

Sürdürülebilir Turizm Planlamasında Etkili Bir Araç: Dijital İkiz Teknolojisi

Mehtap Türkan¹

Özgür Yılmaz²

Özet

Dijitalleşmenin farklı sektörlerde oluşturduğu kapsamlı ve çok boyutlu dönüşüm turizm sektöründeki etkisini giderek daha belirgin şekilde hissettirmekte ve sektörün işleyiş dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir. Bu bağlamda turizm sektörü, ekonomik kalkınma hedeflerini gerçekleştirmeye çalışırken çevresel değerlerin korunması, kültürel mirasın yaşatılması ve giderek önem kazanan sürdürülebilirlik ilkeleri arasında hassas bir denge kurmak durumundadır. Ancak teknolojik gelişmelerin ulaştığı aşama göz önünde bulundurulduğunda, böyle bir dinamik sürecin yalnızca geleneksel planlama anlayışıyla etkin biçimde yönetilemeyeceği açıktır. Bu noktada en dikkat çekici yeniliklerin başında dijital ikiz teknolojisi gelmektedir. Fiziksel varlıkların, ortamların veya sistemlerin dinamik bir sanal kopyasının oluşturulması anlamını taşıyan dijital ikizler; sensörlerin, IoT cihazlarının ve görüntüleme teknolojilerinin kullanılmasıyla gerçek dünyadan alınan verilerin sanal modele işlenmesine ve sanal modelden elde edilen bilgiler doğrultusunda dinamik karar alma süreçlerinin yönetilmesine imkân tanır.

Kavramsal perspektif doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmada dijital ikizler, sürdürülebilir turizm yönetiminde kritik ve stratejik bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir. Turizm destinasyonlarındaki doğal ve kültürel kaynaklardan ziyaretçi hareketliliğine, enerji tüketiminden trafik akışına, altyapı sistemlerinden atık yönetimine kadar birçok alan, dijital ikizler sayesinde sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda optimize edilebilmektedir. Dijital ikiz teknolojisi, kaynakların etkin kullanımını artırmanın, çevresel

1 Öğr. Gör. Dr. Mehtap Türkan, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gelibolu Piri Reis Meslek Yüksekokulu, Seyahat, Turizm ve Eğlence Hizmetleri Bölümü, mehtapturkan@comu.edu.tr, Orcid: 0000-0003-2243-0063

2 Öğr. Gör. Özgür Yılmaz, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, oyilmaz@balikesir.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8884-2381

etkileri en aza indirmenin ve ziyaretçi deneyimlerini iyileştirmenin yanı sıra, doğal afetler, savaşlar ve salgın hastalıklar gibi kitlesel krizlerin senaryolarını simüle ederek işletmelerin etkili stratejiler geliştirmesini mümkün kılmakta ve bu yönleriyle sürdürülebilir turizm hedeflerinin gerçekleştirilmesinde ve geliştirilmesinde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

1. GİRİŞ

Turizm, ev sahibi ülkelerin ekonomik büyümesine önemli katkılar sağlaması, istihdamı ve rekabet gücünü artıran çok yönlü imkânlar sunması sebebiyle küresel ekonomilerin itici ve yönlendirici gücü konumundadır (Casado Claro vd., 2023). Turizm, sadece ekonomik parametreler için değil aynı zamanda yumuşak güç ve kültürel diplomasi bağlamında da kritik roledir. Bu haliyle ulusal imajın pozitifte dönüştürülerek pekiştirilmesi, doğal ve tarihi alanların korunarak gelecek nesillere aktarılması ve kültürlerarası etkileşimin güçlendirilmesi noktasında stratejik önemde bir kaldıraç görevi üstlenen turizm sektörü her yeni günde önemini artırmaktadır (Özkan ve Boylu, 2021; Chen ve Duggan, 2016). Turizm sektörünün ülkelere sağladığı tüm ekonomik katkılara ve sosyo-kültürel avantajlara karşın bölgenin hem fiziksel hem de sosyal taşıma kapasitesinin üzerinde ziyaretçi sayısına ulaşmasıyla ortaya çıkan aşırı turizm olgusu doğal kaynaklar ve ekosistem üzerinde bozulmaları, sosyo-kültürel ve yerel yaşam kalitesi üzerinde kalıcı yıpranmaları ve kontrolsüz ekonomik büyüme gibi ciddi sürdürülebilirlik sorunlarını gün yüzüne çıkarmıştır (Vázquez vd., 2019; Ljubisavljević vd., 2025). Bir taraftan ülkelerin ekonomik menfaatlerini artırma gayretleriyle diğer taraftan küresel sürdürülebilirlik baskısı arasındaki gerilimle mücadele eden ve bu alanda denge arayan destinasyonlar için sürdürülebilir turizm planlaması kritik önem arz etmektedir (Wu vd., 2022).

Geçmiş dönemlerde turizm destinasyonlarının gelişimine ışık tutan geleneksel turizm planlaması yaklaşımının günümüzde çevresel risk faktörlerinin sürekli artış ve değişiklik göstermesi, turizm talebinde yaşanan çeşitlilikler, paydaş etkileşimlerinin daha karmaşık hale gelmesi ve karar süreçlerini yapısal olarak etkileyen dijitalleşmeyle birlikte yetersiz kaldığı görülmektedir (Hall, 2007; Bulchand-Gidumal vd., 2021).

Turizm, küresel ölçekte en hızlı büyüyen ekonomik sektörlerden biri olması nedeniyle birçok ülkenin sosyo-ekonomik yapısını doğrudan etkilemektedir. Lâkin bu hızlı büyümenin destinasyonların karşı karşıya kaldığı çevresel, sosyal ve yönetsel riskleri de beraberinde getirmesiyle sürdürülebilir turizm planlaması çağın koşullarına ayak uydurabilecek hale dönüşmüştür (Dick-Forde vd., 2020). Bu dönüşümün önemli göstergelerinden biri de dijital ikiz teknolojisidir. Fiziksel bir yapının lazer tarayıcılar ve gelişmiş

görüntüleme sistemleri aracılığıyla çok boyutlu ve mükemmel doğrulukla modellenerek dijital kopyasının hazırlanmasına imkân tanıyan dijital ikiz teknolojisi; sürdürülebilir turizm hedeflerinin desteklenmesi, gereksiz ve hatalı yatırımların önlenmesi, fiziksel varlıkların gerçek zamanlı izlenmesi, risk senaryolarının önceden görülerek engellenmesi bakımından günümüzde stratejik derecede önemli hale gelmiştir (Zheng vd., 2018; Fuller vd., 2020).

2. DİJİTAL İKİZ KAVRAMI

Dijital ikiz; bir nesnenin, sistemin ya da sürecin dijital eşini üreterek yaşam içindeki işleyişini bütüncül olarak izleyen, kontrol eden ve en iyi şekilde yöneten sanal karşılığını ifade eder (Kunath ve Winkler, 2018). Kavram, Grieves ve Vickers (2017) tarafından kuramsal altyapı olarak ortaya konulmuş, sonrasında Kritzing vd. (2018), Tao vd. (2019) ve Fuller vd. (2020) gibi araştırmacılar tarafından detaylandırılarak güncel literatürdeki haline evrilmiştir.

Dijital ikiz teknolojisinin en önemli özelliği; fiziksel bir sistemin gerçek dünyadaki kopyasıyla alakalı mevcut ve geçmiş tüm verilerini toplama, depolama ve yansıtma yeteneğidir (Tao vd., 2019). Dijital ikiz kavramının bütünüyle anlaşılır hale gelebilmesi için fiziksel sistem ile onun dijital kopyası arasındaki bütünleşme seviyesinin ve yoğunluğunun nasıl gerçekleştiğini ortaya koyan olgunluk düzeylerindeki yapısal farklılıkların belirlenmesi önem taşımaktadır (Javaid vd., 2023; Schweiger ve Barth, 2023). Olgunlaşma süreci; eş zamanlı veri güncelleme sıklığına, veri bütünleşme düzeyine ve sistemin otonom karar verme seviyesine bağlı olmak üzere üç katmanlı bir yapıda ele alınmaktadır (Grieves ve Vickers, 2017; Kritzing vd., 2018; Olivetti vd., 2019; Schweiger ve Barth, 2023; Oehlschläger vd., 2024).

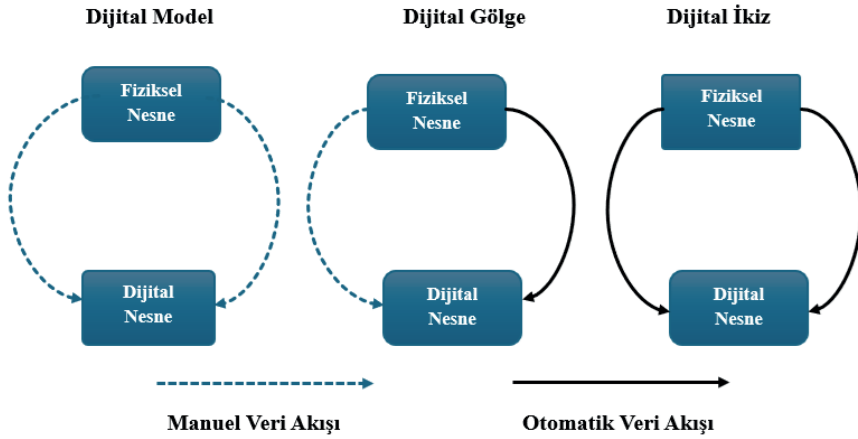
Dijital Model (DM): Fiziksel bir varlıktan dijital kopyasına tek yönlü veri akışının gerçekleştiği ve ikisi arasında eş zamanlı bir geri beslemenin olmadığı en temel dijital yansımadır. Dijital ikiz kavramının başlangıç noktası olarak kabul edebileceğimiz dijital model, fiziksel bir sisteme ait yaşam döngüsünün yalnızca belirli kesitlerini desteklediğinden bütünleşme düzeyi düşüktür. Bu nedenle karmaşık yapıya sahip sistemlerin hareketlerini bütüncül şekilde analiz etmesi olası değildir.

Dijital Gölge (DS): Fiziksel sistemden dijital kopyasına gerçek zamanlı ancak tek yönlü veri akışı sağlayan ve dijital modelden daha gelişmiş bir seviyeyi ifade eder. Fiziksel varlık üzerine konumlandırılan sensörler sayesinde toplanan veri akışı dijital kopyanın durumunu günceller. Buna karşın dijitalden fiziksel sisteme veri akışı söz konusu değildir. Dijital gölge, dijital modelden daha işlevsel olmasına karşın dijital ikizler gibi dinamik ve

özerk bir yapıya sahip değildir. Turistik tesislerde anlık doluluk oranlarına dair gelişmeleri gözlemede, atık su yönetiminin veya enerji tüketiminin takibi gibi süreçlerde büyük önem arz etmektedir.

Dijital İkiz (DT): Fiziksel sistemler ile sanal kopyaları arasında sürekli olarak çift yönlü veri akışının gerçekleştiği en ileri seviye dijital yansımadır. Bu yapı sadece fiziksel varlığı izlemekle kalmaz, aynı zamanda karar süreçlerine aktif olarak katılmak suretiyle sistemin iyileştirilmesini sağlar ve verimliliğini artırır (Tao vd., 2019). Son yıllarda yapılan çalışmalar; dijital ikiz teknolojisinin havacılıktan sağlık hizmetlerine, enerji sistemlerinden turizm destinasyon planlamasına kadar birçok alanda verimliliği önemli ölçüde artırdığını vurgulamaktadır. Bu üç katmanlı yapı, dijital ikiz teknolojisinin güçlü bir sisteme evrildiğini göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

Şekil 6.1. 'de fiziksel varlık ile dijital modeller arasındaki veri eşleşme düzeylerine ilişkin model gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Dijital model, dijital gölge, dijital ikiz

2.1. Dijital İkiz Teknolojisinin Tarihçesi

Dijital ikiz teknolojisinin terminolojiye girişi, Michigan Üniversitesi profesörlerinden Michael Grieves'in Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) araştırmacısı John Vickers ile yaptığı çalışmaların akabinde "ürün yaşam döngüsü yönetimi" konusunda 2003 yılında verdiği bir sunumla ilişkilendirilir (Fuller vd., 2020). Dijital ikiz kavramı, 2010 yılında NASA'nın sunduğu teknik raporda "iki veya daha fazla sayıdaki fiziksel özelliğin, farklı

ölçeklerin ve değişik senaryoların bir araya getirilmesi neticesinde bir uçağın ya da sistemin çalışma biçimini modelleyen ayrıntılı simülasyon süreci” şeklinde tarif edildi (Zheng vd., 2023). Grieves, dijital ikiz kavramını; fiziksel bir ürünün sanal bir temsili ve fiziksel üründen sanal temsile veri akışı ve sanal temsilden fiziksel ürüne bilgi aktarımını yapan bağlantıların olduğu üç bileşenli bir yapı olarak tanımlamıştır (Jones vd., 2020). 2012 yılında NASA tarafından “Geleceğin NASA ve ABD Hava Kuvvetleri Araçları için Dijital İkiz Paradigması” isimli makalenin yayınlanması dijital ikiz kavramının gelişimindeki kritik bir aşamanın geride bırakılmasını sağlamış ve yeni bir dönüm noktasının başlangıcı olmuştur (Fuller vd., 2020). Bu tarihten itibaren akademik çalışmalarda sıkça öne çıkan, sektörel çalışmalarda ise dikkat çekici bir teknoloji olarak farklı sektörlerde uygulama alanı bulan dijital ikiz, özellikle kaynak kullanımını verimli hale getirmek, maliyetleri en aza indirmek, operasyonel süreçleri iyileştirmek ve senaryo analizi ve simülasyon avantajlarıyla riskleri öngörüp ortadan kaldırmak amacıyla günümüzde de yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Dijital ikizin teknik olarak ilk çıkış noktası 1970 yılında gerçekleştirilen Apollo 13 Uzay Programına kadar uzanır. Apollo 13’ün görev sırasında oksijen tankının patlaması sonrasında oluşan sorunun giderilmesinde kullanılan dijital ikiz deneyiminin bugün kullanılan formun erken ancak etkileyici bir örneğini teşkil ettiği kabul edilmektedir. Olay sonrası NASA, uzay aracının dünya üzerindeki dijital kopyasını kullanarak 320.000 kilometre uzaklıktaki Apollo 13’ün sahip olduğu koşulları taklit ederek sorunları teşhis etmiş ve astronotlara çözümlere ilişkin talimatları iletmiştir. Bu sayede ekip kritik seviyedeki arızaları gidererek güvenli şekilde Dünya’ya geri dönmüştür (Houten, 2018).

Dijital ikiz teknolojisi geçmişte sadece endüstriyel ürünler için kullanılırken günümüzde her türlü ürün, hizmet ve karmaşık sistemler için de kullanılmaktadır. Kavram, yakın dönemde yaşanan teknolojik ilerlemelerle birlikte sadece cansız varlıklara yönelik olmayacak şekilde insanların biyolojik özelliklerine ve sağlıklarına dair kullanımları da içine alacak hale dönüştürülmüştür (Grieves, 2023). Dijital ikiz teknolojisinin başlangıcı havacılık alanında olsa da geldiğimiz noktada artık sağlık, eğitim, turizm gibi birçok sektörü içine alabilecek şekilde uygulanmaktadır (Singh vd., 2022). Özellikle turizm sektöründe faaliyet gösteren işletmelere rekabet avantajı sunan, doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasına imkân tanıyan ve olası riskleri ortadan kaldıran özellikleriyle dijital ikiz teknolojisinin sosyal bilimlerde de tercih edilme sıklığı her gün artmaktadır (Florido-Benítez, 2018).

2.2 Dijital İkiz Teknolojisinin Temel Bileşenleri

Dijital ikiz teknolojisi; makine, bina ve süreç gibi fiziksel varlıkların gerçek zamanlı verilerle desteklenen yüksek hassasiyetli dijital ayak izini oluşturmakta ve bu sayede operasyonel ve stratejik süreçlerde köklü bir dönüşüm sunmaktadır. Literatürde özellikle veri toplama, işleme ve analiz süreçlerindeki gelişmelerin dijital ikizlerin geleneksel planlama yaklaşımlarına kıyasla daha yüksek nitelikli performans sağladığı yönündeki görüşlere sıkça rastlanmaktadır. Geleneksel planlama, durağan ve çoğunlukla geçmiş verilerle beslenirken dijital ikizler, veri akışlarının sürekli güncellenmesi sayesinde dinamik ve geleceğe yönelik muhtemel senaryoları öngörebilen proaktif bir yapıya sahiptir (Tao vd., 2019; Ahelerooff vd., 2020; Jones vd., 2020). Tablo 1'de sunulan karşılaştırmalı yapı, geleneksel planlama yaklaşımı ile dijital ikiz tabanlı planlama yaklaşımı arasındaki ayırıcı özellikleri analitik bir çerçevede ortaya koymakta ve dijital ikiz bileşenlerinin uygulamadaki yansımalarını bütüncül bir halde değerlendirmektedir.

Tablo 6.1. Turizmde Geleneksel ve Dijital İkiz Tabanlı Planlama Yaklaşımlarına İlişkin Karşılaştırmalı Değerlendirme

Kriterler	Geleneksel Planlama Yaklaşımı	Dijital İkiz Tabanlı Planlama Yaklaşımı
Görselleştirme	Statik 2B haritalar ve planlar	Gerçek zamanlı güncellemelerle etkileşimli 3B modeller
Veri Kullanımı	Geçmiş veya manuel olarak toplanan verilere dayanır.	IoT sensörlerinden ve akıllı sistemlerden gelen gerçek zamanlı verileri entegre eder.
Senaryo Testi	Önceden tanımlanmış tahminlerle sınırlı	Yapay zekâ ve öngörücü analizler kullanılarak dinamik “ya şöyle olsaydı” simülasyonları
Paydaş Katılımı	Genellikle danışma aşamalarıyla sınırlıdır.	Paylaşılan dijital platformlar aracılığıyla sürekli iş birliğini mümkün kılar.
Çevresel Etki Değerlendirmesi	Tahminlere ve ortalamalara dayalı	Emisyonların, enerji kullanımının ve ekolojik bozulmanın gerçek zamanlı modellenmesi
Maliyet Verimliliği	Öngörülemeyen sorunlar nedeniyle verimsizliklere ve gecikmelere eğilimli	Geliştirilmiş tahmin, yeniden işleme ve uzun vadeli operasyonel maliyetleri azaltır
Karar Alma Hızı	Veri parçalanması ve koordinasyon boşlukları nedeniyle daha yavaş	Birleşik dijital ortamlar aracılığıyla daha hızlı, veriye dayalı kararlar

Kaynak: Bennett, L. R., ve Foster, D. J. (2025). Digital twin technology in tourism infrastructure planning. International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science (IJPREAMS), 9(3), 155-172.

Yukarıdaki tablodan hareketle dijital ikizin yaşam döngüsündeki işlevlerini üç temel bileşen üzerinden açıklamak mümkündür. Bunlar;

- a) Veri Toplama
- b) Modelleme ve Simülasyon
- c) Analiz ve Optimizasyon

Bileşenleridir (Fett vd., 2023; Zhang, 2023; Listl vd., 2024).

a) Veri Toplama

Dijital ikizin temel bileşenlerinden biri olan anlık veri toplama süreci, sistemin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu süreç; sensörler, IoT cihazları ve çeşitli veri kaynakları olmak üzere üç temel unsur üzerinden yürütülür. Veri toplama sürecinde fiziksel varlıkları, alanları ve süreçleri izleyebilmek amacıyla sıcaklık, hava kalitesi, ziyaretçi yoğunluğu, basınç, hız ve titreşim gibi parametreleri ölçen sensörlerden yararlanır. Bu sensörler, kesintisiz bilgi akışı sağlayarak dijital ikizin temsil ettiği varlığın güncel durumunu doğru biçimde takip etmesine olanak tanımaktadır. Bunun sonucunda işletmeler ve planlayıcılar operasyonel verilecek kararlara ilişkin değerlendirmelerini tam zamanında ve doğru bir şekilde yapabilirler.

b) Modelleme ve Simülasyon

Dijital ikizlerde modelleme ve simülasyon aşaması, elde edilen verilerin analiz edilip sanal bir modelin oluşturulmasını ifade eder. Fiziksel bir varlığın ya da sürecin matematiksel, görsel ve davranışsal özelliklerinin sanal ortama aktarılmasını sağlayan modelleme ve simülasyon aşaması oldukça işlevsel bir yapıdır. Bu modeller fiziksel varlıkların kapasite kullanım düzeylerinin, altyapı üzerindeki baskının ya da olması muhtemel senaryoların sanal ortamda sınanmasına imkân tanır. Böylece olası aksaklıkların erken dönemde tespit edilmesi ve operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi sağlanmış olur.

c) Analiz ve Optimizasyon

Dijital ikizlerde analiz ve optimizasyon aşaması, fiziksel varlıklardan sağlanan verilerin yorumlanarak operasyonel ve stratejik kararların alınmasına katkı sunmayı içerir. Elde edilen veriler yüksek nitelikli algoritmalar aracılığıyla analiz edilerek anormal durumlar ve muhtemel riskler önceden tespit edilir. Bu süreç, karar alma mekanizmalarını daha güçlü hale getirerek veri odaklı stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır.

2.3. Dijital İkiz Teknolojisinin Temel Özellikleri

Dijital ikiz, fiziksel nesnelerin gerçek dünyadaki davranışlarını canlandırmak ve geri bildirim sağlamak için sanal alanda yüksek doğruluklu modellerini oluşturur (Tao vd., 2019). Dijital ikiz teknolojisi özellikle sürdürülebilirlik odaklı turizm politikalarının güçlendirilmesi, karar alma süreçlerinin hızlanması, turizm destinasyonlarının üzerindeki çevresel, sosyal ve ekonomik baskıya karşı dayanıklılığının artırılması, ziyaretçi akışının yönetilmesi ve kriz senaryolarına karşı hazırlıkların yapılması gibi çok boyutlu bu sürecin etkin şekilde yönetilmesini sağlayan kritik önemde bir yönetim aracıdır (Rehman, 2025). Dijital ikizlerin temel özelliklerinin başında eş zamanlı ve çift yönlü veri alışverişi gelir. Fiziksel nesnenin üzerine konumlandırılan çeşitli sensörler aracılığıyla veriler kesintisiz bir şekilde toplanır, işlenir ve dijital modele aktarılır. Bu sayede dijital ikizler, fiziksel sistemlerin mevcut durumlarını takip ederek sistemlere gerçek zamanlı güncellemeler sağlar (Kritzinger vd. 2018; Schweiger ve Barth, 2023). Dijital ikiz teknolojisi, yöneticilere ve bu teknolojinin sürdürülmesinde görev alan çalışanlara karmaşık veri setlerini daha anlaşılır hale getirmek için 3B görselleştirmeler, kontrol panelleri ve analitik raporlar sunar. Bu görsel sunumlar sayesinde operasyonların daha bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirilmesi imkanı hale gelir (Schweiger ve Barth, 2023).

Dijital ikizlerin diğer bir özelliği, fiziksel varlıkların performansını izleyerek, anormallikleri tespit etmek, çevresel etkileri ya da tasarımsal değişiklikleri dijital ortamda test edilebilmek ve sistemin verimliliğini arttırmaya yönelik çözüm önerileri üretmektir. Bu özellik sayesinde karar verme süreçlerinde önemli ölçüde iyileştirmeler yapılabilir (Javaid vd., 2023; Sokolov vd., 2024). Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel varlıkların kapsamlı bir dijital yansımasını oluşturarak tasarım, üretim, işletme ve hizmetten çekme dâhil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan operasyonel engellerin azaltılmasına ve süreçlerin daha etkin biçimde desteklenmesine olanak tanımaktadır (Grieves ve Vickers, 2017; Tao vd., 2019; Almeida vd., 2025). Dijital ikizler; IoT, yapay zekâ, bulut bilişim, büyük veri analitiği ve siber-fiziksel sistemler gibi teknolojilerle uyumlu şekilde çalışarak geniş kapsamlı ve bütünleştirici bir alan oluşturur (Javaid vd., 2023). Dijital ikiz teknolojisinin entegrasyon yeteneği sayesinde dijital kopya bir yönetim platformu olarak rahatlıkla kullanılabilir.

3. TURİZMDE DİJİTAL İKİZ UYGULAMASI

Özellikle son yıllarda dijital alanda yaşanan hızlı gelişmeler ve buna bağlı olarak ortaya çıkan radikal dönüşüm süreçleri; yüksek rekabet koşullarında

varlıklarını sürdüren işletmelerin geleneksel planlama anlayışlarını ve standart iş yapma alışkanlıklarını yeniden değerlendirmeleri mecburiyetini ortaya çıkarmıştır. Büyük bir hızla ilerlemeye devam eden dijital dönüşüm, ilk olarak üretim sektöründe az maliyetle yüksek çıktı elde etmek, süreçleri hızlandırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve rekabet gücünü artırmak amacıyla kullanılmış ve çok geçmeden diğer sektörler tarafından da genel kabul görmüştür (Ljubisavljević vd., 2025). Bu gelişmeler özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin gıda ve içecek endüstrisindeki iş ortamını değiştirmiştir (Akgül, 2024).

Bu gelişmelerin ışığında, yoğun insan ilişkilerinin merkezinde yer alan turizm sektörü de karakteristik yapısını korumakla birlikte dijitalleşmenin ortaya çıkardığı gereksinimleri dikkate almak ve bunları karşılamak durumunda kalmıştır. Günümüzde misafirlerine beklentilerinin ötesinde kişiselleştirilmiş hizmetler sunarak operasyonel verimliliği en üst düzeye çıkarmak isteyen turizm sektörü için dijital dönüşümden faydalanmak, rekabet avantajının da ötesinde yapısal bir zorunluluk halindedir (Almeida vd., 2025). Diğer bir deyişle; fiziksel varlıkların sanal temsili olan dijital ikiz teknolojisi, turizm sektöründe de karmaşık süreçlerin etkin şekilde optimize edilmesine ve destinasyonların sürdürülebilir performansla yönetilmesine imkân tanıyan stratejik bileşen olarak görülmekte, böylelikle operasyonel verimlilik ve stratejik karar alma süreçleri daha güçlü hale getirilmektedir (Rahmadian vd., 2023).

4. DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TURİZM PLANLAMASINA KATKILARI

Fiziksel nesnelerin, süreçlerin veya destinasyonların dijital kopyasının oluşturulmasına dayandırılan ileri modelleme yaklaşımı olan dijital ikiz teknolojisi, turizm sektöründeki mikro ve makro ölçekli yönetim ve planlama süreçlerinde giderek daha fazla kabul görmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı turizm politikalarının güçlendirilmesi, veriye dayalı karar alma süreçlerinin desteklenmesi ve destinasyonların çevresel baskılara karşı daha dayanıklı hâle getirilmesi gibi hususlarda dijital ikizler çok katmanlı bir fayda sunmaktadır (Ljubisavljević vd., 2025).

Dijital ikizlerin sürdürülebilir turizm planlamasına olan katkıları çevresel, sosyo-kültürel, ekonomik ve yönetim boyutlarıyla irdelenmektedir.

4.1. Çevresel Sürdürülebilirlik Katkıları

Dijital ikizler; destinasyonların halihazırdaki çevresel varlıklarını her an takip etmeyi, olası risk alanlarını ve faktörlerini öngörmeyi ve değişik

senaryolardan kaynaklanan farklı çevresel etkileri kıyaslamayı imkânlı hale getirmektedir. Gerçek zamanlı elde edilen sensör verilerinin dijital modele kopyalanmasıyla su tüketimi, enerji kullanımı, karbon ayak izi kaynaklı sera gazı emisyonu ve atık miktarları en doğru şekilde izlenebilmekte; elde edilen verilerin işlenmesiyle kaynak verimliliği artırılarak çevresel sürdürülebilirlik sağlanmaktadır (Florido-Benítez, 2024; Rehman, 2025).

Dijital ikiz teknolojisinin en temel uygulama alanlarından biri, ziyaretçi hareketliliğinin ve akışının yönetilmesidir. Dijital ikiz, turizmde yaşanan hareketliliğinin izlenmesi ve modellenmesi yoluyla ziyaretçilerin rota tercihlerini, destinasyonlarda kalış sürelerini analiz ederek turizm faaliyetlerinin yoğunlaştığı alanlarda ziyaretçi akışının kontrol altına alınması gereken durumlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Khajenasiri vd., 2017; Wu vd., 2022). Dijital ikizlerin turistik destinasyonlardaki taşıma kapasitesinin analizini gerçekleştirmesi, aşırı turizmin yaşandığı bölgelerde stratejik bir rol oynamaktadır. Genellikle geçmiş verilere dayanarak hesaplamalar yapan geleneksel planlama yaklaşımlarının aksine dijital ikiz teknolojisi, gerçek zamanlı verilerden yararlanarak çeşitli senaryoları simüle eder ve eş zamanlı bilgiye ulaşmayı mümkün kılar. Bu özellik, karar alma süreçlerinin hızlanmasını, operasyonel süreçlerin optimize edilmesini ve proaktif müdahalelerin gerçekleştirilmesini sağlar (Ljubisavljević vd., 2025; Rehman, 2025).

Gerçekten sezonun yoğun yaşandığı turizm bölgelerinde birden ve aşırı kalabalıklaşmaya bağlı olarak ortaya çıkan hava kirlenmesi, kıyı erozyonu gibi çevre baskıları, dijital ikiz kullanılarak erken dönemde tahminlenebilmekte ve önleme amaçlı proaktif politikalar geliştirilebilmektedir. Bu kapsamda simülasyon modellerinden faydalanılarak ziyaretçilerin dağılımı, taşıma kapasitesine uygun planlama, hassas coğrafi özelliği olan alanların korunmasını amaçlayan ziyaretçi sınırlaması gibi hususlar bilimsel veriler kullanılarak öngörülebilir, düzenlenebilir (Florido-Benítez, 2024).

Görüldüğü üzere dijital ikiz, kaynakların etkin kullanımını sağlayarak ve ziyaretçi güvenliğini artırarak sürdürülebilir ve kontrollü bir ziyaret deneyiminin oluşturulmasını mümkün kılan çevresel uyum ve koruma beklentisini gerçekleştirme potansiyeli olan yeterli bir teknolojiyi sunmaktadır.

4.2. Sosyo-Kültürel Sürdürülebilirlik

Dijital ikizler, çevresel analizlerin yanı sıra destinasyonların sosyo-kültürel faktörlerini de modelleyebilecek bütüncü nitelikte etki gösterirler. Turizm faaliyetlerinin yerel halk üzerinde oluşturduğu baskıları ve etkileri açıklayacak modellenmenin yapılması, kültürel miras statüsünde görülen alanlara yönelik

risk değerlendirmesinde bulunulması, ziyaretçilerin davranış biçimlerinin kültürel taşıma kapasitesi dahilinde irdelenmesi faaliyetleri sosyo-kültürel sürdürülebilirlik boyutunu gerçekleştirecek alt boyutları oluşturmaktadır (Hall, 2007; Chen ve Duggan, 2016).

Turizm destinasyonlarında dijital ikiz teknolojisinden yararlanılan kritik alanlardan biri kültürel mirasın korunması ve sürdürülebilir şekilde yönetimidir. Tarihi yapıların gelecek kuşaklara aktarılmasında, risk altında olan alanların izlenmesi ve muhafaza edilmesi amacıyla dijital ikiz teknolojisi kullanılmaktadır (Khajenasiri vd., 2017). Bu süreçte sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları, yapının fiziksel bütünlüğünü tehlikeye atmadan kullanıcıların tarihi alanları deneyimlemesine olanak tanımaktadır. Dijital ikiz, arkeolojik alanlardaki ve tarihi yapılardaki bozulmaları izleyerek risk değerlendirmesinin yapılması ve restorasyon çalışmalarının planlanması için de kullanılmaktadır (Hall, 2007).

Görüldüğü üzere, kültürel miras alanlarının yüksek çözünürlüklü dijital ikizlerinin kopyalanmasıyla bu alanlardaki fiziksel bozulma risklerine karşı koruma stratejileri geliştirilebileceği gibi sürdürülebilir ziyaretçi yönetimine yönelik stratejilerin belirlenmesi ve planların hazırlanması da desteklenecektir. Böylelikle ziyaretçi akışları, etkinlik yoğunlukları ve etkileşim şekilleri analiz edilerek yerel halkın yaşam konforunu ve kalitesini koruyacak sosyal denge politikaları oluşturulabilecektir (Hall, 2007; Florido-Benítez, 2024; Ljubisavljević vd., 2025).

4.3. Ekonomik Verimlilik

Turizm işletmelerinde dijital ikiz teknolojisinden faydalanılmasıyla birlikte kaynak kullanımının optimize edilmesi, bakım süreçlerinin en doğru şekilde öngörülerek planlanması ve operasyonel süreçlerdeki aksamaların en aza indirilmesi gibi proaktif çalışmalarla ekonomik bakımdan önemli kazanımlar elde edilmektedir. Tesislerde yarı mamul, su, enerji gibi tüketimlerin modellenmesi, makine ve ekipman süreçlerine yönelik arıza olasılıklarının takip ve tahmin edilmesi ve operasyonel darboğazların erken zamanlamayla tespit edilmesi işletme maliyetlerini düşüreceği gibi genel verimlilik oranlarını da artıracaktır (Bennett ve Foster, 2025, Zheng vd., 2018).

Dijital ikiz teknolojisinden yararlanan destinasyon yönetimleri; turizm talep tahmini, sezon sürecinde dalgalanma yönetimi ve altyapı yatırımlarının planlanması konularında rasyonel kararlar verebilirler. Böylece kamu harcamalarının daha etkin kullanılması ve turizm gelirlerinin sürekliliği sağlanmaktadır (Bennett ve Foster, 2025). Ekonomik sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirildiğinde, dijital ikizlerin özellikle doğal afet,

pandemi, politik karmaşa, ekonomik kriz gibi dönemlerde talep değişkenliğini modelleme yoluyla işletmelerin finansal risklerini azaltma yönünde etkisinin bulunduğu söylenebilir.

4.4. Karar Alma Süreçlerinin İyileştirilmesi ve Yönetişim

Sürdürülebilir turizmde etkili yönetim, gerçek zamanlı ve doğru veriye dayalı karar alınmasını öngörür. Dijital ikiz teknolojisi, çoklu paydaşları (yerel yönetimler, işletmeler, STK'lar, yerel halk ve turistler) aynı dijital ortamda bir araya getirerek destinasyonun mevcut durumunu değerlendirmesini ve geleceğe yönelik senaryoları tartışmasını sağlar (Rahmadian vd., 2023). Diğer bir deyişle; sosyo-kültürel ve ekonomik sürdürülebilirlik bakımından dijital ikiz teknolojisinin en önemli katkılardan biri, paydaşlara görsel ve analitik olarak farklı senaryoları deneyimleme imkânını vererek katılımcılıkla şekillendirilmiş planlama süreçlerini ve karar mercii olarak yerel toplulukları öne çıkarması şeklinde ifade edilebilir.

Dijital ikizler, özellikle karmaşık planlama süreçlerinde farklı değişkenlerin bir arada analizine olanak sağlayarak karar destek sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Bu noktada; sürdürülebilir ulaşım politikaları, atık yönetim planları veya enerji verimliliği stratejileri, dijital ikiz tabanlı simülasyonlar üzerinden test edilebilir ve en uygun çözümler belirlenebilir (Florido-Benítez, 2024). Daha şeffaf ve katılımcı bir yönetim yapısının oluşmasına katkı sunan dijital ikizler, paydaşlar arasındaki iletişimin güçlenmesine ve siyasi kararların toplumsal kabulünün kolaylaşmasına yardımcı olmaktadır.

4.5. Destinasyon Dirençliliği ve Uyum Kapasitesinin Artırılması

Doğal çevre, yerel halk ve bölgeyi ziyaret eden turistlerle sürekli etkileşim ve karşılıklı bağımlılık ilişkisi içerisinde olan turizm endüstrisi, toplum üzerinde derin izler bırakan ve büyük kitleleri etkileyen doğal afetlerden, savaşlardan ve salgınlardan dolayı ciddi zararlar görmekte ve bu sebeple turizm faaliyetleri önemli ölçüde kesintiye uğrayabilmektedir (Rosselló vd., 2020; Scarlett, 2021; Başer ve İnce, 2022). Küresel boyuttaki iklim değişiklikleriyle birlikte artan doğal afetler, destinasyonların dayanıklılık kapasitesini güçlendirmeyi zorunlu hale getirmiştir. Dijital ikizler, afet risklerinin modellenmesi, acil durum senaryolarının simüle edilmesi ve kritik altyapıların kırılganlık analizlerinin yapılması için güçlü bir araç sunmaktadır (Sokolov vd., 2024). Bu teknolojiyle olası iklim değişikliklerinin hedef destinasyonlar üzerinde oluşturacağı kısa, orta ve uzun dönemli etkileri de öngörülebilir ve genel ve yerel yöneticiler, risk yönetimi planlamasını daha doğru modellerle kurgulayabilirler (Rosselló vd., 2020). Örneğin; sel veya taşkın riskine açık bölgelerde dijital ikiz kullanılarak su akış yolları modellenebilir; oteller, kamp

alanları veya kıyı tesisleri için güvenli bölgeler belirlenebilir. Benzer şekilde olası turist akını, enerji kesintisi veya ulaşım darboğazları gibi stres faktörleri önceden belirlenerek simülasyonlar kullanılarak test edilebilir.

Bu noktada dijital ikiz teknolojisi gelişmiş görselleştirme ve öngörücü simülasyon yetenekleriyle sektöre büyük avantaj sağlamaktadır. Dijital ikiz; kriz yönetmek, kültürel miras alanlarını korumak, turizm faaliyetlerinin sürekliliğini sağlamak ve sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla çevresel ve iklimsel risklerin yanı sıra sosyo-ekonomik değişimler, ziyaretçi yoğunluğundaki dalgalanmalar ve altyapı kaynaklı riskler gibi çeşitli senaryoların simülasyonlarını gerçekleştirerek önleyici stratejiler geliştirmektedir (Florido-Benítez, 2024).

Altyapı hizmetlerinin bütüncül ve akıllı bir şekilde yönetilmesi, dijital ikiz kavramının turizm sektöründeki önemli uygulama alanıdır. Bu teknoloji, enerji ve ulaşım alt yapısından su ve atık yönetimine kadar geniş bir alanda hizmet sağlayarak özellikle yoğun turizm sezonunda altyapı üzerinde biriken yüklerin yönetilmesi ve ileriye dönük bakım planlarının yapılması gibi konularda etkili kazanımlar sunmaktadır (Ljubisavljević vd., 2025). Bu sayede altyapı değişikliklerinin trafik akışı, ziyaretçi memnuniyeti, çevresel sürdürülebilirlik ve kaynak kullanımı üzerindeki etkileri test edilebilir, olası krizler ve felaketler önceden öngörülerek önlemler alınabilir ve departmanlar arası koordinasyon ile bilinçli karar alma süreçleri güçlendirilebilir (Sokolov vd., 2024; Rehman, 2025).

Turizm destinasyon yöneticileri, dijital ikizlerden elde edilen kapsamlı analizlerle altyapı sistemlerinde ortaya çıkabilecek darboğazları önceden belirleyerek enerji arzındaki dalgalanmaları ve hizmet kesintilerini proaktif biçimde önleme imkânını elde etmektedir. Bütün bu avantajları dikkate alındığında; dijital ikiz teknolojisinin altyapı yönetiminde öngörülebilirliği artırarak sürdürülebilir ve kesintisiz hizmet sunumunu destekleyen stratejik bir araç hâline geldiği söylenebilir. Dijital ikiz teknolojisinin sunduğu bu öngörü kapasitesi, destinasyonların hazırlık düzeyini artırmakta ve toparlanma süreçlerini hızlandırmaktadır. Böylelikle sürdürülebilir turizm planlamasının, mevcut kaynakların korunmasıyla birlikte geleceğe uyum yeteneğinin güçlendirilmesine dayanan bütünsel bir yapının tesisiyle başarıya ulaşabileceği söylenebilir.

5. TURİZMDE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARININ ZORLUKLARI VE SINIRLILIKLARI

Dijital ikiz teknolojisinin turizm sektöründe yaygın ve etkili kullanımını kısıtlayan çok boyutlu sorunlar mevcuttur. Veri kaynaklarının heterojen

oluşu, etik tartışmalar ve finansal açıdan dar boğazlar dijital ikizlerin turizm alanındaki olgunlaşma sürecini yavaşlatmaktadır. Bu bölümde turizmde dijital ikiz uygulamalarının karşılaştığı temel zorlukları veri güvenliği, teknik kısıtlar, yönetim, etik ve insan kaynağı eksiklikleri bağlamında bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır (Fuller vd., 2020; Shweiger ve Barth, 2023).

5.1. Veri Gizliliği ve Siber Güvenlik Riskleri

Turizm sektöründe kullanılan dijital platformlar çoğunlukla üçüncü taraf hizmet sağlayıcılarının alt yapılarına bağlı olduğu için verilerin aktarımı esnasında siber saldırı olma ihtimali oldukça yüksektir. Çünkü bir IoT sisteminde kullanılan heterojen ağlarda, kullanıcılar için yüksek düzeyde gizlilik ve güvenlik sağlamak kolay değildir (Kuštelega vd., 2024). Dijital ikiz teknolojisi büyük hacimli ve çoğu zaman hassas niteliğe sahip verilerin toplanmasını, depolanmasını ve analiz edilmesini gerekli kılar (Khajenasiri vd., 2017). Bu gereklilik özellikle ziyaretçilerin hareketlerine ilişkin konum bilgileri, yaptıkları işlemlere ait kayıtlar, biyometrik göstergeler ve çevresel ölçümler kişilere ya da işletmelere önemli mahremiyet risklerini de beraberinde getirmektedir (Kuštelega vd., 2024). Turist davranışlarının sürekli izleniyor olması gizlilik sorunlarının en kritik yönlerinden birini oluşturur. Bu durum kişisel verilerin korunması ilkesiyle de çelişmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak isteyen destinasyon yöneticileri blockchain tabanlı şifreleme yöntemleri gibi güvenlik protokollerine ihtiyaç duyarlar ancak kullanılabilirlikleri ve maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda bu teknolojilere her zaman kolaylıkla ulaşabilmenin mümkün olmadığı görülmektedir (Tyan vd., 2020).

Özellikle Avrupa genelinde kişisel verilerin korunmasına yönelik düzenleme yapan Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) turizmde veri işlemenin sınırlarını çizmekte ve sınırları ihlal edenlerle ilgili ciddi yaptırımlar ortaya çıkmaktadır. Tüm bu önlemlere rağmen verilerin işlenmesiyle ilgili endişeler hala devam etmektedir. Çünkü yapay zekâ algoritmaları henüz emekleme aşamasındadır. Teknoloji büyük bir hızla ilerlerken yakın gelecekte yapay zekâ ile ilgili daha fazla inceleme ve düzenleme yapılması ve önlemler alınması, kullanıcı verilerini korumak için görev yapan algoritmaların gelişimine katkı sağlayacaktır (Fuller vd., 2020; Lučić, 2023).

5.2. Altyapısal, Finansal ve Teknik Kısıtlar

Turizm destinasyonlarının dijital ikiz modellerini oluşturabilmesi için yüksek doğrulukta sensörler, güçlü yazılım altyapıları, bulut sistemleri, hızlı veri işleme kapasitesi ve kesintisiz internet bağlantısına ihtiyaç vardır (Tao vd., 2019). Bazı altyapısal yetersizlikler nedeniyle gelişmekte olan ülkelerin

bu teknolojik gereksinimleri karşılamada zaman zaman önemli güçlüklerle karşılaştığı görülmektedir.

Dijital ikiz teknolojisinin oluşturulması da sürdürülebilir şekilde güncellenmesi de maliyetli bir süreci kapsar. Yazılım lisansları, sensörlerin periyodik bakımı, veri depolama maliyetleri ve uzman işgücünün istihdamı işletmeler ve kamu kurumları için önemli bir finansal yük oluşturmaktadır. Bu nedenle dijital ikiz uygulamalarının çoğunun hayata geçirilemeden, pilot proje düzeyinde kaldığı görülmektedir (Fuller vd., 2020).

Turizmde dijital ikiz uygulamalarına ilişkin bir diğer kısıt ise, teknik kapasiteye yönelik yetersizliklerden kaynaklanmaktadır. Veri setlerindeki eksiklikler ve düşük doğruluk seviyelerinden kaynaklı olarak turizm sektöründe kullanılan veri kaynaklarının dijital ikiz teknolojisine entegrasyonu konusunda sorun yaşanmaktadır. Bu durum dijital ikiz teknolojisinin tutarlılığını ve güvenilirliğini de olumsuz yönde etki etmektedir (Jones vd., 2020; Javaid vd., 2023).

5.3. Paydaşlar Arası Koordinasyon ve Yönetişim Sorunları

Turizm sektörü; yerel yönetimler, kamu kurumları, özel işletmeler, yerel halk, turistler, sivil toplum kuruluşları ve uluslararası aktörler gibi çok sayıda paydaşın etkileşim içinde bulunduğu karmaşık bir yapı içindedir. Bu nedenle turizm sektöründe dijital ikiz uygulamalarının başarıya ulaşabilmesi için yönetim mekanizmalarının sağlıklı şekilde çalışması ve koordinasyon eksikliğinin olmaması gerekmektedir (Rahmadian vd., 2023; Florido-Benítez, 2024). Ancak uygulamada paydaşların bilgi aktarımı konusundaki isteksiz tavırları, rekabet endişeleri, finansal kaynakların eşit şekilde paylaşılması, operasyonel manada önceliklerin birbirinden farklı olması gibi sebeplerle süreç beklendiği gibi gerçekleşmemektedir. Tüm bu sebeplerle bütüncül bir bakış açısına sahip yönetim modeli geliştirmek güçleşmektedir (Florido-Benítez, 2024; Almeida vd., 2025). Ayrıca dijital ikiz teknolojisinin turizm politikalarıyla uyumlu biçimde kullanılabilmesi için uzun vadeli stratejik planlara ihtiyaç vardır. Ancak planlama döngülerindeki politik değişimler ve bürokratik engeller, sürdürülebilir yönetim yapılarının gelişmesini engellemektedir (Buhalis 2020).

5.4. Etik Sorgulamalar

Turizmde dijital ikiz uygulamalarının hızla artması, etik açıdan birçok tartışmayı da beraberinde getirmektedir. Sorunların başında, turistlerin sürekli olarak izlenmesi, davranışlarının analiz edilmesi ve bu verilerin ticari amaçla kullanılmasıdır. Bu durum, bireysel özgürlükler ve mahremiyet açısından

önemli sorgulamalara ve sorunlara yol açmaktadır (Smith ve Watson, 2023). Ayrıca karar alma süreçlerinde dijital ikizlerin belirleyici hâle gelmesiyle beraber, insan öngörüsünün yerini yüksek oranda sayısal çıkarımların alması topluma ait kültürel değerlerin ve geleneksel bilgi birikiminin yok olmasıyla sonuçlanabilir (Kuštelega vd., 2024; Lučić, 2023).

Etik tartışmalardan bir diğeri de dijital sistemlerin kullanımının paydaşlar arasında mevcut güç dengesizliklerini artırma potansiyelidir. Büyük teknoloji şirketlerinin dijital ikiz altyapılarına hâkim olması durumunda turizm destinasyonlarının teknoloji sağlayıcılarına bağımlı hale gelmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu durum öncelikle yerel halkı sonra küçük ölçekli işletmeleri sistemin dışında kalmasına sebep olmaktadır (Rahmadian vd., 2023; Shweiger ve Barth).

5.5. İnsan Kaynağı Eksikliği, Standartlaşma Sorunları ve Uyum Problemleri

Dijital ikiz uygulamalarının turizmde yaygınlaşmasının önündeki önemli engellerden biri de veri bilimi, yapay zekâ, sensör teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi alanlarda yetişmiş yeterli sayıda ve nitelikli insan kaynağının olmayışına dayanmaktadır (Fuller vd., 2020).

Sektörde standartlaşmaya yönelik eksiklerin olması, dijital ikiz uygulamalarının ölçeklenmesini zorlaştırmaktadır. Dijital ikizlerin hangi veri setlerine dayanacağı, hangi güvenlik protokollerinin kullanılacağı, doğruluk seviyelerinin nasıl belirleneceği gibi konularda uluslararası ölçekte kabul görmüş standartların yokluğu, destinasyonlar arası karşılaştırmaların yapılmasını güçleştirmektedir (Fett vd., 2023).

Uyum sorunları da önemli bir sınırlılık olarak karşımıza çıkmaktadır. Dijital ikizler ile turizm bilgi sistemleri arasındaki entegrasyon teknik uyumsuzluklar sebebiyle çoğu zaman yarıda kalmaktadır. Özellikle geleneksel yönetim kültürüne sahip işletmelerde dijital dönüşüm süreçleri çok daha yavaş işlemektedir.

Uyum problemleri de önemli bir sınırlılıktır. Dijital ikizlerin mevcut turizm bilgi sistemleriyle entegrasyonu çoğu zaman teknik uyumsuzluklar ve örgütsel direnç nedeniyle gecikmektedir. Özellikle geleneksel yönetim kültürüne sahip kurumlarda dijital dönüşüm süreçleri yavaş ilerlemekte; bu da dijital ikiz uygulamalarının etkinliğini azaltmaktadır (Fuller vd., 2020; Jones vd., 2020).

6. SONUÇ

Dijital ikiz teknolojisi, turizm destinasyonlarının giderek karmaşılaşan yapısı, hızla değişen talep dinamikleri ve artan çevresel kırılganlıklar karşısında planlama süreçlerinin yeniden düşünülmesini zorunlu kılan bir araç olarak öne çıkmaktadır. Turizm sektörünün karşı karşıya olduğu aşırı yoğunluk, kaynak baskısı, karbon ayak izi ve sosyal maliyetler gibi sorunlar, yalnızca geleneksel yöntemlerle yönetilemeyecek kadar çok boyutlu hâle gelmiştir. Bu nedenle sürdürülebilir turizm planlamasının geleceği, karar destek süreçlerini daha analitik, daha öngörücü ve daha bütüncül bir çerçeveye taşıyacak teknolojilere ihtiyaç duymaktadır. Dijital ikizlerin sunduğu simülasyon kapasitesi, gerçek zamanlı veri entegrasyonu ve senaryo üretme yeteneği, bu dönüşüm ihtiyacının karşılanmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu bölümde sürdürülebilir turizm pazarlamasında dijital ikiz teknolojinin sunduğu fırsatlar, uygulama alanları ve karşılaşılan zorluklar bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler dijital ikizlerin çevresel izleme, operasyonel verimliliğin artırılması, karar alma süreçlerinin güçlendirilmesi ve destinasyon dirençliliğinin geliştirilmesi gibi kritik alanlarda sürdürülebilir turizm pazarlamasına stratejik katkılar sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte veri gizliliği riskleri, altyapısal eksiklikler, standartlaşma sorunları ve paydaşlar arası iş birliğinin sınırlı düzeyi gibi yapısal engeller, teknolojinin turizmde ölçeklenebilir ve bütünleşik biçimde kullanımını hâlâ kısıtlamaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, dijital ikizlerin sürdürülebilir pazarlama stratejilerine entegrasyonunda daha çok disiplinli ve paydaş odaklı modellere ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalar, özellikle gelişmekte olan destinasyonlarda altyapı kapasitesi, veri yönetişi, etik sorumluluklar ve dijital olgunluk düzeyi gibi değişkenlerin dijital ikiz uygulamalarının başarısına etkisini inceleyebilir. Ayrıca dijital ikiz tabanlı sürdürülebilir pazarlama stratejilerinin turist davranışları, destinasyon imajı ve rekabetçilik üzerindeki uzun vadeli sonuçlarını ölçen ampirik çalışmalar da literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bölüm, dijital ikizlerin sürdürülebilir turizm pazarlamasında dönüştürücü bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamakla birlikte, mevcut literatürdeki boşlukların ve uygulamadaki sınırlılıkların gelecekte yapılacak çalışmalar için zengin bir araştırma alanı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- Aheleroff, S., Xu, X., Zhong, R. Y., ve Lu, Y. (2021). Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101225.
- Akgül, V. (2024). Yiyecek içecek sektöründe teknoloji tabanlı yenilikçi uygulamalar ve dijital müşteri deneyimi, Ç. Başarır & Ö. Yılmaz (Ed.), Teknolojinin sosyal bilimlerde dönüştürücü gücü: Yeni disiplinlerarası yaklaşımlar içinde (ss. 185–206). Gaziantep: Özgür Yayınlar
- Almeida, D. S. de, Abreu, F. B. ve Boavida-Portugal, I. (2025). Digital twins in tourism: A systematic literature review. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.00002>.
- Bennett, L. R., ve Foster, D. J. (2025). Digital twin technology in tourism infrastructure planning. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science (IJPREAMS)*, 9(3), 155-172.
- Buhalis, D. (2020). Technology in tourism-from information communication technologies to eTourism and smart tourism towards ambient intelligence tourism: A perspective article. *Tourism Review*, 75(1)1, 267-272.
- Buhalis, D., Leung, D., ve Lin, M. (2023). Metaverse as a disruptive technology revolutionising tourism management and marketing. *Tourism Management*, 97, 104724.
- Bulchand-Gidumal, J. (2021). M. Sigala, R. Rahimi, ve M. Thelwall (Eds.), Big data and innovation in tourism, travel, and hospitality: Managerial approaches, techniques, and applications. *Zeitschrift für Tourismuswissenschaft*, 13(2), 309-310.
- Casado Claro, M.-F., Pastrana Huguet, J., ve Saavedra Serrano, M. C. (2023). Tourism as a soft power tool: The role of public diplomacy in Japan's country and destination branding. *Journal of Tourism, Sustainability and Well-Being*, 11(2), 66-80.
- Chen, Y.-W., ve Duggan, N. (2016). Soft power and tourism: A study of Chinese outbound tourism to Africa. *Journal of China and International Relations*, 4(1), 45-66.
- Dick-Forde, E. G., Oftedal, E. M., ve Bertella, G. M. (2020). Fiction or reality? Hotel leaders' perception on climate action and sustainable business models. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 12(3), 245-260.
- Fett, M., Wilking, F., Goetz, S., Kirchner, E., ve Wartack, S. (2023). A literature review on the development and creation of digital twins, cyber-physical systems, and product-service systems. *Sensors*, 23(24), 9786.
- Florido-Benítez, L. (2024). The use of digital twins to address smart tourist destinations' future challenges. *Platforms*, 2(4), 234-254.

- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., ve Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952-108971.
- Grieves, M. (2023). Digital twins: Past, present, and future in the digital twin. In N. Crespi, A. T. Drobot, ve R. Minerva (Eds.), *The digital twin*, 97-121. Springer.
- Grieves, M., ve Vickers, J. (2017). *Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems*. In F. J. Kahlen, S. Flumerfelt, ve A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches*, Springer, 85-113.
- Hall, C. M. (2007). *Tourism planning: Policies, processes and relationships* (2nd ed.). Pearson Education.
- Houten, H. V. (2018). The rise of the digital twin: How healthcare can benefit. Philips. https://www.philips.com/content/corporate/en_AA/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html/ (Erişim Tarihi, 18 Ekim 2025).
- Javaid, M., Haleem, A., ve Suman, R. (2023). Digital twin applications toward Industry 4.0: A review. *Cognitive Robotics*, 3, 71-92.
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., ve Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52.
- Kagermann, H., Wahlster, W., ve Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0 (Final report of the Industrie 4.0 Working Group)*. National Academy of Science and Engineering.
- Khajenasiri, I., Estebsari, A., Verhelst, M., ve Gielen, G. (2017). A review on Internet of things solutions for intelligent energy control in buildings for smart city applications. *Energy Procedia*, 111, 770-779.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., ve Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: Categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022.
- Kunath, M., ve Winkler, H. (2018). Integrating the digital twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. *Procedia CIRP*, 72, 225-231.
- Kuštelega, M., Mekovec, R., ve Shareef, A. (2024). *Privacy and security challenges of the digital twin: Systematic literature review*. *Journal of Universal Computer Science*, 30(13), 1782-1806.
- Lee, J., Bagheri, B., ve Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Listl, F. G., Dittler, D., Hildebrandt, G., Stegmaier, V., Jazdi, N., ve Weyrich, M. (2024). Knowledge Graphs in the Digital Twin: A systematic literature

- review about the combination of semantic technologies and simulation in industrial automation. *IEEE Access*, 12, 187828-187843.
- Ljubisavljević, T., Vujko, A., Arsic, M., ve Mirčetić, V. (2025). Digital twins in smart tourism destinations: Addressing overtourism, sustainability, and governance challenges. *World*, 6(4), 148.
- Lučić, S. (2023). *Protection of personal data in the tourism sector: Hotel and Tourism Management*, 11(1), 193-206.
- Oehlschläger, D., Glas, A. H., ve Eßig, M. (2024). Acceptance of digital twins of customer demands for supply chain optimisation: An analysis of three hierarchical digital twin levels. *Industrial Management ve Data Systems*, 124(3), 1050-1075.
- Olivotti, D., Dreyer, S., Lebek, B., ve Breitner, M. H. (2019). Creating the foundation for digital twins in the manufacturing industry: An integrated installed base management system. *Information Systems and E-Business Management*, 17(1), 89-116.
- Özkan, B. İ., ve Boylu, Y. (2021). A study on the use of tourism as a soft power instrument in international relations. *Journal of Tourismology*, 7(1), 73-99.
- Rahmadian, E., Feitosa, D., ve Virantina, Y. (2023). *Digital twins, big data governance, and sustainable tourism. Ethics and Information Technology*, 25(4), 61.
- Rehman, M. U. (2025). Digital twin applications in smart cities: A systematic review. *International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology*, 2(3), 237-249.
- Rosselló, J., Becken, S., ve Santana-Gallego, M. (2020). The effects of natural disasters on international tourism: A global analysis. *Tourism Management*, 79, 104080.
- Scarlett, H. G. (2021). *Tourism recovery and the economic impact: A panel assessment*. *Research in Globalization*, 3, 100044.
- Sepasgozar, S. M. E. (2021). Differentiating digital twin from digital shadow: Elucidating a paradigm shift to expedite a smart, sustainable built environment. *Buildings*, 11(4), 151-166.
- Shweiger, L., ve Barth, L. (2023). Properties and characteristics of digital twins: Review of industrial definitions. *SN Computer Science*, 4, 436.
- Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., ve Devine, D. (2022). Applications of digital twin across industries: A review. *Applied Sciences*, 12(11), 5727.
- Sokolov, O., Hosovsky, A., Ciszak, O., Ivanov, V., ve Pavlenko, I. A (2024). Digital twin of the soft robot with a pneumatic muscle actuator. In intelligent systems in production engineering and maintenance III. ISPEM 2023; Springer: Cham, Switzerland, 280-292.

- Tao, E, Qi, Q., Liu, A., ve Kusiak, A. (2019). Digital twins and cyber-physical systems toward smart manufacturing and Industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, 5(4), 653-661.
- Tyan, I., Yagiie, M. I., ve Guevara-Plaza, A. (2020). *Blockchain technology for smart tourism destinations*. *Sustainability*, 12(22), 9715.
- Vázquez Loaiza, J. P., Pérez-Torres, A., ve Díaz Contreras, K. M. (2019). *Semantic icons: a sentiment analysis as a contribution to sustainable tourism*. *Sustainability*, 11(17), 4655.
- Wu, Y., Jia, Z., ve Yu, T. (2022). Tourism and green development: Analysis of linear and non-linear effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15907.
- Zhang, Y. (2023). Digital twin system for tourist attractions based on 3D GIS technology. *Advances in Computer and Communication*, 4(5), 324-327.
- Zheng, Y., Yang, S., ve Cheng, H. (2018). An application framework of digital twin and its case study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(3), 1141-1153.