



KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Dergisi
KAYSERİ UNIVERSITY JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES

Makale Türü	Araştırma Makalesi	Yıl	2025
Gönderi Tarihi	30.04.2025	Cilt	7
Kabul Tarihi	08.06.2025	Sayı	1
Yayın Tarihi	30.06.2025	ss.	125-149
DOI	10.51177/kayusosder.1686890		

Çevre alanındaki dijital ikiz çalışmalarının bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmesi^Δ

Examination of digital twin studies in the environment field with bibliometric analysis method

Burcu Koyuncu Hışım¹

Öz

Dijital ikiz, son yıllarda çeşitli alanlarda araştırılan önemli bir çalışma konusu olmuştur. Çevre alanında ise henüz gelişmekte olan bir alandır. Bu çalışmada, çevre alanında dijital ikiz konulu çalışmaların literatürdeki gelişim süreci ve mevcut hâlinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak, 03.03.2025 tarihinde Web of Science Core Collection veri tabanında “dijital ikiz” (digital twin) kavramına ilişkin taramalar yapılmıştır. Veri tabanında filtreleme yapmadan dijital ikiz (digital twin) kavramı ile ilgili toplamda 16.145 tane çalışma tespit edilmiştir, ardından odak noktalara ulaşabilmek için filtreleme yapılmıştır. Çalışma türleri içerisinde özellikle çevre çalışmaları (190) ve çevre bilimleri (376) alanlarında yayımlanan 408 makale ele alınmıştır. Çalışmaların alan dağılımı sıralaması incelendiğinde 376 adet çalışma ile en fazla çalışmanın çevre bilimleri alanında konu ile ilgili araştırmalara ulaşılmaktadır. Ülkeler bağlamında ise en fazla çalışmanın %32,8’lik oran ile Çin tarafından gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Anahtar kelime analizi sonucunda ise 1568 anahtar kelime içerisinde 62 kelimenin daha fazla kullanıldığı görülmüştür. Bu alandaki güncel çalışma konularının ise sürdürülebilirlik, akıllı şehir, kentsel planlama, döngüsel ekonomi, inşaat endüstrisi, dijital ikiz teknolojisi ve kurumsal dinamikler kelimeleri ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bütün bulguların sonucuna göre ise çevre alanında dijital ikiz konusuna ilişkin yapılan çalışmaların artırılması gerektiği ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Dijital İkiz, Bibliyometrik Analiz, Çevre Çalışmaları.

^Δ Yazarlar bu çalışmanın tüm süreçlerinin araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu, etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine uyduğunu beyan etmiştir. Aksi bir durumda Kayseri Üniversitesi KAYÜSOSDER Dergisi sorumlu değildir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Ahlat Meslek Yüksekokulu, bkoyuncu@beu.edu.tr



Abstract

Digital twin, has become a prominent research topic across various disciplines in recent years; however, its application within the environmental field remains relatively underdeveloped. This study aims to assess the developmental trajectory and current state of digital twin research in the environmental domain through bibliometric analysis. 03.03.2025, a comprehensive search was conducted in the Web of Science Core Collection database using the term “digital twin.” Initially, 16.145 publications were identified without any filters. Subsequently, to focus on relevant studies, filtering was applied to select works within Environmental Studies (190) and Environmental Sciences (376), resulting in a total of 408 articles for analysis. Disciplinary distribution analysis revealed that Environmental Sciences accounted for the majority of publications, with 376 articles. Country-based analysis indicated that China contributed the highest proportion of research, representing 32.8 % of the total publications. Keyword co-occurrence analysis identified 62 frequently occurring keywords among 1.568 total keywords. Prominent research themes include sustainability, smart cities, urban planning, circular economy, construction industry, digital twin technology, and institutional dynamics. These findings collectively suggest the need to enhance research efforts on digital twins within the environmental field to address emerging challenges and expand the academic literature.

Keywords: Digital Twins, Bibliometric Analysis, Environment Studies.

1. Giriş

Dijital ikiz terimi, çağdaş akademik tartışmalarda yaygın bir kavram olarak ele alınmaya başlamış ve yeni araştırmaların ilgi odağı hâline gelmiştir (Eumi, 2024, s. 2). Bu ilginin büyük ölçüde nesnelerin interneti, büyük veri, çoklu fiziksel simülasyon ve endüstri 4.0, gerçek zamanlı sensörler, veri yönetimi, veri işleme gibi ilgili teknolojilerdeki ve girişimlerdeki gelişmelerden kaynaklandığı ifade edilebilir (Jones vd., 2020, s. 37).

Akademik açıdan ilgi odağı olmaya başlayan dijital ikiz, aynı zamanda endüstride de dikkat çekmeye başlamıştır. Araştırma raporlarının sonuçlarına bakıldığında 2024 yılında dijital ikizin pazar büyüklüğü değeri 24,97 milyar dolar civarında olmuştur. Dijital ikizin pazar payının 2024'ten 2030'a kadar Japonya'da %34, Avrupa'da %38,1, Çin'de %38,5, İngiltere'de %40,6, ve Hindistan'da %45,8 oranında büyümesi öngörülmektedir (Grandviewresearch, 2024, s. 7-9). Bu açıdan dijital ikizin, küresel alanda giderek büyük bir paya sahip olması, konuya olan araştırma eğiliminin yükselmesinin diğer bir etkeni olarak ifade edilebilir.

Dijital ikiz kavramı incelendiğinde disiplinler arası bir kavram olması dolayısıyla farklı birçok tanımının bulunduğu görülmektedir. Dijital ikiz, kopyalanmak istenen fiziksel varlıkların üzerine nesnelerin interneti olarak adlandırılan sensörlerin yerleştirilmesi ile tüm verilerin gerçek zamanlı olarak alınarak, işlenmesi ile oluşmaktadır (Reis & Bozbuğa, 2022, s. 425). Böylece dijital ikiz, iş performansını arttıran bir nesnenin ya da sistemin; büyük, kümülatif, gerçek zamanlı veri ölçümleri ile geçmiş ve mevcut davranışının sanal bir ikizi olarak karşımıza çıkmaktadır (Kumaş & Erol, 2021, s. 691). Dijital ortamdaki sanal ikiz sayesinde karşılaşılabilecek tüm kötü olasılıklar ve senaryolar etkili bir şekilde simüle edebilmektedir (Yiğit & Uysal, 2023, s. 1373). Fiziksel bir nesnenin sanal temsili olan dijital ikizin farklı tanımlarını birbirine bağlayan nokta ise; fiziksel nesne ile dijital nesne arasındaki nitel, nicel, tarihsel ve çevresel verilerin, gerçek zamanlı olmak üzere çift yönlü veri aktarımı veya paylaşımıdır (Singh vd., 2021, s. 3).

Literatür incelendiğinde mühendislik, bilişim sistemleri gibi fen bilimleri kapsamında teknik alanlarda kullanımının yaygın olduğu görülen dijital ikizin, sosyal

bilimlerde de uygulamalarının arttığı görülmektedir. Çevre sorunlarının en üst seviyelere ulaştığı günümüzde özellikle çevre alanında dijital ikiz uygulamalarından yararlanılması gerektiği yönünde araştırmalar bulunmaktadır. Çevre alanı derin bir değişim döneminden geçmektedir. Doğal çevre, iklim değişikliğinden benzeri görülmemiş bir şekilde etkilenmektedir. Bu etkilerin azaltılabilmesi için araştırmacılar tarafından yeni teknolojik araçlar incelenmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliği, sel, kuraklık, su ve hava kalitesi etrafındaki bilimsel tartışmaların aciliyeti ve önemi göz önüne alındığında, çevre alanında dijital ikiz kavramının keşfedilmesine yönelik araştırmaların arttığı söylenebilir (Blair, 2021, s. 1). Bu bağlamda çalışmada çevre alanında “dijital ikiz” (digital twin) konulu araştırmaların, literatürdeki mevcut durumunun betimlenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu amaç doğrultusunda, çalışmaların nicel görünümünün ortaya koyulmasını sağlayan bibliyometrik analiz yöntemi (Şimşek & Nalbant, 2023, s. 174) tercih edilmiştir. Bibliyometrik analiz yöntemi akademik yayınların; kriterlerine (yazar, çalışma sayısı, atıf sayısı, dergi, kurum adı, yayın türü ve araştırma alanı vb.) göre kategorize edilmesini sağlamaktadır (Koç & Kale, 2025, s. 42). Böylece araştırılan konuya dair nicel boyutta bir veri analizi sunulmaktadır.

Bibliyometrik analizin yapılabilmesi için birçok veri tabanı bulunmasına rağmen sosyal bilimler alanında kapsamı en geniş olan Web of Science Core Collection (WoS) veri tabanında tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucunda çalışmalara yönelik; yıl, alan, tür, en fazla çalışma yapan ülkeler gibi temel hususlar belirlenmiş, bu hususların görselleştirilmesinde, tablolar oluşturulmuş ve bir yazılım programı (VOSviewer) aracılığıyla görsel haritalama yapılmıştır. Bu bağlamda dijital ikizi çevre alanında karakterize etmek, bu yönde yapılan araştırmalardaki boşlukları belirlemek ve gelecekteki araştırmalar için gereken yönleri vurgulamak amacıyla bir literatür incelemesi sunulmuştur.

Çevre alanında dijital ikiz konusuna ilişkin literatür incelendiğinde, yapılan çalışmaların giderek arttığı görülmektedir (Astarita, 2024; Callcut vd., 2021; Purcell vd., 2023). Diğer yandan çalışmaların, sosyal bilimler kapsamında nispeten daha az sayıda olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber çevre alanında dijital ikiz konusunda herhangi bir kavramla bağlantı kurmadan tarama yapılan bibliyometrik analiz çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu doğrultuda hazırlanan çalışma, özgün bir nitelik taşımaktadır. Kendisinden önce yapılan çalışmalardan farklı olarak; konu ile ilgili yapılan araştırmalardaki eğilimleri ve boşlukları sunması bakımından, gelecek çalışmalar için yol gösterici olacağı, çevre alanında dijital ikiz konusuna yönelik farkındalığın artmasına katkı sağlayacağı beklenmektedir. Bu doğrultuda çalışmada ilk olarak dijital ikiz kavramının tanımı, yararları ve örneklerine yer verilerek bibliyometrik yöntemin amacı ve öneminden bahsedilmektedir. Ardından WoS veri tabanında yapılan bibliyometrik analizi ve bulguları değerlendirilmektedir.

2. Dijital ikiz kavramı

Dijital ikiz, fiziksel ve sanal varlıklar arasındaki kesintisiz veri entegrasyonu ile gerçekleşmektedir (Attaran & Celik, 2023, s. 8). Fiziksel varlığın tüm verileri, kendisi ile entegre olacak şekilde sanal bir varlığa aktarılmaktadır. Bu yöntemle, gerçek varlığın dijital kopyası oluşturulmaktadır. Fiziksel varlığın, dijital karşılığının ve bunlar arasındaki dinamik veri alışverişinin üçlü modeliyle karakterize edilen kavrama dijital ikiz denilmektedir (Mazzetto, 2024, s. 7). Dijital ikiz modeli üç ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar (Grieves, 2022, s. 7):

1. Fiziksel dünyada var olan ya da olması amaçlanan bir fiziksel unsur olan fiziksel ikiz,

2. Sanal dünyada var olan sanal veya dijital unsur olan dijital ikiz,
3. Fiziksel unsur ve sanal unsur arasındaki veri ve bilgi iletişim kanalı olan dijital akıştır.

Dijital ikiz, fiziksel ikiziyle sürekli iletişim içerisinde bulunarak güncel bir şekilde ondan gelen verileri işler ve oluşabilecek farklı senaryolar için değişik sonuçlar elde edebilir. Dolayısıyla fiziksel varlığın ortamından gelen verilerle güncellenebilir (Erturan & Ergin, 2018, s. 816). Bu durumda dijital ikiz, fiziksel bir unsurun sanal ortamdaki aynası olarak özetlenebilir.

Dijital ikiz; kimi zaman bir motor, kimi zaman bir biyolojik hücre, kimi zamansa bir üretim süreci olarak modellenenebilir (Emmert vd., 2023, s. 69649). Son derece birbirinden farklı ürünler ve sistemler üzerinde uygulanabilir. Bu nedenle de oldukça geniş bir tanım yelpazesinin olduğu söylenebilir. Ancak yine de daha genel ve birleştirici bir tanıma başvurulacak olursa dijital ikiz, gerçek bir ortamı güvenilir bir şekilde temsil etmeyi amaçlayan, fiziksel varlığı ile gerçek zamanlı iletişim ve veri alışverişine olanak tanıyan, performans izlemeyi, senaryoları test etmeyi ve öngörüler yakalamayı mümkün kılan bir simülasyon modeli olarak ifade edilebilir (Cruz & Tonin, 2022, s. 18). Her ne kadar bu şekilde genel bir tanımlama yapılsa da dijital ikizin tüm disiplinler tarafından kabul edilen ortak bir tanımına rastlanılmamaktadır.

Dijital ikiz kavramı günümüzde pek çok disiplin tarafından araştırılmaktadır. Sürdürülebilir turizm (Rahmadian vd., 2023), sağlık (Machado & Berssaneti, 2023), tarım (Nasirahmadi & Hensel, 2022), ulaşım (Gao vd., 2022), kentsel çevre (Liu vd., 2024), afet risk yönetimi (Ariyachandra vd., 2023), eğitim (Vikhman & Romm, 2021), kamu yönetimi (Özen & Gürel, 2020) gibi çeşitli bilim dalları tarafından incelenmektedir. Söz konusu kavram, birbirinden farklı pek çok alanda uygulandığı için literatürde bu teknolojiye yönelik çok sayıda çeşitli tanımlar bulunmaktadır. Bu tanımlamalar, dijital ikiz teknolojisinin oluşum ve gerçekleşme süreci ile oluşmaktadır. Ancak dijital ikiz fikrine yönelik ilk açıklama, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3. Dijital ikiz kavramının tarihsel gelişimi

Dijital ikize yönelik ilk açıklama NASA tarafından şu şekilde yapılmıştır; bir aracın ya da sistemin en iyi mevcut fiziksel modellerini ve sensör güncellemelerini kullanan, multifiziksel, multiölçeksel ve olasılıksal bir entegrasyondur (Zhuang vd., 2021, s. 2). Bu açıklama, Apollo 13'ün, bir uçan ikizinin oluşturulmasına yönelik geliştirilen teknoloji modeline istinaden gerçekleştirilmiştir. Uçan ikizin olduğu gibi görünmesi için son derece gerçekçi bir şekilde, uçak gövdesi de dâhil olmak üzere bir veya daha fazla önemli ve birbirine bağımlı araç sistemi dikkate alınarak, dijital kopyası oluşturulmuştur (Glaessgen & Stargel, 2012, s. 7). Sonrasında Apollo 13 uzaya gönderildiğinde, beklenmedik oksijen tankı patlaması yaşanmış ve yeryüzündeki dijital ikizi sayesinde uzayda bulunan fiziksel araç üzerindeki bu tehlike giderilmiştir (Karaca & Önem, 2023, s. 158-168). Buradan yola çıkarak dijital ikiz fikri kökeninin, NASA tarafından 1970'li yıllarda başlatılan Apollo Programına kadar uzandığı söylenebilir. Bu programda, görev boyunca uzay aracının şartlarını yansıtan en az iki özdeş uzay aracı inşa edilmiştir. Bunlardan bir tanesi dünyada kalarak, ikiz ismini almıştır. İkiz, uçuş hazırlığı boyunca eğitim için yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Uçuş boyunca, dünyada yerleşik olan modeldeki alternatifler simüle edilmiş, mümkün olduğunca kesin bir şekilde uçuş şartlarını yansıtmak için mevcut uçuş verileri kullanılmış ve böylece astronotlara yörüngedeki tehlikeli durumlarda yardımcı olunmuştur. Bu şekilde, gerçek zamanlı

davranışın simülasyonu için gerçek işlem koşullarını yansıtan her taslak, dijital ikiz olarak atfedilmiştir (Rosen vd., 2015, s. 568). Ancak bu yıllardaki dijital ikiz anlayışı ile teknik bir uygulama ifade edilmektedir. Henüz bu teknolojinin ismi dijital ikiz olarak belirlenmemiştir. Dijital ikiz, teknik olarak eşleştirme modeli ile NASA tarafından ortaya atılsa da model ve kavram olarak ortaya çıkması daha sonraki yıllarda gerçekleşmiştir.

Dijital ikiz modeli, ilk defa 2002 yılında Grieves tarafından kullanılmıştır (Eumi, 2024, s. 6; Kumaş & Erol, 2021, Mendi vd., 2021, s. 175; s. 691; Yükçü & Aydın, 2020, s. 20). Bu model ile gerçek dünyadan sanal dünyaya veri akışı, sanal dünyadan gerçek dünyaya bilgi paylaşımı olarak resmedilmiştir (Grieves, 2022, s. 3). Fiziksel ürüne eşdeğer sanal ifade olarak ortaya atılan dijital ikizin, herhangi bir cihazın dijital kopyası olarak, gerçek cihazı özetleyebilen ve gerçek ya da simüle edilmiş koşullar altında test için kullanılabilen bir model olduğu ifade edilmiştir. Ancak bu dönemde bahsi geçen model, dijital ikiz olarak tanımlanmamıştır. Onun yerine modele, bilgi yansıtma modeli ya da uzay yansıtma modeli gibi isimler koyulmuştur (Shengli, 2021, s. 1-2). 2010 yılında terimsel olarak ilk kez NASA araştırmacısı olan John Vickers tarafından dijital ikiz kavramı kullanılmış ve fiziksel herhangi bir şeyi doğru bir şekilde yansıtmak için oluşturulan sanal bir bilgisayar simülasyonu olarak tanımlanmıştır (Birer, 2023). Bu tarihten itibaren, dijital ikiz kullanılmaktadır. Günümüzde ise yeni nesil bilgi teknolojilerinin hızla ilerlemesi ile birlikte dijital ikiz teknolojisinin ilk kullanımından çok daha ileri gittiği söylenebilir.

Yeni nesil teknolojik gelişmeler (yapay zekâ, büyük veri analitiği, simülasyon, artırılmış gerçeklik, nesnelerin interneti, bulut bilişim vd.), veri kullanan teknolojilerin gelişmesine imkân sağlamıştır. Böylece veri kullanan bir teknoloji olan dijital ikizin de bu ilerlemelere paralel olarak olgunlaştığı söylenebilir (Koçak & Yıldız, 2022, s. 728). Bu gelişim süreci ile birlikte son zamanlarda, dijital ikiz kavramı hem araştırmacıların hem de mühendislerin giderek artan bir şekilde ilgisini çekmektedir (Vallée, 2023, s. 2). Dijital ikizleri inceleyen yayın sayısında ciddi bir artış bulunmaktadır buradan hareketle kavramın yaygın bir şekilde araştırılmaya başlandığını söylemek mümkündür (Emmert vd., 2023, s. 69664). Bu eğilim dijital ikize yönelik bilinmeyen hususların açığa kavuşmasını sağlamaktadır. Böylece kavramın ne olduğu, nasıl geliştiği ve işlevleri ortaya koyulmaktadır.

4. Dijital ikizin işlevleri ve faydaları

Dijital ikiz modeli ve uygulamalarının her alanda çok yönlü fonksiyonları bulunmaktadır. Söz konusu modelin dört önemli işlevi bulunmaktadır. Bunlar simülasyon, izleme-teşhis, tahmin ve kontroldür. Birinci işlevi, dijital ikiz ile simülasyon ortamı oluşturup, sanal ortamın parametrelerini değiştirerek, farklı etkenler ile karşılaşıldığında bunlara yönelik strateji geliştirmesidir. Bu şekilde beklenmeyen arızaları ya da bozulmaları gidererek, riskleri en aza indirmektedir. İkinci işlevi, verileri gerçek zamanlı olarak, fiziksel ürünün takibini yapmasıdır. Fiziksel varlık üzerinde sürekli ve eş zamanlı izleme ve teşhis gerçekleştirerek, mevcut ya da olası sorunları gidermektedir. Üçüncü işlevi, süreci zaman üzerinden taklit ederek fiziksel varlığa yönelik tüm kusurları tahmin etmesidir. Bu kusurlar giderilene kadar yeniden simüle edebilir. Dördüncü işlevi ise dijital ikizin gerçek zamanlı veri analizini yaparak, fiziksel varlığın her alandaki kontrolünü yapmasıdır. Böylece daha etkili bir süreç sağlanabilmektedir (Nacak, 2024, s. 60). Genel olarak dijital ikiz, fiziksel varlığın üzerinde kesintisiz test ve analiz yapılmasına olanak sağlayan sanal bir kopyasını sunarak (Soori vd., 2023, s. 2), olası risk ve tehditleri gidermektedir.

Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.

Dijital ikiz, sahip olduğu işlevleri sayesinde farklı şekillerde faydalar sağlamaktadır. Üretim planlamasının etkili bir şekilde yapılmasını, üretim sürecinin minimuma düşürülmesini, kaynakların olumlu yönde etkilenmesini, her aşamada risklerin ve tehditlerin açığa çıkarılmasını sağladığı söylenebilir. Gerçek dünyada yapılması gerekenlerin, sanal ikiz üzerinde yapılmasını sağladığı için herhangi bir ürünün ya da sistemin karşılaşılabileceği tüm zorlukları ortadan kaldırmaktadır (Yükçü & Aydın, 2020, s. 571). Fiziksel sistemin tüm yapısına ve fonksiyonlarına dair verilerle, geleceğe yönelik öngörüler sunabilmektedir. Böylece tüm zorlukları ortadan kaldırmaya yaradığı gibi gerçek dünyadaki fiziksel ürünü ya da sistemi, optimize edebilmekte, operasyonel performansı ve iş süreçlerini geliştirebilmektedir (Koçak & Yıldız, 2022, s. 71). Bu şekilde son derece işlevsel bir yapıya sahip olan dijital ikiz, ileri düzeyde bir teknoloji modeli olarak çeşitli faydalar sağlamaktadır.

Dijital ikiz ortaya çıkan teknolojiler aracılığıyla, gerçek hayattaki karşılığına bağlı olarak basit bir dijital model olmaktan öteye geçmektedir. Bu ikiz modeli, çevresi ile arasındaki kapalı devre etkileşim yoluyla süreçleri optimize edebilen, kusurlar, hasarlar ve arızalar gibi gelecekteki durumları sürekli olarak tahmin edebilen duyarlı, zeki ve gelişen bir model olarak ortaya çıkmaktadır (Vallée, 2023, s. 2).

Dijital ikiz faaliyet verimliliğini optimize etmeye yardımcı olan fiziksel bir fonksiyonun veya sistemin, gerçek zamanlı tam dijital görüntüsünü sunmaktadır (Sierla vd., 2018, s. 58). Böylece fiziksel varlık üzerinde gelişebilecek herhangi bir değişiklik, gelişme, gerileme ve bozulma dijital ikiz üzerinde de görülebilmektedir. Bu olanak, herhangi bir yönetimdeki hizmetin ya da sistemin, risk almadan var olmasını ve misyonunu yerine getirmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olduğu ifade edilebilir.

5. Dijital ikiz uygulama örnekleri

Dijital ikiz modeli, sağladığı faydalar sayesinde pek çok alanda uygulanmaktadır. Bu model kimi zaman bir nesne, kimi zaman bir süreç, kimi zamansa sistem üzerinde gerçekleştirilmektedir. Aşağıda Tablo 1’de dijital ikiz modelinin farklı sektörlerde ve hizmetlerdeki uygulama örnekleri gösterilmektedir:

Tablo 1: *Dijital İkiz Modelinin Örnekleri*

Uygulayıcı Örgüt	Dijital İkiz Modeli	Uygulama Alanı
Intermarché	Fiziksel bir mağazanın dijital ikizi oluşturularak, elde edilen verilere göre mağaza yöneticileri farklı kat düzenlerini ve envanter akışlarını test edebilmektedir (Locke, 2023).	Ticaret
Radisson Hotel Group	Otel mülklerinin dijital ikizi oluşturularak, odalar müşterilere gösterilmekte ve onların pencere manzaralarını, oda düzenlerini görebilmeleri sağlanarak, müşteri memnuniyeti arttırılmaktadır (Altexsoft, 2025).	Turizm

Tablo 1 (Devamı)

Uygulayıcı Örgüt	Dijital İkiz Modeli	Uygulama Alanı
Shop Architects	New York City'deki 93 katlı, 1.073 fitlik bir gökdelen olan The Brooklyn Tower'ın gerçek zamanlı 3 boyutlu dijital ikizi oluşturarak, çevre dostu bir şekilde zamandan ve maliyetten tasarruf edilmektedir (Unity, 2024)	Mimari
Porsche	Araçların dijital ikizi oluşturularak, her müşterinin isteğine göre kişiselleştirilmiş (boya, iç dizayn, vd.) araçlar sağlanmaktadır (Ankitha, 2024).	Otomotiv
Johns Hopkins Tıp Fakültesi Prof. Dr. NataliaTrayanova	Kalbin dijital ikizi oluşturularak, kalbe bir sinyal gönderebilir ve elektrik dalgasının modelde nasıl yayıldığını izleyebilir. Herhangi bir anormallik varsa, dijital ikizde bir aritmi olarak ortaya çıkacaktır. Bu şekilde, bir hastanın aritmisi olup olmayacağını tahmin edebilir (Scott, 2024).	Sağlık
Siemens	Eğitim araçlarının dijital ikizi oluşturularak tezgâh eğitimi yapılmaktadır. Makine operatörlerine sanal eğitim imkânı sunulmaktadır (Siemens, 2025).	Elektronik Otomasyon
Myontech	Kıyafetin dijital ikizi oluşturularak, insan kaslarının hareketlerinin analiz edilebilir ve bu veri analizlerinin dijital ortama aktarılması ile ileri egzersizlere karar verilebilmektedir (Aynacı, 2020, s. 77)	Giyilebilir Teknoloji
Amaravati Kentsel Planlama	Amaravati kentinde dijital kent ikizi oluşturularak, iklim, çevre, altyapı vb. alanlardaki verilerin gerçek zamanlı izlenmesi ve yönetilmesi sağlanmaktadır (Aslan, 2024, s. 1621)	Kent Yönetimi
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı	21 kentte dijital şehir ikizi oluşturularak, kentin önemli görülen alanları drone ile görüntülenmiş ve 3 boyutlu modelleri güncellenmiştir. Belediye kent bilgi sistemlerinde, planlama aşamalarında ve afet öncesi risk belirleme çalışmalarında kullanılabilir (Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 2022).	Kentsel Planlama

Kaynak: İlgili çalışmalardan yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablodan anlaşılabacağı üzere, dijital ikiz modelinin küresel düzeyde pek çok işletme ve örgüt tarafından farklı amaçlarla uygulandığı görülmektedir. Modelin, karşılık bulduğu ve bulabileceği alanların oldukça geniş olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda, çevre alanında da uygulanmaya ve incelenmeye başlandığı söylenebilir.

Dijital ikiz modelinin çevre alanında; kentsel planlama, çevresel izleme, kirlilik azaltma, sürdürülebilirlik gibi alanlarda uygulandığı bilinmektedir (El-Agamy vd., 2024, s. 71). Bu model çevre alanında atık su yönetimini modelleyerek su kaynaklarının daha etkili kullanılmasını sağlamak, binaların ve altyapının enerji tüketimini modelleyerek enerji verimliliğini artırmak ve karbon ayak izini azaltmak, çevresel faktörleri analiz ederek halk sağlığı üzerindeki etkileri anlamak gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Eren, 2024, s. 102-103). Sensörlerden elde edilen bilgiler ile çevreyi ve iklimi izlemek ve çevre yönetimini sağlamak, kaynakların yönetimini iyileştirmek, trafik yönetimini sağlamak, yenilebilir enerji kaynaklarını yönetmek gibi çıktılar sunmaktadır (Babaoğlu & Memiş, 2024, s. 28). Ancak gerçek yaşam ortamında bu şekilde geçerli sonuçlara ulaşmak için daha derinlemesine sosyal bilim araştırmalarına ihtiyaç olduğu söylenebilir (Dembski vd., 2020, s. 15). Bu doğrultuda hazırlanan çalışmada, bibliyometrik analiz yöntemi ile çevre

alanında yapılan dijital ikiz konulu çalışmalar sistematik bir şekilde incelenerek, araştırma boşlukları belirlenmektedir.

6. Yöntem

Bibliyometrik analiz yöntemi, belli bir alan ya da disiplinde yayınlanmış araştırma çıktıları analiz etmek ve ölçmek için kullanılan nicel bir yöntemdir (Li vd., 2023, s. 2). Yazılı yayınların nicel analizini sağlamak için kullanılmaktadır. Bir bibliyometrik analizin, istatistiksel olarak güvenilir olması için belirli bir veri hacmini içermesi gerekmektedir (Ellegaard & Wallin, 2015, s. 1810). Böylece bibliyometrik analiz sayesinde yüzlerce ve hatta binlerce verinin atıf sayısı, yayın sayısı ya da anahtar kelimeleri gibi bilgileri ortaya koyulmaktadır (Aydın, 2024, s. 153). Yayımlanmış çalışmaların yazar, konu, yayın bilgisi, atıfları gibi belli başlı niteliklerinin, niceliksel olarak analizinin yapılması sağlanmaktadır (Al & Tonta, 2004, s. 19). Bu analizler ile araştırma trendleri belirlenebilmekte, akademik etki değerlendirmesi yapılabilmekte ve incelemeye yönelik çeşitli hedefler gerçekleştirilebilmektedir.

Bibliyometrik analiz yöntem, bilimsel alanların yapısal görüntülerini oluşturmak için yayınların veri tabanı bibliyografik verileri kullanmaktadır. Literatürün öznel değerlendirmesine, niceliksel titizlik katmayı sağlamaktadır. Teorik olarak üretilen bir inceleme makalesinde kategorilere ilişkin kanıt oluşturabilmektedir. Bibliyometrik yöntem araştırmacıların bulgularını, kümelenmiş bibliyografik verilere dayandırmasına olanak tanımaktadır. Bu veriler, alanda çalışan diğer bilim insanlarının atıf ve yazıları ile görüşlerini ifade eden çalışmalardan oluşmaktadır. İlgili veriler analiz edildiğinde, konuya yönelik genel yapı, sosyal ağlar ve mevcut ilgi alanları ortaya koyulabilir (Župič & Čater, 2015, s. 2-3). Bu açıdan bilimsel çalışmaların betimsel olarak incelenmesi ve değerlendirilmesine imkân vermektedir. Geçmişte yapılan çalışmaların belirli alanlardaki gelişim seyri görselleştirerek ortaya koyulabilmektedir. Ayrıca gelecek dönemde yapılacak çalışmalara ilişkin öne çıkan konuları göstermesi ve ilgili konulara ilişkin kıyaslamaların yapılabilmesi için kolaylıklar sağlaması açısından önem taşımaktadır (Nalbant & Sevinçli, 2022, s. 56). Çalışmada, bu özellikler gözetilerek bibliyometrik analiz tekniğinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu doğrultuda hazırlanan çalışmada oluşturulan sorular şu şekildedir:

- WoS veri tabanında dijital ikiz (digital twin) anahtar kelimesi ile taranan çalışmaların 2018-2024 yılları arasındaki dağılımı nasıldır?
- WoS veri tabanında çevre alanında dijital ikiz (digital twin) anahtar kelimesi ile taranan çalışmaların alan dağılımı nasıldır?
- WoS veri tabanında çevre alanında dijital ikiz (digital twin) konulu çalışmaların yayın yılları nelerdir?
- WoS veri tabanında çevre alanında dijital ikiz (digital twin) konusu ile ilgili en fazla çalışma yapan ülkelerin sıralaması nasıldır?
- WoS veri tabanında çevre alanında dijital ikiz (digital twin) konulu çalışmaların oranı ve atıf durumları nasıldır?

7. Bulgular

Web of Science veri tabanında herhangi bir filtreleme yapmadan dijital ikiz (digital twin) kavramı ile ilgili 03.03.2025 tarihinde tarama yapıldığında toplamda 16.145 çalışma görülmektedir. Ardından çalışmada odak noktalara erişebilmek için filtreleme yapılmış ve 2025 yılı tamamlanmadığından kapsam dışı bırakılmıştır. 16.145 çalışma içerisinde incelemenin daha kolay ve sistematik yapılabilmesi için kapsam daraltılmış ve toplam 9.509 içerisinden çevre bilimleri (376) ve çevre çalışmaları (190) alanları ile ilgili 408 makale ele alınmıştır. WoS veri tabanında çalışma türleri içerisinde tamamına yakın çoğunluğun makale türünde olduğu görülmektedir. Dijital ikiz konusunda çevre bilimleri alanında 408 çalışma, makale türünde ortaya koyulmuştur. Makale türünden sonra en fazla erken erişim yayınları (11) türünde çalışmalar yapılmıştır. Diğer yandan yalnızca 1 kitap incelemesi türünde çalışma yayımlanmıştır. Sayı bakımından diğerlerine göre kitap türünde çalışma sayısının yok denecek kadar az sayıda olduğu belirtilebilir.

WoS veri tabanında kategoriler kısmında çevre bilimleri ve çevre çalışmaları seçildiğinde ilişkili olduğu alanlar da görülmektedir. Aşağıda Tablo 2'de, WoS'da tüm yıllar itibarıyla çevre alanında yayımlanan dijital ikiz ile ilgili çalışmaların alan dağılımı sıralamasına ilişkin olarak ilk 15 sıralamada yer alan çalışma alanlarına yer verilmiştir:

Tablo 2: *Çalışmaların Alanlara Göre Dağılımı*

Çalışma Alanları	Çalışma Sayısı	Oran %
Çevre Bilimleri	376	92,157
Sürdürülebilir Yeşil Teknoloji Bilimi	196	48,039
Çevre Çalışmaları	190	46,569
Çevre Mühendisliği	78	19,118
Su kaynakları	71	17,402
Jeoloji Bilimi	50	12,255
Uzaktan Algılama	49	12,010
Fotoğraf Teknolojisi Görüntüleme Bilimi	48	11,765
Bilgisayar Bilimi İnterdisiplinler Uygulamaları	19	4,657
Coğrafya	13	3,186
Meteorolojik Atmosferik Bilimler	13	3,186
Bölgesel Kent Planlama	13	3,186
Kent Çalışmaları	12	2,941
Marin Tatlı Su Biyolojisi	9	2,206
İnşaat Mühendisliği	7	1,716

Kaynak: Web of Science veri tabanı kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2'de gösterilen çalışma alanlarının dağılımı incelendiğinde, çevre alanında dijital ikiz konusu ile en fazla çevre bilimleri alanında 376 (%92,157) çalışmanın yayımlandığı görülmektedir. Ardından 196 çalışma (%48,039) ile sürdürülebilir yeşil teknolojiler bilimi, 190 (%48,039) çalışma ile çevre çalışmaları ve 78 (%19,118) çalışma ile çevre mühendisliği alanı gelmektedir. Araştırma alanları sıralamasından anlaşılabileceği üzere dijital ikiz modeli fen bilimleri ve sosyal bilimler alanında çevre alanı ile ilişkili olan disiplinler arası bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Dijital ikizin en az çalışıldığı alan ise 7 çalışma (%1,716) çalışma ile inşaat mühendisliğidir. Teknolojik bir

Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.

model olmasına rağmen teknik bir alanda en az sayıda araştırmaya sahip olduğu görülmektedir. Bununla beraber, dijital ikiz konusunun bölgesel kent planlama ve kent çalışmalarında, inşaat mühendisliği gibi teknik bir alana göre daha fazla araştırıldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla dijital ikiz modelinin, teknik alana ait bir kavram gibi görülse de kamu yönetimi içerisinde kullanılan önemli bir teknoloji olduğu anlaşılmaktadır (Aslan, 2024, s. 1615-1616). Bu alanda yapılan çalışmalara giderek daha fazla eğilim gösterildiği ifade edilebilir. Aşağıda Tablo 3, 2018-2024 yılları arasında yapılan çalışmaların sayısal dağılımı ve toplam içindeki yüzdelik oranlarını içermektedir

Tablo 3: *Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı*

Yıl	Çalışma Sayısı	Çalışmaların Yüzdesi
2024	147	32,108
2023	115	28,922
2022	64	13,725
2021	51	12,255
2020	22	5,392
2019	8	1,961
2018	2	0,490

Kaynak: Web of Science veri tabanı kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

WoS veri tabanında 2018-2024 yılları arasında toplam 409 çalışma gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. 2018 yılında 2 yayın ile çalışmaların başladığı görülmüştür. NASA tarafından dijital ikize yönelik ilk tanımın yapılmasının ardından 2016 yılında kavramın yeni tanımlarının yaygınlaşması (Agnusdei vd., 2021, s. 2), bu alandaki çalışmaların 2018 yılında başlamasının nedeni olarak görülebilir. Yeni tanımların yapılmasının ardından kavram, çevre bilimi ile ilişkilendirilmiş ve bu doğrultuda araştırmalara başlanmış olabileceği söylenebilir. Ayrıca 2018-2020 döneminde dijital ikiz teknolojisi ile makine öğrenmesinin entegrasyonunun başlaması ve aynı zamanda endüstriyel nesnelerin interneti ile bulut tabanlı sistemlerin dijital ikiz modellerine dâhil edilmesi, çevre alanında dijital ikiz konusuna yönelik araştırmaların ortaya çıkmasına katkı sağlamış olabilir (Lam vd., 2023, 16-17). İzleyen dönemlerde ise yıllar itibarıyla çalışmaların sayısının arttığı görülmektedir. En fazla çalışma sayısına, 147 çalışma ile 2024 yılında ulaşılmıştır. 2020 yılından itibaren, çalışma sayısının giderek artış gösterdiği tespit edilmiştir. Yayın sayısındaki hızlı artışın nedeni olarak, 2019 yılında yaşanan COVID-19 salgını sonrasında dijitalleşmenin önemli ölçüde hızlanması gösterilebilir (Filik & Yeşilay, 2020, s. 323-325). Bu doğrultuda çevre alanında dijital ikiz üzerine yapılan araştırmaların yayılım aşamaları ifade edilecek olursa; başlangıç aşaması 2018-2020 arasındadır çünkü bu yıllardaki WoS'ta yayımlanan çalışma sayıları düşüktür. Ardından, araştırmanın gelişim aşaması ise 2021-2022 arasındadır. Araştırmanın en üst düzeye ulaştığı aşama ise 2023'ten itibaren günümüzdür. Dijitalleşmenin, dijital teknolojilerden biri olan dijital ikiz modeline yönelik uygulamaların ve araştırmaların artmasını sağladığı ifade edilebilir. Aşağıda Tablo 4'te ülkeler sıralamasına yer verilerek hangi ülkelerin ne kadar çalışma yaptığı sorusu cevaplandırılmıştır.

Tablo 4: *En Çok Çalışma Veren Ülkelerin Sıralaması*

Ülke Adı	Çalışma Sayısı	Çalışma Oranı
Çin	131	32,108
İtalya	60	14,706
İngiltere	36	8,824
Amerika	35	8,578
İspanya	25	6,127
Güney Kore	23	5,637
Almanya	21	5,147
Avustralya	17	4,167
İsviçre	17	4,167
Fransa	16	3,922

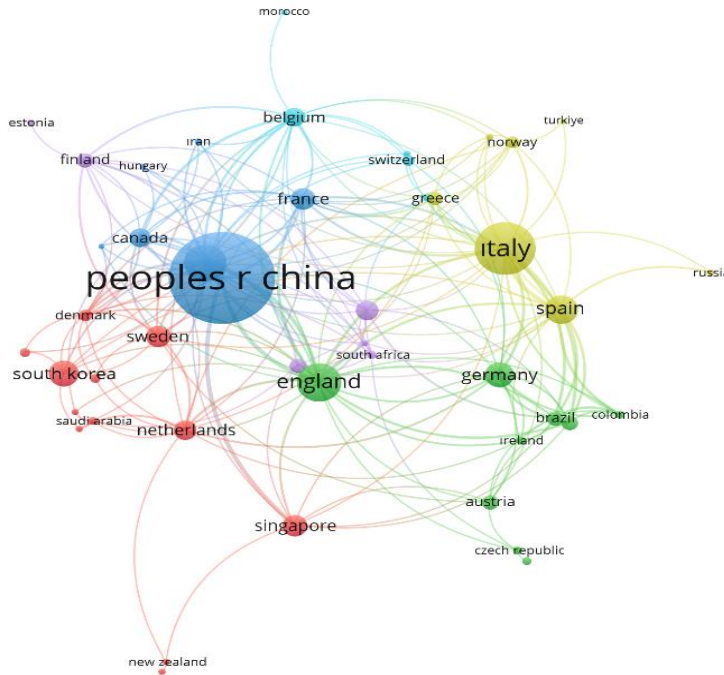
Kaynak: Web of Science veri tabanı kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4'te konu ile ilgili çevre alanında en çok çalışma veren ilk 10 ülke dağılımına bakıldığında en fazla çalışmanın Çin'de yapıldığı görülmektedir. 60 çalışma ile İtalya ikinci sırada yer almaktadır. Çin tarafından İtalya'nın iki katından daha fazla çalışma yapıldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak Çin'in teknoloji ve bilişimde dünyada ilk sırada yer alması ve en büyük internet nüfusuna sahip olması gösterilebilir (Damar, 2022, s. 64-68). Genel olarak teknolojiye olan bu ilginin, dijital ikiz çalışmalarına da yansıdığı söylenebilir. Çin, dijital ikiz modeline en çok ilgi gösteren ülkelerden biri (Tao vd., 2019, s. 29) olarak konuya yönelik çalışmaları teşvik vermektedir. Örneğin Çin Ulusal Doğa Bilimleri Vakfı'nın, başta Lut Üniversitesi'nde olmak üzere dijital ikiz araştırmaları için fonların çoğunu sağlamaktadır (Özat & Akçadağ, 2023, s. 2406). Bu şekilde ekonomik teşvik ile birlikte konuya ilişkin çalışmaların artmasının sağlandığı söylenebilir. Diğer yandan Türkiye'ye özel bir değerlendirme yapıldığında ise, ülkenin bu alanda en fazla yayın yapan ülkeler arasında yer almadığı tespit edilmiştir. Sosyal ve beşeri bilimler alanında bu konuya yönelik yeni bilimsel araştırmaların gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır (Alptekin & Türkmen, 2023, s.22).

Türkiye'de konuya yönelik yapılan çalışmaların, hem yayın sayısı hem de atıf performansı bakımından sınırlı kaldığı saptanmıştır (Ata, 2023, s. 507). Dijital ikiz modelinin, çevre alanında henüz gelişmekte olan bir araştırma alanı olmasının, bu alandaki akademik üretimin ve uygulama örneklerinin sınırlı kalmasına neden olduğu söylenebilir (Ölmez, 2025, s. 123-124). Bununla birlikte dijital ikizin, fiziksel sistemlerin temsilini içerdiği ancak sosyal süreçleri dikkate almadığına yönelik eleştiriler bulunmaktadır (Batty, 2018, s. 818). Bu kapsam darlığının, sosyal dinamiklerin önemli olduğu kent ve çevre çalışmalarında dijital ikiz araştırmalarının yaygınlaşmasını engellediği ifade edilebilir. Ayrıca dijital ikizin, disiplinler arası farklılıklar nedeniyle henüz ortak bir tanımının bulunmaması ve disiplinlere göre değişen odak noktalarının olması, çevre alanında konuya yönelik akademik ilginin düşük olmasına neden olabilir (Kritzing, 2018, s.1020). Disiplinler arası çalışmalara yönelik ilginin yetersiz olması, konuya ilişkin akademik çalışmaların gelişmemesine neden olabilmektedir. Buna ek olarak yüksek maliyetler ve sınırlı bütçe kaynakları, veri güvenliği, uzman personel eksikliği gibi faktörler, dijital ikiz modelinin kent ve çevre araştırmalarında yaygınlaşmasını kısıtlayarak, Türkiye özelinde alana ilişkin araştırmaların artmasını engelleyebileceği belirtilebilir (Aslan, 2024, s. 1622). Söz konusu faktörlerin tüm ülkeler için geçerli olmadığı dikkate alınarak; çeşitli ülkelerde konuya ilişkin iş birliği çerçevesinde kapsamlı ve yaygın araştırmaların yapıldığı tespit edilmiştir. Aşağıda Harita 1'de en fazla iş birliği yapan ülkelerin ağ haritasında ülkelerin bu konudaki iş birlikleri gösterilmektedir:

Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.

Harita 1: Ortak-Yazar Analizi Ülkeler Bağlamında Ağ Haritası



Vosviewer programında oluşturulan bu haritaya göre bağlantılar 46 öğeden oluşan 6 küme oluşturmaktadır. Kırmızı renkli birinci kümede “Güney Kore”; yeşil renkli ikinci kümede “İngiltere”; mavi renkli üçüncü kümede “Çin”; sarı renkli dördüncü kümede “İtalya”; mor renkli beşinci kümede “Avustralya” ve açık mavi renkli altıncı kümede “Belçika”nın dijital ikiz çalışmalarında en çok iş birliği yapan ülkeler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çin ve İtalya’nın en büyük kutucuk ile görselleşmesi ve aralarındaki çizimlerin diğer bağlantılara oranla daha kalın olması en fazla iş birliği yapan ülkeler olduklarını göstermektedir.

Ülkelerin çevre alanında dijital ikiz konulu çalışmalara yönelik iş birliklerinin yanı sıra, çalışmaların atıf performanslarına göre de sıralamaları da analiz edilmiştir. Aşağıda Tablo 5’te konuya ilişkin yapılan çalışmaların atıf sayılarına göre sıralamalarını sunmaktadır.

Tablo 5: Çevre Alanında Yayımlanan Dijital İkiz Konulu Çalışmaların En çok Atıf Alma Durumuna Göre Sıralamaları

Çalışmanın Başlığı	Yazarlar	Yayın Yılı	Atıf Sayısı
A Systematic Design Approach For Service Innovation Of Smart Product-Service Systems	Zheng vd.	2018	283
Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review	Botín-Sanabria vd.	2022	275
Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany	Dembski vd.	2020	248
Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout	Kaewunruen & Lian	2019	144
A Digital-Twin Evaluation of Net Zero Energy Building for Existing Buildings	Kaewunruen vd.	2019	124

Kaynak: Web of Science veri tabanı kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 5'te ise çevre alanında yapılan dijital ikiz konusunda en fazla atıf alan çalışmaların bir kısmı gösterilmektedir. Çalışmalar 2018 yılı itibarıyla atıf almaya başlamıştır. Atıf alan çalışmaların odaklandıkları konulara aşağıda yer verilmektedir:

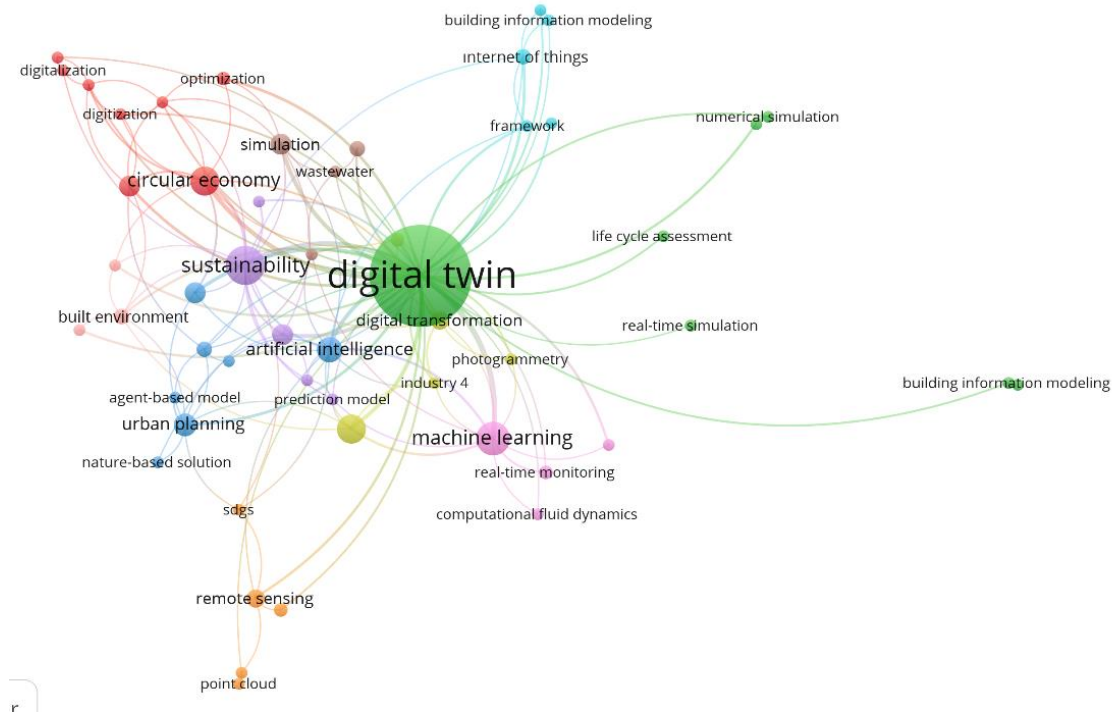
- Zheng ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yayımlanan “Akıllı Ürün Hizmet Sistemlerinin Hizmet Yeniliği İçin Sistematik Bir Tasarım Yaklaşımı” (A Systematic Design Approach For ServiceInnovation Of Smart Product-Service Systems) adlı çalışmada, veri odaklı kişiselleştirilmiş giyilebilir bir cihazın vaka çalışması yapılmıştır. Dijital ikiz uygulama senaryolarının kapsamı geniş bir ölçekte ele alınarak dijital ikiz destekli hizmet inovasyonu incelenmiştir. Çalışma sonucunda akıllı giyilebilir hizmet inovasyonu ve diğer endüstriyel potansiyeller ortaya koyulmuştur.
- Botín-Sanabria ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yayımlanan “Dijital İkiz Teknolojisi: Zorlukları ve Uygulamaları-Kapsamlı Bir İnceleme” (Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review) adlı çalışmada; dijital ikiz kavramı akıllı şehirler, kentsel alanlar, yük lojistiği, tıp, mühendislik ve otomotiv endüstrisi gibi belirli alanlarda farklı entegrasyon ve olgunluk seviyelerinde analiz edilmiştir. Teknoloji zorluklarının, sınırlamalarının ve eğilimlerinin bütünsel bir görünümü sunulmuş, bu bağlamda dijital ikizin uygulama zorlukları ve sınırlamaları açıklanmıştır.
- Dembski ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yayımlanan “Akıllı Şehirler ve Vatandaşlar İçin Kentsel Dijital İkizler: Herrenberg Vaka Çalışması” (Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany) adlı çalışmada, Herrenberg kasabası için kentsel bir dijital ikiz prototipi sunulmuştur. Herrenberg, yoğun trafik yükünden ve belirli miktarda hava kirliliğinden etkilenerek, emisyonlar ve gürültü yoluyla güçlü bir şekilde çevre kirliliğine maruz kalmaktadır. Kentsel zorluklar için kentsel dijital ikizin potansiyel çözümler sunduğu ifade edilmiştir.
- Kaewunruen ve Lian tarafından 2019 yılında yayımlanan “Demiryolu Makas Sistemleri İçin Dijital İkiz Destekli Sürdürülebilirlik Tabanlı Yaşam Döngüsü Yönetimi” (Digital Twin Aided Sustainability-Based Lifecycle Management For Railway Turnout System) adlı çalışmada bir metro istasyonunu değerlendirmek için benzersiz bir şekilde dijital ikiz destekli bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Dadongmen metro istasyonu bir vaka çalışması olarak kullanılmıştır. Projenin her yaşam döngüsü aşamasındaki maliyet tahmini ve karbon emisyonu kıyaslanmıştır. Karbon ayak izine ilişkin yeni bakış açısı olan dijital ikiz uygulamalarıyla entegre edilmiş bir sürdürülebilir kalkınmanın mümkün olacağı ifade edilmiştir.
- Kaewunruen ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yayımlanan “Mevcut Binalar için Net Sıfır Enerjili Binaların Dijital İkiz Değerlendirmesi” (A Digital-Twin Evaluation of Net Zero Energy Building for Existing Building) adlı çalışmada enerji talebinin yenilenebilir enerji kullanılarak, her zamankinden daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu doğrultuda enerji tüketiminde etkinlik ve verimlilik açısından binanın nihai faydasını belirlemeyi amaçlayarak yenilenebilir teknolojileri binaya uygulayan Net Sıfır Enerjili Binaların Uygulamaları için bir gelecek modeli sunulmaktadır. Bu çalışmada dijital ikizin, net sıfır enerjili binalarda uygulanan tüm yenilenebilir teknolojiler için uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

Farklı disiplinlerdeki içeriklere odaklanan çeşitli araştırmaların ilk sıralamalarda yer aldığı görülmektedir. Aynı zamanda atıf sayısı nispeten daha az olsa da akıllı şehir, kentsel dijital ikiz, kentsel planlama, alt yapı sistemleri gibi alanlarda da önemli çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan bazılarına bakılacak olursa:

- Caprari ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yapılan “Yeşil Mutabakat Döneminde Kentsel Planlama İçin Dijital İkiz: Son Durum ve Gelecek Perspektifleri” (Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives) adlı çalışma 47 kez atıf almıştır. Bu çalışmada kentsel planlama için uluslararası düzeyde çağdaş dijital ikizler projeleri sunulmaktadır. Mevcut dijital ikiz tipolojilerine genel bir bakış sunularak, sosyo-sağlık, iklim ve çevresel krizler kapsamında yaklaşım sergilenmektedir. Dijital ikizin disiplinler arası çerçevede çığır açan bir bilimsel format olarak yenilikçi rolünün altını çizmekte ancak aracın pratik kullanımının hala deneysel bir araştırma-eylem aşamasında olduğunu belirtilmektedir. Dijital ikizin şehirlerde, çevre ve şehir sakinleri çalışmaları için yeni bilişsel ufuklar açacağı vurgulanmaktadır.
- Callcut ve arkadaşları tarafından 2023 yılında yapılan “İnşaat Altyapı Sistemlerinde Dijital İkizler” (Digital Twins in Civil Infrastructure Systems) adlı çalışma 53 kez atıf almıştır. Bu çalışmada sivil altyapı sistemleri içinde dijital ikizlerin etkin bir şekilde uygulanması ve kullanılmasıyla ilgili mevcut tanımlar, kavramlar ve uygulamalar araştırılmaktadır. Söz konusu araştırma kapsamında ulaşım, enerji, telekomünikasyon, su ve atık vd. kapsayan akıllı şehirler ele alınmaktadır. Dijital ikizler aracılığıyla altyapı verilerinin doğru zamanda toplanmasını, paydaşların emisyonlarını azaltmasını, altyapı hizmetleri için sürdürülebilir seçimler yapmasını ve iklim dayanıklılığını proaktif bir şekilde yönetmesini sağlayacağı iddia edilmektedir.

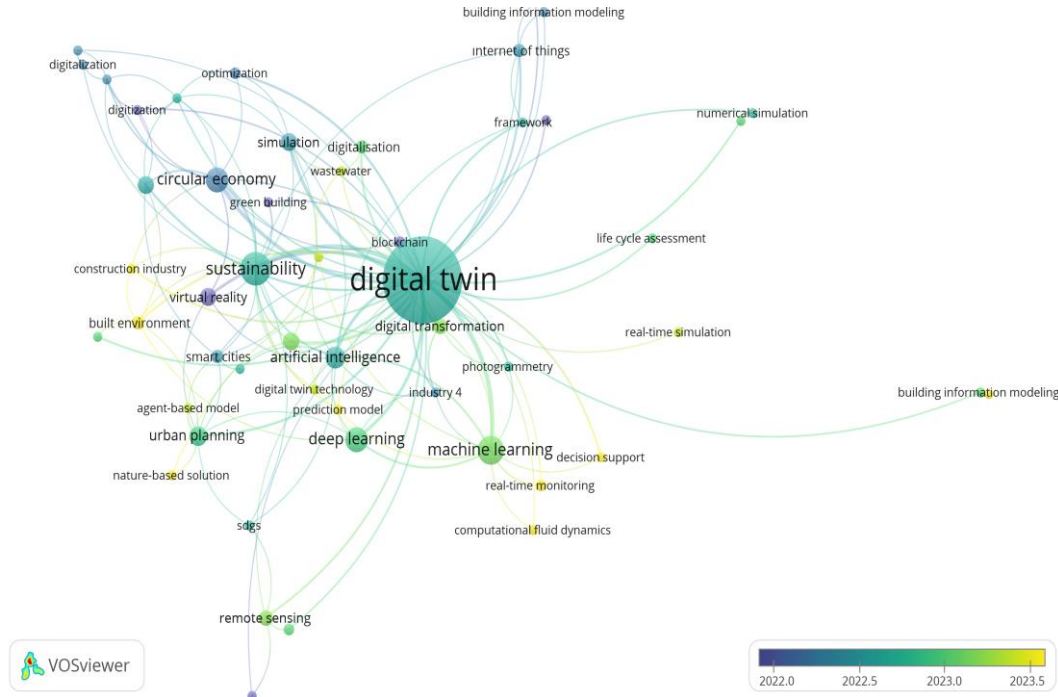
Yukarıda verilen örnek çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, çevre alanında dijital ikiz konusu, kentsel alan yönetimleri kapsamında ele alınmaktadır. Sosyal bilimler çerçevesinde yapılan çalışmalarda, kent araştırmalarına yönelik bir eğilim olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda ayrıca anahtar kelime analizine bakılarak anahtar kelimelerin son yıllardaki eğilimleri ve gelişimleri görülebilmektedir. Aşağıda Harita 2’de ortak anahtar kelime haritası gösterilmektedir:

Harita 2: Ortak Anahtar Kelime Analizi



1568 anahtar kelime içerisinde 62 kelimenin daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Ancak programda doğrulama ekranı incelenerek yanlış yazılmış veya tekrar edilmiş 7 kelime çıkarılmıştır. Bir anahtar kelimenin en az kullanılma sayısı program tarafından 3 olarak atanmıştır. Burada 1568 anahtar kelimenin 62'sinin 2 veya daha fazla kullanıldığı anlaşılmaktadır. 62 kelime içerisinde ise en geniş bağlantılı öge sayısı 55 olarak programda çıkmaktadır. Harita incelendiğinde 10 küme olduğu görülmektedir. Kırmızı renkli birinci kümede dögüsel ekonomi (circular economy) en fazla bağlantıya sahip anahtar kelimedir. Yeşil renkli ikinci küme haritanın merkezinde yer almaktadır ve dijital ikiz çalışmalarının dijital dönüşüm (digital transformation), gerçek zamanlı similasyon (real time simulation) ve yaşam dögüsü değerdendirmesi (life cycle assesment) konuları ile aynı kümede yer aldığı görülmektedir. Mavi renkli üçüncü kümede yapay zekâ (artificial intelligence); sarı renkli dördüncü kümede derin öğrenme (deep learning); mor renkli beşinci kümede sürdürülebilirlik (sustainability); açık mavi renkli altıncı kümede nesnelerin interneti (internet of things); turuncu renkli yedinci kümede sürdürülebilir kalkınma hedefleri (sdgs); kahverengi sekizinci kümede simülasyon (similation); açık pembe renkli dokuzuncu kümede makine öğrenimi (machine learning) ve açık kırmızı onuncu kümede inşa edilmiş çevre (built environment) kavramlarının dijital ikiz kavramı ile bağlantılarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Harita 3: Ortak Anahtar Kelime Analizi Yoğunluk Haritası



Programda anahtar kelimelerin yoğunluk haritası incelendiğinde; 2023 yılının ilk başlarında sürdürülebilirlik (sustainability), akıllı şehir (smart city), kentsel planlama (urban planning), döngüsel ekonomi (circular economy) anahtar kelimelerinin; 2023 yılının sonlarına doğru ise inşaat endüstrisi (construction industry), dijital ikiz teknolojisi (dijital twin technology) ve kurumsal dinamikler (computational dynamics) kelimelerinin araştırmalara daha fazla konu olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla gün geçtikçe dijital ikiz uygulamalarının her alana yayılmaya başladığı belirtilebilir.

8. Sonuç

Dijital ikiz, fiziksel herhangi bir varlığın sanal bir kopyasının oluşturulmasını sağlayan yenilikçi teknolojik bir araçtır. Fiziksel unsur, dijital unsur ve veri akışından oluşmaktadır. Fiziksel unsurdan, dijital ikize sürekli ve güncel veri akışı sağlanırken, aynı zamanda dijital ikizden fiziksel varlığa da bilgi akışı sağlanmaktadır. Böylece gerçek varlık üzerinde gelişebilecek tüm kötü olasılıklar, dijital ikiz üzerinde görünerek giderilebilmektedir. Bu işlevselliği sayesinde kullanım alanının oldukça genişlediği söylenebilir. Otomotiv sektöründen sağlık sektörüne, kentsel alan yönetiminden çevre yönetimine kadar çeşitli alanlarda uygulanmakta ve araştırılmaktadır. Her bir alana kendine özgü faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda, artan çevre sorunlarını azaltabilmek için de dijital ikiz modeline yönelik araştırmalar yapılmaktadır.

Dijital ikiz uygulaması, çevre sorunlarına yönelik teknolojik çözümler sunmaktadır. Gerçek zamanlı olarak iklim, çevre ve altyapı verilerinin (sıcaklık, su kalitesi, hava kalitesi, orman yangını, deniz seviyesi yükselmesi, su tüketimi, trafik yoğunluğu, elektrik tüketimi, sokak aydınlatma, çöp toplama vd.) izlenmesini ve yönetilmesini sağlayarak, mevcut ve olası çevresel sorunların önlenmesine ve

giderilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle dijital ikiz, çevre alanında kentsel planlama, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, akıllı şehirler gibi farklı alanlarda uygulanmaktadır. Ancak yine de çevre alanında dijital ikiz modelinin henüz gelişmekte olan bir uygulama olduğu söylenebilir. Bu çalışma ile dijital ikiz konusunun çevre alanındaki gelişim seyrinin ortaya koyulabilmesi için bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak, konu ile ilgili araştırmalara yönelik bir değerlendirmenin yapılması amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda hazırlanan çalışmada, çevre alanında "dijital ikiz" kavramı üzerine WoS veri tabanında yayımlanan çalışmaların sistematik bir değerlendirmesi sunulmuştur. Konu ile ilgili araştırmaların ilişkilerini gösterebilmek amacıyla Vosviewer programı kullanılarak haritalandırma yapılmıştır. Çevre alanında dijital ikize ilişkin çeşitli temalar açısından gelişen literatür ele alınarak; güncel çalışma konuları, araştırma eğilimleri ve yeterince incelenmemiş alanlar ortaya koyulmuştur. 2018 yılından itibaren çevre alanında yapılan dijital ikiz konulu akademik çalışmaların durumu incelenmiştir. Bu doğrultuda özellikle uluslararası literatür açısından bibliyometrik analiz yöntemine dayalı olarak WoS indeksinde tarama yapıldığında, tüm yıllar itibarıyla dijital ikiz kavramı ile ilgili farklı akademik alanlarda yapılan çalışma sayısının yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırma sonucunda dijital ikiz konusunda çevre alanında yer alan birçok alt disiplinde çalışmaların yayımlandığı görülmüştür. Bunlar içerisinde en fazla çevre bilimi (376, %92,157), sürdürülebilir yeşil teknolojiler bilimi (196, %48,039), çevre çalışmaları (190, %46,569) alanları gelmektedir. Alan sıralamasından yola çıkarak, dijital ikiz konusunun çevre alanında; teknik bilimler, fen bilimleri ve sosyal bilimler tarafından araştırılan disiplinler arası bir kavram olarak incelendiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda kent çalışmaları ve bölgesel kent planlama disiplinlerinde yapılan çalışmalar dikkate alınarak, kamu yönetimi disipliniinde artan bir araştırma potansiyeli olduğu görülmüştür.

Çevre alanında dijital ikiz konusuna ilişkin en fazla çalışma sayısına 2024 yılında ulaşıldığı tespit edilmiştir. 2018 yılından itibaren başlayan çalışmalar, her yıl artış göstererek devam etmiştir. Kavramın yaygın bir hâle gelmesi ile çeşitli disiplinler tarafından dikkat çekmeye başlamasına bağlı olarak araştırmaların artış gösterdiği ifade edilebilir. Aynı zamanda COVID-19'un etkisi ile birlikte dijitalleşmenin hız kazandığı yıllarda, araştırma sayısının çoğaldığı da belirtilebilir.

Çalışma türleri kapsamında, konu ile ilgili 408 (%100) çalışmanın, en çok makale türünde yayımlandığı tespit edilmiştir. Bu konuda yayım yapan ülkelere bakıldığında ise en fazla çalışmanın %32'lik oran ile Çin (131) tarafından yapıldığı tespit edilmiştir. Çin, teknoloji ve bilişim sistemlerinde dünyada öncü konumda olması, konu ile ilgili daha fazla araştırma yapmasını sağlamış olabilir. Türkiye ise, aynı alanda yeterli araştırma hacmine ulaşamamıştır. Türkiye'nin dijital ikiz alanında sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirmesinin birçok nedeninin bulunduğu söylenebilir. Öncelikle, Türkiye'nin teknoloji ve bilişim alanında Çin kadar gelişmiş olmaması, araştırma kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca, çevre alanında dijital ikizin henüz yeni bir araştırma konusu olması, bu alandaki çalışmaların sınırlı kalmasına yol açabilir. Dijital ikizin çevre araştırmalarında sosyal boyutları benimsenmemesi, konuya yönelik akademik ilginin azalmasına yol açmış olabilir. Bunun yanı sıra, yüksek maliyetlere bağlı bütçe kısıtları, projelerin kapsamını ve sayısını sınırlayabilir. Son olarak, niceliksel ve niteliksel açıdan yetersiz insan kaynağı, bu alandaki araştırmaların gelişimini engelleyebilir. Tüm bu faktörler birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'nin dijital ikiz alanındaki çalışmalarının niceliksel ve niteliksel açıdan sınırlı kalmasının temel nedenleri anlaşılmaktadır. Aynı

Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.

zamanda konu ile ilgili sosyal bilimler alanında yürütülen araştırmaların artırılması gerektiği anlaşılmaktadır.

En çok atıf alan çalışmalara bakıldığında ise genel olarak çeşitli disiplinlerdeki çalışmalara atıf yapıldığı görülmüştür. Bu araştırmalar içerisinde akıllı şehirler gibi dijital ikizin kentsel alanlarda kullanımına yönelik araştırmalara rastlanmaktadır. Aynı zamanda az sayıda atıf almasına rağmen kentsel planlama gibi kentsel alan yönetimlerinde araştırılan önemli çalışmalar ile karşılaşmaktadır. Anahtar kelimelerin yoğunluk haritası da dikkate alınarak, dijital ikizin çevre alanında, kentsel araştırmalara yönelik bir araştırma eğilimi içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan araştırma alanları ve sayılarına bakıldığında ise araştırma sayısının az olduğu görülmüştür. Bu durum da çevre kapsamında dijital ikizin kent çalışmaları alanında güncel bir araştırma konusu olmasına rağmen yeterince incelenmediği sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla söz konusu alana ilişkin boşluk bulunduğu ve araştırmaların arttırılması gerektiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda dijital ikiz araştırmaları içerisinde çevre alanında yapılan çalışmaların az sayıda olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda daha fazla araştırma yapılması gerektiği görülmüştür. Konuya yönelik araştırmaların daha derinlemesine anlaşılabilmesi için bibliyometrik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada sadece WOS veri tabanı kullanılmıştır. WOS veri tabanı, en geniş kapsamlı veri tabanı olarak, yaygın bir şekilde kullanılmasına karşın çalışma konusuna ilişkin tüm araştırmaları içermemektedir. Bu durum, çalışmanın sınırlılığını oluşturmaktadır. İleride yapılacak dijital ikiz ile ilişkili olan kavramlara yönelik çalışmalara farklı veri tabanlarının eklenmesi önerilmektedir.

9. Araştırmanın etik yönü

Bu araştırmanın etik kurul izni gerektirmeyen araştırmalardan olduğunu beyan ederim.

10. Çıkar çatışması beyanı

Çalışmanın yazarı bu çalışmada, sonuçları veya yorumları etkileyebilecek herhangi bir maddi veya diğer asli çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

11. Katkı oranı

Çalışmanın tüm aşamaları yazar tarafından tasarlanmış ve hazırlanmıştır.

12. Finansal destek beyanı

Bu çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluş tarafından maddi olarak desteklenmemiştir.

KAYNAKÇA

Agnusdei, G. P., Elia, V., & Gnoni, M. G. (2021). Is digital twin technology supporting safety management? A bibliometric and systematic review. *Applied Sciences*, 11(6), 2767. <https://doi.org/10.3390/app11062767>

- Al, U., & Tonta, Y. (2004). Atıf analizi: Hacettepe Üniversitesi Kütüphanecilik Bölümü tezlerinde atıf yapılan kaynaklar. *Bilgi Dünyası*, 5(1), 19–47. <https://bd.org.tr/index.php/bd/article/view/497>
- Altexsoft. (2025, January 8). *Digital twins: technology, use cases, and implementation tips*. <https://www.altexsoft.com/blog/digital-twins>
- Alptekin, G., & Türkmen, D. (2023). Dijital ikiz üzerine yapılan araştırmaların dergi yayınlarındaki eğilimlerinin görselleştirilmesi. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 1–30. <https://doi.org/10.51948/auad.1309385>
- Ankitha, V. (2024, February 28). *The role of digital twin in the automotive industry in 2025*. <https://www.toobler.com/blog/digital-twin-automotive-industry>
- Ariyachandra, M. R., & Gayan W. (2023). Digital twin smart cities for disaster risk management: A review of evolving concepts. *Sustainability*, 15(15), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su151511910>
- Aslan, M. M. (2024). Bir akıllı kent uygulaması olarak dijital ikiz teknolojisinin kent planlaması ve yönetimi sürecindeki rolü. *Gaziantep University Journal Of Social Sciences*, 4(23), 1613–1624. <https://doi.org/10.21547/jss.1514231>
- Astarita, V., Guido, G., Haghshenas, S. S., & Haghshenas, S. S. (2024). Risk reduction in transportation systems: The role of digital twins according to a bibliometric-based literature review. *Sustainability*, 16(8), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su16083212>
- Ata, N. S. (2023). Endüstri 4.0 bağlamında dijital ikiz kavramının uluslararası alanyazındaki yeri üzerine bibliyometrik analiz, Y. C. Dura (Ed.), 22. *Uluslararası İşletmecilik Kongresi Bildiriler Kitabı (ss. 499–509) içinde*. 07-09 Eylül, İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İstanbul. https://isletmecilik.org/files/IBC_Proceedings_Book.pdf
- Attaran, M., & Celik, B. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- Aydın, N. (2024). Bibliyometrik analiz nasıl yapılır: Genel bakış. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 10 (Special Issue), 153–160. https://scholar.google.com/scholar?cluster=6449321296890480040&hl=tr&as_sdt=0,5

- Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.
- Aynacı, İ. (2020). Dijital ikiz ve sağlık uygulamaları. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 70–82. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ikacuiibfd/issue/54124/710591>
- Babaoğlu, C., & Memiş, L. (2024). *Dijital ikiz ve akıllı şehirler*, (1. Baskı). Seta Yayınevi.
- Batty, M. (2018). Digital twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 817–820. <https://doi.org/10.1177/239980831879641>
- Birer, G. C. (2023, Mart). *İnsanın dijital ikizi*. Bilim ve Teknik. <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=g2xzibWzka7dTfr6+bVb9Pe?dergiKodu=4&cilt=55&sayi=1124&sayfa=38&yaziid=46384>
- Blair, G. S. (2021). Digital twins of the natural environment. *Patterns*, 2(10), 1–3. [https://www.cell.com/patterns/fulltext/S2666-3899\(21\)00221-X](https://www.cell.com/patterns/fulltext/S2666-3899(21)00221-X)
- Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A.-S., García, R., Moreno, M., Mendoza, R., & Santos, J. (2022). Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 14(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs14061335>
- Callcut, M., Agliozzo, J. P., Varga, L., & McMillan, L. (2021). Digital twins in civil infrastructure systems. *Sustainability*, 13(20), 1–32. <https://doi.org/10.3390/su132011549>
- Caprari, G., Malvezzi, R., & Camardelli, M. (2022). Digital twin for urban planning in the green deal era: A state of the art and future perspectives. *Sustainability*, 14(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su14106263>
- Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü. (2022, Eylül 28). *Şehirlerin dijital ikizlerini güncelliyoruz*. <https://cbs.csb.gov.tr/sehirlerin-dijital-ikizlerini-guncelliyoruz-haber-278818>
- Cruz, R. J., & Tonin, L. (2022). Systematic review of the literature on digital twin: A discussion of contributions and a framework proposal. *Gestão & Produção*, 29, 1–20. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e9621>
- Damar, M. (2022). Dijital dünyanın dünü, bugünü ve yarını: Bilişim sektörünün gelişimi üzerine değerlendirme. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (Dijitalleşme Özel Sayısı), 51–76. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1121818>

- Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., & Yamu, C. (2020). Urban digital twins for smart cities and citizens: The case study of Herrenberg Germany. *Sustainability*, 12(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su12062307>
- El-Agamy, R. F., Sayed, H., Akhatatneh, A., Aljohani, M., & Elhosseini, M. (2024). Comprehensive analysis of digital twins in smart cities: A 4200-paper bibliometric study. *Artificial Intelligence Review*, 57(6), 1–54. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10781-8>
- Ellegaard, O., & Wallin, J. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105, 1809–1831. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Emmert, S., Tripathi, S., & Dehmer, M. (2023). Analyzing the scholarly literature of digital twin research: trends, topics and structure. *Digital Object Identifier*, 11, 69649–69666. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10167635>
- Eren, F. (2024). Dijital ikiz kentler: Korkular ve geleceğe dair umutlar. *Şehir ve Düşünce*, 22, 98–105. <https://aperta.ulakbim.gov.tr/record/274078>
- Erturan, İ., & Ergin, E. (2018). Dijital denetim ve dijital ikiz yöntemi. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 20(4), 810–830. <https://doi.org/10.31460/mbdd.395261>
- Eumi, E. M. (2024). A systematic review of digital twins in efficient pandemic management with challenges and emerging trends. *Decision Analytics Journal*, 12, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100502>
- Filik, A., & Yeşilay, R. (2020). COVID-19 ile ivmelenen dijitalleşmenin PLM'e etkileri. *Mühendis ve Makina*, 61(701), 320–337. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.772061>
- Gao, C., Jianwei W., Shi D., Liu, Z., Cui, Z., Ma, N., & Zhao, X. (2022). Application of digital twins and building information modeling in the digitization of transportation: A bibliometric review. *Applied Sciences*, 12(21), 1–25. <https://doi.org/10.3390/app122111203>
- Glaessgen, E. H., & Stargel, D. (2012, April 16). *The digital twin paradigm for future nasa and U.S. air force vehicles*. NASA. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20120008178>
- Grandviewresearch. (2024). *Digital twin market size, share, trends analysis report by solution (component, process, system), by deployment (cloud, on-premise), by*

- Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi. *enterprise size, by application, by end use, by region, and segment forecasts, 2025-2030*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>
- Grieves, M. (2022). Intelligent digital twins and the development and management of complex system. *Digital Twin*, 2(8), 1–18. <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17574.1>
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: a systematic literature review. *Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
- Kaewunruen, S., & Lian Q. (2019). Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1537–1551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.156>
- Kaewunruen, S., Rungskunroch, P., & Welsh, J. (2019). A digital-twin evaluation of net zero energy building for existing buildings. *Sustainability*, 11(159), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su11010159>
- Karaca, Ş., & Önem, E. Ö. (2023). Dijital ikiz teknolojisinin turizm sektöründe kullanım alanları ve etkileri. *Kayseri Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2), 158–168. <https://doi.org/10.51177/kayusosder.1374880>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Koç, S., & Kale, E. (2025). Müşteriden kötü muamele çalışmalarının bibliyometrik analizi: Web of science örneği. *Turizm ve İşletme Bilimleri Dergisi*, 5(1), 40–60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turibder/issue/90306/1587818>
- Koçak, A., & Yıldız, A. (2022). Using digital twin technology in production planning and control process: An application in textile industry. *Journal of Science*, 4(10), 711–732. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1170021>
- Kumaş, E., & Erol, S. (2021). Endüstri 4.0'da anahtar teknoloji olarak endüstri dijital ikizler. *Journal of Polytechnic*, 24(2), 691–701. <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/61515/778934>
- Lam, W. S., Lam, W. H., & Lee, P. F. (2023). A bibliometric analysis of digital twin in the supply chain. *Mathematics*, 11(15), 3350. <https://doi.org/10.3390/math11153350>

- Li, J., Li, Y., Wang, J., & Fang, J. (2023). What we know about grief intervention: A bibliometric analysis. *Front Psychiatry*, 14, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1152660>
- Liu, W., Lv, Y., Wang, Q., Sun, B., & Han, D. (2024). A systematic review of the digital twin technology in buildings landscape and urban environment from 2018 to 2024. *Buildings*, 14, 1–26. <https://doi.org/10.3390/buildings14113475>
- Locke, J. (2023, May 12). *Digital twin examples*. <https://www.digi.com/blog/post/digital-twin-examples>
- Machado, T. M., & Berssaneti, F. (2023). Literature review of digital twin in healthcare. *Heliyon*, 9, 1–12. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)06598-2](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)06598-2)
- Mazzetto, S. (2024). Integrating emerging technologies with digital twins for heritage building conservation: An interdisciplinary approach with expert insights and bibliometric analysis with expert insights and bibliometric analysis with expert insights and bibliometric analys. *Heritage*, 7, 6432–6479. <https://doi.org/10.3390/heritage7110300>
- Mendi, A. F., Doğan, D., & Erol, T. (2021). Dijital denekler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 29, 174–180. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1009669>
- Nacak, A. (2024). Havacılık alanında dijital ikiz uygulamaları. *Journal of Aerospace Science and Management*, 2(1), 58–80. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jasam/issue/83175/1447349>
- Nalbant, F., & Sevinçli, B. G. (2022). Yoksullukla ilgili çalışmaların bibliyometrik analizi. F. İzci, B. Göksoy Sevinçli, & K. Demirci içinde, *Sosyo-Ekonomik Boyutlarıyla Yoksulluk Gerçeği* (ss. 42–59), Ekin Yayınevi.
- Nasirahmadi, A., & Hensel, O. (2022). Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*, 22(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s22020498>
- Ölmez, M. (2025). Yerel sürdürülebilirlikte dijital ikiz teknolojisi ve doğal afetleri önlemede etkisi: Japonya örneği. *İşletme*, 6(1), 103–127. <https://doi.org/10.57116/isletme.1645771>

- Koyuncu Hışım, B., (2025). Çevre Alanındaki Dijital İkiz Çalışmalarının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi.
- Özat, R., & Akçadağ, M. (2023). Systematic literature review of publications on digital twin topics in certain research areas. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 4(12), 2388–2410. <https://doi.org/10.15869/itobiad.1344962>
- Özen, A., & Gürel, F. N. (2020). Kamu denetiminde dijital dönüşüm: Dijital ikiz yöntemi. *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1), 16–23. <https://dergipark.org.tr/en/pub/izsbd/issue/52269/696209>
- Purcell, W., Neubauer, T., & Mallinger, K. (2023). Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61, 101252. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101252>
- Rahmadian, E., Feitosa, D., & Virantina, Y. (2023). Digital twins, big data governance, and sustainable tourism. *Ethics and Information Technology*, 25(56), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10676-023-09730-w>
- Reis, Z. A., & Nilgün Bozbuğa. (2022). Dijital ikiz ve tıbbi sistemlerin modellenmesi. N. Bozbuğa, S. Gülseçen, V. Kamer, & B. Kurtuldu (Eds.), *Tip bilişimi* (ss. 423–434) içinde. İstanbul Üniversitesi
- Rosen, R., Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. (2015). About the importance of autonomy and digital twin for the future of manufacturing. *Fac-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Scott, J. (2024, June 10). *What are digital twins and how can they be used healthcare*. HealthTech. <https://healthtechmagazine.net/article/2024/01/what-are-digital-twins-and-how-can-they-be-used-healthcare>
- Shengli, W. (2021). Is human digital twin possible? *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, 1, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100014>
- Siemens. (2025). *Dijital ikiz ile tezgah eğitimi*. <https://www.siemens.com/tr/tr/sektorel-cozumler/makine-imalati/takim-tezgahlari/cnc4you/dijital-ikiz-ve-tezgah-egitimi.html>
- Sierla, S., Aarnio, P., & Vyatkin, V. (2018). Automatic assembly planning based on digital product descriptions. *Computers in Industry*, 97, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.01.013>

- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Digital twin for smart manufacturing, a review. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100017>
- Şimşek, E., & Nalbant, F. (2023). Siyasal ahlak/etik ile ilgili çalışmaların bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Akademik Hassasiyetler*, 10(22), 161–193. <https://doi.org/10.58884/akademik-hassasiyetler.1274116>
- Tao, F., Zhang, M. & Nee A. (2019). *Digital twin driven smart manufacturing*. Academic Press.
- Vallée, A. (2023). Digital twin for healthcare systems. *Frontiers in Digital Health*, 5, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1253050>
- Vikhman, V. V., & Romm, M. (2021). “Digital Twins” in education: Prospects and reality. *Vysshee Obrazovanie Rossii Higher Education in Russia*, 30(2), 22–32. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2021-30-2-22-32>
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1372–1384. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1313019>
- Yükçü, S., & Aydın, Ö. (2020). Maliyet düşürme yöntemi olarak dijital ikiz. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 22(3), 563–579. <https://doi.org/10.31460/mbdd.694571>
- Zheng, P., Lin, T., Chen, C., & Xu, X. (2018). A systematic design approach for service innovation of smart product service system. *Journal of Cleaner Production*, 201, 657–667. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.101>
- Zhuang, C., Miao, T., Liu, J., & Xiong, H. (2021). The connotation of digital twin and the construction and application method of shop-floor digital twin. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 68, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.10207>
- Župič, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 423–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>