



ICCAUA Proceedings Journal

Proceedings of the international conference of contemporary affairs in architecture and urbanism-ICCAUA
Volume 9 (December 2026), 2620025

ICCAUA
Proceedings Journal
<https://journal.iccaua.com/>

Journal homepage: <https://journal.iccaua.com/>

DOI: <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2026TR0025>

Use of Digital Twin Technology in Landscape Architecture within the Context of Smart Cities

* ¹ Gizem Nagehan Aksu , ² Murat Özyavuz

¹ Department of Landscape Architecture, Institute of Natural Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

² Department of Landscape Architecture, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

¹ E-mail: gizzemaaksu@gmail.com , ² E-mail: mozyavuz@nku.edu.tr

¹ ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2050-2648> , ² ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-9713>

Abstract

Received: 22.04.2026
Revised: 22.06.2026
Accepted: 01.07.2026
Available online: 10.07.2026

Copyright © 2026 by the author(s).
All rights reserved.
This article is published under an open-access model and is made available in accordance with the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY).



The publisher maintains a neutral stance concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.
This article has been selected and peer-reviewed for publication in this journal as part of the 9th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, held on 7–8 May 2026 in Istanbul, Türkiye.

Sustainable urban design approaches have gained new tools and methods with the advancement of digital technologies. Digital twin technology, which enables the real-time virtual representation of physical environments, offers significant potential for sustainable landscape design and management within the context of smart cities. This study is adapted from an ongoing master's thesis and aims to examine the use of digital twin technology in landscape architecture from a sustainability and urban design perspective. The research adopts a qualitative methodology based on a literature review and selected examples, along with an evaluation of a university campus as a pilot study area. The findings indicate that digital twin systems are effective in monitoring environmental data, assessing ecological performance, and supporting adaptive landscape design decisions. The study concludes that digital twin technology provides an innovative and holistic tool for the development of sustainable urban landscapes.

Keywords: Digital Twin; Landscape Architecture; Smart Cities; Urban Sustainability

AKILLI KENTLER BAĞLAMINDA DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİNİN PEYZAJ MİMARLIĞINDA KULLANIMI

Özet:

Dijital teknolojilerdeki gelişmelerle birlikte sürdürülebilir kentsel tasarım yaklaşımları yeni araçlar ve yöntemler kazanmıştır. Fiziksel çevrelerin gerçek zamanlı sanal temsiline olanak tanıyan dijital ikiz teknolojisi, akıllı kentler bağlamında sürdürülebilir peyzaj tasarımı ve yönetimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışma, devam eden bir yüksek lisans tezinden uyarlanmış olup dijital ikiz teknolojinin peyzaj mimarlığında sürdürülebilirlik ve kentsel tasarım perspektifinden kullanımını incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, literatür taraması ve seçilmiş örnekler ile birlikte bir üniversite kampüsünün pilot çalışma alanı olarak değerlendirilmesine dayanan nitel bir yöntem benimsemektedir. Bulgular, dijital ikiz sistemlerinin çevresel verilerin izlenmesinde, ekolojik performansın değerlendirilmesinde ve uyarlanabilir peyzaj tasarım kararlarının desteklenmesinde etkili olduğunu göstermektedir. Çalışma, dijital ikiz teknolojinin sürdürülebilir kentsel peyzajların geliştirilmesi için yenilikçi ve bütüncül bir araç sunduğu sonucuna varmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital İkiz; Peyzaj Mimarlığı; Akıllı Kentler; Kentsel Sürdürülebilirlik

1. Giriş

Kentler tarih boyunca ekonomik, sosyal ve kültürel gelişimin merkezleri olmuş; ancak sanayileşme ve hızlı nüfus artışıyla birlikte çevresel sorunların yoğun olarak yaşandığı alanlara dönüşmüştür. Özellikle son yıllarda iklim değişikliği, hava kirliliği, doğal kaynakların azalması, enerji tüketiminin artması ve afet riskleri gibi sorunlar, kentlerin sürdürülebilirlik açısından yeniden değerlendirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan raporlara göre dünya nüfusunun büyük bir bölümünün kentlerde yaşamaya başlaması, kent yönetiminde daha yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (United Nations, 2019).

Bu süreçte dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte “akıllı kent” kavramı ön plana çıkmıştır. Akıllı kentler, bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak kentsel hizmetlerin daha verimli, sürdürülebilir ve yaşanabilir hâle getirildiği kent

modelleri olarak tanımlanmaktadır (Caragliu et al., 2011). Akıllı kent yaklaşımı yalnızca teknolojik altyapıyı değil; çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma, sosyal yaşam kalitesi ve yönetim süreçlerini de kapsamaktadır. Özellikle sensör teknolojileri, büyük veri, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi sistemler sayesinde kentlere ilişkin veriler gerçek zamanlı olarak analiz edilebilmekte ve karar verme süreçlerine entegre edilmektedir (Batty et al., 2012).

Akıllı kent yaklaşımının gelişmesiyle birlikte dijital ikiz teknolojisi de kent planlama ve yönetim süreçlerinde önemli bir araç hâline gelmiştir. Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel bir nesnenin, sistemin veya sürecin dijital ortamda oluşturulan gerçek zamanlı sanal temsilini ifade etmektedir (Grieves, 2014). İlk olarak üretim ve endüstri alanlarında kullanılan bu teknoloji, günümüzde kent planlama, ulaşım, enerji yönetimi, afet yönetimi ve çevresel analizler gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Tao et al., 2019).

Peyzaj mimarlığı açısından değerlendirildiğinde dijital ikiz teknolojisi; doğal süreçlerin izlenmesi, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi, mikroiklim analizleri, su yönetimi ve iklim değişikliğine uyum çalışmalarında önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle yeşil altyapı sistemlerinin planlanması ve yönetiminde gerçek zamanlı veri kullanımı, daha sürdürülebilir ve dirençli peyzaj tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Fuller et al., 2020).

Literatür incelendiğinde dijital ikiz teknolojinin daha çok mühendislik, ulaşım ve endüstriyel üretim alanlarında ele alındığı; peyzaj mimarlığı disiplini ise sınırlı sayıda çalışma bulunduğu görülmektedir. Bu durum, dijital ikiz teknolojinin peyzaj mimarlığı alanındaki potansiyelinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle akıllı kentler bağlamında dijital ikiz uygulamalarının yeşil alan yönetimi, iklim dayanıklılığı ve sürdürülebilir çevre planlaması açısından sağlayacağı katkılar önem taşımaktadır. Dijital ikiz teknolojinin akıllı kentler bağlamında peyzaj mimarlığındaki kullanım alanlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında dijital ikiz teknolojinin şehir parkları ve yeşil alan yönetimi, su yönetimi, mikroiklim izleme, ekosistem hizmetleri ve afet dayanıklılığı gibi alanlardaki uygulamaları değerlendirilmiş; teknolojinin sürdürülebilir peyzaj planlamasına katkıları tartışılmıştır.

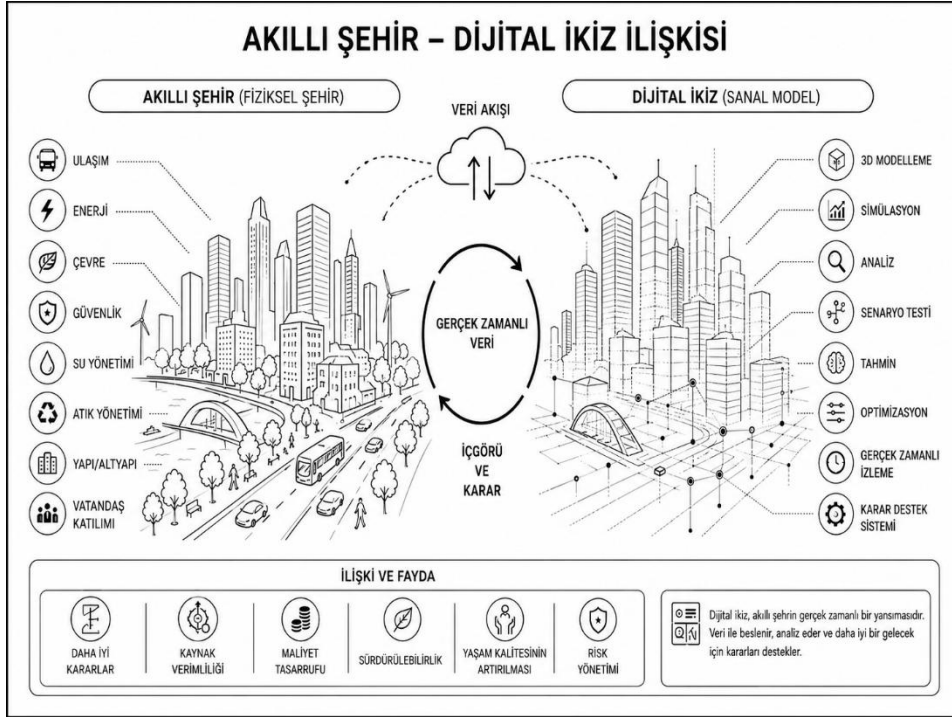
1.1 Akıllı Kent Kavramı

Dünya genelinde hızla artan kentleşme, iklim değişikliği, çevresel bozulmalar ve doğal kaynakların azalması gibi sorunlar, kentlerin daha sürdürülebilir ve dirençli biçimde planlanmasını zorunlu hâle getirmiştir. Bu süreçte bilgi ve iletişim teknolojilerinin kentsel sistemlerle bütünleşmesini ifade eden “akıllı kent” yaklaşımı ön plana çıkmıştır. Akıllı kentler; enerji, ulaşım, altyapı, çevre yönetimi ve kamusal hizmetlerin dijital teknolojiler aracılığıyla optimize edildiği, yaşam kalitesinin artırılmasının hedeflendiği sürdürülebilir kent modelleridir (Caragliu et al., 2011). Akıllı kent yaklaşımında nesnelerin interneti (IoT), büyük veri (Big Data), yapay zekâ, sensör teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi dijital araçlar kullanılmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde kentlere ait veriler gerçek zamanlı olarak toplanmakta, analiz edilmekte ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır (Batty et al., 2012). Böylece kent yönetiminde veri odaklı planlama anlayışı gelişmekte; çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi daha etkin şekilde gerçekleştirilmektedir.

1.2 Dijital İkiz Teknolojisi

Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel bir nesne, sistem veya sürecin dijital ortamda oluşturulan sanal temsilini ifade etmektedir. Bu teknoloji, fiziksel sistemlerden elde edilen gerçek zamanlı verilerin dijital modele aktarılmasıyla çalışmaktadır. Grieves (2014), dijital ikizi fiziksel bir varlığın sanal ortamda sürekli güncellenen temsili olarak tanımlamaktadır. Tao et al. (2019) ise dijital ikiz teknolojinin fiziksel ve dijital dünya arasında çift yönlü veri akışı sağlayarak sistem performansının analiz edilmesine olanak tanıdığını belirtmektedir.

Dijital ikiz teknolojisi üç temel bileşenden oluşmaktadır: fiziksel model, dijital model ve veri akışı. Fiziksel çevreden sensörler aracılığıyla elde edilen veriler dijital modele aktarılmakta ve sistemin davranışları eş zamanlı olarak analiz edilmektedir. Bu süreç sayesinde geleceğe yönelik senaryolar oluşturulabilmekte ve karar destek mekanizmaları geliştirilebilmektedir.



Figür 1. Akıllı Şehir – Dijital İkiz İlişkisi Kavram Şeması (Yapay zekadan yararlanılarak yapılmıştır.)

1.2.1 Dijital Model, Dijital Gölge ve Dijital İkiz

Dijital ikiz kavramı literatürde dijital model ve dijital gölge kavramlarıyla birlikte değerlendirilmektedir. Dijital model, fiziksel nesnenin yalnızca sanal temsilini ifade ederken veri akışı manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Dijital gölge sisteminde fiziksel nesneden dijital ortama otomatik veri aktarımı bulunmaktadır. Dijital ikizde ise fiziksel ve dijital ortam arasında çift yönlü veri akışı sağlanmakta ve sistem eş zamanlı olarak yönetilebilmektedir (Ketzler et al., 2020).

1.2.2 İkiz Dönüşüm ve Yeşil Dönüşüm Yaklaşımı

Son yıllarda dijital ikiz teknolojisi, sürdürülebilirlik odaklı dönüşüm süreçleriyle birlikte değerlendirilmektedir. “İkiz dönüşüm” (Twin Transformation) kavramı; dijital dönüşüm ile yeşil dönüşüm süreçlerinin birlikte yürütülmesini ifade etmektedir. Avrupa Birliği’nin Yeşil Mutabakat politikaları kapsamında dijital teknolojilerin karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir araç olduğu vurgulanmaktadır (Bibri et al., 2022).

1.3 Peyzaj Mimarlığında Dijital İkiz Teknolojisi

Peyzaj mimarlığı; doğal ve kültürel çevrenin planlanması, tasarlanması, korunması ve yönetilmesi süreçlerini kapsayan disiplinlerarası bir alandır. Günümüzde iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, su yönetimi sorunları ve kentleşme baskısı gibi çevresel problemler, peyzaj planlama çalışmalarında veri tabanlı yaklaşımların önemini artırmıştır.

Dijital ikiz teknolojisi, peyzaj mimarlığında çevresel süreçlerin gerçek zamanlı izlenmesine olanak sağlayarak sürdürülebilir planlama çalışmalarını desteklemektedir. Yeşil alanlar, su sistemleri, bitki örtüsü, mikroiklim koşulları ve ekosistem hizmetleri dijital ortamda modellenilebilmekte; elde edilen veriler doğrultusunda daha doğru planlama kararları geliştirilebilmektedir (Fuller et al., 2020).

Akıllı kent uygulamalarında dijital ikiz teknolojisinin kullanımı; kent parklarının yönetimi, mikroiklim analizleri, afet risk senaryoları, karbon yönetimi ve iklim dayanıklılığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışma, dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığındaki kullanım alanlarını akıllı kent yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1 Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden sistematik literatür taramasına dayanmaktadır. Araştırma kapsamında dijital ikiz teknolojisi, akıllı kentler ve peyzaj mimarlığı ilişkisini ele alan ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar incelenmiştir.

2.2 Veri Toplama Süreci

Araştırmada Web of Science, Scopus, ScienceDirect ve Google Scholar veri tabanları kullanılmıştır. Literatür taramasında “digital twin”, “smart city”, “landscape architecture”, “urban resilience”, “green infrastructure” ve “climate adaptation” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında özellikle 2015–2025 yılları arasında yayımlanan güncel akademik yayınlar değerlendirilmiştir.

2.3 Veri Toplama Süreci

Araştırma kapsamında elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş ve dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığındaki kullanım alanları sınıflandırılmıştır. İncelemeler sonucunda kullanım alanları; şehir parkları ve yeşil alan yönetimi, su yönetimi, mikroiklim izleme, ekosistem hizmetleri ve afet dayanıklılığı başlıkları altında ele alınmıştır.

3. Bulgular

3.1 Şehir Parkları ve Yeşil Alan Yönetimi

Dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığındaki en önemli kullanım alanlarından biri şehir parkları ve kentsel yeşil alan yönetimidir. Günümüzde kentlerde artan nüfus yoğunluğu ve yapılaşma baskısı, mevcut yeşil alanların daha verimli ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini gerekli hâle getirmiştir. Bu doğrultuda sensör teknolojileri, coğrafi bilgi sistemleri ve gerçek zamanlı veri akışıyla desteklenen dijital ikiz sistemleri, park yönetim süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Park alanlarına yerleştirilen sensörler aracılığıyla toprak nemi, hava sıcaklığı, bitki sağlığı, sulama ihtiyacı ve kullanıcı yoğunluğu gibi veriler anlık olarak izlenebilmektedir. Elde edilen veriler dijital ortama aktarılmakta ve sistem performansı eş zamanlı olarak analiz edilmektedir. Böylece sulama sistemlerinin otomatik olarak yönetilmesi, bakım süreçlerinin optimize edilmesi ve kaynak kullanımının azaltılması mümkün hâle gelmektedir (Fuller et al., 2020). Büyük ölçekli kent parklarında dijital ikiz teknolojisi sayesinde bakım maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir yönetim anlayışının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca kullanıcı hareketlerinin analiz edilmesiyle park içerisindeki yoğun kullanım alanları belirlenebilmekte ve mekânsal düzenlemeler kullanıcı ihtiyaçlarına göre geliştirilebilmektedir. Bu durum, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de kullanıcı konforu açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

3.2 Su Yönetimi ve Su Döngüsü

Küresel iklim değişikliği, kuraklık riskinin artması ve su kaynaklarının azalması, kentlerde sürdürülebilir su yönetimini öncelikli konular arasına taşımıştır. Dijital ikiz teknolojisi, su kaynaklarının daha kontrollü ve verimli kullanılmasına yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle yağmur suyu yönetimi, sulama sistemleri ve geçirgen yüzey analizleri dijital modeller aracılığıyla detaylı biçimde değerlendirilebilmektedir.

Gerçek zamanlı veri akışı sayesinde yağış miktarı, su tüketimi, toprak geçirgenliği ve sulama ihtiyacı gibi parametreler sürekli izlenebilmektedir. Böylece gereksiz su kullanımının önüne geçilmekte ve su tüketiminde önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır. Akıllı sulama sistemleri ile entegre çalışan dijital ikiz modelleri, çevresel koşullara göre otomatik sulama planlaması yapabilmektedir (Tao et al., 2019). Dijital ikiz sistemleri, taşkın risklerinin belirlenmesi ve yağmur suyu altyapısının analiz edilmesi açısından da önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle yoğun yağış alan bölgelerde oluşturulan simülasyonlar sayesinde su baskını riski taşıyan alanlar önceden belirlenebilmekte ve gerekli planlama kararları alınabilmektedir. Bu durum kentlerin iklim değişikliğine karşı daha dirençli hâle gelmesine katkı sağlamaktadır.

3.3 Mikroiklim ve Isı Adası İzleme

Kentlerde yoğun yapılaşma, geçirimsiz yüzeylerin artışı ve yeşil alanların azalması sonucu ortaya çıkan kentsel ısı adası etkisi, günümüzde önemli çevresel sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle yaz aylarında kent merkezlerinde sıcaklık değerlerinin kırsal alanlara göre daha yüksek olması, insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.

Dijital ikiz teknolojisi sayesinde sıcaklık, hava nemi, rüzgâr hareketleri, güneşlenme süresi ve hava kalitesi gibi çevresel veriler gerçek zamanlı olarak analiz edilebilmektedir. Sensörlerden elde edilen veriler dijital modele aktarılmakta ve kent içerisindeki mikroiklim farklılıkları detaylı biçimde ortaya konulmaktadır (Schwarz et al., 2018). Böylece sıcaklık yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler belirlenebilmekte ve bu alanlarda yeşil altyapı uygulamalarının artırılmasına yönelik planlama kararları geliştirilebilmektedir. Mikroiklim analizleri aynı zamanda bitkilendirme tasarımlarında da önemli rol oynamaktadır. Gölgeleme etkisi yüksek bitki türlerinin belirlenmesi, rüzgâr koridorlarının oluşturulması ve geçirgen yüzey kullanımının artırılması gibi uygulamalar dijital analizler doğrultusunda planlanabilmektedir. Bu durum kentlerin iklim değişikliğine karşı daha dirençli hâle gelmesine katkı sağlamaktadır.

3.4 Ekosistem Hizmetlerinin İzlenmesi

Dijital ikiz teknolojisi, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi ve çevresel performans analizlerinin gerçekleştirilmesi açısından önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ekosistem hizmetleri; karbon depolama, hava kalitesinin iyileştirilmesi, su döngüsünün düzenlenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve rekreasyonel katkılar gibi çevresel işlevleri kapsamaktadır.

Gerçek zamanlı veri sistemleri sayesinde yeşil alanların karbon tutma kapasitesi, hava sıcaklığı üzerindeki etkisi ve çevresel performansı dijital ortamda analiz edilebilmektedir. Özellikle üç boyutlu kent modelleriyle desteklenen dijital ikiz sistemleri, kentsel ekosistemlerin detaylı biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Helsinki’de geliştirilen dijital kent modeli, çevresel verilerin izlenmesi ve sürdürülebilir kent planlama süreçlerinin desteklenmesi açısından önemli örneklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Ketzler et al., 2020). Biyolojik çeşitlilik verilerinin dijital ortama aktarılması sayesinde habitat sürekliliği, yeşil koridorlar ve ekolojik bağlantılar analiz edilebilmektedir. Bu durum, kentlerde doğa temelli çözümlerin geliştirilmesine ve sürdürülebilir peyzaj planlama yaklaşımlarının güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

3.5 Afetlere Dayanıklı Peyzaj Tasarımları

İklim değişikliğine bağlı olarak artan sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları ve orman yangınları gibi afetler, kentlerin çevresel dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle günümüzde afet risklerini azaltmaya yönelik veri tabanlı planlama yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, farklı afet senaryolarının modellenmesi ve risk analizlerinin gerçekleştirilmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Gerçek zamanlı veri akışıyla desteklenen dijital modeller sayesinde sel riski taşıyan alanlar, sıcaklık yoğunluğu yüksek bölgeler ve kuraklık tehdidi altındaki peyzaj alanları belirlenebilmektedir. Aynı zamanda farklı senaryolar oluşturularak afet durumlarında sistemin nasıl tepki vereceği analiz edilebilmektedir (Huang et al., 2020). Geçirgen yüzey kullanımı, yağmur bahçeleri, biyolojik hendekler ve yeşil altyapı sistemleri gibi doğa temelli çözümler dijital simülasyonlarla test edilebilmekte ve en uygun planlama kararları geliştirilebilmektedir. Bu durum yalnızca afet risklerinin azaltılmasına değil, aynı zamanda kentlerin uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliğine de katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda elde edilen bulgular, dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığında yalnızca tasarım ve modelleme süreçleriyle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda yeşil alan yönetimi, su kaynaklarının etkin kullanımı, mikroiklim koşullarının izlenmesi, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi ve afetlere karşı dayanıklı peyzaj yaklaşımlarının geliştirilmesi gibi çok yönlü alanlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Bu nedenle çalışmada ele alınan kullanım alanları, izlenebilecek veri türleri ve bu verilerin peyzaj mimarlığına sağladığı temel katkılar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Dijital İkiz Teknolojisinin Peyzaj Mimarlığında Kullanımı.

Kullanım Alanı	İzlenen Veri	Sağlanan Katkı
Şehir parkları yönetimi	Toprak nemi, bitki sağlığı	Sürdürülebilir bakım
Su yönetimi	Sulama ve yağış verileri	Su tasarrufu
Mikroiklim izleme	Sıcaklık, nem, rüzgar	Isı adası azaltımı
Ekosistem hizmetleri	Karbon ve biyolojik çeşitlilik verileri	Çevresel sürdürülebilirlik
Afet yönetimi	Sel ve kuraklık verileri	İklim dayanıklılığı

4. Tartışma

4.1. Dijital İkiz Teknolojisinin Peyzaj Mimarlığına Katkıları

Araştırma sonuçları, dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığında sürdürülebilir, veri odaklı ve öngörüye dayalı planlama süreçlerini destekleyen önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Peyzaj mimarlığı; ekolojik, fiziksel, sosyal ve iklimsel birçok değişkeni birlikte değerlendiren çok boyutlu bir disiplindir. Bu nedenle planlama ve tasarım kararlarının yalnızca mevcut alan verilerine göre değil, zaman içinde değişen çevresel koşullar dikkate alınarak verilmesi gerekmektedir. Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel çevrenin dijital ortamda dinamik bir temsilini oluşturarak bu süreçte katkı sağlamaktadır.

Gerçek zamanlı veri analizi sayesinde sıcaklık, nem, rüzgâr, yağış, toprak nemi, bitki sağlığı, kullanıcı yoğunluğu ve yüzey sıcaklığı gibi çevresel değişkenler izlenebilmektedir. Bu veriler, peyzaj alanlarının mevcut durumunun değerlendirilmesine ve geleceğe yönelik senaryoların oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Özellikle iklim değişikliğine uyum, karbon yönetimi, su verimliliği, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması ve yeşil altyapı planlaması gibi konularda dijital ikiz teknolojisi önemli katkılar sunmaktadır. Dijital ikizler, farklı tasarım senaryolarının uygulama öncesinde test edilmesini sağlayarak karar alma süreçlerini güçlendirmektedir. Örneğin ağaçlandırma yoğunluğunun artırılması, geçirgen yüzeylerin çoğaltılması, yağmur bahçeleri veya biyolojik hendeklerin uygulanması gibi müdahalelerin mikroiklim, yağmur suyu yönetimi ve kullanıcı konforu üzerindeki etkileri dijital ortamda değerlendirilebilir. Böylece peyzaj planlama süreçlerinde daha bilimsel, ölçülebilir ve sürdürülebilir kararlar alınabilir.

Ayrıca dijital ikiz teknolojisi, akıllı kent uygulamalarıyla birlikte değerlendirildiğinde peyzaj mimarlığının kent yönetimindeki rolünü güçlendirmektedir. Açık ve yeşil alanlar yalnızca rekreasyon alanları olarak değil; karbon tutma, hava kalitesini iyileştirme, yağmur suyunu yönetme, biyolojik çeşitliliği destekleme ve mikroiklimi düzenleme gibi ekosistem hizmetleri sağlayan sistemler olarak ele alınabilir. Bu yönüyle dijital ikiz teknolojisi, peyzaj mimarlığında karar destek sistemi olarak bilimsel veri kullanımını artırmakta ve sürdürülebilir kent planlamasına katkı sağlamaktadır.

4.2. Türkiye’de Uygulanabilirlik ve Sınırlılıklar

Türkiye’de dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımı henüz gelişme aşamasındadır. Akıllı kent, coğrafi bilgi sistemleri, üç boyutlu modelleme ve uzaktan algılama gibi teknolojiler farklı kurumlar tarafından kullanılmakla birlikte, bu verilerin peyzaj mimarlığı odaklı bütünleşik bir dijital ikiz sistemine dönüştürülmesi sınırlı düzeydedir. Bu durum, Türkiye’de dijital ikiz teknolojisinin uygulanabilirliği açısından hem fırsatlar hem de çeşitli sınırlılıklar bulunduğunu göstermektedir.

Uygulama sürecindeki en önemli sınırlılıklardan biri veri altyapısındaki eksikliklerdir. Dijital ikiz sistemlerinin etkili biçimde çalışabilmesi için güncel, doğru, sürekli ve paylaşılabılır verilere ihtiyaç vardır. Ancak Türkiye’de kentsel açık ve yeşil alanlara ilişkin veriler çoğu zaman farklı kurumlarda, farklı formatlarda ve farklı güncellik düzeylerinde bulunmaktadır. Bu durum, veri entegrasyonunu ve sistemin sürdürülebilir biçimde işletilmesini zorlaştırmaktadır. Bunun yanında yüksek maliyetler, teknik uzman ihtiyacı, sensör sistemlerinin yetersizliği ve kurumlar arası koordinasyon eksikliği de dijital ikiz uygulamalarının yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Dijital ikiz sistemleri; sensör altyapısı, yazılım, veri depolama, analiz araçları ve disiplinler arası uzmanlık gerektirdiği için özellikle yerel yönetimler açısından önemli bir yatırım alanıdır. Bu nedenle Türkiye’de dijital ikiz teknolojisinin öncelikle küçük ve orta ölçekli pilot projelerle uygulanması daha gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Üniversite kampüsleri, kent parkları, kıyı alanları, tarihi çevreler ve yoğun kullanılan kentsel açık alanlar bu tür pilot uygulamalar için uygun alanlar olabilir. Bu alanlarda mikroiklim, kullanıcı yoğunluğu, sulama ihtiyacı, bitki sağlığı ve bakım süreçleri izlenerek dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığı açısından sağlayacağı katkılar test edilebilir. Akıllı kent projelerinin yaygınlaşması ve belediyelerde coğrafi bilgi sistemlerinin daha etkin kullanılmasıyla birlikte, dijital ikiz teknolojisinin Türkiye’de gelecekte daha yaygın kullanılabileceği düşünülmektedir.

4.3. Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar

Gelecekte dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığında daha etkili kullanılabilmesi, bu teknolojinin yapay zekâ, coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, nesnelerin interneti ve büyük veri analitiği ile bütünleşik olarak ele alınmasına bağlıdır. Bu bütünleşme, yalnızca mevcut durumun izlenmesini değil, aynı zamanda geleceğe yönelik tahminlerin yapılmasını ve farklı senaryoların değerlendirilmesini mümkün kılacaktır. Yapay zekâ destekli dijital ikiz sistemleri; kuraklık riski, ısı stresi, bitki sağlığı, su tüketimi ve kullanıcı yoğunluğu gibi değişkenlerin tahmin edilmesinde önemli katkılar sağlayabilir. Böylece peyzaj alanlarında bakım, sulama, bitki seçimi ve yeşil altyapı yönetimi daha verimli biçimde planlanabilir. Özellikle iklim değişikliğine bağlı risklerin artması, veri tabanlı çevresel planlama yaklaşımlarının önemini artırmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknolojileriyle desteklenen dijital ikizler, mahalle, kampüs, kent ve bölge ölçeğinde analiz yapılmasına olanak tanıyabilir. Uydu görüntüleri, drone verileri ve sensör ölçümleri kullanılarak yeşil alan miktarı, yüzey sıcaklığı, geçirimsiz yüzey oranı, gölge etkisi ve bitki örtüsü yoğunluğu gibi göstergeler izlenebilir. Bu veriler, iklim dirençli kentlerin planlanması ve sürdürülebilir açık yeşil alan sistemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir karar destek altyapısı oluşturabilir.

Sonuç olarak dijital ikiz teknolojisi, peyzaj mimarlığında planlama, tasarım, izleme ve yönetim süreçlerini dönüştürebilecek önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin etkili biçimde kullanılabilmesi için veri altyapısının güçlendirilmesi, teknik uzmanlığın artırılması, kurumlar arası iş birliğinin geliştirilmesi ve pilot uygulamaların yaygınlaştırılması gerekmektedir. Türkiye özelinde dijital ikiz teknolojisinin peyzaj mimarlığına entegrasyonu, sürdürülebilir, dirençli ve veri temelli kentlerin oluşturulması açısından önemli bir fırsat sunmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında dijital ikiz teknolojisinin akıllı kentler bağlamında peyzaj mimarlığındaki kullanım alanları değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda dijital ikiz teknolojisinin; sürdürülebilir peyzaj planlama, mikroklim izleme, su yönetimi, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi ve afet dayanıklılığı gibi alanlarda önemli katkılar sunduğu belirlenmiştir.

Dijital ikiz teknolojisi sayesinde kentlerin çevresel performansları gerçek zamanlı olarak analiz edilebilmekte ve geleceğe yönelik planlama kararları daha sağlıklı biçimde geliştirilebilmektedir. Özellikle iklim değişikliğine uyum süreçlerinde dijital ikiz teknolojisinin önemli bir karar destek sistemi olduğu görülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda dijital ikiz teknolojisinin uygulamalı örneklerle desteklenmesi, sensör tabanlı çevresel veri sistemlerinin geliştirilmesi ve yapay zekâ destekli analizlerin peyzaj mimarlığı çalışmalarına entegre edilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, makalenin anlaşılabilirliğini önemli ölçüde artıran isimsiz hakemlere teşekkür eder

Finansman

Bu araştırma, kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen kuruluşlardan herhangi bir özel hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, beyan edilecek herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını bildirmektedir.

Veri Erişilebilirlik Beyanı

Bu çalışmada yeni veri oluşturulmamış veya analiz edilmemiştir; tüm kaynaklar makale içerisinde belirtilmiştir.

Kurumsal Etik Kurul Onayı Beyanı

Uygulanamaz

CRedit Yazar Katkı Beyanı

Gizem Nagehan Aksu: Kavramsallaştırma, literatür taraması, veri analizi, yazım – özgün taslak hazırlama.

Murat Özyavuz: Metodoloji, danışmanlık, inceleme ve düzenleme.,

Tüm yazarlar son makaleyi okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214, 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Bibri, S. E., Krogstie, J., Kaboli, A., & Alahi, A. (2024). Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 19, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100330>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952–108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>
- Grieves, M. (2014). *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. White paper.

- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., & Logg, A. (2020). Digital twins for cities: A state of the art review. *Built Environment*, 46(4), 547–573. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.547>
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175–3186. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.003>
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). *World urbanization prospects 2018: Highlights* (ST/ESA/SER.A/421). United Nations. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>