaki akademik literatürü, 2009-2025 dönemi Web of Science verileri üzerinden bibliyometrik analizle incelemektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişme (dijital dönüşüm), döngüsel ekonomilerin yaygınlaşması (yeşil dönüşüm) ile birleşerek 'ikiz geçiş' sürecini ifade etmektedir. Bu iki dönüşümün entegrasyonunda karşılaşılan zorluklar ve kavramsal netlik eksikliği, yeni araştırmalara ihtiyaç doğurmaktadır. Bu nedenle çalışma, bu kavramları bibliyometrik analiz yöntemiyle inceleyerek, literatürdeki mevcut durumu ortaya koyup gelecekteki araştırmalara yön verecek bir temel oluşturulmayı hedeflemektedir.Çalışma, bu alanın nispeten yeni ve dinamik bir araştırma gündemine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz edilen 617 makalenin ortalama yaşı 1,77 yıl ve makale başına ortalama atıf sayısı 23,12'dir. Küresel ölçekte ise, %45,54'lük uluslararası ortak yazarlık oranıyla Hindistan, Çin, Birleşik Krallık, İtalya ve Almanya gibi ülkelerin liderliğinde çok merkezli bir araştırma ekosisteminin var olduğu tespit edilmiştir.Bibliyometrik haritalama analizleri, bu alandaki temel kavramlar, tematik odak noktaları ve işbirliği ağları hakkında önemli bulgular sunmaktadır. Yayınların yıllara göre dağılımı, özellikle 2020 sonrası dönemde yayın sayısının ve ikiz geçiş temasına ilginin hızla arttığını ortaya koymaktadır. Anahtar kelime analizleri, literatürün yönetim, performans ve çerçeve kuramları gibi temel kavramlar etrafında olgunlaştığını, ancak girişimcilik ve sürdürülebilir davranış gibi niş konuların da yükselişte olduğunu göstermektedir. Ağ haritaları, kavramlar ve yazarlar arasında yüksek düzeyde bir entegrasyon olduğunu ve disiplinler arası bir yapının kurulduğunu teyit etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Bilgi ve İletişim Teknolojileri, İkiz Geçiş, Bibliyometrik
Jel Kodları: O13, O44, Q56

Atıf: Çelikkaya, S.; Sezgin, A.; Şentürk, C. (2026). Döngüsel Ekonomi, Bilgi ve İletişim Teknolojileri ve İkiz Geçiş Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz, *Politik Ekonomik Kuram, 10*(2), 452-468. https://doi.org/10.30586/pek.1777033

Geliş Tarihi: 02.09.2025
Kabul Tarihi: 16.04.2026

Telif Hakkı: © 2026. (CC BY) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

A Bibliometric Analysis on Circular Economy, Information and Communication Technologies, and the Twin Transition

Abstract: This article examines the academic literature at the intersection of circular economy, information and communication technologies, and twin transitions through a bibliometric analysis of Web of Science data from 2009 to 2025. The development of information and communication technologies (digital transformation), combined with the adoption of circular economies (green transformation), defines the "twin transition." The challenges in integrating these two transformations and the lack of conceptual clarity highlight the need for further research. Accordingly, this study aims to reveal the current state of the literature and provide a foundation to guide future work. The findings show that this field has a relatively new and dynamic research agenda. The 617 analyzed articles have an average age of 1.77 years, with 23.12 citations per article. At the global level, a multi-centered research ecosystem led by India, China, the United Kingdom, Italy, and Germany was identified, with an international co-authorship rate of 45.54%. Bibliometric mapping offers insights into core concepts, thematic focuses, and collaboration networks. The temporal distribution of publications indicates a sharp increase in output and interest in the twin transition, particularly after 2020. Keyword analyses show that the literature has matured around central notions such as management, performance, and frameworks, while

niche topics such as entrepreneurship and sustainable behavior are emerging. Network analyses confirm strong integration among concepts and authors and the establishment of an interdisciplinary structure.

Keywords: Circular Economy, Information and Communication Technologies, Twin Transition, Bibliometric
Jel Codes: O13, O44, Q56

1. Giriş

Döngüsel ekonomi (circular economy) kavramı kaynakların daha etkin, daha dengeli ve daha adil kullanımını destekleyen, sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayan yeni iş modellerinden biridir (Ghissellini ve diğerleri, 2016). Döngüsel ekonomi, üretim ve tüketim süreçlerinin tamamında atık ve çıktıların en uygun biçimde işlenmesini, yeniden kullanılabilecek olanların kullanıma sokulmasını ve çevreye zararın en aza indirilmesini amaçlayan süreçler bütününü ifade etmektedir. (Cardozo ve diğerleri, 2023; Melo ve Souza, 2022) Kavram ilk defa Pearce ve Turner (1989) tarafından Boulding (1966)'ya atıf yapılarak, her şeyin başka her şey için bir girdi olabildiği kapalı bir ekonomik sistemde yani dünyada, doğrusal değil döngüsel ilişkilerle atıkların tekrar kullanılabilirliğini anlatmak üzere türetilmiştir (Geissdoerfer ve diğerleri, 2017; Pearce ve Turner, 1989). Çevresel etkilerin ekonomik büyümeden ayrıştırılmasını da kapsayan bu kavram yeşil büyüme, yeşil ekonomi ve yeşil dönüşüm çalışmalarının da odağında yer almaya başlamıştır (Lazarevic ve diğerleri, 2017).

Sürdürülebilirlik dönüşümü ya da yeşil dönüşüm kavramı ise, hem iklim dostu yaşam perspektifiyle çevresel maliyetlerin hesaba katılarak iklim değişikliğini hafifletme çabasını hem de sağlıklı yaşam ve dirençli toplumlar için hayati önem taşıyan biyolojik çeşitliliğin kaybıyla mücadeleyi içeren adil ve kapsayıcı bir geçişi vurgulamaktadır (Muench ve diğerleri, 2022, s.8). Ekonomik ve toplumsal faydaların kilidini açmak, bugünün sürdürülemez faaliyetlerini adil bir geleceğe doğru dönüştürmek için bir fırsat olarak görülmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı bu bağlamda, iklim değişikliği sorununu benzersiz bir fırsata dönüştürmeyi amaçlayan sürdürülebilir büyüme gündemi kapsamında yeşil dönüşümle birlikte, iklim değişikliğinin ve çevresel bozulmanın sonuçlarının hafifletilmesi ve enerji öz yeterliliğinin güçlendirilmesine odaklanmaktadır. Mutabakatın uygulama yol haritasında kaynak verimliliği ve sürdürülebilir ekonomik büyüme için kritik bir politika alanı olarak döngüsel ekonomi merkezde yer almaktadır. Öte yandan teknoloji, iklim değişikliğiyle başa çıkmak için tasarlanan çoğu stratejide merkezi bir rol oynamaktadır (Bianchini ve diğerleri, 2023, s.879).

Bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT), verilerin toplanması, analizi ve paylaşılması yoluyla döngüsel ekonomi modellerinin uygulanmasını desteklemekte ve karşılaşılan zorluklara yenilikçi çözümler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Demestichas ve Daskalakis, 2020). Hızlı gelişen dijital teknolojiler sayesinde ürün odaklı modellerden hizmet temelli iş modellerine geçiş bu eğilimin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Baporikar ve Baragde, 2021). Bu anlamda yenilikçi çözümlerin hem işletmeler hem de vatandaşlar tarafından benimsenmesinin yanı sıra, Endüstri 5.0 süreci de dijital dönüşümü zorunlu hale getirmekte ve özel/kamu hizmetlerinin erişilebilirliğinin ve verimliğinin artırılması yönünde ekonomilere önemli bir büyüme potansiyeli sunmaktadır (Askar ve diğerleri, 2024). Söz konusu dönüşüm, "*işletmeler için yeni fırsatlar yaratmakta, güvenilir teknolojilerin geliştirilmesini teşvik etmekte, açık ve demokratik bir toplumu desteklemekte, canlı ve sürdürülebilir bir ekonomiyi mümkün kılmakta, iklim değişikliğiyle mücadeleye yardımcı olmakta ve yeşil dönüşümü sağlamaktadır"* (European Commision, 2025a). Benzer şekilde, Dijital Avrupa Programı çerçevesinde 2030 Dijital Pusula'sında dijitalleşmiş ekonomi ve topluma giden yolun vatandaşlarının ve işletmelerin güçlendirilmesi, dijital ekosisteminin ve tedarik zincirlerinin güvenliğinin ve

dayanıklılığının sağlanması temelinde dayanışma, refah ve sürdürülebilirliğe dayandığı vurgusu yapılmaktadır (European Commision, 2021).

Hem Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi'nde, hem de AB'nin 2020 Sanayi Stratejisi'nde sera gazı emisyonlarının azaltılmasının iklim krizi ile mücadele ve küresel ısınmayı sınırlamak için bir öncelik haline geldiği açıkça belirtilmektedir. Bu strateji ile, küresel olarak rekabetçi, iklim açısından nötr ve dijitalleştirilmiş bir ekonomi için açık talimatlar ortaya koyularak, yeşil ve dijital dönüşümlerin eşzamanlı gerçekleşmesi gerekliliği "ikiz geçiş" olarak adlandırılmaktadır (European Commision 2020a, 2020b). Ayrıca AB rekabet gücü ve karbonsuzlaştırma planı çerçevesinde oluşturulan Temiz Sanayi Mutabakatı da, bir yanda geri dönüşümü, yeniden kullanımı ve sürdürülebilir üretimi teşvik ederek atıkları azaltmayı ve malzemelerin ömrünü uzatmayı amaçlayan döngüsel ekonomiye odaklanırken; diğer yanda kaynak verimliliği ilkesiyle hareket ederek sınırlı kaynakları en üst düzeye çıkarma, hammaddeler için üçüncü ülke tedarikçilerine aşırı bağımlılığı azaltma, rekabetçi/dayanıklı bir pazar oluşturma ve dijitalleşme ve temiz teknolojiler yoluyla düşük karbonlu ekonomiye geçişi destekleyecek stratejilere odaklanmaktadır (European Commission, 2025b). Bu doğrultuda sürdürülebilir ve rekabetçi bir ekonomi hedefine doğru, yeşil ve dijital dönüşüm arasındaki (birinin diğerini güçlendirmesinin beklendiği) sinerjik bir etkileşimden "ikiz geçiş" (twin transition) doğmakta ve giderek daha önem kazandığı kabul edilmektedir. Bu sinerjik potansiyeli ortaya çıkarmak için, "ikiz geçiş" kavramı, dijital teknolojilerden yararlanarak sürdürülebilirliği mümkün kılan ve dijital ilerlemeyi sürdürülebilirlikten yararlanarak yönlendiren, dijital ve yeşil dönüşüm çabaları arasında değer katan ve güçlendirici bir etkileşim olarak kavramsallaştırılmaktadır (Christmann ve diğerleri, 2024, 489). Avrupa Komisyonu'nun Yeşil ve Dijital Bir Geleceğe Doğru: Avrupa Birliği'nde Başarılı İkiz Geçişler İçin Temel Gereksinimler başlıklı raporunda, ikiz geçişin "*sürdürülebilir, adil ve rekabetçi bir gelecek sunmanın temel taşı*" olarak tanımlanmasıyla birlikte söz konusu kavramın popülerlik kazandığı söylenebilmektedir. Raporda ayrıca, ikiz geçişin temel gereksinimleri ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve siyasi olmak üzere beş tematik başlık altında incelenmektedir (Muench ve diğerleri, 2022).

Ekonomik: Elverişli pazarlar yaratmak, pazar oyuncularının çeşitliliğini sağlamak ve iş gücünü gerekli becerilerle donatmak.

Sosyal: Adil bir geçişi sağlamak, değişime toplumsal katılımı artırmak, gizliliği ve etik teknoloji kullanımını güvence altına almak.

Teknolojik: İnovasyon altyapısının uygulanması, teknoloji ekosisteminin oluşturulması, veri erişilebilirliğinin ve güvenliğinin sağlanması.

Çevresel: Geri tepme etkilerinin önlenmesi ve yeşil-dijital teknolojilerin etkisinin azaltılması.

Siyasi: Yeterli standartların uygulanması, politika tutarlılığının sağlanması ve yatırımın yeşil-dijital çözümlere yönlendirilmesi.

Kavram, ana akım söylemde "ikiz dönüşüm" ifadesi ile aynı anlamda kullanılmakta ve literatürde kabul görmektedir (Christmann ve diğerleri, 2024; Graf-Drasch ve diğerleri, 2023; Breiter ve diğerleri, 2024). Her ne kadar "geçiş" ifadesi geniş kapsamlı olsa da, çevresel, ekonomik ve teknolojik boyutlar ekseninde ele alınarak gelişmiş dijital teknolojilerden yararlanarak ekonomiyi karbonsuzlaştırma amaçlanmaktadır. Sürdürülebilir ve döngüsel ekonomi sonuçlarına ulaşmak için gelişmiş dijital teknolojileri (yapay zeka, nesnelerin interneti, büyük veri, katmanlı üretim, bulut bilişim vb.) uygulamalarının bir sonucudur (Bianchini ve diğerleri, 2023, s.878). İkiz geçiş gündemini ilerletmek ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyonlu bir ekonomiye/topluma doğru ilerlemek için gerek ulusal gerekse de küresel ölçekte artan politika çabalarına rağmen, halen dijital inovasyonların sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirilmesinde önemli zorluklarla karşı karşıya olunduğu bilinmektedir. Net bir kavramsallaştırmanın olmamasının yanı sıra, temel başarı faktörlerinin ve ikiz geçiş (veya dönüşümü) gerçekleştirmek için gereken yapılandırılmış bir dizi faaliyetin eksikliği de bu zorluklar arasında sayılabilmektedir (Tabares ve diğerleri, 2025). Bu bağlamda, bahsi geçen

zorluklardan özellikle kavramsallaştırmada netliğin eksikliği ve yeşil ve dijital dönüşüm arasındaki etkileşimin karmaşıklığı, yeni bir araştırma gündemine ihtiyacı doğurmaktadır. Dijital ve yeşil dönüşümlerin entegrasyonunu içeren ikiz geçişin sürdürülebilir ve rekabetçi bir geleceğe ulaşmak için giderek artan önemi göz önünde bulundurularak, bu ihtiyacın değerlendirilmesine yönelik döngüsel ekonomi, kaynak verimliliği, bilgi ve iletişim teknolojileri, yeşil ve dijital dönüşüm çerçevesinde ikiz geçiş/dönüşüm"e dair çalışmaların bibliyometrik analizi mevcut çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

2. Yöntem ve Uygulama

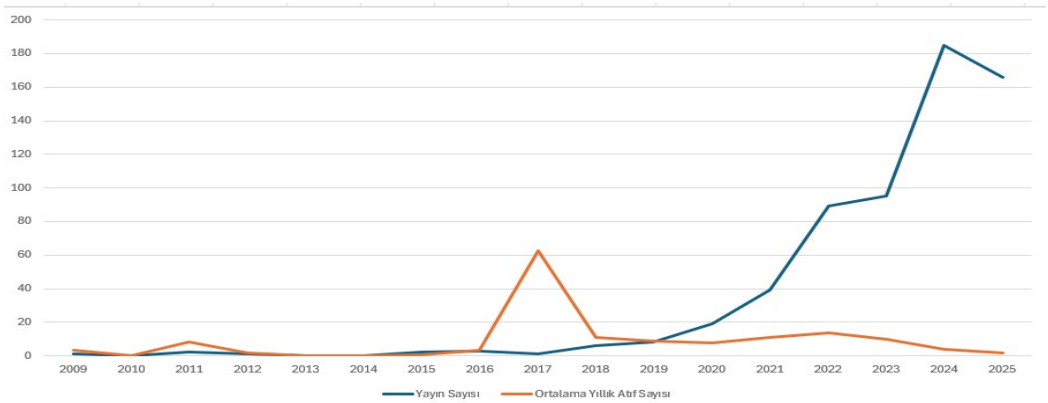
Web of Science veri tabanına dayalı olarak hazırlanan bu çalışmada kullanılan veri seti, 2009–2025 yılları arasını kapsamaktadır. Temel araştırma terimleri "circular economy" (döngüsel ekonomi), "ICT" (bilgi ve iletişim teknolojileri) ve "twin transition" (ikiz geçiş) olarak belirlenmiştir. Çalışmada belge türü olarak yalnızca bilimsel makaleler dikkate alınmış; makale dışındaki diğer yayın türleri araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır. Gerekli filtrelemelerin ardından 617 makaleden oluşan nihai veri setine ulaşılmıştır. Bibliometrix ve VOSviewer yazılımlarıyla yapılan ağ analizleri kapsamında, veri setindeki 227 kaynak detaylı olarak incelenmiştir. Analiz edilen çalışmaların ortalama yaşı 1,77 yıl olarak hesaplanmış; bur bir çalışmaya düşen ortalama atıf sayısı ise 23,12 olarak belirlenmiştir. Toplam kaynakça sayısı 38.580'dir. İncelenen araştırmalarda toplam 2.099 farklı anahtar kelime kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 2.087 farklı yazar yer almakta olup, bu çalışmaların 47'si tek yazarlı yayınlardır. Ortalama olarak her çalışmada 3,84 yazarın ortak olarak görev aldığı tespit edilmiştir. Uluslararası ortak yazarlık oranı %45,54 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, konunun farklı coğrafi ve kurumsal ekosistemlerde eşzamanlı biçimde önem kazandığını; buna karşılık sınırlı sayıdaki tek yazarlı yayınların, alanın kolektif bilgi üretimine dayalı bir araştırma kültürünü benimsediğini göstermektedir (Bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Tanımlayıcı istatistiki göstergeler ve araştırma kriterleri

Veri Tabanı	Web of Science
Veri Hazırlanma Tarihi	16.07.2025
Alan ve Araştırma Terimleri	"circular economy" and "ICT" and twin transition"
Belge Türü	Bilimsel Makaleler
Zaman Kısıtı	2009-2025
Kaynaklar	227
Çalışma Sayısı	617
Ortalama Çalışma Yaşı	1.77
Çalışma Başına Ortalama Alıntılar	23.12
Toplam Kaynakça Sayısı	38580
Anahtar Kelimeler	2099
Yazar	2087
Tek Yazarlı Çalışma Sayısı	47
Çalışma Başına Ortak Yazarlar	3.84
Uluslararası Ortak Yazarlık Yüzdesi	45,54
Kurum Sayısı	1053
Ülke Sayısı	86

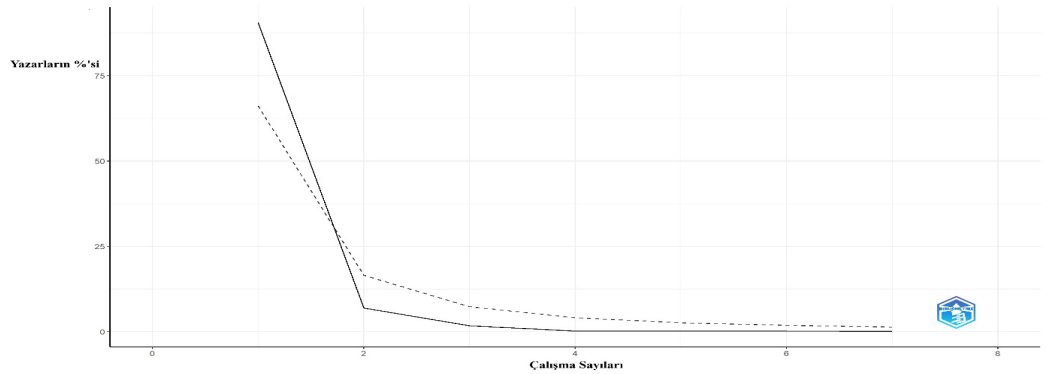
Şekil 1'de literatürde yer alan çalışmaların yıllara göre dağılımı ve bu çalışmaların aldıkları yıllık ortalama atıf sayıları gösterilmektedir. 2009–2016 döneminde hem yayın hacmi hem de makale başına ortalama atıf düzeyi görece durağan seyrederken, 2017'de atıf ortalamasında görülen ani artış literatürde birkaç yüksek etkili çalışmanın katalizör rolü oynadığını göstermektedir. Bu ivme kısa süreli olup 2018'den sonra yerini her yıl artan sayıda yayınla istikrarlı fakat düşük atıf ortalamalarına bırakmıştır. 2020 sonrasında yıllık yayın sayısındaki artış (2024'te >180 makale) "ikiz geçiş" temasına yönelik araştırma ilgisinin hızla derinleştiğine işaret ederken, aynı dönemde ortalama atıf sayısının düşüş eğiliminde kalması, alandaki bilgi üretiminin nicel olarak büyümesine rağmen henüz

karşılaştırılabilir oranda etki yaratamadığını ortaya koymaktadır. Bu asimetrik gelişim, yayın sayısının hızlı artışıyla oluşan "genç literatür" etkisi ve atıf birikiminin zaman gecikmesine bağlı olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla ileriye dönük değerlendirmelerde, son yıllarda üretilen çalışmaların atıf performansının olgunlaşması için ek süre gerekeceği dikkate alınmalıdır.



Şekil 1. Çalışmaların yıllara göre dağılımı ve aldıkları ortalama atıf sayıları

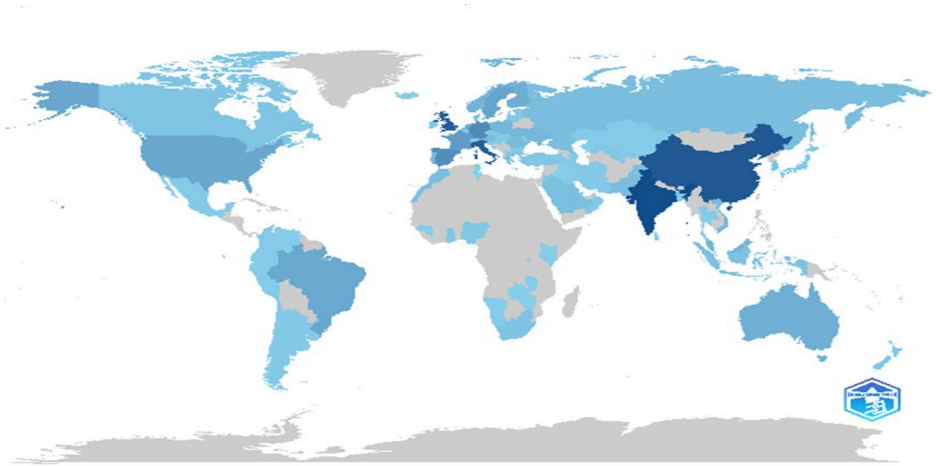
Şekil 2, Lotka'nın üretkenlik yasası ile yazarların üretkenlikleri görselleştirmektedir. Şekil 2'deki eğilim, alan yazındaki tipik "ters-kuvvet" dağılımını doğrulamaktadır: yazarların yaklaşık dörtte üçünden fazlası yalnızca bir çalışma üretmiş, iki çalışması bulunan yazar oranı hızla %10–15 bandına gerilemiş, üç ve daha fazla yayına sahip araştırmacıların toplam içindeki payı ise %5'in altına düşmüştür. Eğrinin ilk iki noktadan sonra log-log eksende neredeyse doğrusal biçimde yataylaşması, üretken yazar sayısının yayın sayısının karesiyle ters orantılı olduğunu öne süren Lotka parametresinin ($\beta \approx 2$) makul olduğunu göstermektedir. Şekil 2'den yola çıkarak alanın bilgi üretiminin büyük ölçüde tek-atımlık katkılarla beslendiğini, yüksek üretkenliğe sahip dar bir çekirdek grubun ise entelektüel sürekliliği devam ettirdiğini ortaya koymaktadır; dolayısıyla gelecek iş birliği stratejileri bu çekirdek grubun ağ merkeziyetinden yararlanarak yeni araştırmacıların yayın verimliliğini artırmaya odaklanabileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Lotka yasasına göre yazarların üretkenlikleri

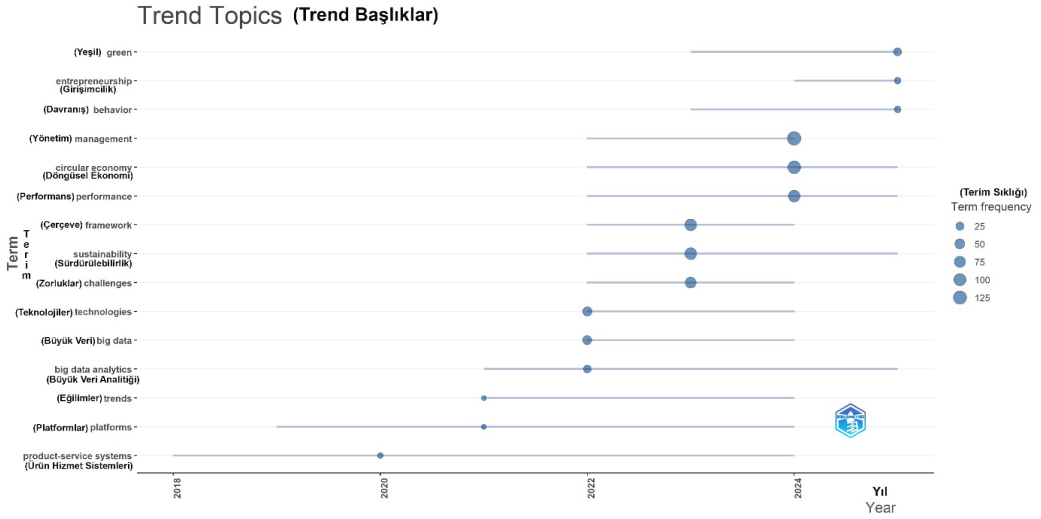
Şekil 3, ICT, döngüsel ekonomi ve "ikiz geçiş" ekseninde 2009-2025 dönemini kapsayan 617 makalelik veri seti, ülke düzeyinde belirgin bir "çok merkezli üretim" modeli ortaya koymaktadır. Yayın sayısına göre ilk beş sırayı Hindistan (241 makale), Çin (219), Birleşik Krallık (210), İtalya (205) ve Almanya (122) paylaşmakta; bu dağılım, Asya'nın iki büyük ekonomisinin Avrupa'daki yüksek Ar-Ge yoğunluklu ülkelerle birlikte lider konumda olduğunu göstermektedir. Orta yoğunluk kümesinde yer alan İspanya (115), Fransa (88), İsveç (74) ve ABD (69) gibi ülkeler, toplam üretimin yaklaşık

dörtte birini oluşturarak kritik "köprü" işlevi görürken; Brezilya (67), Hollanda (60) ve Finlandiya (56) gibi daha küçük fakat uzmanlaşmış akademik ekosistemler, alana nitelikli katkı sağlayan niş tematik odaklarla öne çıkmaktadır. Yayın sayısı eşikleri beş makale ve üzeri olarak alındığında, 49 ülke çekirdek ağ içinde kalmakta; bu durum disiplinler arası literatürün küresel ölçekte yaygın ancak etki bakımından yoğunlaştığı bir yapı sergilediğini teyit etmektedir. Ülkelerin bilimsel üretim haritası hem Avrupa-Asya ekseninde yüksek hacimli merkezlerin hem de Latin Amerika, Okyanusya ve Afrika'dan yükselen katılımcıların yer aldığı çok katmanlı bir iş birliği zemini ortaya koymakta; bu da "yeşil ve dijital" dönüşüm araştırmalarının giderek daha kapsayıcı ve çok-kutuplu bir karakter benimsediğine işaret etmektedir.



Şekil 3. Ülkelerin bilimsel üretimi

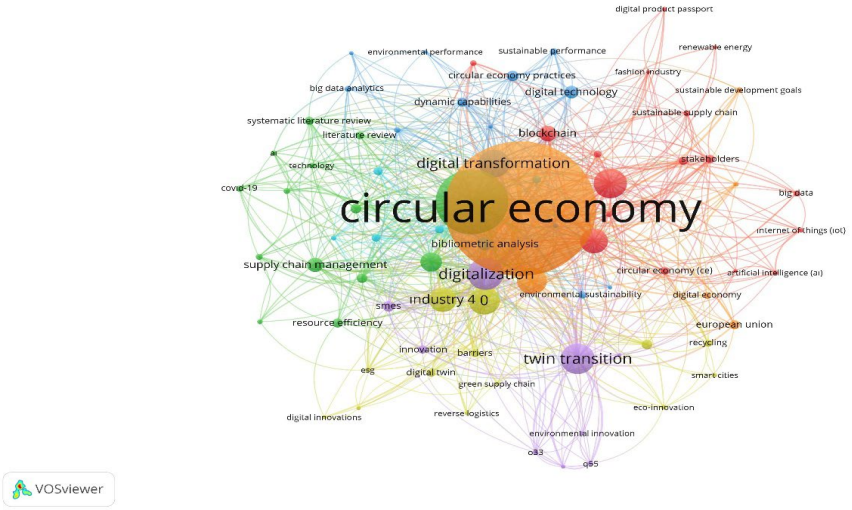
Şekil 4'te yer alan trend konular; bilgi ve iletişim teknolojileri, döngüsel ekonomi ve ikiz geçiş alanlarında 2018–2025 döneminde öne çıkan tematik odakların zamansal ve niceliksel gelişimi yansıtmaktadır. Şekilde yer alan "management-yönetim", "circular economy-döngüsel ekonomi" ve "performance-performans" gibi yüksek frekanslı anahtar kelimeler, konunun literatürdeki altyapısının devamlılığını ve teorik merkeziliğini göstermektedir. Diğer yandan, "green-yeşil", "entrepreneurship-girişimcilik" ve "behavior-davranış" gibi yakın dönemde ivme kazanan temalar, literatürdeki yeni gündem maddelerinin şekillendiğine işaret etnektedir.



Şekil 4. Trend konular

Araştırma kapsamında incelenen literatür, sürdürülebilirlik, inovasyon, çerçeve kuramları ve teknolojik dönüşüm temalarının giderek artan bir yaygınlık kazandığını ortaya koymaktadır. Özellikle 2020 sonrası dönemde "döngüsel ekonomi", "sürdürülebilirlik", "büyük veri analitiği", "teknolojiler" ve "çerçeve" gibi terimlerin hem frekans hem de yayıldığı yıl aralığının genişlemesi, dijitalleşme ve yeşil dönüşümün "ikiz geçiş" kavramı etrafında bütünleştiğinin bir göstergesi olarak dikkati çekmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, literatürde temel kavramlar etrafında istikrar sağlandığını, ancak iş çevikliği, girişimcilik ve sürdürülebilir davranış gibi yeni ve yükselişteki araştırma eksenlerinin de ilerleyen yıllarda daha fazla önem kazanacağını göstermektedir.

Şekil 5'te anahtar kelime kümeleri aralarındaki bağlantı gücü incelenmektedir. Anahtar kelimeler ağ haritası, bilgi ve iletişim teknolojileri–döngüsel ekonomi–ikiz geçiş literatüründe 79 düğümün yedi tematik kümeye ayrıldığını ortaya koymaktadır. Bu yapı, orta ölçekli bibliyometrik çalışmalar için önerilen 50–150 düğümlük "çekirdek harita" aralığına denk düşerek hem kapsamlı hem de yönetilebilir bir ağ sunmaktadır. Maksimum olası 3.081 kenarın %22,5'inin (693 bağlantı) gerçeklenmiş olması, literatürdeki kavramlar arasında yüksek düzeyde referans ilişkisi bulunduğunu ve bu nedenle ağın "yoğun" bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Toplam bağlantı gücünün 1.417 olması, her düğümün ortalama 18 güçlü bağ kurduğunu ifade etmektedir; bu değer, anahtar kelimeler arasındaki ilişkilerin istatistiksel olarak tutarlı ve yorumlanabilir olduğunu göstermektedir. Ağ yapısı hem kapsayıcılığı hem de okunabilirliği dengeli biçimde sağlamaktadır.



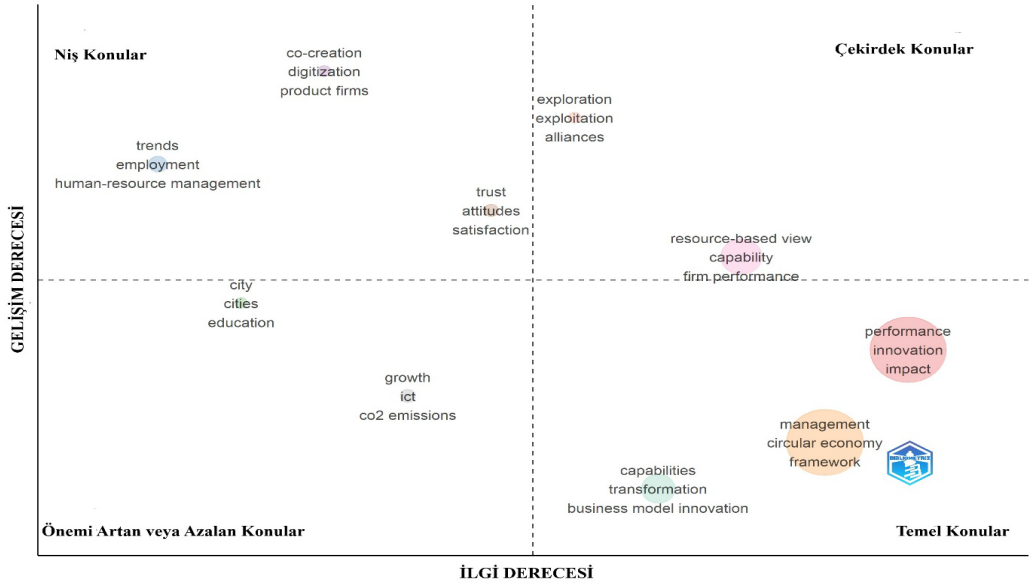
Şekil 5. Anahtar kelimeler ağ haritası

Yedi tematik kümenin varlığı, literatürdeki içeriksel çeşitliliği yansıtırken, kümeler arası yüksek bağlantı yoğunluğu, araştırma sahasının bütünleşik bir bilgi tabanına sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle döngüsel ekonomi kavramının Endüstri 4.0, dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik gibi temalarla "köprü" düğümler aracılığıyla sıkı biçimde örüldüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, disiplinler arası sinerjinin literatürde yerleşik hâle geldiğini ve tematik entegrasyonun güçlü olduğunu yansıtmaktadır.

Bununla birlikte, küme sayısı ile bağ gücü arasındaki denge, literatürde henüz yeterince açıklığa kavuşmamış niş alanların (örneğin dijital ürün pasaportu, çevresel yenilik) varlığını işaret etmektedir. Bu durum, gelecekteki araştırmalar için düşük frekanslı veya yeni düğümlerin izlenerek ağın dinamiklerinin test edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece literatürün tematik genişlemesi ve metodolojik derinleşmesi desteklenebilir.

Şekil 6'da anahtar kelime kullanımı açısından konu dağılımını gösteren tematik harita yer almaktadır. Cobo ve diğerlerinin (2011) gelişim-ilgi derecesi matrisine dayalı

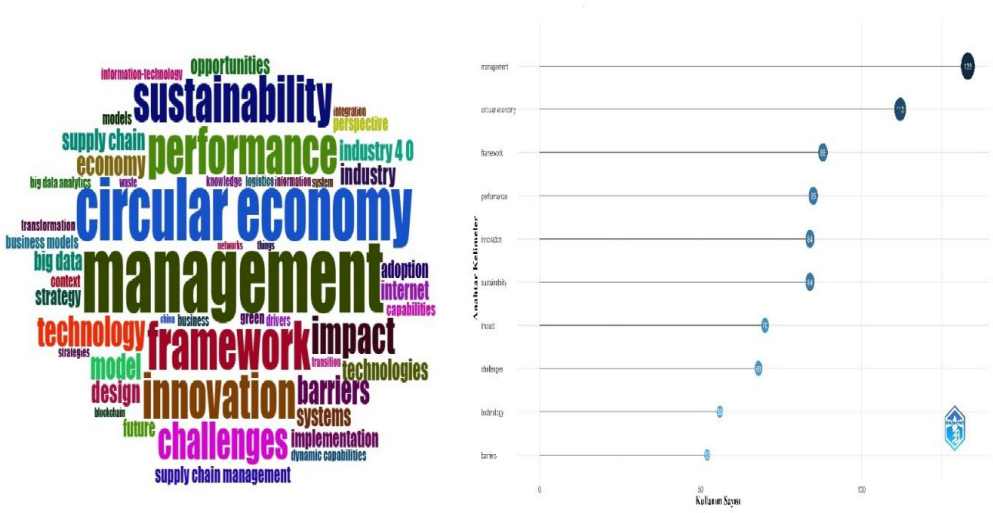
sınıflandırmasına göre, çekirdek konular kümesinde yer alan yüksek merkezilik ve yoğunluğa sahip "performance–innovation–impact (performans-yenilik-etki)" ile "management–circular economy–framework (yönetim-döngüsel ekonomi-çerçeve)" kümelerinin alanın entelektüel çekirdeğini oluşturduğunu; bu temaların BİT destekli döngüsel ekonomi literatüründe hem teorik hem uygulamalı tartışmaları sürüklediğini göstermektedir. Haritanın alt-sağ çeyreğindeki "capabilities–transformation–business model innovation" kümesi, yüksek merkeziliğe karşın görece düşük yoğunlukta bulunarak henüz tam olgunlaşmamış ama gelecek araştırmalar için temel gelişen bir eksen sunmaktadır. Sol-alt çeyrekteki "growth–ICT–CO_2 emissions (büyüme-BİT-kardondioksit emisyonları)" ve "city–cities–education (şehir-şehirler-eğitim)" kümeleri düşük merkezilikleriyle önemi artan veya azalan konuları temsil ederken, üst-sol çeyrekteki "trends–employment–human-resource management (trendler-istihdam-insan kaynakları yönetimi)" ve "co-creation–digitilization–product firms (ortak üretim-dijitalleşme-üretici firmalar" gruplarının yüksek yoğunluk fakat düşük merkezilikleri, bu alanların niş ve uzmanlaşmış kalmakla birlikte mevcut bilgi yapısını besleyen olgun mikro literatürler olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Merkez bölgede konumlanan "resource-based view–capability–firm performance (kaynak temelli görüş-kapasite-işletme performansı)" ve "trust–attitudes–satisfaction (güven-tutumlar-memnuniyet)" terimleri, çekirdek ve niş kümeler arasında bir köprü işlevi görmekte, disiplinler arası entegrasyonu güçlendirerek BİT ile yeşil dönüşümün kesiştiği özgün araştırma sorularını destekleyen kavramsal bir çerçeve oluşturmaktadır.



Şekil 6. Anahtar kelime kullanımı açısından konu dağılımı

Şekil 7'de en fazla kullanılan anahtar kelimeler ve kelime bulutu yer almaktadır. En yüksek sıklığa sahip "management-yönetim" (133 kez) ve "circular economy-döngüsel ekonomi" (112 kez) kavramları, araştırma odağının yönetişim-temelli döngüsel stratejilerin tasarımına yoğunlaştığını gösterirken; "framework-çerçeve" (88) ve "performance-performans" (85) kavramları, alanın kuramsal modelleme ve çıktı ölçümü boyutunu vurgulamaktadır. Benzer düzeyde tekrarlanan "innovation-yenilik" (84) ve "technology-teknoloji" (58) anahtar kelimeleri, ikiz dönüşümün dijital bileşeninin çevresel hedeflerle entegrasyonuna ilişkin metodolojik arayışlarına işaret etmektedir. "sustainability-sürdürülebilirlik" (84) ile "impact-etki" (70) kelimelerinin görece yüksek görünürlüğü, analitik çalışmaların sürdürülebilirlik ölçütleri üzerinden etki değerlendirmesine odaklandığını göstermektedir. "challenges-zorluklar" (68) ve "barriers-engeller" (≈50) sözcüklerinin belirginliği, uygulamadaki engellerin hâlen

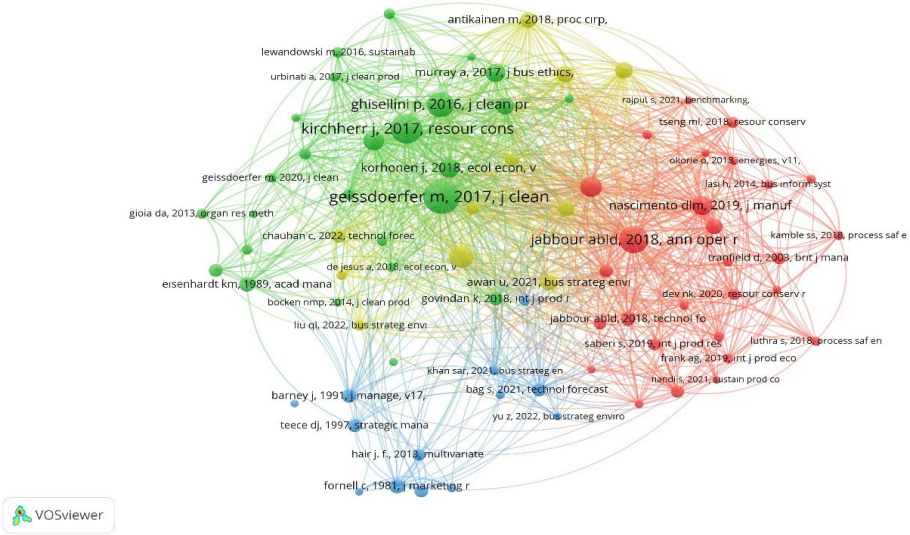
literatürün önemli bir sorgulama alanı olduğunu yansıtmaktadır. Çalışma alanının merkezine yerleşen bu kümeler etrafında dağılan "supply chain-tedarik zinciri", "big data-büyük veri", "business model-iş modeli" gibi kelimelerin daha küçük puntolarla temsil edilmesi ise, alanın tedarik zinciri yönetimi ve veri analitiği gibi alt temalarda genişlemeye devam ettiğini, ancak bu konuların henüz çekirdek kavramlar kadar merkezî olmadığını göstermektedir. Kelime bulutu haritası, literatürde yönetişim ve performans eksenlerinin güçlü, teknolojik yenilik ve sürdürülebilirlik boyutlarının ise hızla yükselişte olduğunu; buna karşın uygulama güçlüklerinin araştırma gündeminde belirgin biçimde varlığını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 7. En fazla kullanılan anahtar kelimeler ve kelime bulutu

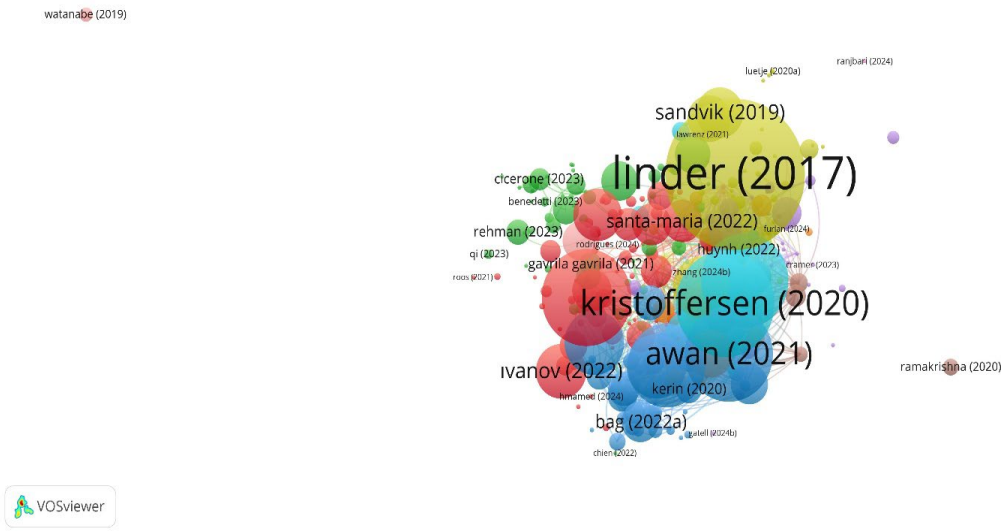
Şekil 8'de ortak atıf ağı haritası yer almaktadır. Ortak atıf ağı, 78 çalışmadan oluşan dört kümeli bir yapı sergilemektedir. Toplam 2704 kenarın olasılık dâhilindeki 3003 bağlantının yaklaşık %90'ının gerçekleşmesi, literatürün son derece yoğun bir entelektüel çekirdeğe sahip olduğunu göstermektedir. Küme içi bağlantıların baskınlığı, döngüsel ekonomi-dijital dönüşüm ekseninde sıklıkla birlikte atıf alan kuramsal çalışmaların yakınsamasına işaret ederken; 13312'lik toplam bağlantı gücü, her düğümün ortalama 171 kuvvetli atıf ilişkisi kurduğunu ortaya koymaktadır. Bu değer, ağın modülerlik katsayısının düşmesine rağmen (Q <0,3) kümeler arası bilgi alışverişinin yüksek olduğu, dolayısıyla disiplinler arası bir yapının meydana geldiği anlamına gelmektedir.

Şekil 8; bilgi ve iletişim teknolojileri, ikiz geçiş ile döngüsel ekonomi temalarında en az beş atıf almış 328 belgenin bibliyografik eşleşme ağını VOSviewer aracı ile görselleştirmektedir. Toplam 17414 bağlantı ve 45073 bağlantı gücü, incelenen literatürün yüksek düzeyde bütünleşmiş ve etkileşimli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. Ortak atıf/atıf yapılan kaynaklar ağ haritası

Dört kümenin tematik dağılımı incelendiğinde; birinci küme döngüsel ekonomi kavramının endüstriyel ekoloji ve kaynak verimliliği literatürüyle birleştiği klasik kaynakları toplarken, ikinci kümeyi "bilgi ve iletişim teknolojileri" sürdürülebilir üretim süreçlerine entegrasyonunu tartışan çalışmalar oluşturmaktadır. Üçüncü küme, "ikiz geçiş" söylemini politika perspektifiyle ele alan enerji verimliliği ve dijital altyapı politikası metinlerine odaklanmakta; dördüncü küme ise dijital ikiz, blok zincir ve büyük veri analitiği gibi yeni teknolojilerin döngüsel iş modellerini destekleyici rolünü betimleyen ampirik araştırmaları barındırmaktadır. Bu yapı, alanın kuramsal temellerinin görece olgunlaştığını, ancak özellikle yeni nesil dijital çözümlerin çevresel kazanımlar üzerindeki somut etkilerine dair ampirik kanıtların halen genişlemekte olduğunu göstermekte; böylece gelecek araştırmalar için teknoloji-odaklı alt alanlarda derinlemesine inceleme fırsatları sunmaktadır.

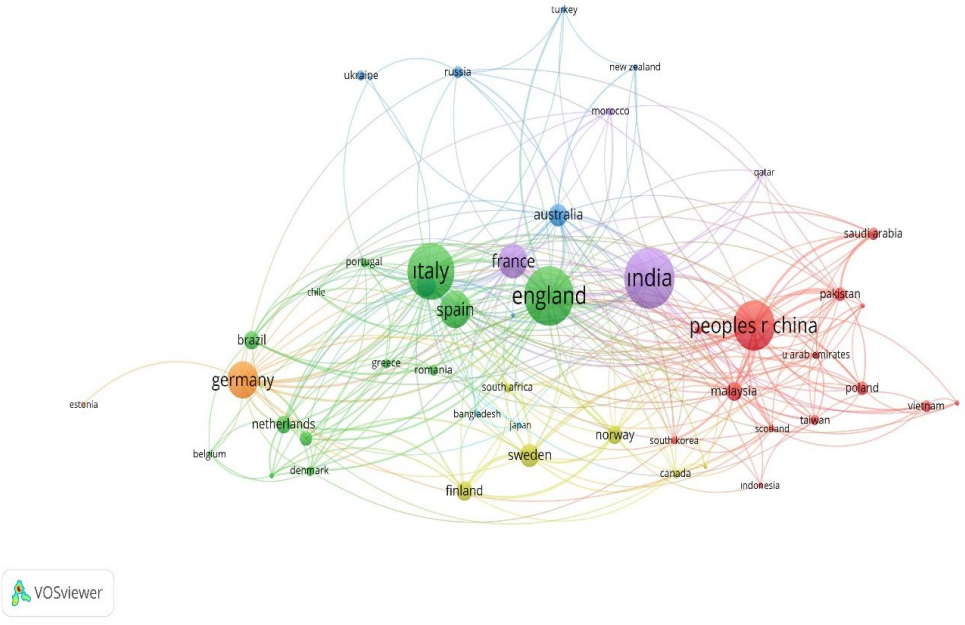


Şekil 9. Belgelere dayalı bibliyografik eşleşme analizi

Bibliyografik eşleşme haritasında, öne çıkan Linder ve Williander (2017), Kristoffersen ve diğerleri (2020), Sandvik (2019) ve Awan ve diğerleri (2021) gibi çalışmalar, döngüsel ekonomi ile dijitalleşmenin (örn. Endüstri 4.0, büyük veri, blok

zincir) kesişim noktasındaki kuramsal eksenleri temsil etmektedir; kümelerin renk dağılımı ise bu ana eksenin etrafında tedarik zinciri yönetimi, iş modeli yeniliği, sürdürülebilir üretim ve politika odaklı alt sahaların yer aldığını göstermektedir. Merkezdeki kümelerin birbirine sıkı bağlanması, disiplinler arası bilgi alışverişinin yerleşik hâle geldiğini; görüntünün sol üst köşesinde Watanabe (2019) gibi seyrek bağlı outlier belgelerin ise henüz ana gövdeyle tam bütünleşmemiş, niş veya erken aşamadaki temaları yansıttığını düşündürmektedir. Bu yapı, alanın derinleşmeye devam eden bir çekirdek literatür etrafında olgunlaştığını, buna karşın az temsil edilen kolların (ör. regülasyon odaklı çalışmalar veya yeni dijital pasaport uygulamaları) gelecekteki araştırmalar için fırsat barındırdığını ortaya koymaktadır.

Şekil 10'da ülkeler arası ortak yazarlık ağ haritası yer almaktadır. 49 ülke düğümünün yer aldığı ortak yazarlık ağı en az 5 belge ve 5 atıftan oluşmaktadır. Toplam olası kenarların yaklaşık %25'inin gerçekleştiği 299 bağlantı ve 572 toplam bağlantı gücü ile orta yoğunlukta bir yapı sergilemektedir. Ortalama bağlantı sayısı ve bağlantı gücü birlikte değerlendirildiğinde, ağın hem üretkenlik hem de etki bakımından "çekirdek" ülkeleri filtrelediği görülmektedir; 1. Haritada düğüm boyutu ve kenar kalınlıklarının öne çıkardığı Çin, İngiltere, İtalya, Hindistan ve Almanya yüksek merkezilik katsayılarına sahip olup çok-uluslu makaleler aracılığıyla kümeler arası bilgi akışını yönlendiren "broker" pozisyonundadır. Bu durum, ulusal Ar-Ge yatırımlarının uluslararası görünürlüğe dönüştüğü gelişmiş ekosistemleri işaret ederken, ağın modülerliğinin (7 küme) korunduğunu ve disiplinler arası iş-birliği temalarının bölgesel odaklara göre örgütlendiğini göstermektedir.



Şekil 10. Ülkeler arası ortak yazarlık ağ haritası

Renk temelli kümeler coğrafi-tematik segmentasyonu yansıtır; yeşil Avrupa bloğu (İtalya, İspanya, Fransa) döngüsel ekonomi ve endüstriyel simbiyoz literatürünü; kırmızı Doğu-Asya bloğu (Çin, Malezya, Vietnam) iklim akıllı üretim ve büyük veri uygulamalarını; mor Hindistan merkezli küme düşük karbonlu tedarik zincirleri ile dijital sağlık çözümlerini; mavi Avustralya-Yeni Zelanda ekseni kaynak verimliliği ve enerji dönüşümünü; turuncu Almanya odaklı küme Endüstri 4.0 standartlaştırma çalışmalarını öne çıkarmaktadır. Ülkeler arasında köprü görevi gören Hollanda, Norveç ve İsveç, yüksek betweenness değerleri ile Avrupa-Asya-Okyanusya alt ağlarını birbirine bağlayarak bilgi yayılımını hızlandırmaktadır. Katılımcıların ağırlıklı merkez ülkeler etrafında bölgesel uzmanlık cepheleri oluştururken, gelişmekte olan katılımcıların (Brezilya, Güney Afrika) etki-odaklı iş

birlikleri sayesinde küresel literatüre entegrasyon olasılığının koruduğunu yansıtmaktadır.

3. Sonuç ve Öneriler

2009–2025 döneminde Web of Science veri tabanından elde edilen bulgular, döngüsel ekonomi, bilgi ve iletişim teknolojileri ve ikiz geçiş konularının kesişiminde yer alan akademik araştırma alanının dinamik ve çok boyutlu bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Analiz edilen 617 bilimsel makalenin ortalama yaşının 1,77 yıl olması, bu alanın güncel araştırmaların gündeminde yakın dönemde merkezi önem kazandığını göstermektedir. Makale başına 23,12 atıf ortalaması ise konunun yalnızca akademik camia tarafından değil, politika yapıcılar ve diğer aktörler tarafından da yoğun ilgi gördüğünü yansıtmaktadır.

Yazarlık dinamikleri açısından incelenen Lotka yasasının doğruladığı bulgular, alanın bilgi üretim yapısında karakteristik bir asimetri bulunduğunu işaret etmektedir. Yazarların yaklaşık dörtte üçünden fazlasının yalnızca tek yayın üretmiş olması, bilgi üretiminin büyük ölçüde tekil katkılarla beslendiğini gösterirken, sürekli üretkenliğe sahip çekirdek araştırmacı grubunun sayısal azlığına karşın entelektüel sürekliliğin korunmasında kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu durum, alanın teorik olgunlaşması açısından hem bir fırsat hem de risk barındırmaktadır; zira çekirdek grubun ağ merkeziyeti gelecekteki bilgi akışını kolaylaştırabilecekken, aynı zamanda bilgi üretiminin sınırlı sayıda araştırmacıya bağımlılığı da sürmektedir.

Coğrafi ve kurumsal dağılım perspektifinden değerlendirildiğinde, 86 ülke ve 1053 kurumun temsil edildiği uluslararası iş birliği ağı, %45,54'lük ortak yazarlık oranıyla küresel ölçekte çok merkezli bir araştırma ekosistemi oluşturduğunu göstermektedir. Bu çok merkezli yapı, özellikle dijital ve yeşil dönüşümün eş zamanlı olarak ele alındığı "ikiz geçiş" kavramının farklı coğrafyalardan gelen perspektif ve deneyimlerin sentezine dayandığını düşündürmektedir.

Literatürdeki boşluklar ve eleştiriler dikkate alındığında, akademik üretimin büyük ölçüde teorik kavramsallaştırmalar ve teknolojik çözüm önerileri üzerine yoğunlaştığı; buna karşın uygulama düzeyinde ve politika entegrasyonunda belirgin eksikliklerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum, "döngüsel ekonomi–bilgi ve iletişim teknolojileri–ikiz geçiş" eksenindeki araştırmaların henüz paradigma öncesi bir aşamada olduğunu ve kavramsal düzeyde tartışılan sinerjilerin ampirik kanıtlarla desteklenmesine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Özellikle dijital teknolojilerin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisinin hem olumlu hem de olumsuz yönleriyle ele alınması gerekliliği, literatürde giderek daha fazla vurgulanmaktadır.

Gelecek araştırma yönleri açısından, alan yazında üç temel eksende daha derinlemesine çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

- İlk olarak, dijital teknolojilerin döngüsel ekonomi uygulamalarına katkısının sektörel düzeyde ampirik analizlerle ortaya konması gerekmektedir.
- İkinci olarak, ikiz dönüşüm sürecindeki sinerjilerin ve çelişkilerin sistematik biçimde değerlendirilmesi için çok düzeyli analiz yaklaşımları benimsenmelidir.
- Üçüncü olarak, politika entegrasyonu ve uygulama mekanizmalarının etkinliğini ölçebilecek göstergeler geliştirilerek, bu göstergelerin uzun vadeli etkilerini izlemeye yönelik çalışmalar tasarlanmalıdır.

Bu bibliyometrik analiz bulguları ışığında, akademik araştırma gündeminin gelecekte daha uygulama odaklı, çok ortaklı ve disiplinler arası iş birliğine dayalı bir yapıya evirilmesi beklenmektedir. Özellikle, sürdürülebilirlik geçişinin hızlandırılması için dijital teknolojilerin stratejik kullanımının optimizasyonu, alanın kuramsal temellerinin güçlendirilmesinin yanı sıra pratik uygulamaların da sistematik olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, gelecekteki araştırmalar yalnızca teknolojik olanakları keşfetmekle kalmayıp, aynı zamanda bu imkânların toplumsal, ekonomik ve çevresel etkilerini bütüncül biçimde analiz etmeyi amaçlamalıdır.

Kaynakça

Aria, M.; Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: an r-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959-975

Askar, R.; Karaca, F.; Salles, A.; Lukyanenko, A.; Cervantes Puma, G. C.; Tavares, V.; Bragança, L. (2024). Driving the Built Environment Twin Transition: Synergising Circular Economy and Digital Tools. In *Circular Economy Design and Management in the Built Environment: A Critical Review of the State of the Art* (pp. 459-505). Cham: Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-73490-8_17

Awan, U.; Sroufe, R.; Shahbaz, M. (2021). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, *30*(4), 2038-2060.

Baporikar, N.; Baragde, D. (2021). ICT Sector Perspective for Circular Economy in the Digital Era. *International Journal of Innovation in the Digital Economy (IJIDE)*, *12*(1), 54-71.

Bianchini, S.; Damioli, G.; Ghisetti, C. (2023). The environmental effects of the "twin" green and digital transition in European regions. *Environmental and Resource Economics*, *84*(4), 877-918. https://doi.org/10.1007/s10640-022-00741-7

Breiter, K.; Crome, C.; Oberländer, A.M.; Schnaak, F. (2024). Dynamic Capabilities for the Twin Transformation Climb: A Capability Maturity Model. *Information Systems Frontiers, 26*, 2205–2226. https://doi.org/10.1007/s10796-024-10520-y

Boulding, K.E. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. In H. Jarrett (ed.) 1966. *Environmental Quality in a Growing Economy*, pp. 3-14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press. Erişim adresi: https://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/thoc/readings/boulding_spaceshipearth.pdf

Cardozo-Munar, C. E.; Monroy-Perdomo, L.; Flórez-Forero, D. F.; Rodríguez-Bolívar, L. M.; Alarcón-Pinilla, Y. M. (2023). Conceptos de economía circular aplicados al sector agropecuario cundiboyacense. Saponina en la provincia de Ubaté. *Universidad y Sociedad*, 15(1), 269-276.

Christmann, A. S.; Crome, C.; Graf-Drasch, V.; Oberländer, A. M.; Schmidt, L. (2024). The twin transformation butterfly: Capabilities for an integrated digital and sustainability transformation. *Business & Information Systems Engineering*, *66*(4), 489-505. https://doi.org/10.1007/s12599-023-00847-2

Cobo, M. J.; López-Herrera, A. G.; Herrera-Viedma, E.; Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, *62*(7), 1382-1402.

Demestichas, K.; Daskalakis, E. (2020). Information and communication technology solutions for the circular economy. *Sustainability*, *12*(18), 7272.

European Commission (2020a). Europe investing in digital: the Digital Europe Programme. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/europe-investing-digital-digital-europe-programme

European Commission (2020b). Science, research and innovation performance of the EU, 2020 (SRIP). A fair, green and digital Europe. Erişim adresi: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/science-research-and-innovation-performance-eu-2020_en

European Commission (2021). 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade. COM(2021) 118 final. Erişim adresi: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118

European Commission (2025a). Digital Transition. Erişim adresi: https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/digital-transition_en

European Commission (2025b). Clean Industrial Deal. Erişim adresi: https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en

Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N. M.; Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757-768.

Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11-32.

Graf-Drasch, V.; Kauffeld, L.; Kempf, L.; Oberländer, A. M.; Teuchert, A. (2023). Driving twin transformation-the interplay of digital transformation and sustainability transformation. Erişim adresi: https://aisel.aisnet.org/ecis2023_rp/255

Kristoffersen, E.; Blomsma, F.; Mikalef, P.; Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, *120*, 241-261.

Lazarevic, D.; Valve, H. (2017). Narrating expectations for the circular economy: Towards a common and contested European transition. *Energy Research & Social Science*, *31*, 60-69.

Linder, M.; Williander, M. (2017). Circular business model innovation: inherent uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182-196.

Melo Ribeiro, H. C.; Saraiva de Souza, M. T. (2022). Circular economy and tourism: scientific production in the light of social network analysis. *Estudios Gerenciales*, *38*(164), 385-402.

Muench, S.; Stoermer, E.; Jensen, K.; Asikainen, T.; Salvi, M.; Scapolo, F. (2022). Towards a green and digital future, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Erişim adresi: https://data.europa.eu/doi/10.2760/977331,JRC129319. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319

Pearce, D. W.; Turner, R. K. (1989). Economics of natural resources and the environment. Johns Hopkins University Press.

Tabares, S.; Parida, V.; Chirumalla, K. (2025). Twin transition in industrial organizations: Conceptualization, implementation framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, *213*, 123995.

Van Eck, N. J.; Waltman, L. (2010). Software survey: vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, *84*(2), 523-538.

Çıkar Çatışması: Yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

Etik Onay: Yoktur.

Yazar Katkısı: Süha Çelikkaya (%50), Aykut Sezgin (%25), Canan Şentürk (%25)

Conflict of Interest: None.

Funding: None.

Ethical Approval: None.

Author Contributions: Süha Çelikkaya (%50), Aykut Sezgin (%25), Canan Şentürk (%25)

A Bibliometric Analysis on Circular Economy, Information and Communication Technologies, and the Twin Transition

Süha ÇELİKKAYA & Aykut SEZGİN & Canan ŞENTÜRK

Extended Abstract

The concept of the circular economy has emerged as a novel business paradigm that advocates for the more effective, balanced, and equitable use of resources, thereby significantly contributing to sustainable development. Fundamentally, it represents a comprehensive system aiming to optimally process waste and outputs throughout the entire production and consumption cycle, reintegrating reusable materials into the economy and minimizing environmental damage. The roots of this concept rely on closed-loop economic systems where everything serves as an input for something else, shifting away from linear models. Parallel to this, the sustainability or green transition emphasizes a fair and inclusive shift involving climate mitigation, environmental cost accounting, and the preservation of biodiversity. On the technological front, Information and Communication Technologies (ICT) play a pivotal role by facilitating the implementation of circular economy models through advanced data collection, analysis, and sharing. This digital transformation, further accelerated by the Industry 5.0 paradigm, offers significant growth potential and operational efficiency, driving the shift from product-centric to service-based business models.

The simultaneous realization of these green and digital transformations is conceptualized as the "twin transition". The twin transition is recognized as a synergistic interaction where digital technologies enable sustainability, and sustainability goals guide digital advancements, creating a mutually reinforcing relationship. Despite its growing prominence in policy frameworks—such as the European Green Deal, the 2030 Digital Compass, and the Clean Industrial Deal—the academic literature faces challenges regarding conceptual clarity and the structured activities required for successful implementation. Addressing these critical gaps, this study provides a comprehensive bibliometric analysis of the literature at the intersection of the circular economy, ICT, and the twin transition to reveal the current state of research and to guide future academic endeavors.

To map the intellectual structure and evolutionary dynamics of this intersection, a bibliometric analysis has been employed based on data systematically extracted from the Web of Science (WoS) database. The temporal scope of the dataset is defined to cover the period from 2009 to 2025. In the search strategy, a combination of specific core terms—namely "circular economy," "ICT," and "twin transition"—has been utilized. To ensure the academic rigor of the analyzed documents, the document type has been strictly limited to scientific articles, while other publication types have been intentionally excluded. Through the initial retrieval and subsequent filtering processes, a final dataset comprising 617 scientific articles has been obtained.

The analytical phase has been conducted using two prominent science mapping software tools, Bibliometrix and VOSviewer, and detailed network analyses have been performed on 227 sources. It has been determined that the dataset encompasses contributions from 2,087 authors across 1,053 institutions and 86 countries, generating a total of 2,099 distinct keywords and 38,580 cited references. Notably, the average age of the documents has been calculated as just 1.77 years, indicating a highly contemporary and rapidly evolving research domain, while the average number of citations per article has been identified as 23.12. Furthermore, a substantial international co-authorship rate of 45.54% and an average of 3.84 co-authors per document have been revealed, reflecting the global and collaborative nature of knowledge production in this field. Finally, only 47 articles within the entire dataset have been reported as single-authored.

The bibliometric findings reveal several critical insights into the temporal, spatial, and thematic evolution of the twin transition literature. Temporally, between 2009 and 2016, publication volume and average citations remained relatively stagnant. However, a noticeable catalyst effect occurred around 2017 with a sudden spike in citations, followed by a sharp and steady increase in publication volume post-2020, with the year 2024 exceeding 180 published articles. This surge signifies a rapidly deepening academic interest, though the relatively lower recent citation averages primarily reflect the "young literature" effect. In terms of authorship

productivity, the analysis confirms Lotka's Law, displaying a typical inverse-square distribution ($\beta \approx 2$) where over three-quarters of the authors contributed only a single paper, while a very narrow core group of highly prolific researchers sustains the intellectual continuity of the field. The near-linear flattening of the Lotka curve on a log-log scale further corroborates that the $\beta \approx 2$ parameter is robust for this dataset.

Geographically, scientific production exhibits a multi-centric model led jointly by emerging and developed economies. India (241 articles), China (219), the United Kingdom (210), Italy (205), and Germany (122) form the top tier in terms of publication volume. The co-authorship network, comprising 49 countries with a minimum threshold of five documents and five citations, reveals seven distinct geographic-thematic clusters: the green European bloc (Italy, Spain, France) centered on circular economy and industrial symbiosis literature; the red East-Asian bloc (China, Malaysia, Vietnam) focused on climate-smart manufacturing and big data applications; the purple India-centered cluster addressing low-carbon supply chains and digital health solutions; the blue Australia-New Zealand axis specializing in resource efficiency and energy transition; and the orange Germany-focused cluster advancing Industry 4.0 standardization research. Bridge nations such as the Netherlands, Norway, and Sweden—exhibiting high betweenness centrality values—accelerate knowledge diffusion by connecting the European, Asian, and Oceanian sub-networks. The co-authorship network analysis highlights these "broker" nations that facilitate inter-cluster knowledge flows, pointing to a highly inclusive and multi-polar research environment.

Thematic analysis uncovers the field's intellectual core. A keyword co-occurrence network map comprising 79 nodes clustered into seven thematic groups reveals high structural density and integration, with 693 realized connections representing 22.5% of the maximum possible edges and a total link strength of 1,417—indicating that each node maintains an average of approximately 18 strong co-occurrence relationships. High-frequency keywords such as "management" (133 occurrences), "circular economy" (112), "performance" (85), and "framework" (88) constitute the established theoretical backbone of the literature, while "innovation" (84), "sustainability" (84), "technology" (58), and "impact" (70) underscore the methodological focus on integrating digital and environmental objectives. The prominent visibility of "challenges" (68) and "barriers" (≈50) indicates that practical implementation hurdles remain a significant focus of scholarly inquiry.

Thematic mapping based on Cobo et al.'s (2011) development-relevance degree matrix further identifies distinct intellectual zones. The clusters of "performance–innovation–impact" and "management–circular economy–framework," characterized by high centrality and density, constitute the well-developed intellectual core of the field, driving both theoretical and applied debates in the ICT-enabled circular economy literature. The "capabilities–transformation–business model innovation" cluster, despite its high centrality, exhibits comparatively lower density, positioning it as a maturing but not yet fully consolidated research axis with high future potential. The clusters of "growth–ICT–CO_2 emissions" and "city–cities–education" are characterized by lower centrality, representing either emerging or declining topics, while "trends–employment–human resource management" and "co-creation–digitalization–product firms" function as niche, specialized micro-literatures with high internal density. Central bridge terms such as "resource-based view–capability–firm performance" and "trust–attitudes–satisfaction" link core and niche clusters, reinforcing interdisciplinary integration.

The co-citation and bibliographic coupling analyses provide complementary structural insights. The co-citation network, comprising 78 documents organized into four thematic clusters, exhibits exceptionally high density with 2,704 realized connections (approximately 90% of the maximum possible 3,003 links) and a total link strength of 13,312, indicating that each node maintains an average of 171 strong citation relationships. The four clusters reflect distinct intellectual genealogies: the first integrates the foundational circular economy literature with industrial ecology and resource efficiency sources; the second encompasses studies on ICT integration into sustainable production processes; the third focuses on twin transition discourse from a policy perspective, including energy efficiency and digital infrastructure policy; and the fourth contains empirical research on the enabling role of emerging technologies—digital twins, blockchain, and big data analytics—in circular business models. The bibliographic coupling analysis of 328 documents with at least five citations yields 17,414 connections and a total link strength of 45,073, confirming a highly

integrated and interactive structure. Seminal works such as Linder and Williander (2017), Kristoffersen et al. (2020), and Awan et al. (2021) represent the key theoretical nodes at the intersection of circular economy and digitalization.

The bibliometric investigation demonstrates that the intersection of the circular economy, ICT, and the twin transition is a highly dynamic, multi-dimensional, and rapidly expanding academic frontier. The remarkably low average document age and high citation rate underscore the critical relevance of this domain for academia, industry practitioners, and policymakers. The global collaboration network highlights that the twin transition relies heavily on the synthesis of diverse geographical perspectives and capabilities. Furthermore, the authorship dynamics present both opportunities and risks: while the narrow core of highly connected researchers facilitates intellectual continuity and knowledge diffusion through network centrality, the field's heavy reliance on this limited group also represents a structural vulnerability for long-term theoretical maturation.

However, the analysis exposes critical gaps. Current academic output is disproportionately concentrated on theoretical conceptualizations and technological solution propositions, with a conspicuous lack of empirical evidence and policy integration at the practical implementation level. The field currently resides in a pre-paradigmatic stage where hypothesized synergies require rigorous empirical validation, particularly regarding the dual impact—both positive efficiencies and negative rebound effects—of digital technologies on environmental sustainability.

Based on these findings, three primary directions for future research are proposed. First, there is a pressing need for sector-specific empirical analyses to quantitatively and qualitatively evaluate the actual contribution of digital technologies to circular economy practices. Second, researchers must adopt multi-level analytical approaches to systematically assess both the synergies and the contradictions or trade-offs inherent in the twin transition process. Third, future studies should focus on developing robust indicators to measure the effectiveness of policy integration and implementation mechanisms, designing longitudinal studies to monitor their long-term impacts.

Ultimately, the academic agenda must evolve towards a more application-oriented and interdisciplinary structure to optimize the strategic deployment of digital technologies in accelerating the global sustainability transition. Future research should not only explore technological possibilities but also comprehensively analyze the societal, economic, and environmental impacts of these opportunities in an integrated manner.