



DİJİTAL İKİZ VE AKILLI ŞEHİRLER

CENAY BABAĞLU, LEVENT MEMİŞ

DİJİTAL İKİZ VE AKILLI ŞEHİRLER



CENAY BABAOĞLU

Hacettepe Üniversitesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü'nden mezun olmuştur. Lisansüstü çalışmalarını aynı üniversitede kamu yönetimi alanında tamamlamıştır. Bu dönemde Bremen, Berlin ve Üsküp'te iki yıl süreli akademik araştırma ziyaretleri gerçekleştirmiştir. Dijitalleşme alanında doktora sonrası araştırmasını 2022'de Catania Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Hacettepe Üniversitesi, Türkiye Büyük Millet Meclisi, Selçuk Üniversitesi ve Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi'nde görev yapmıştır. 2020-2024 arasında e-öğretim sistemleri alanında danışmanlıklar yapan Babaoğlu, 2021-2024 döneminde The Association for Middle Eastern Public Policy and Administration yönetim kurulu üyesi olarak görev almıştır. Halihazırda Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Kamu Yönetimi Bölümü'nde öğretim üyesi; SETA Vakfında siyaset araştırmacısı olarak görev yapmaktadır. Yönetim ve dijitalleşme, sivil toplum, kamu politikası uygulamaları ve yerel yönetimler gibi alanlara odaklanan çalışmaları bulunmaktadır.

LEVENT MEMİŞ

Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü'nden 2006'da mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı'ndan almıştır. Ardından Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü bünyesinde "Sürdürülebilir Kentsel Kalkınma ve Katı Atık Yönetiminde Ağ Yönetimi: Giresun İli Örneği" başlığı altında hazırladığı tezi ile Haziran 2016'da siyaset bilimi ve kamu yönetimi bilim dalında doktora derecesine sahip olmuş ve bu süreçte bir dönem Ostrava Üniversitesi'nde (Çekya) bulunmuştur. Aralık 2007'de Giresun Üniversitesi Tirebolu Mehmet Bayrak Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak başladığı görevini Mart 2017'ye kadar sürdürmüştür. Aynı tarihte Giresun Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü Kentleşme ve Çevre Sorunları Ana Bilim Dalı'nda dr. öğr. üyesi ünvanı ile göreve başlamış ve Ocak 2021'den itibaren doçent ünvanı ile aynı birimde görev yapmaktadır.

COPYRIGHT © 2024

Bu yayının tüm hakları Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları (SETA) Vakfı'na aittir. SETA'nın izni olmaksızın yayının tümünün veya bir kısmının elektronik veya mekanik (fotokopi, kayıt ve bilgi depolama vd.) yollarla basımı, yayımı, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. Kaynak göstermek suretiyle alıntı yapılabilir.

Bu yayındaki fikirler tamamen yazarına aittir ve SETA Vakfı'nın yayın politikasını yansıtmayabilir.

SETA Yayınları 246
I. Baskı: Nisan 2024
ISBN: 978-625-6583-41-2

Baskı: Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul

SETA | SİYASET, EKONOMİ VE TOPLUM ARAŞTIRMALARI VAKFI

Nenehatun Cd. No: 66 GOP Çankaya 06700 Ankara TÜRKİYE
Tel: +90 312 551 21 00 | Faks: +90 312 551 21 90
www.setav.org | info@setav.org | @setavakfi

SETA | İstanbul

Defterdar Mh. Savaklar Cd. Ayvansaray Kavşağı No: 41-43
Eyüpsultan İstanbul TÜRKİYE
Tel: +90 212 395 11 00 | Faks: +90 212 395 11 11

SETA | Washington D.C.

1025 Connecticut Avenue, N.W., Suite 1106
Washington D.C., 20036 USA
Tel: 202 223 9885 | Faks: 202 223 6099
www.setadc.org | info@setadc.org | @setadc

SETA | Berlin

Kronenstraße 1, 10117 Berlin GERMANY
berlin@setav.org

SETA | Brüksel

Avenue des Arts 6, 1000 Bruxelles BELGIUM
Tel: +32 2 313 39 41

DİJİTAL İKİZ VE AKILLI ŞEHİRLER

Cenay Babaoğlu, Levent Memiş



SETA

SIYASET, EKONOMİ VE TOPLUM ARASTIRMALARI VAKFI
FOUNDATION FOR POLITICAL, ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH
مركز الدراسات السياسية والاقتصادیة والاجتماعیة

İÇİNDEKİLER

ÖZET | 7

GİRİŞ | 9

DİJİTALLEŞEN DÜNYADA AKILLI ŞEHİRLER | 11

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ | 17

Dijital İkiz Teknolojisi ve Akıllı Şehirler | 27

DİJİTAL İKİZ ŞEHİR | 29

Dünyada Farklı Şehirlerde Dijital İkiz Uygulamaları | 37

Akıllı Şehirlerde Dijital İkiz Teknolojisi Bağlamında Sorun Alanları | 39

TÜRKİYE'DE AKILLI ŞEHİRLER VE DİJİTAL İKİZ | 43

SONUÇ VE ÖNERİLER | 51

KAYNAKÇA | 55

ÖZET

Şehirler, pek çok etken altında boyut değiştirirken bir yandan teknolojik gelişmelerin etkisi altında yeniden biçimlenmektedir. Önce bilişim ve iletişim teknolojileri, ardından dijital araçların gelişmesiyle akıllı ve dijital şehirler gibi yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Akıllı şehir olgusu altında ortaya çıkan ilk uygulamalar teknoloji odaklıyken süreç içerisinde kentsel ihtiyaçlar ve insan odaklı boyuta dönüşmüştür. İlk aşamada coğrafi bilgi sistemleri (CBS), uydular, internet bağlantıları ve otomasyon gibi süreçlerle başlayan dönüşüm günümüzde nesnelerin interneti, 5G, büyük veri, yapay zeka (YZ) ve blokzincir gibi teknolojilerle devam etmektedir. Bu kapsamda akıllı şehirler açısından son dönemde önem kazanan önemli teknolojik araçlardan birisi de dijital ikizlerdir.

“Dijital ikiz” (*digital twin*) farklı teknolojilerin birleşimden oluşan bir platform olarak da nitelendirilmektedir. Bu teknolojinin sahip olduğu esnek yapısıyla farklı alanlarda geliştirilmektedir. Dijital ikiz, bünyesinde barındırdığı teknolojik araçlarla temelde bir gerçekliğin dijital bir kopyasının oluşturulmasıdır. Ayrıca gerçeklikten elde edilen verilerle dijital kopya eş zamanlı olarak beslenmekte ve hatta ileri boyutta dijital ortamdan gerçekliğe veri akışı sağlanabilmektedir. Dijital ikizin bu özellikleriyle şehirlerin olağan ve olağanüstü şartlarını yönetmede kazanımlar elde edilmektedir.

Dijital ikiz teknolojisiyle şehirlerde su, ulaşım gibi temel fonksiyonlarının veya şehrin tamamının eş zamanlı olarak dijital bir kopyasını oluşturmak, bu yapıyla kesintisiz şehir yaşamını ve hizmetleri takip etmek ve elde edilen verilerden

hareketle anlık, rasyonel ve öngörüye dayanan kararlar alabilmek mümkün hale gelmektedir. Bu nitelikleri nedeniyle dijital ikiz teknolojisi dünyada afet yönetiminde ulaşım, şehir planlamadan kaynak yönetimine pek çok alanda şehirlerde kullanılır hale gelmiştir. Türkiye’de ise dijital ikiz konusunda bazı öncü adımlar atılmış ve pilot uygulamalar başlatılmıştır. Ayrıca yaygın kullanım için rehberlik çalışmaları da yürütülmektedir.

Bu raporda, belirtilen çerçevede öncelikle akıllı şehir olgusu genel olarak incelenmekte ve süreç içindeki teknolojik değişimlerle gelişen boyutların izi sürülmektedir. Ardından dijital ikiz teknolojisi akıllı şehirleri gelişmiş bir boyuta taşıma potansiyeli üzerinden incelenmektedir. Bu kapsamda dijital ikizin tarihsel gelişimi, bileşenleri, kullanım alanları, şehirlere yönelik potansiyel katkıları ve farklı uygulama örnekleri ve olası risk alanları ele alınmaktadır. Ayrıca bu alanda Türkiye’deki gelişmeler, uygulamalar ve geleceğe dair beklentiler de değerlendirilmektedir.

GİRİŞ

Dijitalleşme adeta sihirli bir imge gibi hayatın her alanındaki dönüşümlerde karşımıza çıkan bir kavram halini almıştır. Bireylerin, toplulukların ve dahi toplumların hayatını değiştiren dijital araçlar gün geçtikçe çeşitlenmekte ve boyut değiştirmektedir. Yeni teknolojik keşifler ya da teknik ilerlemeler bir yandan hayatları kolaylaştırırken diğer yandan yaşama biçimlerimizi dönüştürmektedir. Bu bağlamda söz konusu dönüşümleri genel olarak ele alan e-Devlet, akıllı devlet ve dijital devlet gibi kavramlar, şehir özelinde ise akıllı şehir, dijital şehir gibi başlıklar önem kazanmaktadır.

Akıllı şehirler, şehir yaşamında ortaya çıkan sorunlara bir çözüm aracı olarak gündeme gelmiştir. Teknolojinin sorun çözücü boyutunun şehir yönetimine entegrasyonuna dayanan bu yaklaşım, daha sonra gelişen bir anlayışla yaşam kalitesini, politika katılımını, şehir ekonomilerini ve sürdürülebilir kaynak yönetimini içine alan bütüncül bir hal almıştır. Bu açıdan yaklaşıldığında akıllı şehirler teknolojik dönüşümlerden ziyade genel bir dönüşümü; etkili, etkin, şeffaf bir yönetimi, vatandaş katılımını, hizmet kapasitesi artışını ve kaliteli bir yaşamı da içermelidir. Bu anlayış, şehirlerin değişen sosyoekonomik yapısı ve yönetim anlayışının yansımalarıyla da ilişkilidir.¹

¹ Levent Memiş, "Electronic Democracy in Dilemma of Direct Democracy and Representative Democracy: An Examination Oriented to Local Administrations", *Theory and Practice in Social Sciences*, ed. Viliyan Krystev Recept Efe ve Emin Atasoy, (St. Kliment Ohridski University Press, Sofia: 2019), s. 364-365.

Dijitalleşmenin tetiklediği bu değişim elbette yaşam alanlarımızı ve dolayısıyla şehirleri de dönüştürmektedir. Son on yılda özellikle akıllı şehir yaklaşımı içerisinde kendine yer edinen bu dönüşüm, yeni teknolojilerin entegrasyonu ile gün geçtikçe daha büyük bir boyut kazanmaktadır. Veri saklama imkanlarının artması işlenebilir veri kapasitesini arttırmakta ve veri temelli politikaların önünü açmaktadır.² Önce temel düzeyde bilgi ve iletişim teknolojileriyle başlayan süreç; YZ, büyük veri, nesnelerin interneti, dijital ikiz ve blokzincir gibi yeni teknolojilerle gelişmeye devam etmiştir. Bu teknolojiler gerek kamu hizmetlerinin sunumunda gerekse vatandaş katılımının sağlanmasında yeni imkanlar sunmaktadır. Bu raporda akıllı şehirler ve dijital ikiz teknolojisi bağlamı ele alınmaktadır.

Dijital ikiz teknolojisinin ilk adımları NASA'nın 1970'lerdeki çalışmalarına dayandırılmakla birlikte 2000'lerin başlarında genel olarak anlam kazanmaya başlamış, özellikle özel sektördeki uygulamalarla dikkat çekmiş, ülkeler tarafından politikalara ve uygulamalara konu olmuştur. Dijital ikiz teknolojisi, sahip olduğu esnek yapıyla üretim, havacılık/otomotiv, kamusal hizmetler, tarım/çiftçilik, sağlık, perakende ve madencilik gibi birçok alanda uygulamaların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Şehirler açısından bakıldığında ise dijital ikiz teknolojisi kullanılarak somut olan faktörler soyut bilgisayar ortamlarına aktarılarak şehirlerin birçok boyutta yapı analizleri yapılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisini kapsayan akıllı şehirlerde gerçek şehrin sanal versiyonu oluşturulmakta ve iki evren arasındaki etkileşim bağlantılarıyla sağlanmaktadır. Bu teknolojilerin kentsel alana yansıtılmasıyla şehirlerin veri temelli yönetiminde ve kestirimci yöntemler kullanılarak etkin yönetiminin gelişmesine katkı sunulmaktadır. Ayrıca afet yönetimi açısından bakıldığında da hem afet öncesi hazırlık hem afet sırası müdahale hem de afet sonrasında iyileştirme dönemlerinde dijital ikiz teknolojileri katkı sunmaktadır. Dolayısıyla dijital ikizin, şehirlerin olağan ve olağanüstü yaşamlarının yönetiminde önemli yenilikler getirdiği söylenebilir. Bu raporda dijital ikizin yerel politikalar açısından kullanım alanları ve özellikle şehir yönetimlerine yönelik katkıları incelenmiştir. Bu kapsamda ilk önce yeni nesil akıllı şehirler yaklaşımı kısaca ele alındıktan sonra dijital ikiz teknolojisi ve farklı sektörlerdeki kullanım alanları irdelenmiştir. Bu iki başlığın kesişim kümesi olarak dijital ikizlerin akıllı şehirler bağlamında kullanım alanları incelenerek Türkiye'deki çalışmalar değerlendirilmiş ve politika önerileri sunulmuştur.

2 Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu, "Büyük Veri Temelli Güvenlik ve Kriz Yönetimi", *Kamu Sektöründe Kriz Yönetimi*, ed. Veysel Eren, (Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara: 2022), s. 152.

DİJİTALLEŞEN DÜNYADA AKILLI ŞEHİRLER

Teknolojik gelişmeler, şehir yönetimlerine yeni olanaklar sunarken şehirleri de dönüşüme uğratmaktadır. Akıllı şehirler, vatandaşların ve yerel yönetimlerdeki tüm paydaşların etkileşim içerisinde olduğu bir süreci ve bu süreçlerin bilgi ve iletişim teknolojileriyle yürütülmesi ve tekrarlanabilir kullanım modülü halinde saklanması faaliyetlerini kapsamaktadır.³ Günümüzde belediyeler, bütünlük bir yapıda entegre olarak vatandaşların kullanabileceği sadelikte dijital ürünlerle hem prestij kazanma hem de vatandaşlara daha hızlı ve ucuz bir şekilde hizmet getirmek yarışındadır. Ayrıca bu süreçte elde edilecek verileri anlık ve kapsamlı şekilde analiz edip raporlayabilmektedir. Dijital uygulama ile hem vatandaşların hayatını kolaylaştırmakta hem de zaman ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır.⁴

Kentsel alanda çevresel sorunların gündeme gelmeye başlaması ve teknolojik gelişmelerin karşılık bulmasıyla 1990'ların başlarında şehirlerde dijitalleşme eğilimi ortaya çıkmıştır. Dijital şehir kavramı altında ilk uygulama 1994'te Amsterdam'da ortaya çıkmıştır. Bu aşamada teknoloji, fiziksel ortamda sunulan hizmetlerin dijital ortamda sunulmasının aracı bir unsuru olarak konumlandı-

3 Cenay Babaoğlu, *Yönetimin Geleceği: Veri Temelli Yönetim*, (SETA Yayınları, İstanbul: 2021), s. 20; Cenay Babaoğlu, "Teknoloji ve Kamu Politikası İlişkisi: Nereden Nereye?", *Teknoloji ve Kamu Politikaları*, ed. Mete Yıldız ve Cenay Babaoğlu, (Gazi Kitabevi, Ankara: 2020), s. 451-452; Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu, "Acil Durum ve Afet Yönetiminde Süreç Yaklaşımı ve Teknoloji", *Niğde İİBF Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 4, (2020), s. 788.

4 Emre Kaya ve Levent Memiş, "Türkiye'de Mobil Belediye: Orta Ölçekli Şehirler Özelinde Bir Araştırma", *Yerel Yönetimlerde Teknoloji ve Katılım*, ed. Cenay Babaoğlu, Levent Memiş ve Oğuzhan Erdoğan, (Orion Kitabevi, Ankara: 2020), s. 107.

rılmıştır. 2000'lere gelindiğinde teknolojik araçların çeşitlenmesi ve şehrin farklı hizmetlerinde kullanılmaya başlaması ve bu süreçte daha fazla verinin ortaya çıkması, akıllı şehir kavramının gündeme gelmesine yol açmıştır.⁵ İlerleyen süreçte teknolojik gelişmelerin dinamizmi içinde akıllı şehir olgusu yeniden biçimlenmiştir. Akıllı şehirlerde temel amaç, karmaşık kentsel problemlere çözüm üretilecek şekilde şehrin yaşam kalitesinin yükseltilmesidir. Bu bağlamda söz konusu amacın gerçekleştirilmesi adına kamusal ve sivil aktörlerin birlikte çalıştığı ve bu sayede kentsel hayatın iyileştirildiği bir model ihtiyacı önem kazanmaktadır.⁶

Akıllı şehir yaklaşımının temelinde vatandaşlara daha hızlı, ölçülebilir ve kaliteli hizmetleri sunmak üzere yenilikçi çözüm arayışları da yer almaktadır.⁷ Yerelde vatandaşların kimi işlemlerini gerçekleştirmeleriyle “belediyeden vatandaşa”, diğer ilgili kamu kurumlarıyla kimi işlemlerin elektronik ortamda yapılmasıyla “belediyeden devlete” ve belediyenin çeşitli biçimlerde iş yaptığı özel sektörle ilişkilerinin elektronik ortama taşınmasıyla “belediyeden özel sektöre” etkileşim alanları ortaya çıkmaktadır.⁸ Dijital teknolojilerin eliyle ihtiyaç duyulan tüm hizmet talepleri, başvurular, belgeler, arşiv ve geçmiş hareketler iş süreçlerine uygun olarak yönetilebilir ve raporlanabilir hale getirilmektedir.⁹ Bu kapsamda dijital şehir, dijital belediye gibi kavramlar da gündeme gelmiştir.

Akıllı şehirlerde özellikle nesnelere interneti, e-belediye uygulamaları, CBS, dijital ikiz gibi teknolojiler ve şehir genelindeki kameralar gerçek zamanlı verilerin toplanmasına olanak tanımaktadır. Özellikle büyük veri, açık veri ve sosyal medya ağları gibi uygulamalar akıllı şehirlerin niteliğini değiştirmektedir. Şehrin her bölgesine ve her sorununa dair pek çok veri merkezde toplanmakta ve büyük bir veri seti oluşmaktadır. Akıllı teknolojiler bu verileri işleyerek karar alıcılar için daha kaliteli çözüm önerileri sunabilmektedir. Temel verilerle başlayan

5 Annalisa Cocchia, “Smart and Digital City: A Systematic Literature Review”, *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*, ed. Renata Paola Dameri ve Camille Rosenthal-Sabroux, (Springer International Publishing, Berlin: 2014), s. 13-43; L. Zhihan Lv, Wen-Long Shang ve Mohsen Guizani, “Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities: History, Current Situation, and Application Perspectives”, *Applied Sciences*, Sayı: 12, (2022).

6 Stephen R. Galati, “Funding a Smart City: From Concept to Actuality”, *Smart Cities: Applications, Technologies, Standards and Driving Factors*, ed. Stan McClellan, Jesus A. Jimenez ve George Koutitas, (Springer, Cham: 2018) s. 23; Johannes Lambrechts ve Saurabh Sinha, *Microsensing Networks for Sustainable Cities*, (Springer, Cham: 2016), s. 38.

7 Hasan Alpay Karasoy ve Pelin Babaoğlu, “Türkiye’de Elektronik Devletten Dijital Devlete Doğru”, *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 12, Sayı: 23, (2020), s. 129.

8 Mete Yıldız, *Bilgi Toplumu ve E-Devlet*, (Anadolu Üniversitesi, Eskişehir: 2019), s. 138.

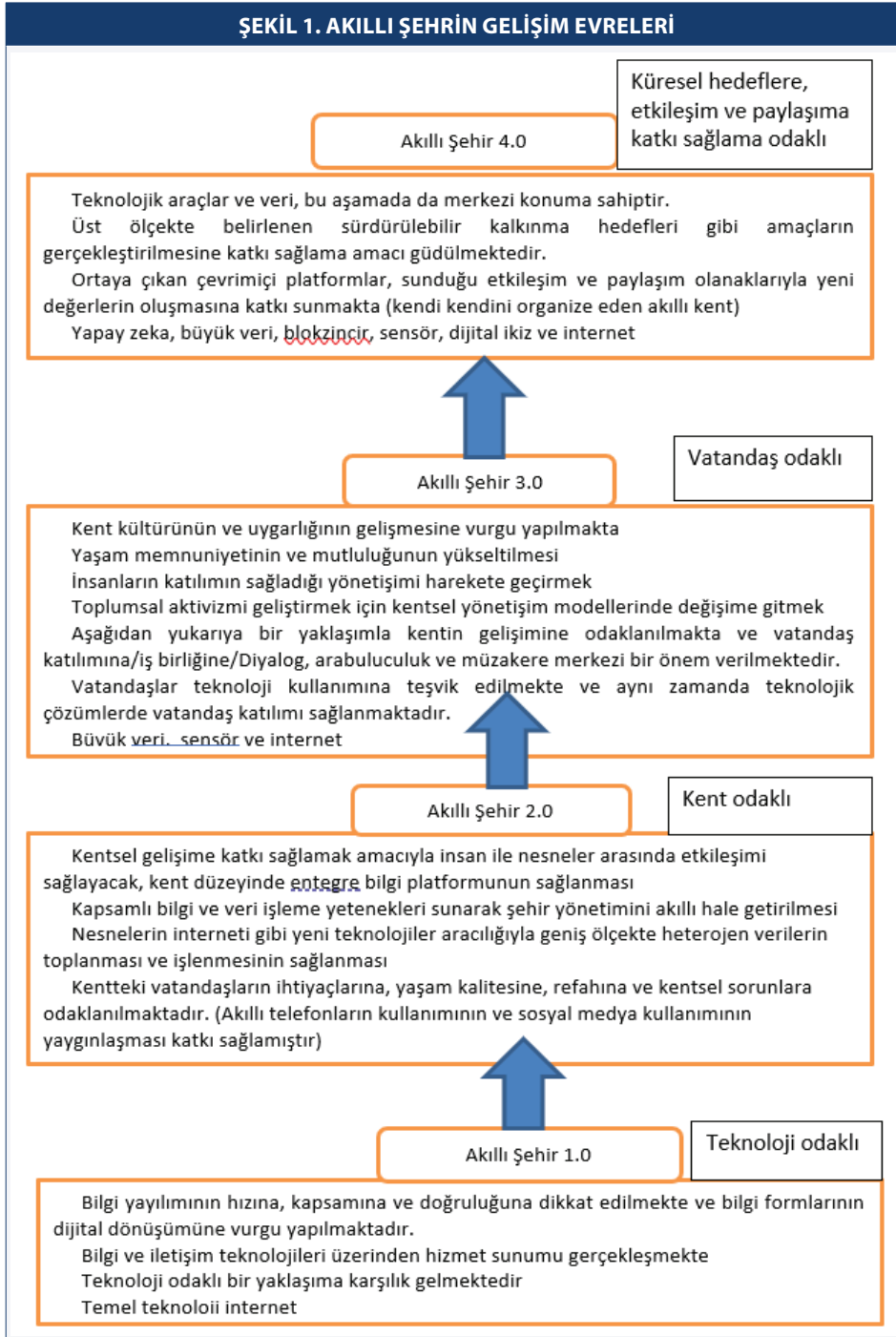
9 Özer Köseoğlu, *Metropoliten Şehirlerin Geleceği Yeni Yaklaşım, Model ve Uygulamalar*, (SETA Rapor, İstanbul: 2019), s. 36; Cenay Babaoğlu ve Oğuzhan Erdoğan, “Yerel Hizmetlerde Dijitalleşme ve Yerel Yönetimler”, *Yerel Yönetimler-Yönetim, Siyaset, Şehir ve Güncel Tartışmalar*, ed. Özgür Önder, Esra B. Sipahi ve Murat Yaman, (Gazi Kitabevi, Ankara: 2021), s. 713-732.

süreçler bu verilerin değerlendirilmesi ve bilginin oluşturulması yoluyla özellikle karmaşık problemlerin çözümü, performans ölçümlerinin geliştirilmesi gibi noktalarda fayda sağlamaya devam etmektedir. Dijitalleşen dünyanın bir çıktısı olan akıllı şehirler, sakinlerine birçok kolaylık sağlamaktadır. Söz konusu teknolojik gelişmelerin etkisi altında şehirlerde güvenlikten eğitime, ulaşımdan erişime, atık yönetiminden su ve hava kirliliğinin önlenmesine, enerji kaynaklarının etkin kullanımından sosyal politikalara pek çok alanda dönüşümler yaşanmaktadır.¹⁰

Görüldüğü üzere akıllı şehirler teknoloji aracılığıyla hizmet sunumunun yanı sıra şehir yönetiminde yeni bir paradigma olarak da gündeme gelmektedir. Buna binaen günümüzde akıllı şehirler, kentsel alanda yalnızca teknoloji kullanımına odaklanmamakta, kentsel sürdürülebilirliğe ve yaşam kalitesinin yükseltilmesine yönelik çabaya da işaret etmektedir. Akıllı şehirlerin gelişim sürecinde farklı aşamalardan geçilmiştir. (bkz. Şekil 1) Bu aşamaların her birinde farklı kazanım amaçları ve farklı politika uygulamaları görülmüş ve aynı zamanda her bir aşama akıllı şehirlerin gelişim evrelerini yansıtmaktadır.¹¹

10 Taewoo Nam ve Theresa A. Pardo, "The Changing Face of a City Government: A Case Study of Philly311", *Government Information Quarterly*, Cilt: 31, Sayı: 1, (2014), s. S1-S2; Levent Memiş, "Akıllı Teknolojiler, Akıllı Şehirler ve Belediye Örgütlenmesinde Dönüşüm", *Yasama Dergisi*, Sayı: 36, (2017), s. 72-74; Mete Yıldız ve İrem Esmâ Özçubuk, "Akıllı Şehirler ve Kamu Politikaları", *Teknoloji ve Kamu Politikaları*, ed. Mete Yıldız ve Cenay Babaoğlu, (Gazi Kitabevi, Ankara: 2020), s. 175.

11 Schahram Dustdar, Stefan Nastić ve Ognjen Šćekić, *Smart Cities: The Internet of Things, People and Systems*, (Springer, Cham: 2017), s. 3-4; Diogo Correia ve Leonor Teixeira, "From Smart City 1.0 to Smart City 3.0: Deep Understanding of the Smart Cities Concept and Evolution", *Smart Cities and Tourism: Co-creating Experiences, Challenges and Opportunities*, ed. Dimitrios Buhalis, (Goodfellow Publishers, Oxford: 2023), s. 43-59; Zbigniew J. Makiela, Magdalena M. Stuss, Karolina Mucha-Ku's, Grzegorz Kinelski, Marcin Budzinski ve Janusz Michałek, "Smart City 4.0: Sustainable Urban Development in the Metropolis GZM", *Sustainability*, Cilt: 14, Sayı: 3516, (2022).



Kaynak: Farklı eserlerden hareketle yazarlarca hazırlanmıştır.

Akıllı şehirlerde sunulan hizmetlere teknoloji aracılığıyla yenilikçi çözümlerin üretilmesi önemsenmektedir. Diğer taraftan farklı tarafların iş birliğine verilen önem de dikkat çekicidir. Ayrıca şehir fonksiyonlarını bü-

tüncül şekilde ele alan bir yaklaşımın varlığına vurgu yapılmaktadır. Bu noktalardan hareketle bir akıllı şehrin temel özelliklerini Şekil 2'deki gibi sıralamak mümkündür.



Kaynak: Zhengrong Liu ve Jianping Wu, "A Review of the Theory and Practice of Smart City Construction in China", *Sustainability*, Cilt: 15, Sayı: 7161, (2023).

Görüldüğü üzere akıllı şehir yaklaşımı standart belediye hizmetleri ve klasik şehir yapısından farklı olarak bilgi teknolojisini ve sürdürülebilir enerji parametrelerini kendi içerisinde barındırmaktadır.¹² Akıllı şehirlerin özellikleri ve alt değişkenler dikkate alındığında ise Tablo 1 ortaya çıkmaktadır.

TABLO 1. AKILLI ŞEHİRLERİN ÖZELLİKLERİ VE ALT DEĞİŞKENLER	
ÖZELLİKLERİ	ALT DEĞİŞKENLER
Akıllı Ekonomi (Rekabet Edebilirlik)	Yenilikçi ruh, girişimcilik, ekonomik imaj ve markalar, verimlilik piyasasında esneklik, uluslararası entegrasyon, dönüşüm becerisi
Akıllı İnsan (Toplum ve İnsan Sermayesi)	Vasıf düzeyi, yaşam boyu öğrenmeye yatkınlık, toplumsal ve etnik çoğulculuk, esneklik, yaratıcılık, açık fikirlilik
Akıllı Yönetişim (Katılım)	Karar vermeye katılım, kamusal ve sosyal hizmetler, şeffaf yönetim, siyasi stratejiler ve perspektifler

12 Can Akbay ve Erhan Örselli, "Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler, *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, (2019), s. 230.

Akıllı Hareketlilik (Ulaşım ve Bilgi ve İletişim Teknolojileri)	Yerel erişim, uluslararası ve ulusal erişim, bilgi ve iletişim teknolojileri altyapısının var olması, sürdürülebilir, yenilikçi ve güvenli ulaşım sistemleri
Akıllı Çevre (Doğal Kaynaklar)	Doğal koşulların cazipliği, çevre kirliliği, çevrenin korunması, sürdürülebilir kaynak yönetimi
Akıllı Yaşam (Yaşam Kalitesi)	Kültürel tesisler, sağlık koşulları, bireysel güvenlik, konut kalitesi, eğitim tesisleri, turistik imkanlar, toplumsal uyum

Kaynak: Köseoğlu, Metropolitan Şehirlerin Geleceği: Yeni Yaklaşım, Model ve Uygulamalar, s. 34.

Dolayısıyla akıllı şehir yaklaşımı en basit tanımıyla şehrin yaşam kalitesinin iyileştirilmesi için dijital teknolojilerden sistematik olarak faydalanılması ve aktörler arası uyumu ifade etmektedir.¹³ Öte yandan dijital dönüşüm süregelen bir işleyişi gerektirir. Bu kapsamda akıllı şehirler önemli bir değişimi ifade eden yaklaşım olsa da yeni teknolojilerle nitelikleri ve alt değişkenleri sürekli değişmektedir.¹⁴ Bu kapsamda son dönemde öne çıkan teknolojilerden birisi de dijital ikizdir.

¹³ Köseoğlu, *Metropolitan Kentlerin Geleceği*, s. 34.

¹⁴ Cenay Babaoğlu ve Levent Memiş, "Akıllı Kentlerin Politika Üretme Aracı Olarak Yaşam Laboratuvarları (Living Labs)", *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, Cilt: 28, Sayı: 4, (2019), s. 25-26.

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ

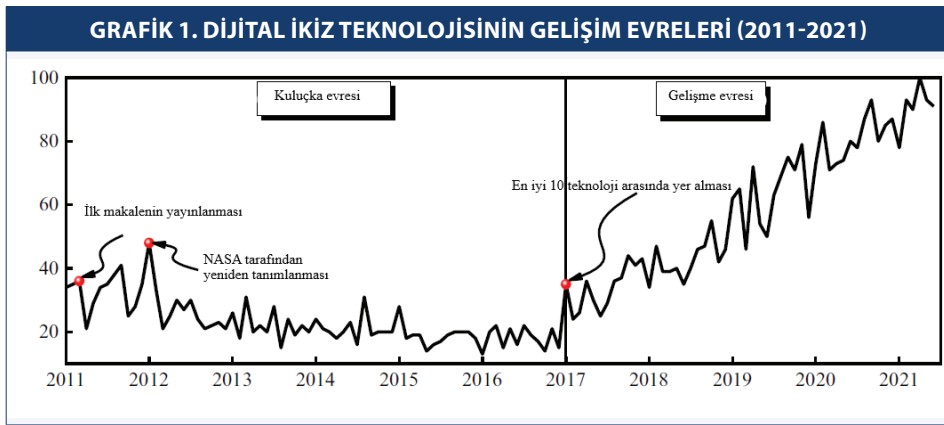
Dijital ikiz, somut dünya koşullarında var olan bir nesnenin simülasyon halinde yapay bir düzleme aktarılması ve bu sanal ortamda vereceği tepkilerin analizlerinin yapılması sonucu ortaya çıkan soyut bir oluşumdur.¹⁵ En genel ifadeyle dijital ikiz, bir varlığın, mekanın, yerleşimin, sürecin ya da araçların tüm detaylarıyla dijital karşılığının oluşturulmasıdır. Örneğin bir otomobili dijital ikiz ortamına aktararak araca uygulanacak işlemlerin verebileceği kayıp veya kazanımların simüle ortamda analiz edilerek meydana gelen çıktılarının incelenmesi dijital ikiz teknolojisinin sağladığı kolaylıklardan sadece biridir. Dijital ikiz teknolojisi ile birlikte yapılacak olan herhangi bir eylemin daha önceden çıktısı alınarak zamandan ve maddi kayıplardan çok büyük oranda tasarruf edilmektedir. Bu kapsamda ortaya çıkan veriler var olan nesnenin mevcut durumunu analiz ederek doğru ve güvenilir adımların atılmasını sağlamaktadır.¹⁶

Dijital ikizin ortaya çıkması ve gelişmesinde uzay çalışmalarının başat bir rolü bulunmaktadır. Çünkü bu alandaki ilgili ilk çalışmalar 1970'lerde NASA tarafından gerçekleştirilmiştir. 1991'de David Gelernter, dijital ikiz konseptini yayınladığı bir kitapta tanıtmıştır. Sonrasında 2002 yılında Michael Grieves, dijital ikizin gelişimine bir modelle katkı sağlamıştır. Bu gelişmelerin ardından dijital ikiz teknolojisi NASA'nın öncülüğünde gelişimini sürdürmüştür. Yine bu dö-

15 Ahmet Özen ve Fatma Nur Gürel, "Kamu Yönetiminde Dijital Dönüşüm: Dijital İkiz Yönetimi", *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, (2020), s. 18.

16 Meral Çalış Duman, "İşletmeler için Yeni Bir Verimlilik Teknolojisi: Dijital İkiz", *Verimlilik Dergisi*, Özel Sayı, (2021), s. 190.

nemde dijital ikiz endüstri alanında yaygınlaşmıştır.¹⁷ Dijital ikiz modelini kendi cihazlarında bulunan sensörlerin fiziksel ortamda vereceği tepkileri ölçmek için kullanan NASA, dijital ikizi fiziksel nesnelere çok gerçekçi sanal bir aynası olarak tanımlamaktadır. Dijital ikiz teknolojisi ana kullanım alanı olarak üretim, inşaat ve enerji tüketimi gibi sektörlerde ön plana çıkmaktadır.¹⁸ Dijital ikiz teknolojisi endüstriyel süreçleri birbirine entegre etmek, hata oranlarını minimum seviyeye indirmek, var olan nesnelere dijital kopyalarını oluşturmak ve bu sanal ortamda oluşturulan kopyaların analiz çıktılarını yapmak olarak tanımlanmaktadır.¹⁹



Kaynak: Dianyou Yu ve Zheng He, "Digital Twin-Driven Intelligence Disaster Prevention and Mitigation for Infrastructure: Advances, Challenges, and Opportunities", *Natural Hazards*, Sayı: 112, (2022), s. 8-10; Yao vd., "Systematic Review of Digital Twin Technology and Applications", s. 12-14.

Özellikle 2017 sonrası dönemde büyük veri, nesnelere interneti, 5G, bulut bilişim ve akıllı algoritmalar gibi teknolojik alandaki gelişmelerin etkisiyle dijital ikizin farklı sektörlerdeki kullanımı yaygınlaşmıştır. Dijital ikiz, fonksiyonel yapısıyla üretim, havacılık, otomotiv, kamusal hizmetler, enerji, telekomünikasyon, tarım/çiftçilik, sağlık, perakende ve madencilik gibi farklı sektörlerde kullanılan bir teknolojik sistemdir.²⁰ Özellikle büyük tesislerin fiziksel alanla-

17 Mohsen Attaran ve Bilge Gökhan Çelik, "Digital Twin: Benefits, Use Cases, Challenges, and Opportunities", *Decision Analytics Journal*, Sayı: 6, (2023), s. 1-10; Manisha Vohra, *Overview of Digital Twin, Digital Twin Technology Fundamentals and Applications*, (Wiley, New York: 2023), s. 8; Jun-Feng Yao, Yong Yang, Xue-Cheng Wang ve Xiao-Peng Zhang, "Systematic Review of Digital Twin Technology and Applications", *Visual Computing for Industry Biomedicine and Art*, Cilt: 6, Sayı: 10, (2023), s. 1-20.

18 Abdulgazi Yıkıcı, "Dijital İkiz Şehir Fenomeni: Dünyadan Örnekler ve Türkiye'deki Yönelimler", *Kent Akademisi Dergisi*, Cilt: 16, Sayı: 1, (2023), s. 143.

19 "Dijital İkiz Teknolojisi Nedir?", AWS, (2023), <https://aws.amazon.com/tr/what-is/digital-twin/>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

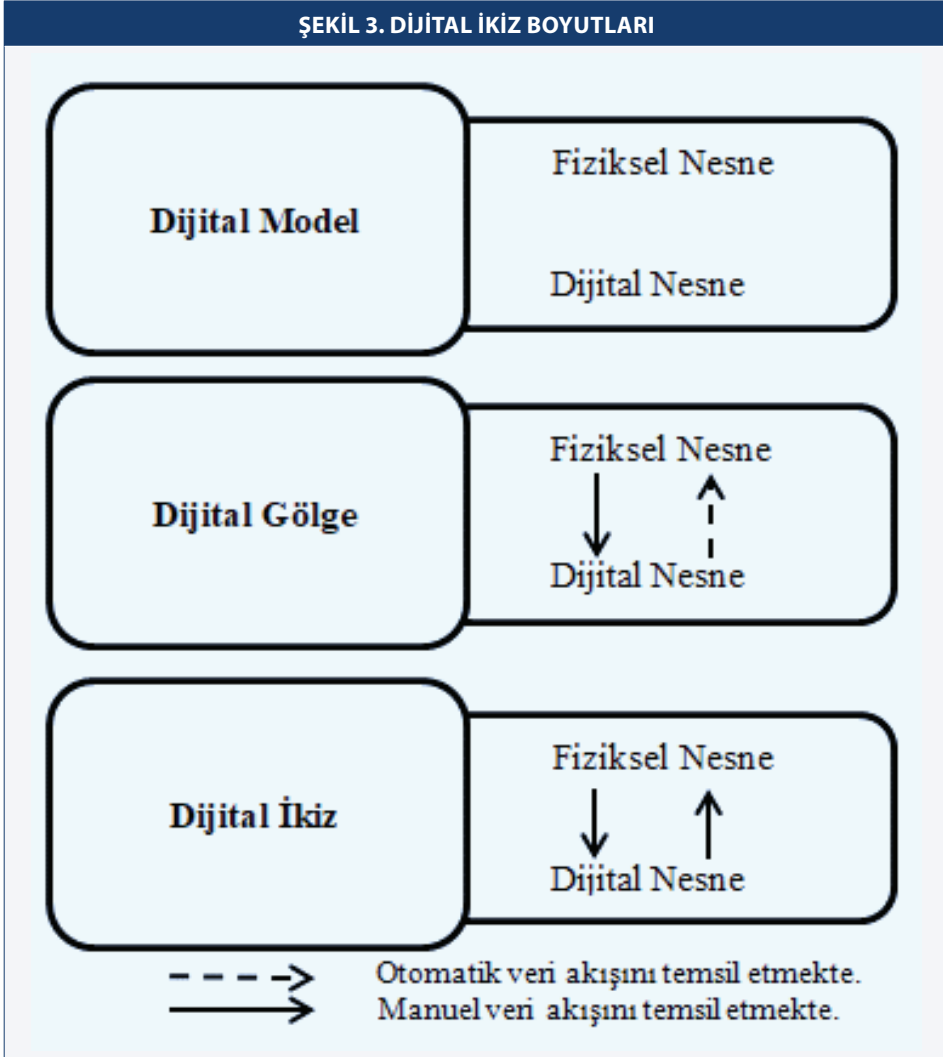
20 Aleksu Kopponen, Antti Hahto, Petri Kettunen, Tommi Mikkonen, Niko Makitalo, Jarkko Nurmi ve Matti Rossi, "Empowering Citizens with Digital Twins: A Blueprint", *EEE Internet Computing*, Cilt: 26, Sayı: 5, (2022), s. 7-16; Obinna C. Madubuike, Chimay J. Anumba ve Rana Khallaf, "A Review of Digital Twin Applications in Construction", *Journal of Information Technology in Construction*, Sayı: 27, (2022), s. 145-172.

rının yönetiminde ve karmaşık cihazların etkileşimli tasarımındaki uygulamaları öne çıkmaktadır. Grafik 1’de görüldüğü üzere dijital ikiz teknolojisi açısından 2011-2017 arası kuluçka dönemi, 2017-2021 arası da büyüme dönemi olarak nitelendirilmektedir.

Dijital ikiz teknolojisi, farklı teknolojileri bünyesinde barındıran dijital bir platform işlevi görmektedir. Fakat sadece fiziksel durumdan dijital ortama aktarılan dijital bir kopyadan ibaret değildir. Dijital ikizin farklı modellerinde farklı etkileşim ve çıktılar gündeme gelmektedir. Dijital ikiz teknolojisini; ürün yaşam döngüsünün simülasyonu, siber sistemin fiziksel varlıklarla senkronize edilmesi, gerçek zamanlı verilerin entegrasyonu, fiziksel mekanın davranışsal modellemesi ve sanal sistem tarafından sunulan hizmetler şeklinde beş bakış açısı altında toplamak mümkündür. Diğer bir ifadeyle dijital ikiz; süreç odaklı ele alındığında izleme ve geliştirme, ürün odaklı ele alındığında ise yenilik yapma ve kopyasını oluşturma işlevlerini yerine getirmektedir. Bu bağlamda dijital ikizler “veri”, “model desteği”, “yazılım tanımlaması”, “doğrulama haritası” ve “akıllı karar verme” unsurlarıyla etkin iş birliği, düşük maliyetle çalışma ve rasyonel kararların alınmasına katkı sağlamaktadır.²¹ Şekil 3’te de yer verildiği üzere dijital ikizin temelde üç modeli bulunmaktadır. Dijital modelde, gerçek ile sanal arasında doğrudan veri akışı bulunmamaktadır. Dijital gölge model, gerçeklikten sanal ortama aktarılan daha çok tek taraflı veri akışını yansıtmaktadır. Dijital ikiz modelinde ise gerçeklik ile sanal arasında karşılıklı veri akışı sağlanmaktadır. Gerçeklikten üretilen veriler sanal ortamı inşa ederken sanal ortamda üretilen yeni ortam gerçekliğin oluşumuna katkı sunmaktadır.²²

21 Giorgio Caprari, Giordana Castelli, Marco Montuori, Marialucia Camardelli ve Roberto Malvezzi, “Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives”, *Sustainability*, Cilt: 14, Sayı: 22, (2022), s. 1-2; Homa Masoumi, Sara Shirowzhan, Paria Eskandarpour ve Christopher James Pettit, “City Digital Twins: Their Maturity Level and Differentiation From 3D City Models”, *Big Earth Data*, Cilt: 7, Sayı: 1, (2023), s. 1-36; Concetta Semeraro, Mario Lezoche, Hervé Panetto ve Michele Dassisti, “Digital Twin Paradigm: A Systematic Literature Review”, *Computers in Industry*, Sayı: 130, (2021), s. 15.

22 Nobuyuki Fukawa ve Aric Rindfleisch, “Enhancing Innovation Via the Digital Twin”, *Journal of Product Innovation Management*, Sayı: 40, (2022), s. 397; Mohsen Attaran, Sharmin Attaran ve Bilge Gökhan Çelik, “The Impact of Digital Twins on the Evolution of Intelligent Manufacturing and Industry 4.0”, *Advances in Computational Intelligence*, Cilt: 3, Sayı: 11, (2023), s. 10-11; Khurram Riaz, Marion McAfee ve Salem S. Gharbia, “Management of Climate Resilience: Exploring the Potential of Digital Twin Technology, 3D City Modelling, and Early Warning Systems”, *Sensors*, Cilt: 23, Sayı: 5, (2023), s. 1-29.



Kaynak: Attaran vd., "The Impact of Digital Twins on the Evolution of Intelligent Manufacturing and Industry 4.0", s. 10-11; Riaz vd., "Management of Climate Resilience

Şekil 3'te yer verilen dijital ikiz modellerinin yanında dijital ikiz olgunluk düzeylerine göre sınıflamalar yapmak da mümkündür. Bu kapsamda beş kategoriden bahsedilebilir. Birinci kategori üç boyutlu (3D) modeller, fiziksel varlıkların kopyaları ve sanal prototipler oluşturmaktadır. İkinci kategori büyük veri, ürün yaşam döngüsü ve dijital gölgeden oluşturmaktadır. Üçüncü kategori farklı parçaların bir araya geldiği platform ve endüstriyel internet platformu olarak görülmektedir. Dördüncü kategori simülasyon, görselleştirme ve sanal doğrulamadan oluşmaktadır. Beşinci kategoride saf dijital temsiller ve fiziksel yapıyla ilişkisiz sanal gerçeklikler yer almaktadır. Bu olgunluk düzeyleri uygula-

ma açısından da farklı içerik ve kullanım kapasitelerini yansıtmaktadır.²³ Tablo 2’de bu düzeyler açıklanmıştır.

TABLO 2. DİJİTAL İKİZİN OLGUNLUK DÜZEYLERİ		
Düzyey	İçeriği	Kullanımı
0	Çeşitli teknolojik araçlarla gerçekliğin yakalanması	Araştırma
1	Meta veriye veya bina bilgi sistemlerine dayanmayan nesne tabanlı 2 boyutlu harita veya 3 boyutlu modeller	Optimizasyon ve koordinasyon
2	Meta veri ve bina bilgi sistemlerine bağlı olarak modellerin oluşturulması	4/5 boyutlu simülasyonlar, tasarım/varlık yönetimi
3	Nesnelerin interneti ve sensör gibi araçlarla gerçek zamanlı verinin oluşturulması	Operasyon verimliliği
4	Çift yönlü veri transferinin ve etkileşiminin sağlanması	Uzaktan işlemler, fiziksel olanın dijitalden kontrol edilmesi
5	Otonom operasyonlar ve onarım	Tam gözetim ile kendi kendine bütüncül yönetim ve açıklık

Kaynak: Dani vd., “Development of a Smart City Platform Based on Digital Twin Technology for Monitoring and Supporting Decision-Making”.

Dijital ikiz, müstakil bir teknoloji den çok farklı teknolojileri barındıran bütünleşik bir sistemdir. Dijital ikiz bünyesinde belirli kategoriler altında farklı teknolojiler yer alabilmektedir. Bu teknolojiler; verilerin elde edilmesi ve kullanılmasında kontrol teknolojisi, veri entegrasyon teknolojisi, model yapı teknolojisi, birlikte çalışabilirlik teknolojisi, iş entegre teknolojisi ve insan-makine etkileşim teknolojisi, ölçme ve haritalandırma teknolojileri (GPS, 3D lazer tasarım), yapı bilgi modelleme (YBM/BIM) teknolojisi, nesnelerin interneti ve 5G, iş birlikçi bilgi işlem (5G ile), blokzincir ve simülasyon olarak sınıflanabilir.²⁴

Genel olarak değerlendirildiğinde büyük veri, YZ, nesnelerin interneti, 5G, bulut bilişim, Metaverse, siber-fiziksel sistemler, genişletilmiş gerçeklik, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, karma gerçeklik, insansız hava aracı, derin öğrenme, blokzincir ve robotlar gibi teknolojilerin yer aldığı bir sistemden bahsedilebilir.²⁵

23 Ahmad Ali Hakam Dani, Suhono Harso Supangkat, Fetty Fitriyanti Lubis, I. Gusti Bagus Baskara Nugraha, Rezky Kinanda ve Irma Rizkia, “Development of a Smart City Platform Based on Digital Twin Technology for Monitoring and Supporting Decision-Making”, *Sustainability*, Cilt: 15, Sayı: 18, (2023), s. 2-18.

24 Lv, Shang ve Guizani, “Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities”; Riaz, McAfee ve Gharbia, “Management of Climate Resilience”.

25 Muhammet Damar ve Güzin Özdağoğlu, “The Digital Twin Case in the Technological Transformation Process: Research Articles Academic Collaborations and Topics”, *Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Enis Karaarslan, Ömer Aydın, Ümit Çalı ve Moharram Challenger, (Springer International Publishing, Singapur: 2023), s. 3-39; Durdu Hakan Utku, Ferhat Özgür Çatak, Murat Kuzlu, Salih Sarp, Vukica Jovanovic ve Ümit Çalı, “Digital Twin Applications for Smart and Connected Cities”, *Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Enis Karaarslan, Ömer Aydın, Ümit Çalı ve Moharram Challenger, (Springer, Singapur: 2023), s. 157.

Bu teknolojiler arasında inovasyon açısından büyük veri, YZ ve 3D yazıcı; diğer bir araştırmada da nesnelerin interneti, YZ, artırılmış gerçeklik (XR) ve bulut iletişim dijital ikiz teknolojisinin en temel parçaları olarak konumlandırılmaktadır.²⁶ Özellikle veriye dikkat çekmek gerekir. Çünkü sistemin en temel girdisini veri oluşturmaktadır. Sıralanan teknolojilerin özgün yanı verinin oluşması, aktarılması ve kullanılarak değere dönüşmesine katkı sağlamasıdır.



Bu teknolojiler aracılığıyla Şekil 4'teki işlevler yerine getirilmektedir. Diğer bir açıdan ise dijital ikiz teknolojisi farklı teknolojilerinin kullanımının etkinliğini de artırabilmektedir.²⁷ İşleyen bir dijital ikiz yapısının beş temel katmanı bulunmaktadır (Şekil 5).



²⁶ Fukawa ve Rindfleisch, "Enhancing Innovation via the Digital Twin", s. 390.

²⁷ J. Arora ve M. Tushir, "Digital Twin: Towards Internet of Drones", *Digital Twin Technology* ed. Gopal Chaudhary, Manju Khari ve Mohamed Elhoseny, (CRC Press, Florida: 2022), s. 23-46.

Bu katmanlardan oluşturulan dijital ikiz teknolojisinin gözleme/izleme/duyma, değerlendirme/analiz etme ve çözüm üretme/alternatifler sunma gibi başlıklarda üç temel fonksiyonu öne çıkmaktadır. Ayrıca simülasyon, etkileşim, dinamik ortam, büyük veri, iş birliği ve kendi kendine işlerlik de dijital ikizin nitelikleri olarak zikredilmelidir. Bu fonksiyonlar ile ilgili süreçleri ya da mekanı etkin yönetmek mümkün olabilmektedir.²⁸ Dijital ikiz teknolojisinin kullanım alanlarından bazıları Tablo 3'teki gibi sınıflandırılabilir.

TABLO 3. DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİNİN KARŞILIK BULDUĞU ALANLAR VE POTANSİYELLERİ	
UYGULAMA ALANLARI	YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR
Havacılık/Uzay	<ul style="list-style-type: none"> • Uzay araçlarının bakımı ve olumsuzlara yönelik öngörü • Uzay araçları için arıza analizi • Montaj hattı izleme • Montaj hattı için karar optimizasyonu • Emniyet ve güvenlik yönetimi
Elektrik Üretimi ve Dağıtım	<ul style="list-style-type: none"> • Rüzgar türbinlerinin bakımı ve olumsuzlara yönelik öngörü • Elektrik santrallerinin yönetimi • Güç şebekesi planlaması, işletimi ve bakımı
Otomobil	<ul style="list-style-type: none"> • Tasarım geliştirme • Arıza süresi tahmini ve bakımı • Yakıt verimliliği optimizasyonu • Çeşitli koşullar altında araç performans testi
Petrol ve Gaz	<ul style="list-style-type: none"> • Uzaktan izleme ve kontrol • Varlık yönetimi • Üretim optimizasyonu • Ekipman arıza tespiti • Bakım planlaması
Sağlık ve Tıp	<ul style="list-style-type: none"> • Sağlık izleme • Kardiyak araştırma • Kişiselleştirilmiş tıp • Tıbbi kaynak ataması • Personel planlaması
Denizcilik/Taşıma	<ul style="list-style-type: none"> • Bir gemi için yaşam döngüsü yönetimi • Gemi inşası için en iyi çözümün seçilmesi • Yakıt tüketiminin azaltılması • Arıza tahmini ve bakımı
Şehir Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Gerçek zamanlı izleme • Planlama ve karar verme optimizasyonu • Politika oluşturulmasının desteklenmesi • Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistem kontrolü
Tarım	<ul style="list-style-type: none"> • Zararlıların oluşumunun ve yayılmasının izlenmesi • Mahsullere yönelik hastalıkların, zararlıların ve pestisitlerin belirlenmesi • Evcil hayvanların sağlık takibi • Hayvanların hareketlerinin takip edilmesi • Çiftlik makinelerinin takip edilmesi

28 Kubilay Çakıcı ve Rüveyda Kızılboğa Özarslan, "Birleşmiş Milletler 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının Akıllı Kent Uygulamalarındaki Karşılığı: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Örneği", *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, Cilt: 12, Sayı: 2, (2019), s. 212.

Yapılaşma	<ul style="list-style-type: none"> • İlerleme izleme • Çalışma programı ve bütçe ayarlaması • Kaynak tahsisi ve atık takibi • İşçiler için güvenlik izlemesi • İnşaatlar için kalite değerlendirmesi • Ekipman kullanım oranının iyileştirilmesi
Çevre Koruma	<ul style="list-style-type: none"> • Su kaynağı yönetimi • Orman kullanımı ve yönetiminin optimizasyonu
Güvenlik ve Acil Durum Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Mevcut risklerin veya tehlikelerin azaltılması • Güvenlik ağı koruması • Afetlerin önlenmesi

Kaynak: Fei Tao, Meng Zhang ve A. Y. C. Nee, *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, (Elsevier, Amsterdam: 2019).

Tablo 3'te de görüldüğü üzere dijital ikiz teknolojisini altyapıdan imalata, akıllı evlerden akıllı şehirlere, sağlıktan eğitime, güvenlikten spora, havacılıktan denizcilığe ve nakliyata kadar pek çok alanda görmek mümkündür.²⁹ Bazı alanlardaki dijital ikiz uygulamaları detaylı olarak incelenebilir:

- **Endüstri:** Bu alanda dijital ikiz teknolojisi bir ürünün yaşam döngüsü (tasarım, üretim, test, kullanım, sürdürme ve geri dönüşüm) içinde katkı sağlayabileceği gibi bir tesisin genel olarak tasarlanması, üretimin gerçekleştirilmesi, işletmenin yönetimi, yeniliklerin geliştirilmesi, tasarrufların elde edilmesi, problemlerin tespit edilmesi, kullanıcı odaklılık ve siber güvenliğin sağlanması gibi hususlarda da katkı sunmaktadır. Ürünlerin fiili üretimden önce dijital ikiz kullanılarak simüle edilmesi, şirketlerin gelecekteki işleme hatalarını ortadan kaldırmasına ve üretim çıktılarını iyileştirmesine yardımcı olabilir.³⁰
- **Yapılaşma:** Dijital ikiz aracılığıyla yapı operasyonları ve binanın yaşam döngüsünün yönetimi, elde edilen verilere bağlı olarak zaman içinde optimize edilebilmektedir. Yapılara bağlı olarak verilerin üretilmesinde sensörler hayati bir öneme sahiptir. Bu noktada örneğin bir köprünün yapısındaki durum değişikliklerini daha yakından takip ederek zaman kaybetmeksizin gerekli müdahaleyi yapmak mümkün olmaktadır.³¹

29 Ruijie Cheng, Lei Hou ve Sheng Xu, "A Review of Digital Twin Applications in Civil and Infrastructure Emergency Management", *Buildings*, Cilt: 13, Sayı: 1143, (2023); Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day ve Chris Barlow, "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research", *IEEE Access*, Sayı: 8, (2020), s. 1-20; Concetta Semeraro, Mario Lezoche, Hervé Panetto ve Michele Dassisi, "Digital Twin Paradigm: A Systematic Literature Review", *Computers in Industry*, Sayı: 130, (2021), s. 12; Vanitha Jain, N. Luthra ve D. Saini, "Digital Twin Technology: An Evaluation", *Digital Twin Technology*, ed. Gopal Chaudhary, Manju Khari ve Mohamed Elhoseny, (CRC Press, Florida: 2022), s. 1-22.

30 Rafael da Silva Mendonça, Sidney de Oliveira Lins, Iury Valente de Bessa, Florindo Antônio de Carvalho Ayres, Jr., Renan Landau Paiva de Medeiros and Vicente Ferreira de Lucena, "Digital Twin Applications: A Survey of Recent Advances and Challenges", *Processes*, Cilt: 10, Sayı: 744, (2022); Mohd Javaid, Abid Haleem ve Rajiv Suman, "Digital Twin Applications toward Industry 4.0: A Review", *Cognitive Robotics*, Sayı: 3, (2023), s. 71-92.

31 Madubuike, Anumba ve Khallaf, "A Review of Digital Twin Applications in Construction", s. 156.

- **Havacılık:** Uçuş esnasında bir uçağın mekanizmasında oluşan hareketlikler dijital bir kopyasının üzerinden takip edilebilmektedir. Dolayısıyla dijital ikiz, uçağın güvenlik risklerinin belirlenmesi ve buna göre hareket edilmesini sağlayabilmektedir.³²
- **Tarım:** Ürün yetiştirme sürecinde sensörler aracılığıyla toprak, iklim ve bitkiyle ilgili değişkenlere bağlı veriler üzerinden dijital ikiz teknolojisinden faydalanmak mümkündür. Yer verilen yapı üzerinden üretim süreci statik halden dinamik bir boyuta taşınarak gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Bu sayede süreci kontrol altına almak mümkün hale gelmektedir.³³
- **Sağlık:** Modern tıp sadece hastalığın teşhis ve tedavisini değil aynı zamanda sağlık yönetimini, hastalıkların önlenmesini ve sağlığın iyileştirilmesini de içermektedir. Bu çerçevede dijital ikizin yer aldığı sağlık yapısı içinde, oluşturulan dijital platform aracılığıyla kişilerin yaşamları anlık olarak takip edilebilmekte, sağlığı tehdit eden riskler belirlenebilmekte ve izleme/takip yapılabilmektedir. Ayrıca elde edilen verilerden hareketle spor programlarını planlamak da mümkündür. İnsanın odakta olduğu bu gelişmeler, insanların dijital ikizi (*digital twins of humans*) kavramını gündeme getirmektedir.³⁴
- **Enerji Dağıtım:** Yaygın bir niteliğe sahip enerji dağıtım sisteminin etkin şekilde yönetilmesinde dijital ikiz teknolojisi fırsatlar sunmaktadır. Dağıtım sürecinde yer alan ekipmanların izlenmesi, ekipmanların arızalarının öngörülmesi ve şebeke yükünün tahmin edilmesi açısından dijital ikiz katkı sunmaktadır.³⁵
- **Ulaşım ve Otomotiv:** Dijital ikiz teknolojisi genel olarak ulaşım sistemi içinde ve özelde de otomotivler için önemli kazanımlar sağlayabilmektedir. Bu bağlamda otomotivlerin yaşam döngüsü içinde tasarım ikizi, simülasyon ikizi, yeniden kullanım ikizi gibi farklı ikizler oluşturabilmek mümkündür. Diğer taraftan ulaşım altyapısı için de bazı kazanımlardan söz etmek gerekir. Örneğin demir yolları üzerinden oluşturu-

32 Madubuike, Anumba ve Khallaf, "A Review of Digital Twin Applications in Construction", s. 157.

33 Göksel Gökkuş ve Mualla Ketten, "Tarımda Teknoloji Uygulamaları Örneği: Dijital İkiz", *Biyosistem Mühendisliği III*, ed. Atılğan Atılğan, Hasan Değirmenci, Vecdi Demircan ve Çağatay Tanrıverdi, (Akademisyen Kitapevi, Ankara: 2022), s. 139-154.

34 Jinkang Guo ve Zhihan Lv, "Application of Digital Twins in Multiple Fields", *Multimedia Tools and Applications*, Sayı: 81, (2022), s. 26941-26967.

35 Zhang Zhaoyun ve Lv Linjun, "Application Status and Prospects of Digital Twin Technology in Distribution Grid", *Energy Reports*, Sayı: 8, (2022), s. 14170-14182.

ruhan dijital ikizle birlikte potansiyel sorunları öngörmek ve bu sayede operasyonel verimliliği artırmak mümkündür. Hatta bisikletlerin kullanıcı odaklı olarak tasarımı ve üretiminin gerçekleştirilmesi ve kentsel alanda paylaşımlı olarak kullanılmasında da dijital ikiz teknolojisi katkı sunmaktadır.³⁶

- **Afet Yönetimi:** Teknolojik gelişmelerin etki gösterdiği alanlardan birini de afet ve acil durum yönetimi oluşturmaktadır. Söz konusu dijital ikiz teknolojisi bütünlük afet yönetiminin farklı aşamalarının etkin işletilmesi için önemli potansiyeller taşımaktadır. Dijital ikiz bir afet sırasında karmaşık olan verileri basit ve erişilebilir şekilde görselleştirerek kararlarının hızlı alınmasını ve karar kalitesini sağlamaktadır. Bununla birlikte dijital ikiz şehrin kendine özgü özelliklerini ve koşullarını dikkate alarak afet gelişimini simüle edebilir ve böylece erken uyarı sisteminin kilit unsuru olarak katkı sunabilir.³⁷

Genel olarak ele alındığında dijital ikizin kamu yönetimi açısından da öne çıkan bazı kullanım alanları bulunmaktadır. İlk olarak dijital ikiz teknolojinin entegre edildiği e-Devlet uygulamalarıyla hizmet sunumunu ve katılımı daha etkin hale getirmek mümkündür. Bu bağlamda vatandaş açısından e-Devlet uygulamaları dinamik bir yapıya bürünerek adeta “dijital bir danışman”a dönüşebilir. Örneğin kişilerin akıllı saatlerinden veya evlerindeki sağlık sensörlerinden gündeme gelen basit düzeydeki sağlık sorunları, e-sağlık sistemi üzerinden dijital ikiz uygulamasıyla bağlantı kurarak söz konusu kişiye bazı önerilerde bulunabilmektedir.

İkincisi özellikle kentsel alanda karşılık bulan deprem gibi doğal afetlere karşı, bütünlük afet yönetimi sürecinde dijital ikiz teknolojisi katkılarıdır. Bu noktada risk azaltma evresinde YZ aracılığıyla uygulamada olan dijital ikizler erken uyarı sistemini etkin kılabilir. Hazırlık ve acil durum planlaması evresinde insan kaynağı eğitimine katkı verebilmektedir. Müdahale ve hasar tespit evresinde hızlı olunması ve yolların izlenmesi gibi konularda katkı sunabilmektedir. Afet

36 Fei Tao, Meng Zhang ve A. Y. C. Nee, *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, (Elsevier, Amsterdam: 2019), s. 257-269; Diego M. Botín-Sanabria, Adriana-Simona Mihaita, Rodrigo E. Peimbert-García, Mauricio A. Ramírez-Moreno, Ricardo A. Ramírez-Mendoza ve Jorge de J. Lozoya-Santos, “Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review”, *Remote Sensing*, Cilt: 14, Sayı: 6, (2022), s. 1-25; Fukawa ve Rindfleisch, “Enhancing Innovation Via the Digital Twin”, s. 391-392.

37 Zehra Çubukcu, Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu “Akıllı Şehirlerde Acil Durum ve Afet Yönetiminde Dijital İkiz Teknolojisi: Potansiyeller ve Uygulamalar”, *Türkiye Yazarlar Birliği Akademi Dergisi*, Cilt: 14, Sayı: 40, (2024), s. 9-24; Neven Josipovic ve Kathrin Viergutz, “Smart Solutions for Municipal Flood Management: Overview of Literature, Trends, and Applications in German Cities”, *Smart Cities*, Cilt: 6, Sayı: 2, (2023), s. 944.

sonrası dönemi kapsayan iyileştirme evresinde ise barındırdığı bilgilerle yeniden inşa sürecine katkı sağlayabilmektedir.

Üçüncü olarak dijital ikiz teknolojisi şehirlerde yerel hizmetlerin sunulmasında önem kazanmaktadır. Dijital ikizle ilgili araştırmaların şehir alanında yoğunlaştığı düşünüldüğünde bu alanda pek çok gelişme olması tesadüf değildir. Özellikle Avrupa ve Çin’de öncü çalışmalar görülmektedir. Zürih, Helsinki, Valencia, Dublin, Brescia, Shenzhen ve Herrenberg gibi şehirlerde akıllı şehir uygulamaları içinde dijital ikiz bağlantıları görülmektedir. Buna binaen akıllı şehirlerin unsurları olan başta ulaşım olmak üzere enerji, çevre, sağlık, bina, eğitim, ekonomi ve acil durum hizmetleri gibi alanlarda dijital ikiz teknolojisi karşılık bulmaktadır.³⁸ Dolayısıyla akıllı şehirler ve dijital ikiz ilişkisi ayrıca incelenmesi gereken bir başlıktır.

DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ VE AKILLI ŞEHİRLER

Dijital ikiz teknolojisinin akıllı şehirlerde ulaşım/hareketlilik, enerji, çevre ve kaynak yönetimi, şehir planlama, altyapı yönetimi, şehir hizmetleri, sağlık, yapılaşma, eğitim ve şehir ekonomisi gibi başlıklarda ele alındığı görülmektedir.³⁹ Diğer taraftan dijital ikiz teknolojisi, şehirlerin gelecek planlamasına yönelik farklı senaryoların test edilmesinde, idare içerisinde ve harici proje katılımcıları arasında tartışma ve karar verme için yeni olanaklar sunmaktadır. Ayrıca vatandaşların şehrin projeleri hakkında bilgi edinmeleri ve katılım sağlamaları için yeni imkanlar sağlayabilmektedir.⁴⁰ Bu belirtilenler çerçevesinde dijital ikizleri kapsayan bir akıllı şehirde Tablo 4’te yer verilen çeşitli konularda potansiyeller bulunmaktadır.

Veri yönetimi, görselleştirme, durumsal farkındalık, planlama ve tahmin, entegrasyon ve iş birliği gibi başlıklarda da dijital ikiz şehirlerde farklı uygulamalar ortaya koyabilmektedir. Belirlenen bu temalar şehirlerde dijital ikiz teknolojisinin mevcut durumunun ve potansiyellerinin anlaşılmasına katkı sunmaktadır. Bu sayede dijital ikizin faydalarını kentsel alanda üst düzeye çıkarmak mümkün olabilmektedir.⁴¹

38 Botin-Sanabria vd., “Digital Twin Technology Challenges and Applications”, s. 5-6.

39 Hao Wang, Xiaowei Chen, Fu Jia ve Xiaojuan Cheng, “Digital Twin-Supported Smart City: Status, Challenges ve Future Research Directions”, *Expert Systems with Applications*, Sayı: 217, (2023), s. 119531.

40 Gerhard Schrotter ve Christian Hürzeler, “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Cilt: 88, Sayı: 1, (2020), s. 114.

41 Ehab Shahat, Chang T. Hyun ve Chunho Yeom, “City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda”, *Sustainability*, Cilt: 13, Sayı: 6, (2021), s. 1-20.

TABLO 4. DİJİTAL İKİZİN KENTSEL ALANDAKİ POTANSİYEL KATKILARI

Katkı Sağlayacak Konular	Katkının İçeriği
Veriye Dayalı Karar Verme	İleri teknolojilerin kentsel alanlara entegrasyonu, çevre yönetimi, kamu güvenliği ve şehir hizmetleri gibi alanlarda verimli ve veriye dayalı karar almayı kolaylaştırmaktadır.
Yenilikçi Kentsel Planlama	Şehrin genel olarak planlanmasında ve özel olarak da su gibi unsurların planlanmasında yenilikçi imkanlar sunmaktadır.
Kaynakların Yönetimini İyileştirme	Geliştirilen modellerle kentsel alanda kullanılan kaynakların verimliliğini artırmak mümkün olmakta ve bu sayede çevresel sorunların azalmasına katkı sağlanmaktadır.
Dönüştürücü Kentsel Altyapı Projeleri	Metro, yol, hastane ve eğitim kurumları gibi büyük ölçekli yatırımların karar verilmesinde katkı sunmaktadır.
Gerçek Zamanlı Veri Görselleştirme ve Tahmin	Elde edilen gerçek zamanlı verilerle kentsel dinamiklere ilişkin bütüncül bir anlayışın geliştirilmesi mümkün olmaktadır.
Afete Hazırlık ve Uzun Vadeli Şehir Planlama	Tahmine dayalı analiz ve geçmiş veri kullanımı yoluyla bu platformlar, su baskını tahminine yardımcı olur, hasarı en aza indirir ve afet önleme için uzun vadeli şehir planlamasına olanak tanır.
Paydaşları Güçlendirmek ve Yeniliği Teşvik Etmek	Dijital ikiz platformları, kentsel tasarımcılardan mimarlara, vatandaşlardan mülk sahiplerine kadar çeşitli paydaşlara şehirleri farklı senaryolarda analiz etme yetkisi vermektedir.
Trafik Yönetimi	Trafik ağının zayıflığının tespit edilmesi, getirilen çözümlerin uygulamadan önce test edilmesi ve akışın optimizasyonunda katkı sunmaktadır.
Enerji Tüketimi ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yönetimi	Dijital ikiz teknolojisi, karbon ayak izini azaltmaktan binalara güneş panelleri eklemek için stratejik yerler bulmaya kadar dağıtımları ve maliyet tasarrufu fırsatlarını daha iyi planlamaya katkı sunmaktadır.
Yapılaşma Yönetimi	Tasarım, uygulama gibi yapılaşmanın farklı aşamalarında yardımcı olmakta, uygulama sürecinin izlenmesine katkı sağlamaktadır.
Yapı Kalitesini İzleme	Gerçek zamanlı olarak yapı kalitesinin takip edilmesine katkı sağlamakta ve proaktif hareket edilmesine katkı sunmaktadır.
Drenaj Sisteminin Yönetimi	Gerçek zamanlı drenaj sisteminin takip edilmesine imkan vermekte ve sistem dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına ve kontrol edilmesine katkı sunmaktadır.
Çevreyi ve İklimi İzleme	Sensörlerden elde edilen veriler aracılığıyla gürültü, kirlilik ve sıcaklık gibi çevresel değişkenlerin verisini elde etmek hem de iklimdeki değişimleri takip etmek mümkün olabilmektedir.
Kamu Güvenliği ve Kalabalıkların Yönetimi	Elde edilen veriler aracılığıyla kentsel yaşamda bir şeyler ters gittiğinde polis gibi kaynakların nasıl kullanılacağı ve insanların bu tehlikeden nasıl etkili ve güvenli bir şekilde uzaklaştırılacağını öncesinde kestirmek mümkün olabilmektedir.

Kaynak: Giuseppe Piras, Sofia Agostinelli ve Francesco Muzi, "Digital Twin Framework for Built Environment: A Review of Key Enablers", *Energies*, Cilt: 17, Sayı: 2, (2024); Vohra, *Overview of Digital Twin, Digital Twin Technology Fundamentals and Applications*; Curt Savoie, "AI and Digital Twins in Smart Cities", IDC, https://cdn.idc.com/ap/smartcities/RESOURCES/ATTACHMENTS/eBook-AI_and_Digital_Twins_in_Smart_Cities.pdf, (Erişim tarihi: 29 Mart 2024).

DİJİTAL İKİZ ŞEHİR

Karmaşıklaşan kentsel hizmetlere yönelik politika üretme sürecinde dijital ikiz teknolojisi yeni imkanlar sunmaktadır. Dijital ikiz teknolojisinin bütünleştiği akıllı şehir, Şekil 6'da da gösterildiği gibi gerçek ile sanal yoğun şekilde birbiriyle ilişkilendirmektedir. Böyle bir araç sayesinde yönetsel açıdan, bazı potansiyel sorunlar tahmin edilebilir ve süreç ile operasyon arasındaki entegrasyon desteklenebilir.⁴²



Kaynak: Jong-Sung Hwang, "The Next Generation of Smart City: Augmented City and Digital Twin", International Federation of Surveyors, (2019), https://www.fig.net/resources/proceedings/2019/08_com7/0608_3_jong-sung_Shin.pdf, (Erişim tarihi: 25 Mart 2024).

⁴² Mendonça vd., "Digital Twin Applications".

Gelişen her bir yeni teknoloji, dijital ikiz teknolojisinin önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Diğer taraftan Metaverse uygulamalarının gelişimi açısından dijital ikiz teknolojisi önemli bir yer tutmaktadır. Dijital ikiz, gerçek dünyaya bağlı olarak oluşmaktadır. Metaverse ise gerçekliğe bağlı olmaksızın sanal bir gerçekliği yansıtmaktadır. Metaverse evreninde dijital ikiz, gerçeklikten oluşan verilerin sanal ortama taşınmasında aracı bir işlev görmektedir. Fakat Metaverse, dijital ikizin kentsel alanda ele alınmasıyla akıllı şehirlerin oluşumunda teknik olarak destek sağlayabilecek potansiyeli barındırmaktadır. Çünkü üretilen sanal gerçeklikler de gerçek yaşama katkı sağlayabilmektedir. Dolayısıyla Metaverse ve dijital ikiz birbirini beslemektedir.

Dijital ikiz, Metaverse evreninde şehirlerin ve yapıların oluşmasında aracılık edebilmektedir. Ortaya çıkan bu yeni yapı çeşitli olguların yönetilmesine katkı sunmaktadır. Ayrıca vatandaşlar, kentsel sistemle çeşitli düzeylerde sanal-gerçek etkileşimine ve etkileşimli geri bildirim katılarak şehrin sorunlarına ve gelişimine katkı sunabilmektedir. Diğer taraftan Metaverse evreni içine dijital ikiz teknolojisinin dahil edilmesi, yapı projelerinin geliştirilmesi, kentsel alanların planlanması ve kaynak yönetiminin optimize edilmesine katkı sunabilmektedir.⁴³

Dijital ikiz teknolojisinin fonksiyonlarından birini de simülasyonlar oluşturmaktadır. Şehirleri kapsayan simülasyonlar, gerçek durumdan hareketle oluşabilecek muhtemel yeni şartların görülmesi ve yeni kararların verilmesinde katkı sağlamaktadır.⁴⁴ Hatta fiziksel tasarımı ile dijital dünyanın etkileşiminin yoğunlaşması, dijital ikizden Metaverse'e yönelik bir dönüşümün olabileceğini de düşündürmektedir. Bu şekilde bir şehrin farklı detaylarından elde edilen veriler üzerinden bulut ortamında oluşturulan dijital ikizlerle şehirlerin etkin ve verimli yönetilmesine katkı sağlanabilecektir. Bu şekilde dijital ikiz teknolojisiyle birlikte akıllı şehirlerin *augmented city*'ye dönüşümü vurgulanmaktadır.⁴⁵

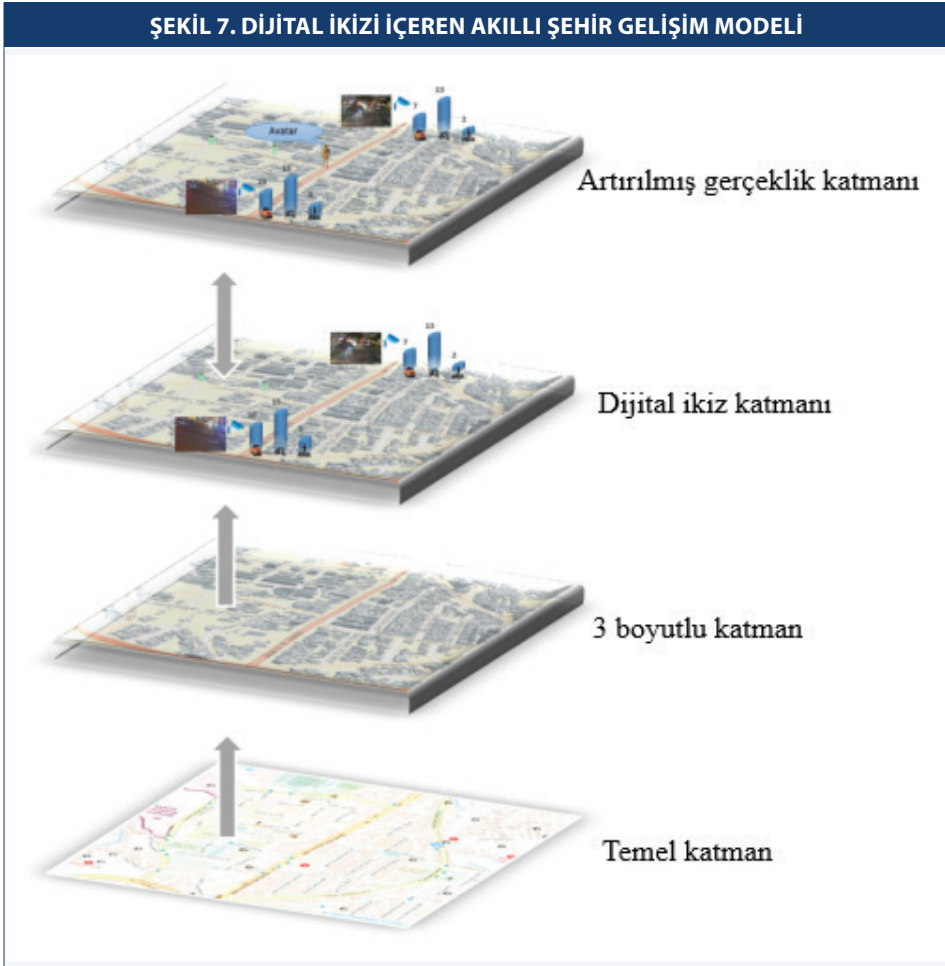
Dijital ikizin dahil olduğu akıllı şehirler, farklı katmanlar aracılığıyla gelişimini sürdürmektedir. İlk katmanda şehrin sokak isimleri, bina isimleri gibi temel düzeyde bilgileri yer almaktadır. İkinci katmanda, ilk katmanda oluşan verilerden hareketle şehrin 3 boyutlu modelleri yer almaktadır. Üçüncü katmanda çeşitli teknolojilerin aracılığıyla gerçek zamanlı olarak veri transferi sağlanan dijital ikiz katmanı

43 Lv vd., "Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities".

44 Dani vd., "Development of a Smart City Platform", s. 12-14.

45 Lv vd., "Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities"; Riaz, vd. "Management of Climate Resilience"; Jong-Sung Hwang, "The Next Generation of Smart City: Augmented City and Digital Twin", International Federation of Surveyors, (2019), https://www.fig.net/resources/proceedings/2019/08_com7/0608_3_jong-sung-Shin.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

yer almaktadır. Artırılmış gerçekliği kapsayan son katman ise dijital ikiz verilerinin görselleştirilmesinin netleştirilmesi ve şehrin Metaverse evrenine yönelik geliştirilmesi amacıyla önerilen yeni bir fikirdir. Son katmandaki gelişmeler varlığını sürdürmektedir. Dolayısıyla teknolojik gelişmeler altında fizikselden bilinçsele, dijitalden fiziksele, fizikselden dijitale ve dijitalden bilinçsele gibi farklı şekillerde ortaya çıkan etkileşimler bir Metaverse şehri (Metavercity) ortaya çıkarabilmektedir.⁴⁶



Kaynak: Dani vd., “Development of a Smart City Platform Based on Digital Twin Technology for Monitoring and Supporting Decision-Making”.

Bu yenilikçi konsept; veri oluşturma, yönetim ve organizasyonda önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu nedenle dijital ikiz şehirde, gerçek şehir ve

⁴⁶ Dani vd., “Development of a Smart City Platform”, s. 14-15; “Digital Twin Cities: Key Insights and Recommendations”, WEF, (Ağustos 2023), <https://www.weforum.org/publications/digital-twin-cities-key-insights-and-recommendations>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

sanal şehir arasındaki etkileşimin sağlanmasındaki en stratejik unsur “veri”dir. Veri kalitesi ve hızı, dijital ikiz teknolojisinin uygulanmasında belirleyici etken olmaktadır. Dijital ikiz şehirler, nesne görünümü gibi hem statik bilgileri hem de canlı ticari ve duyuşsal veriler gibi dinamik verileri birleştirek fiziksel dünyadaki farklı varlık nesnelerini temel veri birimleri olarak ele almaktadır. Ayrıca dijital ikiz çeşitli sektörlerden verileri entegre ederek kentsel kamu hizmetleri için daha kapsamlı ve etkili bir veri desteği sağlayabilmektedir.⁴⁷

Akıllı şehirlerde verinin yaşam döngüsü sürecinde dijital ikizin getirileri şu şekilde sınıflanabilir:

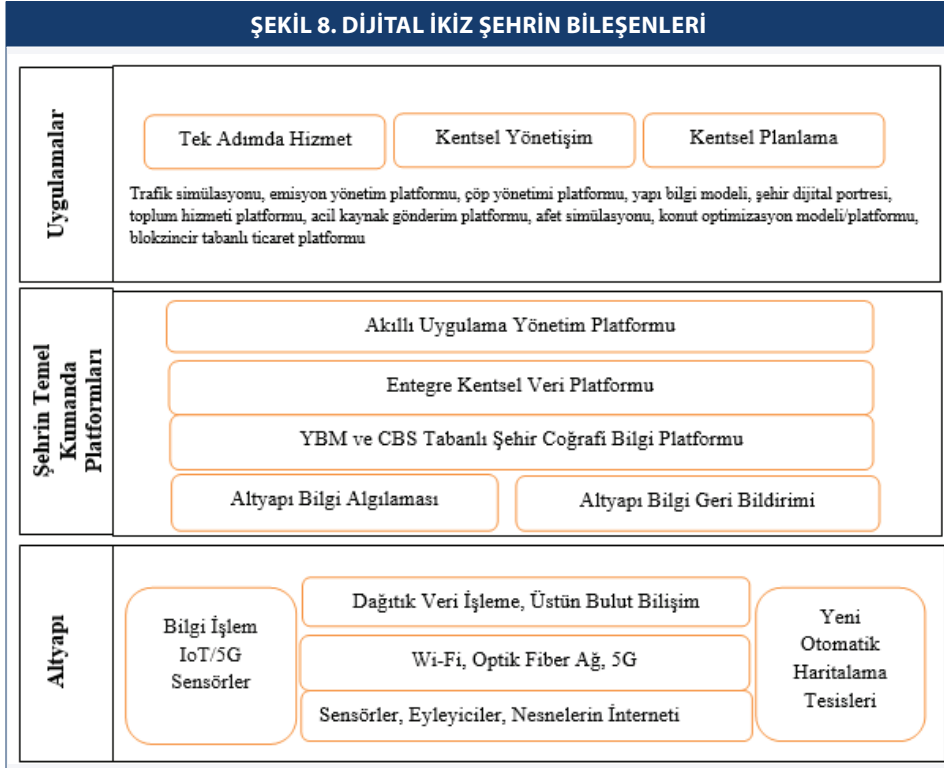
- **Dijital İkiz Aracılığıyla Veri Toplama ve Depolama:** Verilerin elde edilmesi için sensörlerin kullanımı, yolcuların ve araçların verilerinin elde edilmesi için GPS, bilgi toplama aracı olarak BIM/YBM ve CBS'nin kullanımı, BIM ve CBS aracılığıyla elde edilen bilginin mekansal ilişkisi ve yapı analizi için tipoloji
- **Dijital İkiz Aracılığıyla Veri Modelleme ve Görselleştirme:** BIM tarafından biçimlenen bir bütünleşik model içinde geometrik ve geometrik olmayan bilginin temsili, artırılmış gerçeklik tarafından 3D temsilin optimizasyonu, VR tarafından fiziksel varlıkların beklenen davranışının temsili, sanal gerçeklik tarafından özetlenmiş bilginin/verinin temsili
- **Dijital İkiz Aracılığıyla Veri Bağlantısı:** Dağınık niteliği bulunan farklı endüstriyel platformlardan verinin/bilginin toplanması, farklı şehir modelleri arasında verinin/bilginin paylaşılması, 5G teknolojisi, blokzincir ve nesnelerin interneti destekli akıllı şehirlerde yer alan dijital ikiz sistemi içinde veri/bilginin etkin paylaşımı, akıllı şehirlerdeki dijital ikiz sistemleri içinde bilginin etkin paylaşımını sağlamak için çeşitli bilgi işlem stratejileri (*edge computing*)
- **Dijital İkiz Aracılığıyla Veri Kullanımı:** Ulaşım, çevre, enerji, sağlık, güvenlik ve eğitim hizmetlerinde dijital ikiz kullanımı, dijital ikiz sistemi içinde şehir düzleminde verinin/bilginin analizi, farklı kaynaklardan elde edilen verinin/bilginin merkezi analizi, heterojen verinin/bilginin süreci, çok miktarda kullanıcı bilgisinin dahil olması⁴⁸

Sıralanan niteliklerin hepsine sahip standartlaştırılmış bir dijital ikiz modeli olmamakla birlikte dijital ikiz şehrin genel bileşenleri Şekil 8'deki gibi görselle-

⁴⁷ “Digital Twin Cities”.

⁴⁸ Wang vd., “Digital Twin-Supported Smart City”, s. 10.

şebilir. Buna göre dijital ikiz şehirler; kendi kendini algılama, kendi kendine karar verme, kendi kendini organize olma, kendi kendine gerçekleştirme ve kendi kendine uyum sağlama gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler altyapı, şehrin ana kumanda platformları ve yeni uygulamalardan oluşmaktadır.⁴⁹



Kaynak: Tianhu Deng, Keren Zhang, Zuo-Jun (Max) Shen, "A Systematic Review of a Digital Twin City: A New Pattern of Urban Governance Toward Smart Cities", *Journal of Management Science and Engineering*, Cilt: 6, Sayı: 2, (2021), s. 132.

Dijital ikiz şehrin altyapı bileşeni, gerçek dünyadan verilerin dijital ortama aktarılmasına katkı sağladığı gibi dijital ortamdan gerçek ortama geri bildirim de sağlamaktadır. Şehrin beyni olarak da nitelendirilen platformlar, dijital ikiz şehrin işleyişinden oluşan verilerle şehirlerin merkezi yönetim sistemini oluşturmaktadır. Buradaki coğrafi bilgi ortamı, fiziksel dünyadan gelen şehir bilgilerini bütünleştirerek dijital platforma haritalandırmakta ve böylece dijital ikiz şehirlerin temelini oluşturmaktadır. Bütünleşik kentsel veri ise şehirlerin işleyişinden ve yönetsel kademedenden oluşan verilerden meydana gelen önemli bir temel halini

⁴⁹ Tianhu Deng, Keren Zhang ve Zuo-Jun (Max) Shen, "A Systematic Review of a Digital Twin City: A New Pattern of Urban Governance toward Smart Cities", *Journal of Management Science and Engineering*, Cilt: 6, Sayı: 2, (2021), s. 132; Shahat vd., "City Digital Twin Potentials", s. 14.

almaktadır. Uygulama katmanında da elde edilen veriler üzerinden çeşitli uygulamalar karşılık bulmaktadır. Burada da simülasyonlar öne çıkmaktadır.⁵⁰ Akıllı şehirlerde dijital ikiz teknolojisinin uygulamaya aktarılmasında takip edilebilecek yol haritası ise Tablo 5'teki gibi tasarlanabilir.

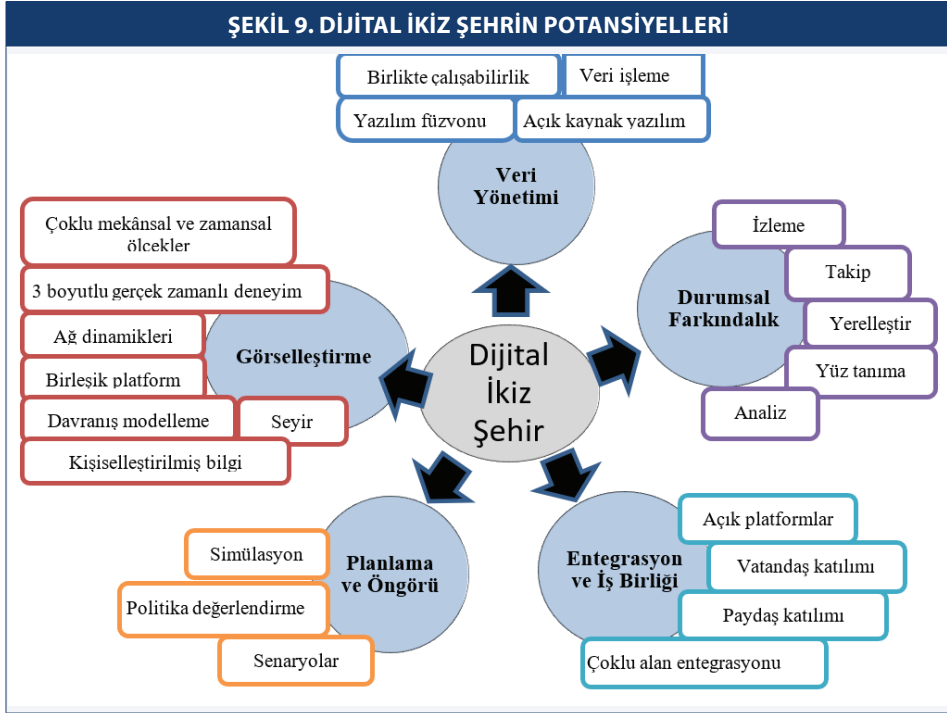
TABLO 5. DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ UYGULAMA YOL HARİTASI	
Planlama	<p>Birinci Adım: Projenin hedeflerini, kapsamını, zaman çizelgesini ve kaynak gereksinimlerini özetleyen kapsamlı bir planın hazırlanması</p> <p>İkinci Adım: Farklı disiplinlerden uzmanların (şehir planlama, yazılım geliştirme, veri analisti vb.) bir araya geldiği çalışma takımının oluşturulması</p> <p>Üçüncü Adım: Dijital ikizlerin en fazla değeri sağlayabileceği alanları belirlemek için mevcut kentsel sistemlerin ve altyapının kapsamlı bir değerlendirmesinin yapılması</p> <p>Dördüncü Adım: Kentsel sistemlerin değerlendirmesinden elde edilen bulguları dikkate alarak potansiyel dijital ikiz çözümleri ve uygulamaları hakkında beyin fırtınasının yapılması</p>
Hazırlık	<p>Beşinci Adım: Mevcut veriler değerlendirilerek ele alınması gereken boşlukların belirlenmesi; gereken ek eğitim veya kaynaklar belirlenerek ekibin verileri işleme ve dijital ikizi geliştirme kapasitesinin değerlendirilmesi</p> <p>Altıncı Adım: Belirlenen boşluklar ele alınarak dijital ikizin gelişiminin desteklenmesi için gerekli verilerin toplanması; verilerin doğru, güncel olduğundan ve ilgili veri gizliliği ve güvenlik standartlarına uygun olduğundan emin olunması</p>
Ön Uygulama	<p>Yedinci Adım: Planlama aşamasında belirlenen belirli bir alan veya uygulamaya odaklanarak dijital ikizin pilot versiyonunun geliştirilmesi; performansının değerlendirilmesi, geri bildirim toplanması ve ele alınması gereken sorunları belirlemek için pilotun test edilmesi</p> <p>Sekizinci Adım: Pilot uygulamadan elde edilen bilgiler kullanılarak dijital ikizin projenin tümünü kapsayacak şekilde iyileştirilmesi ve genişletilmesi; dijital ikizin gelecekteki değişiklikler ve güncellemelere uyum sağlayacak şekilde ölçeklenebilir ve uyarlanabilir olduğundan emin olunması</p>
Uygulama	<p>Dokuzuncu Adım: İlgili kentsel sistem ve süreçlerle entegre olması sağlanarak tam gelişmiş dijital ikizin kademeli olarak başlatılması; bu süreçte oluşturulan sistemin performansının sürekli olarak izlenmesi, verilerin güncellenmesi, karar alma ve kentsel planlamayı destekleme konusunda sürekli etkinliğin sağlanması için gereken düzenlemelerin yapılması</p>

Kaynak: Bruno Ávila Eça de Matos, "Digital Twins for Cities", (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven: 2023), s. 11-154.

Dijital ikiz yönetsel açıdan karar verme süreci, planlama, süreç takibi, uygulama kapasitesi, şeffaflık ve iş birliğini desteklemektedir. Bu açıdan dijital ikiz gerçek zamanlı bir yönetsel sistem ortaya çıkarmaktadır. Söz konusu destekleri sağlamak adına kamu ağları, veri değişim platformları ve modern bilgi teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Bu sayede kentsel sorunların hızlı tespit edilmesi, çözüm üretilmesi ve karar verilmesi mümkün olmaktadır. Dolayısıyla dijital ikiz,

50 Deng vd., "A Systematic Review of a Digital Twin City", s. 131-132.

şehrin farklı fonksiyonlarına katkı sunarak etkin yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca dijital ikizin dahil olduğu akıllı şehirler, bir sorundan etkilenen paydaşlar ve çözümü arasında doğrudan bir iletişim aracı sunarak insan odaklı bir yaklaşımla akıllı şehirlerde sosyal bir dönüşüm gerçekleşebilmektedir.⁵¹



Kaynak: Shahat, Hyun ve Yeom, "City Digital Twin Potentials".

Şehrin önemli gündem maddelerinden birini de afetler oluşturmaktadır. Doğal ve insana bağlı olarak ortaya çıkan afetlerin etkileri, nüfusun yoğunlaşmasına bağlı olarak daha çok şehirlerde meydana gelmektedir. Bu nedenle afetler, şehir yönetimlerinin ihmal etmemesi gereken bir konudur. Dijital ikizin seller ve taşkınlara karşı kullanımı bütünlükten afet yönetimi açısından incelendiğinde aşağıdaki başlıklar öne çıkmaktadır:

- **Hazırlık Aşamasında:** Yoğun yağışların ve su seviyelerinin izlenmesi ve tahmin edilmesi, önleme kaynaklarının yeterli şekilde yerleştirilmesi, acil durum planlarının geliştirilmesi, erken uyarı sistemlerinin uygulanması, ilgili tarafların ve vatandaşların eğitimi

51 Mendonça vd., "Digital Twin Applications"; Joel Myers, Victor Larios ve Oleg Missikoff, "Thriving Smart Cities", *The Digital Twin*, ed. Noel Crespi, Adam T. Drobot ve Roberto Minerva, (Springer International Publishing, Berlin: 2023), s. 901-970; Batel Yossef Ravid ve Meirav Aharon-Gutman, "The Social Turn in the Field of Smart Cities", *Urban Analytics and City Science*, Sayı: 1, (2022), s. 11-19.

- **Müdahale Aşamasında:** İletişimin sürdürülmesi, güncel gelişmelere ait bilgilerin elde edilmesi, felaket alanına erişim, müdahale faaliyetlerinin koordine edilmesi, lojistiğin etkin şekilde yürütülmesi ve afetten etkilenen vatandaşlarla ilgilenilmesi
- **İyileştirme Aşamasında:** İletişim devam ettirilmesi, güncel gelişmelere ait bilgilerin elde edilmesi, lojistiğin etkin şekilde yürütülmesi, zarar gören altyapının yenilenmesi ve afetten etkilenen vatandaşlarla ilgilenilmesi
- **Risk ve Zarar Azaltma Aşaması:** Afet bilgilerinin toplanması ve değerlendirilmesi, zayıf tarafların tespit edilmesi ve bunların iyileştirilmesi, altyapının geliştirilmesi, farkındalığın ve iş birliğinin artırılması, ilgili düzenlemenin karşılaşılan durumlara göre güncellenmesi⁵²

Dijital ikiz teknolojisinin bu yapı içerisinde özellikle afetlere karşı kullanılabilmesi şüphesiz başta insan kaybının önlenmesi ve büyük maddi kayıpların önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır. Dijital ikiz modelinin ortaya çıkmasıyla birlikte şehirler sanal olarak yeni bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Binaların dijital ortama aktarılması ile birlikte olası bir deprem afetinde binanın verebileceği tepkiler gözlenebilir, direnç unsurları ortaya çıkabilir ve bu çerçevede henüz afetle karşılaşmadan önlem alınarak varsa sorunlu bir alana lokal müdahalelerde bulunulabilir. Bu müdahaleler kapsamında yıkım sırasında yaşanabilecek jeomedikal unsurların havaya karışması önlenebilmektedir. Aynı zamanda afet sırasında ve sonrasında yaşanabilecek insani ve maddi kayıpların önüne geçilebilmektedir. Dünyada kent oluşumunda dijital ikiz projesini uygulayan şehir ve ülkeler arasında Helsinki, New York ve Singapur ön plana çıkmaktadır.⁵³

Afet yönetimi sürecinde yer verilen bu durumların etkin şekilde hayata geçirilmesinde akıllı şehirler yeni kazanımlar sağlamaktadır. Dolayısıyla akıllı afet yönetimi gündeme gelmektedir. Kentsel alanda akıllı afet yönetimi, bir şehrin afetlere karşı dayanıklılığını geliştirmek amacıyla bütünleşik afet yönetimi sürecinde BİT ve diğer teknolojik araçların kullanılmasıdır. Bu noktada üç teknolojinin altı çizilmektedir: büyük veri (sensörler, nesnelerin interneti, GPS, akıllı telefonlar, sosyal medya gibi teknolojilerin birleşimiyle), dijital ikiz ve uzaktan algılama (insansız hava araçlarıyla). Yer verilen bu teknolojiler sayesinde ger-

52 Josipovic ve Viergutz, "Smart Solutions for Municipal Flood Management", s. 946.

53 "Dijital İkiz Nedir?", Arch Daily, (2022), <https://www.archdaily.com/975256/what-is-a-digital-twin>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024); Yıkıcı, "Dijital İkiz Şehir Fenomeni", s. 147.

çekte ortaya çıkan durumların verileri uzaktan algılama araçları, sensörler ve kitle kaynaklarla elde edilmekte, elde edilen bu veriler dijital ikiz ortamında analiz edilmekte, simülasyonlar geliştirilmekte, değerlendirilmekte ve karar vericilere sunulmaktadır. Bu sayede riskler daha iyi öngörülmekte, daha iyi hazırlık yapılmakta ve afetlerin etkisi azaltılabilmektedir. Dünya genelinde farklı şehirlerde (Cambridge, Dublin, Londra, Paris, Atlanta, Sidney, Dubai, Münih, Rotterdam, Helsinki, Zürih, New York, Espoo, Pilsen vd.) dijital ikiz uygulamaları bulunmakta, dijital ikiz teknolojisi afet yönetimi sürecinde kullanılmaktadır.⁵⁴ Türkiye’de dijital ikiz teknolojisi kullanımı henüz çok yeni olmakla birlikte önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

DÜNYADA FARKLI ŞEHİRLERDE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARI

Akıllı şehirlerde oluşturulan dijital ikiz ile genel olarak şehrin planlanmasında ve şehre yönelik politikaların geliştirilmesindeki aracı rolü vurgulanmaktadır. Örneğin İsviçre’nin Zürih şehrinde, şehir planlaması odaklı dijital ikiz uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada elde edilen dinamik dijital veriler üzerinde şehir planlamasında 3D mekansal veriler ve modellerden yararlanılmıştır. 3D mekansal veriler açık veri platformu üzerinden paylaşılmıştır.

Singapur’da “Virtual Singapore” projesi de örnek verilebilir. Proje, ulusal düzeyde hazırlanan bir planın parçası olarak gündeme gelmiştir.⁵⁵ Singapur’da gerçekleştirilen bu uygulamada da dijital ikizin gerçek zamanlı verilerin toplanmasına ve analizine imkan sağladığı, hazırlanan çeşitli senaryolarla karar almayı ve planlamayı kolaylaştırdığı ifade edilmektedir. Büyük veri ortamından yararlanan akıllı bir bilgi platformu olduğundan kullanıcılar Singapur’un zengin görsel modelleri ve gerçekçi büyük ölçekli senaryolarını oluşturarak öngörü elde edebilecek, çözümler geliştirebilecek ve simülasyonlar çalıştırabilme imkanına sahip olacaktır. Örneğin yazılım, 3G/4G ağ kapsama alanlarının görselleştirilmesini sağlamak; kalabalık kontrolü ve tahliye önlemlerinin simülasyonları ve belediye hizmetlerinin sunulması, yaya akışlarının analiz edilmesi ve bilimsel araştırma

54 Josipovic ve Viergutz, “Smart Solutions for Municipal Flood Management”, s. 947; Kopponen vd., “Empowering Citizens with Digital Twins: A Blueprint”; Fathima Nishara Abdeen, Sara Shirowzhan ve Samad M. E. Sepasgozar, “Citizen-Centric Digital Twin Development with Machine Learning and Interfaces for Maintaining Urban Infrastructure”, *Telematics and Informatics*, Sayı: 84, (2023), s. 1-17.

55 Schrotter ve Hürzeler, “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, s. 105-106; John Geddie ve Aradhana Aravindan, “Virtual Singapore Project Could Be Test Bed for Planners and Plotters”, *Euronews*, 27 Eylül 2018.

sonuçlarının projelendirilmesi için senaryoların planlanması araçlarını sunmaktadır. Fakat Singapur uygulamasının fiziksel alandan dijital alana tek yönlü olarak verinin transfer edilmesi nedeniyle tam olarak dijital ikizi yansıtmadığı, dijital gölge niteliği taşıdığı belirtilmektedir.⁵⁶

Kentsel planlamada vatandaş katılımından hareketle dijital ikiz ayrıca ele alınabilir. Kıyı alanlarının planlama sürecinde dijital ikiz teknolojisi, farklı kaynaklardan verilerin entegrasyonu, farklı aktörler arasında etkileşimin entegrasyonu ve doğal, fiziksel ve sosyal sistemlerin entegrasyonunun sağlanması açılarından fırsatlar sunmaktadır. Dolayısıyla akıllı şehirlerde üretilen veriler dijital ikiz uygulamasıyla bilgiye dönüştürülerek akıllı şehirlerin etkin kılınmasına yönelik politikaların geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu nedenle akıllı şehir ve dijital ikiz (dijital ikiz şehir) uygulaması birbirini tamamlayan iki önemli parçadır. Bu teknolojinin farklı uygulama örnekleriyle Çin, ABD, Almanya, İngiltere ve Hollanda gibi ülkelerde öne çıktığı, ağırlıklı olarak şehirlerde karşılık bulduğu ve ağırlıklı olarak kamu mülkiyetinde olduğu görülmektedir.⁵⁷ Şehir düzeyinde ele alındığında ise Hamburg, Cambridge, Dublin, Londra, Paris, Atlanta, Sidney, Dubai, Münih, Rotterdam, Helsinki, Zürih, New York, Espoo ve Pilsen gibi şehirlerde karşılık bulduğu görülmektedir.⁵⁸

Dijital ikiz teknolojisi, iklim değişikliğine yönelik politikalarda ve afet yönetiminde de potansiyele sahiptir. Bu açıdan dijital ikiz, elektrik üretimi, gaz tüketimi, evsel atıklar ve otomobil gibi kaynaklardan oluşan karbon emisyonlarının değerlendirilmesi için imkan sunabilmektedir. Örneğin şehirdeki iklim değişikliğini kapsayan politikalarda olup-biten gerçekleri yakalamak, 2D ve 3D modeller oluşturmak, gerçek zamanlı veriye bağlı arayüzler oluşturmak, gerçek ile sanal arasında çift yönlü entegrasyon gerçekleştirmek ve azaltımların etkisini doğru tahmin etmek açılarından katkısı bulunmaktadır.⁵⁹

56 "E-Services", Singapore Government, (2024), www.sla.gov.sg, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024); Shahat vd., "City Digital Twin Potentials", s. 15.

57 Xinyue Ye, Jiaxin Du, Yu Han, Galen Newman, David Retchless, Lei Zou, Youngjib Ham ve Zhenhang Cai, "Developing Human-Centered Urban Digital Twins for Community Infrastructure Resilience: A Research Agenda", *Journal of Planning Literature*, Cilt: 38, Sayı: 2, (2023). s. 187-199; Bruno Ávila Eça de Matos, "Digital Twins for Cities", (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven: 2023), s. 54-57.

58 Yıkıcı, "Dijital İkiz Şehir Fenomeni", s. 147-150; Caprari vd., "Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era"; Arisekola ve Madson, 2023; Schrotter ve Hürzeler, "The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning"; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021.

59 Riaz, McAfee ve Gharbia, "Management of Climate Resilience".

TABLO 6. DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİNİ UYGULAMAYA AKTARAN ŞEHİRLER VE UYGULAMA ALANLARI

Şehir/Ülke/Bölge	Uygulama Alanları
Singapur	Şehir planlama, hareketlilik planlama, afet yönetimi, telekomünikasyon
Helsinki	Sıra dışı hava olaylarının tahmini, şehir planlama, kriz yönetimi
Tampere	Otonom sürüş çalışmaları kapsamında toplu taşıma aracı test etme
Zürih	İlgili verilerle gürültü, hava kirliliği, cep telefonu radyasyonu, güneş enerjisi potansiyeli ve inşaat projelerinin görselleştirilmesi
Atlanta	Araç paylaşımı, yetersiz hizmet alan taraflara fon sağlama, yol güvenliği ve optimizasyonu, ses kirliliği, su yönetimi, karbon emisyonu, şehir planlama, araç parkı ve atık
AB	Çevre ve sürdürülebilirlik, izleme ve tahmin etme
İngiltere	Tren altyapısının güvenliğini artırma, sağlık hizmetleri, hareketli yaşam laboratuvarı, yenilikçi iş modelleri
Şangay	Şehir modelleme, arıtma tesisi planlama
Seul	Ulaşım hizmetleri, destinasyon pazarlaması
Dublin	Kentsel planlama ve kentsel politikaların belirlenmesi

Kaynak: Joel Myers, Victor Larios ve Oleg Missikoff, “Thriving Smart Cities”, *The Digital Twin*, ed. Noel Crespi, Adam T. Drobot ve Roberto Minerva, (Springer International Publishing, Berlin: 2023), s. 901-970; Marianna Charitonidou, “Urban Scale Digital Twins in Data-Driven Society: Challenging Digital Universalism in Urban Planning Decision-Making”, *International Journal of Architectural Computing*, Sayı: 19, (2022), s. 1-16.

Yer verilen bu kazanımlarla dijital ikizler akıllı şehirlerde, elde edilen güvenilir veriler aracılığıyla olup-bitenler gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte ve bu sayede şehir planlama, toplu taşıma, enerji yönetimi, kamu sağlığı, gürültü ve hava kirliliği, atık yönetimi, sürdürülebilir gıda ve su güvenliği gibi konularda daha iyi yönetim gerçekleştiği gibi bazı risklerden kaçınmak da mümkün olabilmektedir.⁶⁰

AKILLI ŞEHİRLERDE DİJİTAL İKİZ TEKNOLOJİSİ BAĞLAMINDA SORUN ALANLARI

Diğer teknolojik araçlarda olduğu gibi dijital ikizle birlikte de bazı güçlükler ve sınırlılıklar bulunmaktadır. Gizlilik, güvenlik, siber güvenlik ve yakınsama gibi veriyle ilişkili hususlar, standart ve düzenlemelerin yokluğu, uygulamadaki yüksek maliyetler, YZ ve büyük veriyle bağlantılı hususlar ve iletişim

60 Utku, vd., “Digital Twin Applications for Smart and Connected Cities”, s. 141-155; Fuller, “Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research”, s. 3; Schrotter ve Hürzeler, “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, s. 111.

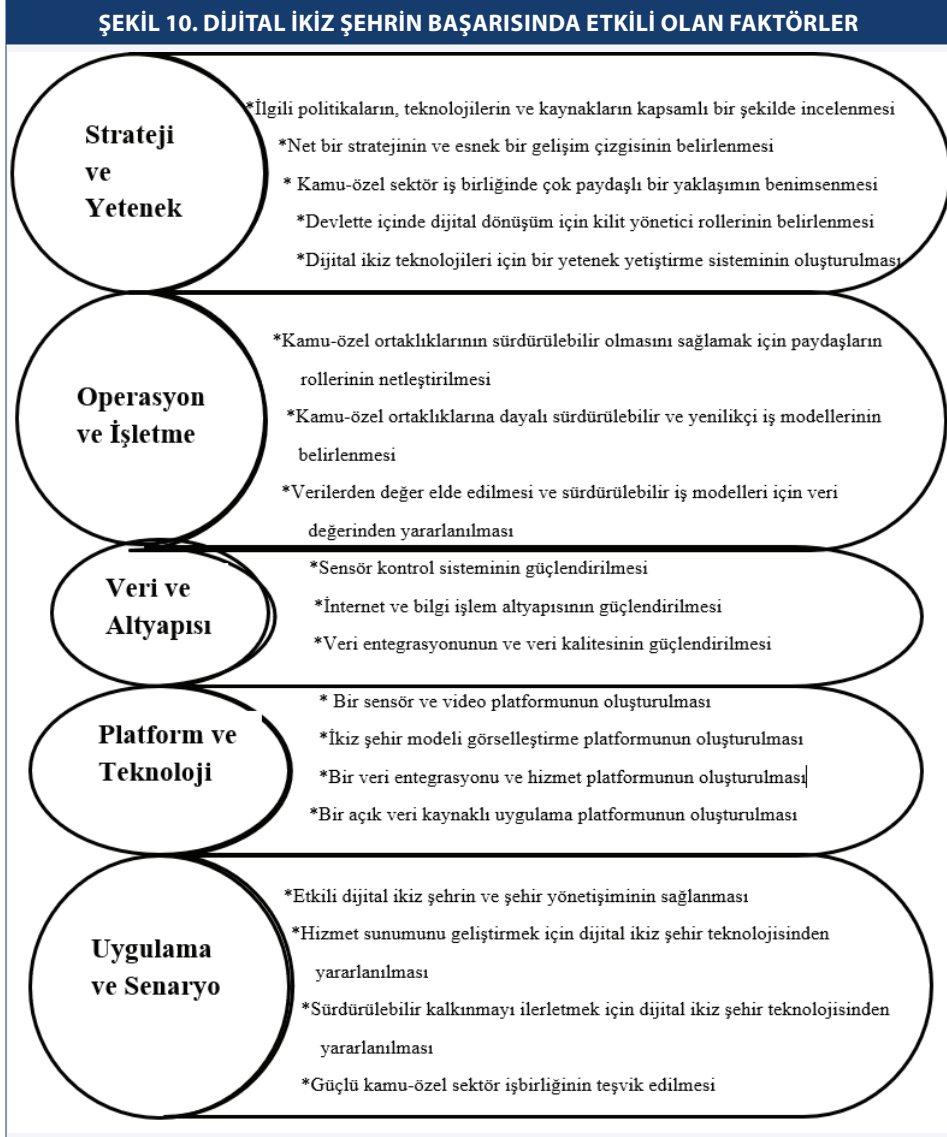
ağlarıyla ilgili engeller bu açıdan zikredilebilir.⁶¹ Ayrıca teknik olarak farklı kaynaklardan yüksek hızda ve kalitede veriye ihtiyaç duyulması, farklı kaynaklardan elde edilen verilerin entegrasyonunda yaşanan zorluklar, verilerin işlenmesi ve analizi için gelişmiş yöntemlere ihtiyaç duyulması gibi hususlar önem kazanmaktadır. Konuyla ilgili aktörlerin dijital ikiz konusundaki gelişmeler ve kazanımları hakkında bilgi sahibi olmaması, ayrıca konuyla ilgili çalışmaların ortaya çıkışını ve sürdürülmesini sağlayacak finansal kaynakların olmayışı diğer güçlükler arasında yer almaktadır. Benzer şekilde elde edilen verilerin gizliliği ve güvenliği konusunda duyulan endişelerin; dijital ikiz teknolojisinin amacı dışında kullanılarak istenmeyen sonuçlara yol açması gibi hususların altı çizilebilir.

Akıllı şehirler kapsamında dijital ikizler ele alındığında, dijital ikiz uygulamalarının hayata geçirilmesi için bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Çevresel verinin ve bilginin toplanmasındaki zorluklar, veri/bilgi gizliliği ve güvenliği, BIM aracılığıyla gerçek zamanlı veriye bağlı olarak veri modellemenin zorlukları, biçimlendirilmemiş verinin koordinasyonundaki zorluklar, akıllı şehirler arasında öğrenen bir mekanizmanın olmayışı, gerçek zamanlı verilerin analizi için yüksek bilgisayar kapasitesinin gerekliliği, farklı veri sistemlerinden elde edilen verilerin birlikte çalışabilirliği gibi başlıklar bu açıdan dikkat çekmektedir. Benzer şekilde farklı kaynaklardan farklı türlerde oluşan verilerin yönetimi, verilerin eksikliği, özellikle sosyal alandan elde edilen verilerin güvenilirliği, verilerin yüksek düzeyde entegrasyonu, kamu ve diğer sektörlerden aktörlerin entegrasyonu gibi sorunlara da dikkat çekilmektedir. Diğer taraftan dijital ikiz uygulamalarını kapsayan akıllı şehirlerin başarılı olmasında bazı hususlar öne çıkmaktadır. Dünya Ekonomik Forumu tarafından dijital ikiz teknolojisinin yer aldığı, insan odaklı akıllı şehirlerin başarısını etkileyen temel faktörler bir model olarak (SODPA) şekildeki gibi sunulmaktadır.

Öne çıkarılan bu yol haritasının yanında şehrin planlanması odaklı olarak dijital ikiz teknolojisi ele alındığında karmaşık karar süreçlerinde yetersiz kalması, katılımcı şehir planlaması için amaçların açıkça belirtilmemesi ve iklim değişikliğinin etkisine yönelik ele alınan politikalarda sosyal, fiziksel ve doğal sistemlerin entegrasyonunu kapsayan araştırmaların olmaması gibi güçlükler ve zayıflıklar ortaya çıkmaktadır. Yer verilen bu güçlükler ve sınırlılıklar ihmal edilmeden dijital ikiz çalışmalarını yürütmek önemlidir. Fakat dijital ikizin sadece teknik detay-

61 Botin-Sanabria vd., "Digital Twin Technology Challenges and Applications", s. 7-10.

larına odaklanmanın eksik kalacağı vurgulanarak yönetim bakış açısından ele alınmasının gerekliliği belirtilmekte ve dijital ikiz ile yönetim unsurlarının (veri paylaşımı ve güvenliği, vatandaş katılımı, mevzuat, düzenleme ve risk yönetimi gibi) etkileşiminin öneminden söz edilmektedir.⁶²



Kaynak: "Digital Twin Cities: Key Insights and Recommendations", WEF, (2023), <https://www.weforum.org/publications/digital-twin-cities-key-insights-and-recommendations>, (Erişim tarihi: 4 Mart 2024).

62 Wang vd., "Digital Twin-Supported Smart City", s. 10; Shahat vd., "City Digital Twin Potentials", s. 14; Li Wan, Timea Nocht ve J. Mark Schooling, "Developing a City-Level Digital Twin-Propositions and a Case Study", International Conference on Smart Infrastructure and Construction (ICSIC), (2019), s. 187-194, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/epdf/10.1680/icsic.64669.187>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

TÜRKİYE'DE AKILLI ŞEHİRLER VE DİJİTAL İKİZ

İlk aşamada müstakil çabalarla başlayan akıllı şehir girişimleri, günümüzde merkezi olarak rotası çizilen ve stratejik başlıkları belirlenmiş bir alan konumundadır. Uygulamada İstanbul Büyükşehir Belediyesinin 2010'ların ortalarından itibaren attığı adımlar bu anlamda öncü adımlar olarak tanımlanabilir. İstanbul'da gerçekleştirilen öncü uygulamaların, sonrasında ulusal düzeyde geliştirilen politikalara kaynaklık ettiği belirtilmektedir.⁶³ Günümüzde ise büyükşehir belediyelerinin idari yapısı içerisinde şube müdürlükleri ve daire başkanlıkları gibi konumlarda da akıllı şehir ifadesine rastlamak mümkündür. Ayrıca il ve ilçe belediyelerinin de bu kapsamda yaptığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu rapor müstakil örneklerle değil genel politikalara odaklandığından ulusaldan yerele yönelik adımlar asli tema olmaktadır.

Kalkınma planları incelendiğinde Onuncu Kalkınma Planı'ndan itibaren akıllı şehirlerin karşılık bulmaya başladığı görülmektedir. Öncesinde yayımlanan planlarda bilişim ve iletişim teknolojileri genel olarak kentsel sorunlarla ilişkilendirilmiştir. Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda "Kentlerin Yaşam Standartlarının Yükseltilmesi ve Sürdürülebilir Gelişmenin Sağlanması" öncelikli başlıklardan biri olarak yer almıştır.⁶⁴ Onuncu Kalkınma Planı, 2016-2019 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı,⁶⁵ 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Pla-

63 Fatih Gündoğan, *Akıllı Şehirler Meselesi*, (Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları, İstanbul: 2022), s. 192, 196.

64 Oğuzhan Erdoğan, "Akıllı Kent Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerin İçerik Analizi", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 24, Sayı: 2, (2020), s. 921; *Dokuzuncu Kalkınma Planı*, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2006), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Dokuzuncu_Kalkinma_Planı-2007-2013.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

65 Karasoy ve Babaoğlu, "Türkiye'de Siber Güvenlik: Yasal ve Kurumsal Altyapı", s. 144-145.

nı, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023), 2015-2018 Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı, 2016-2019 e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı diğer politika belgeleri olarak sıralanabilir.⁶⁶ On Birinci Kalkınma Planı'nda ise "Yaşanabilir Şehirler, Sürdürülebilir Çevre" başlığının "Şehirleşme" alt başlığında doğrudan akıllı şehirler vurgusu yer almaktadır.⁶⁷

Onuncu Kalkınma Planı'nda akıllı şehirler açısından teknolojik altyapı gelişimine, hizmet kapasitesindeki artışa ve dijital yetkinliklere yönelik vurgular dikkat çekicidir. Akıllı uygulamalar eliyle öncelikli olarak sağlık, ulaştırma, enerji, afet ve su yönetimi alanlarından başlayarak kullanım alanlarının geliştirilmesi diğer bir hedef olarak zikredilmiştir. Aynı şekilde akıllı şehirlerin gelişimi ve yerel yönetimlerin dönüşümü noktasındaki destek vurguları önemlidir.⁶⁸ Bu planda "akıllı kent" kavramının ulaşım alt başlığında ele alındığı görülmektedir. Dünya genelindeki uygulamalarda da görüldüğü gibi Türkiye'de ilk etapta daha çok akıllı ulaşım başlığının öne çıktığı anlaşılmaktadır.⁶⁹

On Birinci Kalkınma Planı'nda akıllı şehirlerin yerel hizmet sunumuna katkılarından hareketle akıllı şehir stratejilerinin hazırlanması, ulusal önceliklere göre projelerin desteklenmesi, akıllı şehir bileşenlerinin bir araya geleceği platformların oluşturulması, akıllı şehir dönüşümünde kullanılacak yerli ve milli teknolojinin üretimi ve katılımcı uygulamalar gibi hususlar ön plana çıkarılmıştır. Ayrıca yerel hizmetlerin yeni teknolojiler eliyle sunulması ve Dijital Türkiye kapsamında bütünleşik hizmet sunumunun geliştirilmesi hedeflenmiştir. Aynı şekilde akıllı ulaşım sistemlerinin katkılarından hareketle kurulacak sistemler açısından yerel yönetimlerin desteklenmesi ve bu sistemlerin teşvik edilmesi vurgulanmıştır.⁷⁰

On Birinci Kalkınma Planı'nda 2020'de yayınlanan Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'na gönderme yapılmakta; ulaşımın yanında diğer kentsel meseleleri kapsayacak şekilde akıllı kentlerin ele alındığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan akıllı şehir sürecinde yararlanılan teknolojilerin üretimine yer verilmektedir. Yürürlükteki On İkinci Kalkınma Planı'nda (2024-2028) ise "Şehirleşme" başlığı altında akıllı şehirlere yönelik politikalar olarak yerelin ihtiyaçları, önce-

66 2020-2023 Ulusal Akıllı şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019), <https://akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlanı.pdf>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

67 On Birinci Kalkınma Planı, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2019), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

68 Onuncu Kalkınma Planı, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2014), s. 97, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Planı-2014-2018.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

69 Levent Memiş, "Akıllı Ulaşım", *Akıllı Kentler: Uygulamalar, Sorunlar ve Çözümler*, ed. Yakup Bulut ve M. Miraç Aslan, (Ekin Yayınevi, Bursa: 2021), s. 199.

70 On Birinci Kalkınma Planı, s. 160.

likleri ve geliştirilen standartlardan hareketle akıllı şehir uygulamalarına, uygulamalarda yerli ürünlerin kullanımına ve yerel yönetimlerin kapasitelerinin artırılmasına yer verilmektedir.

Yer verilen gelişmelerle 2000'lerin başlarından itibaren belediyelerin öncülüğünde gerçekleştirilen akıllı şehir uygulamaları, kavramı popüler kılmakla içeriğinin iyi oluşturulmamasına yol açtığına dikkat çekilmektedir.⁷¹ Oluşan bu açığı gidermek ve genel bir yol haritası çizmek adına 2019'da Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı yayımlanmıştır.



Kaynak: "Örnek Uygulama İncelemeleri", T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (Aralık 2020), https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/KapasiteGelistirme/Egitim_Pdf/Ornek_Uygulama_Incelemeleri.pdf, (Erişim tarihi: 28 Mart 2024).

⁷¹ Sezgin Sezgin, *Vatandaşların Akıllı Kent Uygulamalarına Bakışı*, (Orion Kitabevi, Ankara: 2022), s. 62-63.

Yer verilen planların dışında diğer bazı politika belgelerinde de akıllı şehirlerin karşılık bulduğu görülmektedir. Bu bağlamda Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi'nde "Kara yolu ulaşımı için akıllı araçlar ve akıllı yol sistemleri geliştirebilmek" ve "ulaştırma ve turizm üst yapıları için yangın ve güvenlik sistemleri geliştirebilmek" gibi alt hedefler akıllı şehirleşmeye giden süreçte atılmış adımlardandır.⁷² Sonrasında Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı'nda (2014-2016) ulaşım sistemleri temelli olarak gündeme gelen akıllı şehirler⁷³ KENTGES Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı 2010-2023 kapsamında dolaylı olarak yer almıştır.

Bir diğer önemli politika belgesi olan 2016-2019 Ulusal e-Devlet Stratejisi ve Eylem Planı'nda yaşam kalitesinin artırılması ve e-katılım imkanlarının geliştirilmesi gibi kapsamlarda dolaylı olarak yer almakta, 2018-2020 Orta Vadeli Program'da da akıllı şehir, akıllı ulaşım gibi vurgular görülmektedir.⁷⁴ Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu'nda ise sürdürülebilir şehirleri oluşturmak adına akıllı şehirlere yönelik altyapının geliştirilmesi önceliklerden biri olarak sıralanmıştır.⁷⁵ Orta Vadeli Mali Program 2019-2021'de ise "Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi kurularak akıllı şehirlere geçişin altyapısı hazırlanacaktır" ifadesiyle altyapı odaklı bir eğilim öne çıkarılmıştır.⁷⁶

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni de kamusal aktörler tarafından üretilen diğer bir önemli eserdir.⁷⁷ Bu alandaki son adım ise 2015 Yılı Yatırım Programı'nda Çevre ve Şehircilik Bakanlığına verilen "Akıllı Kentler Stratejisi ve Fizibilite Etüdü Projesi" hazırlama görevinin 2019'da Türkiye 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nın hazırlanmasıyla tamamlanmasıdır. 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, planın içerisinde şu şekilde nitelendirilmektedir:

72 *Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi*, TÜBİTAK, (2004), s. 16, https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

73 *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı'nda (2014-2016)*, T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, (2014), http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/rJ6g4+Ulusal_Akilli_Ulasm_Sistemleri_Strateji_Belgesi_2014-2023_ve_Eki_Eylem_Plani_2014-2016_.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

74 *2018-2020 Orta Vadeli Program*, T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2017), s. 52, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/08/Orta_Vadeli_Program_2018-2020.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

75 *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu*, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2019), s. xviii, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/03/Surdurulebilir-Kalkinma-Amaclari-Degerlendirme-Raporu_13_12_2019-WEB.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

76 *Orta Vadeli Mali Program 2019-2021*, T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, (2018), <https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2019/10/Yeni-Ekonomi-Programi-2019-2021.pdf>, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

77 *Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019), https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirler-kitap_20190311022214_20190313032959.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

Olgunluk değerlendirme modeli kullanımı ile sistematik, yapısal ve bütüncül, ekosistem ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen, yatırım ve kaynakları yönlendirmek için seçen ve önceliklendiren, paydaşlarının katılımını önemseyen, üst politika belgeleri ve tematik stratejiler ile uyumlu, ortak akıl ile inşa edilen, vatandaş deneyimi ve görüşü ile şekillenen, toplumsallık, sosyal dışlanma ve dijital uçurumu dikkate alan yenilikçi yaklaşım ve yeni teknolojilerin farkında, fayda maliyet dengesini gözeten, sosyal, ekonomik ve kültürel değerler üzerindeki etkiyi öngören, izleme değerlendirme mekanizmasını içeren, dinamik koşullara uyum sağlayan, teşvik mekanizmaları ile desteklenen, örnek uygulamalar ve rehberlik mekanizmalarıyla öncülük yapan Türkiye'ye özgü (...)

2020-2023 arası kapsayan Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda belirlenen 26 eylem kapsamında uygulayıcılara yol gösterecek önemli adımlar atılmıştır. Plan kapsamında tanımlanan eylemlerin, görev ve sorumlulukların gerçekleştirilmesine katkı sağlamak amacıyla "Akıllı Şehirler Kapasite Geliştirme ve Rehberlik Projesi" yürütülmüştür. Proje kapsamında çeşitli dokümanlar hazırlanmış ve bu çalışmalar web sayfasında⁷⁸ bir araya getirilerek erişim kolaylaştırılmıştır. Belirtilen proje kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde gerçekleştirilen çabanın çok özgün bir yerinin olduğu vurgulanmalıdır.⁷⁹ İlgili sayfa incelendiğinde konuyla ilgili akademik ve kurumsal yayınlara, dünyadan ve Türkiye'den başarılı uygulamalara ve bazı rehberlere yer verildiği görülmektedir. Özellikle kentin farklı konu başlıkları üzerine hazırlanan rehberler, uygulayıcılar için önemli bulunmaktadır. Diğer taraftan Türkiye genelinde akıllı kent konusunda gerçekleştirilen projelerin durumunu görmek açısından "proje envanteri"ne de yer verilmektedir. Ayrıca kentlerin akıllı şehir durumlarını değerlendirmek amacıyla Türkiye'ye özgü geliştirilen "Olgunluk Değerlendirme Modeli" paylaşılmaktadır. Söz konusu bu modelden hareketle "Akıllı Şehir Endeksi" geliştirilmiştir. Bu endeksin 2020'den itibaren uygulandığı görülmektedir.⁸⁰

Web sayfasında "Kapasite Geliştirme" başlığı altında yer alan eğitim alanında Tablo 6'daki dokümanlar üretilmiştir. Ayrıca dokümanlarla birlikte eğitim videoları ve sunumlara da yer verildiğini belirtmek gerekir. Web sayfası bu haliyle akıllı şehirlerin yaygınlık kazanmasında bir taraftan yol gösterici ve teşvik edici bir işleve diğer taraftan da bir külliyata sahiptir.

78 Akıllı Şehirler Portalı, <https://www.akillisehirler.gov.tr>, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

79 Gündoğan, *Akıllı Şehirler Meselesi*.

80 "Akıllı Şehir Skorları", Şehir Endeksi, <https://sehirendeksi.gov.tr/endekspublic>, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

TABLO 7. AKILLI ŞEHİRLER KAPASİTE GELİŞTİRME EĞİTİM DOKÜMANLARI

Akıllı Şehirler Temel Kavramlar ve Bileşenler (Eğitim Kitapçıkları)	Akıllı Şehir Nedir?	Akıllı Enerji
	Akıllı Şehir Yönetimi	Akıllı Güvenlik
	Akıllı Çevre	Akıllı Afet ve Acil Durum Yönetimi
	Akıllı Ulaşım	Akıllı Sağlık
	Coğrafi Bilgi Sistemleri	Akıllı Altyapı
	Akıllı Mekan Yönetimi	Bilgi Güvenliği
	Akıllı İnsan	İlgi Teknolojileri
	Akıllı Yönetişim	İletişim Teknolojileri
	Akıllı Yapılar	Akıllı Ekonomi
Akıllı Şehirlerde Stratejik Yaklaşım	Yöneticiler için Akıllı Şehirler	
	Yeni Kentsel Gündem ve Akıllı Şehirler	
	Örnek Akıllı Şehir Stratejisi İncelemeleri	
	Yerel Akıllı Şehir Stratejileri Yaklaşım Raporu	
	Akıllı Şehirlerde Stratejik Yönetim ve Strateji Hazırlama	
	Akıllı Şehir Finansman Raporu	
	Yerel Akıllı Şehir Stratejisi ve Yol Haritası Hazırlama	
Akıllı Şehir Uygulama Rehberliği	Akıllı Çevre Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Ulaşım Uygulama Rehberliği	
	Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Mekan Yönetimi Uygulama Rehberliği	
	Akıllı İnsan Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Yönetişim Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Yapılar Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Enerji Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Güvenlik Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Afet ve Acil Durum Yönetimi Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Sağlık Uygulama Rehberliği	
	Bilgi Güvenliği Uygulama Rehberliği	
	Bilgi Teknolojileri Uygulama Rehberliği	
	İletişim Teknolojileri Uygulama Rehberliği	
	Akıllı Ekonomi Uygulama Rehberliği	
Akıllı Altyapı Uygulama Rehberliği		
Akıllı Şehir Yönetimi Uygulama Rehberliği		

Teknik Dokümanlar	Akıllı Şehirlerde Ağ Altyapısı
	Akıllı Şehirlerde Kullanılan Yaygın Standart Altyapısı
	Algılayıcılar, Veri Toplama ve Aktüatörler
	Dağıtık Veri İşleme
	Görüntü İşleme Teknolojileri
	Nesnelerin İnterneti
	Veri Analiz Yöntemleri
	YZ, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme
	Akıllı Şehirlerde Veri
	Akıllı Şehirler ve Bağlı Veri Rehberi
Standartlar	Referans Akıllı Şehir Mimarisi
	Ulusal Akıllı Şehir Mimarisi
	Birlikte Çalışabilirlik Modeli ve İnceleme Raporu
	Akıllı Şehirler Veri Sözlüğü
Teknoloji İnceleme Raporları	Akıllı Kavşak Uygulamaları Teknoloji İnceleme Raporu
	Akıllı Otopark Sistemleri Teknoloji İnceleme Raporu
	Yenilenebilir Enerji Kullanımı Uygulamaları Teknoloji İnceleme Raporu
	Akıllı Sulama Uygulamaları Teknoloji İnceleme Raporu
	Su Kayıp ve Kaçak İzleme Sistemleri Teknoloji İnceleme Raporu
	Akıllı Aydınlatma Teknoloji İnceleme Raporu
	Akıllı Atık Toplama Sistemleri Teknoloji İnceleme Raporu
	Akıllı Bina Uygulamaları Teknoloji İnceleme Raporu

Kaynak: “Eğitim”, Akıllı Şehirler Portalı, <https://www.akillisehirler.gov.tr/egitim>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2024).

Politika belgeleri incelendiğinde “Akıllı Şehir Yönetimi, Uygulama Rehberlik Kılavuzu” dokümanında dijital ikize, akıllı şehirlerde kentsel hizmet uygulamalarından biri olarak yer verilmektedir. Yapılan açıklamada dijital ikiz, fiziksel dünyadaki verilerden hareketle oluşturulan sanal model olarak nitelendirilmektedir. Bu teknolojinin, sağladığı dinamik dijital ortamla, özellikle kentsel alanda yeni kullanılmaya başlanacak pahalı ve riskli olan bir uygulamanın, ne gibi etkileri olacağını hesaplamaya ve tahmin etmeye katkı sağlayacağı vurgulanmaktadır. Ayrıca dijital ikiz uygulamalarının vatandaş katılımına katkı sağlayacağını altı çizilerek şöyle yer verilmektedir: “Gelişen ve yaygınlaşan teknoloji ve akıllı şehir yönetimi anlayışı ile birlikte önümüzdeki yıllarda şehir ölçeğinde dijital ikiz kullanımında büyük bir artış olması beklenmektedir.” Yine Akıllı Şehirlerde

Stratejik Yönetim ve Strateji Hazırlama dokümanında da yerel akıllı şehir stratejisi ve yol haritası belirleme sürecinde bir değişken olarak dijital ikiz teknolojisine yer verildiği görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelindeki şehir yönetimleri ve belediyelerde iletişim ve koordinasyonu sağlamak, halkla ilişkiler boyutunu güçlendirmek, iş ve işlemleri kolaylaştırmak, yerel yönetimlerin hizmet politikaları ve çalışmaları hakkında bilgi vermek, sorun tespiti noktasında dijital teknolojilerden yararlanmak, risk yönetimi ve planlama yapmak, önemli kararların alınması aşamasında vatandaşlara ve o bölgede yaşayan halka görüş bildirme fırsatı sunmak, vatandaşları kendi hakları ve görevleri doğrultusunda bilgilendirmek gibi konular daha da önemli hale gelmiştir. Bu alanlarda ihtiyaç duyulan verilerin toplanması ve işlenmesi noktasında fiziksel ve dijital yöntemler arasında etkileşim sağlanmasının gerekliliği akıllı şehir uygulamaları ile birlikte dijital ikiz teknolojisinin ortaya çıkmasına ve gelişmesine vesile olmuştur. Dijital ikiz teknolojileri, sürekli değişen ve gelişen şehir yaşamlarında uygun koşulların sağlanması için gerçek dünyada var olan yapının dijital ortamda hareketli bir kopyasının geliştirilmesiyle gerek yönetim gerekse üretim ve tasarım aşamalarında eksiksiz planlama imkanı sunmaktadır. Bu alanda yaşanan söz konusu yenilik ve gelişmelere; Coğrafi Bilgisi Sistemleri (GIS), Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), nesnelerin interneti, beşinci nesil kablosuz sistemler, makine öğrenimi, büyük veri, blokzincir, bulut bilişim, YZ ve Şehir Bilgi Modeli (CIM) örnek olarak gösterilebilir.⁸¹ Bu teknolojilerle gelişen akıllı şehir sistematiği, veriye ve

81 Michael Batty, "Digital Twins", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Cilt: 45, Sayı: 5, (2018), s. 817-820.

teknik uzmanlığa dayanan, öngörülebilir gelecek tasarılarıyla sorunları çözme kapasitesini geliştiren bir anlayış olarak tanımlanır. Burada temel gerekçe de daha yaşanabilir şehirleri kurabilmektir. Şehri akıllandırabilmenin yolu ise oluşturulacak bir akıllı şehir ekosistemini yaşatabilmekle ilişkilendirilir.

Türkiye’de akıllı şehirlerle ilgili pek çok politika belgesi ve strateji ortaya koyulmuş, ayrıca başarılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hem ulusal hem de yerel düzeylerde pek çok uygulamayla gelişen akıllı şehirlerle bağlantılı olarak en önemli adımlardan birisi 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Strateji ve Eylem Planı’dır. 2024 itibarıyla 2020-2023 eylem planı sona ermiş ve buna mukabil 2024-2030 arasını kapsayacak yeni planın hazırlık çalışmaları son aşamaya gelmiştir. Bu kapsamda 2024-2030 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı çalışmaları düzenlenerek taslak bir strateji eylem planı hazırlanmıştır. Taslak planda 12 misyon alanı, 4 stratejik amaç, 10 stratejik hedef, 30 eylem ve 271 üst seviye uygulama adımı planlanmıştır.⁸²

Türkiye’de akıllı şehir uygulamalarının hayata geçirilmesinde ağırlıklı olarak nesnelerin interneti ve sensör teknolojileri ile büyük veriden yararlanıldığı görülmektedir.⁸³ Diğer teknolojik araçların kullanımından ise daha sınırlı düzeyde yararlanıldığı söylenebilir. Bu çerçevede dijital ikiz teknolojisine dair uygulamalar oldukça yenidir. Türkiye’de kentsel alanda dijital ikiz bağlamında afet yönetimi konusunda adımlar atılmaktadır. Bu konuda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü “Kentsel Yerleşim ve Gelişme Alanlarında 3 Boyutlu Topoğrafya ve Bina Modeli Oluşturma” projesini hayata geçirmiştir. Projeye birlikte 81 il merkezinin dijital ikizinin oluşturulması hedeflenmektedir. Proje kapsamında çalışmalar Karaman ilinde başlamış ve 22 ilde tamamlanmıştır.⁸⁴ Söz konusu proje, dijital ikiz çalışmaları konusundaki en somut örneği oluşturmaktadır. Bu projenin dışında dijital ikizi de kapsayacak şekilde TÜBİTAK ve Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ’nin öncülüğünde bazı çalışmaların yürütüldüğü bilinmektedir.

Akıllı şehirlerin oluşturulmasındaki temel amaç şehirde oluşması muhtemel sorunlara vakit kaybetmeksizin çözüm üretmek, yaşanacak olumsuzlukları minimum seviyede tutmak ve şehrin paydaşlarını ileride yaşanması mümkün ola-

82 2024-2030 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı Taslağı, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/Taslak-Eylem_Plani.pdf, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

83 Memiş, “Smart Technologies and Reflections on Local Public Issues in Turkey”, s. 151.

84 “Şehirlerin Dijital İkizlerini Güncelliyoruz”, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://cbs.csb.gov.tr/sehirlerin-dijital-ikizlerini-guncelliyoruz-haber-278818>, (Erişim tarihi: 20 Mart 2024).

cak diğer problemlere hazırlıklı hale getirmektir. Dijital ikiz bu açıdan önemli bir platformdur. Şehrin yönetim süreçlerini iyileştiren bir platform olarak dijital ikizler hizmet sunumunun yanında hizmetlerden yararlanan vatandaşlardan geri bildirim almak (CBS, mekan/nesneye bağlı sensörler, sosyal algılayıcılarla/aktif geri bildirimlerle ve açık veri platformlarıyla) amacıyla da işlev görebilmektedir. Ayrıca makine öğrenmesi, 3D modelleme ve YZ gibi araçlar da veriler üzerinden vatandaş katılımının etkisini güçlendirilebilecektir. Dijital ikiz teknolojisi aracılığıyla gerçekleşen vatandaş katılımıyla, örneğin afet süreci daha iyi takip edilebilmekte, planlamanın ve politikaların geliştirilmesine katkı sunulabilmektedir. Bu noktada vatandaş odaklı dijital ikiz/vatandaş dijital ikizi (*citizen-centric digital twin/citizen digital twin*) kavramları gelişmekte ve bu kavramlardan hareketle uygulamaya yönelik modeller sunulmaktadır.

Sıralanan özellikleri dikkate alındığında dijital ikiz teknolojisi gerçek zamanlı izleme, öngörü geliştirme ve risk değerlendirme özellikleriyle her bir hizmet başlığı için şehir yönetimine katkı sunarak güçlü bir avantaj sağlamaktadır. Öte yandan karmaşık yapısı, uygulama maliyeti, genelgeçer bir yol haritasının olmayışı ve belirli bir altyapı yatırımını gerektirmesi gibi riskler zayıf yönleri oluşturmaktadır.

Fırsatlar açısından bakıldığında rekabet avantajı, üretim maliyetinin ve üretim zamanının düşmesi, performansın artması, verimlilik sağlanması ve yeni sektörlerin ortaya çıkmasında potansiyel taşıması gibi başlıklar öne çıkarken, tehditler açısından değerlendirildiğinde veri korumaya bağlı güvenlik tehditleri ve yüksek düzeyde büyük verinin varlığı sıralanabilir.⁸⁵ Dolayısıyla uygulamada dijital ikizin zayıf yanlarını ve tehditlerini ihmal etmeden fırsatlarından ve güçlü yönlerinden kazanımlar elde edilmesi olasıdır. Türkiye bu alanda attığı adımlarla ulusal düzeyde öncü rolü üstlenmektedir. Öte yandan belediyeler açısından da atılabilecek adımlar ve geliştirilebilecek uygulamalar bulunmaktadır. Fayda ve maliyet analizleri üzerinden yapılacak değerlendirmelerle gerçekleştirilecek dijital ikiz projeleri, şehirlerin dijitalleşmesi yolunda önemli kazanımlar sağlayabilecektir.

85 Özgü Can ve Aytuğ Türkmen "Digital Twin and Manufacturing", *Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Enis Karaarslan, Ömer Aydın, Ümit Çalı ve Moharram Challenger, (Springer International Publishing, Singapur: 2023), s. 188.

KAYNAKÇA

Abdulgazi Yıkıcı, “Dijital İkiz Şehir Fenomeni: Dünyadan Örnekler ve Türkiye’deki Yönelimler”, *Kent Akademisi Dergisi*, Cilt: 16, Sayı: 1, (2023), s. 138-163.

Ahmad Ali Hakam Dani, Suhono Harso Supangkat, Fetty Fitriyanti Lubis, I Gusti Bagus Baskara Nugraha, Rezky Kinanda ve Irma Rizkia, “Development of a Smart City Platform Based on Digital Twin Technology for Monitoring and Supporting Decision-Making”, *Sustainability*, Cilt: 15, Sayı: 18, (2023), s. 2-18.

Ahmet Özen ve Fatma Nur Gürel, “Kamu Yönetiminde Dijital Dönüşüm: Dijital İkiz Yönetimi”, *İzmir Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, (2020), s. 16-23.

Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day ve Chris Barlow, “Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research”, *IEEE Access*, Sayı: 8, (2020), s. 1-20.

Aleksi Kopponen, Antti Hahto, Petri Kettunen, Tommi Mikkonen, Niko Mäkitalo, Jarkko Nurmi ve Matti Rossi, “Empowering Citizens with Digital Twins: A Blueprint”, *EEE Internet Computing*, Cilt: 26, Sayı: 5, (2022), s. 7-16.

Annalisa Cocchia, “Smart and Digital City: A Systematic Literature Review”, *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*, ed. Renata Paola Dameri ve Camille Rosenthal-Sabroux, (Springer International Publishing, Berlin: 2014), s. 13-43.

Arch Daily, “Dijital İkiz Nedir?”, (2022), <https://www.archdaily.com/975256/what-is-a-digital-twin>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

AWS, “Dijital İkiz Teknolojisi Nedir?”, (2023), <https://aws.amazon.com/tr/what-is/digital-twin/>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

Baki Laleoğlu, *Akıllı Şehirler Değişen Şehir Yönetimi ve Türkiye*, (SETA Rapor, İstanbul: 2021).

Batel Yossef Ravid ve Meirav Aharon-Gutman, “The Social Digital Twin: The Social Turn in the Field of Smart Cities”, *Environment and Planning B Urban Analytics and City Science*, Cilt: 50, Sayı: 6, (2022), s. 1-16.

Batel Yossef Ravid ve Meirav Aharon-Gutman, “The Social Turn in the Field of Smart Cities”, *Urban Analytics and City Science*, Cilt: 1 Sayı: 2, (2022), s. 11-19.

Bruno Ávila Eça de Matos, “Digital Twins for Cities”, (Doktora Tezi, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven: 2023).

Boyd Cohen, “The 3 Generations of Smart Cities”, Fast Company, 8 Ekim 2015, <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>, (Erişim tarihi: 6 Mart 2024).

Can Akbay ve Erhan Örselli, “Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler”, *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 1, (2019), s. 228-241.

Cenay Babaoğlu, *Yönetimin Geleceği: Veri Temelli Yönetim*, (SETA Rapor, İstanbul: 2021).

Cenay Babaoğlu ve Oğuzhan Erdoğan, “Yerel Hizmetlerde Dijitalleşme ve Yerel Yönetimler”, *Yerel Yönetimler-Yönetim, Siyaset, Şehir ve Güncel Tartışmalar*, ed. Özgür Önder, Esra B. Sipahi ve Murat Yaman, (Ankara, Gazi Kitabevi: 2021).

Cenay Babaoğlu, “Teknoloji ve Kamu Politikası İlişkisi: Nereden Nereye?”, *Teknoloji ve Kamu Politikaları*, ed. Mete Yıldız ve Cenay Babaoğlu, (Gazi Kitabevi, Ankara: 2020), s. 451-461.

Cenay Babaoğlu ve Levent Memiş, “Akıllı Kentlerin Politika Üretme Aracı Olarak Yaşam Laboratuvarları (*Living Labs*)”, *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, Cilt: 28, Sayı: 4, (2019), s. 23-47.

Concetta Semeraro, Mario Lezoche, Hervé Panetto ve Michele Dassisti “Digital Twin Paradigm: A Systematic Literature Review”, *Computers in Industry*, Sayı: 130, (2021), s. 1-42.

Dianyou Yu ve Zheng He, “Digital Twin-Driven Intelligence Disaster Prevention and Mitigation For Infrastructure: Advances, Challenges, and Opportunities”, *Natural Hazards*, Sayı: 112, (2022), s. 1-36.

Diego M. Botín-Sanabria, Adriana-Simona Mihaita, Rodrigo E. Peimbert-García, Mauricio A. Ramírez-Moreno, Ricardo A. Ramírez-Mendoza ve Jor-

ge de J. Lozoya-Santos, “Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review”, *Remote Sensing*, Cilt: 14, Sayı: 6, (2022), s. 1-25.

Diogo Correia ve Leonor Teixeira, “From Smart City 1.0 to Smart City 3.0: Deep Understanding of the Smart Cities Concept and Evolution”, *Smart Cities and Tourism: Co-creating Experiences, Challenges and Opportunities*, ed. Dimitrios Buhalis, (Goodfellow Publishers, Oxford: 2023), s. 43-59.

Durdu Hakan Utku, Ferhat Özgür Çatak, Murat Kuzlu, Nasibeh Zohrabi Salih Sarp, Ümit Çalı ve Vukica Jovanovic, “Digital Twin Applications for Smart and Connected Cities”, *Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Moharram Challenger, (Springer International Publishing, Berlin: 2023), s. 141-155.

Ehab Shahat, Chang T. Hyun ve Chunho Yeom, “City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda”, *Sustainability*, Cilt: 13, Sayı: 6, (2021), s. 1-20.

Emre Kaya ve Levent Memiş, “Türkiye’de Mobil Belediye: Orta Ölçekli Şehirler Özelinde Bir Araştırma”, *Yerel Yönetimlerde Teknoloji ve Katılım*, ed. Cenay Babaoğlu, Levent Memiş ve Oğuzhan Erdoğan, (Ankara, Orion: 2020), s. 105-121.

Fathima Nishara Abdeen, Sara Shirowzhan ve Samad M.E. Sepasgozar, “Citizen-Centric Digital Twin Development with Machine Learning and Interfaces for Maintaining Urban Infrastructure”, *Telematics and Informatics*, Sayı: 84, (2023), s. 1-17.

Fatih Gündoğan, *Akıllı Şehirler Meselesi*, (Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları, İstanbul: 2022).

Fei Tao, Meng Zhang ve A. Y. C. Nee, *Dijital Twin Driven Smart Manufacturing*, (Elsevier, Amsterdam: 2019).

Gerhard Schrotter ve Christian Hürzeler, “The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning”, *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Cilt: 88, Sayı: 1, (2020), s. 99-112.

Giorgio Caprari, Giordana Castelli, Marco Montuori, Marialucia Camardelli ve Roberto Malvezzi, “Digital Twin for Urban Planning in the Green Deal Era: A State of the Art and Future Perspectives”, *Sustainability*, Cilt: 14, Sayı: 22, (2022), s. 1-2.

Giuseppe Piras, Sofia Agostinelli ve Francesco Muzi, “Digital Twin Framework for Built Environment: A Review of Key Enablers”, *Energies*, Cilt: 17, Sayı: 2, (2024), s. 1-27.

Göksel Gökkuş ve Mualla Keten, “Tarımda Teknoloji Uygulamaları Örneği: Dijital İkiz”, *Biyosistem Mühendisliği III*, ed. Atılğan Atılğan, Hasan Değirmenci,

Vecdi Demircan ve Çağatay Tanrıvedi, (Akademisyen Kitap Evi, Ankara: 2022), s. 139-154.

Hao Wang, Xiaowei Chen, Fu Jia ve Xiaojuan Cheng, “Digital Twin-Supported Smart City: Status, Challenges ve Future Research Directions”, *Expert Systems with Applications*, Vol: 217, (May 2023).

H. Alpay Karasoy ve Pelin Babaoğlu, “Türkiye’de Elektronik Devletten Dijital Devlete Doğru”, *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 12, Sayı: 23, (2020), s. 397-416.

H. Alpay Karasoy ve Pelin Babaoğlu, “Türkiye’de Siber Güvenlik: Yasal ve Kurumsal Altyapı”, *Yasama Dergisi*, Sayı: 44, s. 123-155.

Homa Masoumi, Sara Shirowzhan, Paria Eskandarpour ve Christopher James Pettit, “City Digital Twins: Their Maturity Level and Differentiation from 3D City Models”, *Big Earth Data*, Cilt: 7, Sayı: 1, (2023), s. 1-36.

Jong-Sung Hwang, “The Next Generation of Smart City: Augmented City and Digital Twin”, *International Federation of Surveyors*, 6 Mart 2024, https://www.fig.net/resources/proceedings/2019/08_com7/0608_3_jong-sung_Shin.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

Marianna Charitonidou, “Digital Universalism in Urban Planning Decision-Making”, *International Journal of Architectural Computing*, Cilt: 20, Sayı: 2, (2022), s. 238-253.

Iris Gräßler, Günter W. Maier, Eckhard Steffen, Daniel Roesmann, *The Digital Twin of Humans: An Interdisciplinary Concept of Digital Working Environments in Industry 4.0*, (Springer International Publishing, Berlin: 2023).

J. Arora and M. Tushir, “Digital Twin: Towards Internet of Drones”, *Digital Twin Technology* ed. Gopal Chaudhary, Manju Khari ve Mohamed Elhoseny, (CRC Press, Florida: 2022), s. 23-46.

Jinkang Guo ve Zhihan Lv, “Application of Digital Twins in multiple fields”, *Multimedia Tools and Applications*, Sayı: 81, (2022), s. 26941-26967.

Johannes Lambrechts ve Saurabh Sinha, *Microsensing Networks for Sustainable Cities*, (Springer, Cham: 2016).

Joel Myers, Victor Larios ve Oleg Missikoff, “Thriving Smart Cities”, *The Digital Twin*, ed. Noel Crespi, Adam T. Drobot ve Roberto Minerva, (Springer International Publishing, Berlin: 2023), s. 901-970.

John Geddie ve Aradhana Aravindan, “Virtual Singapore Project Could Be Test Bed for Planners-and Plotters”, *Euronews*, 27 Eylül 2018.

Jong-Sung Hwang, Yoon Ju Heo, Ahram Han, Jun Seok Hwang ve Bora Ju, "Smart Cities in the Republic of Korea", World Bank, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099501509212220541/pdf/IDU09bc4586900d9a047080a-9de0afa91af324a9.pdf> , (Erişim tarihi: 24 Mart 2024)

Jun-Feng Yao, Yong Yang, Xue-Cheng Wang ve Xiao-Peng Zhang, "Systematic Review of Digital Twin Technology and Applications", *Visual Computing for Industry Biomedicine and Art*, Cilt: 6, Sayı: 10, (2023), s. 1-20.

Khurram Riaz, Marion McAfee ve Salem S. Gharbia, "Management of Climate Resilience: Exploring the Potential of Digital Twin Technology, 3D City Modeling, and Early Warning Systems", *Sensors*, Cilt: 23, Sayı: 5, (2023), s. 1-29.

Kolade Arisekola ve Katherine Madson, "Digital Twins for Asset Management: Social Network Analysis-Based Review", *Automation in Construction*, Vol: 150, (2023).

Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu, "Büyük Veri Temelli Güvenlik ve Kriz Yönetimi" *Kamu Sektöründe Kriz Yönetimi*, ed. Veysel Eren, (Nobel, Ankara: 2022), s. 147-162.

Levent Memiş, "Akıllı Ulaşım", *Akıllı Kentler: Uygulamalar, Sorunlar ve Çözümler*, ed. Yakup Bulut ve M. Miraç Aslan, (Ekin Yayınevi, Bursa: 2021), s. 185-206.

Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu, "Acil Durum ve Afet Yönetiminde Süreç Yaklaşımı ve Teknoloji", *Niğde İİBF Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 4, (2020), s. 776-791.

Levent Memiş, "Electronic Democracy in Dilemma of Direct Democracy and Representative Democracy: An Examination Oriented to Local Administrations", *Theory and Practice in Social Sciences*, ed. Viliyan Krystev Recep Efe ve Emin Atasoy, (St. Kliment Ohridski University Press, Sofia: 2019), s: 364-365.

Levent Memiş, "Smart Technologies and Reflections on Local Public Issues in Turkey: A Review of Metropolitan Municipalities", *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 6, Sayı: 14, (2018), s. 141-163.

Levent Memiş, "Akıllı Teknolojiler, Akıllı şehirler ve Belediye Örgütlenmesinde Dönüşüm", *Yasama Dergisi*, Sayı: 36, (2017), s. 71-84.

Li Deren, Yu Wenbo ve Shao Zhenfeng, "Smart City Based on Digital Twins", *Computational Urban Science*, Cilt: 1, Sayı: 4, (2021), s. 1-11.

Li Wan, Timea Nocht ve J. Mark Schooling, "Developing A City-Level Digital Twin- Propositions and a Case Study", International Conference on Smart Infrastructure and Construction (ICSIC), (2019), s. 187-194, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/epdf/10.1680/icsic.64669.187> , (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

Manisha Vohra, *Overview of Dijital Twin, Digital Twin Technology Fundamentals and Applications*, (Wiley, New York: 2023).

Manisha Vohra, "Digital Twin in Smart Cities: Application and Benefits", *Dijital Twin Technology: Fundamentals and Applications*, ed. Manisha Vohra, (Wiley, New York: 2023), s. 159-172.

Marianna Charitonidou, "Urban Scale Digital Twins in Data-Driven Society: Challenging Digital Universalism in Urban Planning Decision-Making", *International Journal of Architectural Computing*, Sayı: 19, (2022), s. 1-16.

Meral Çalış Duman, "İşletmeler için Yeni Bir Verimlilik Teknolojisi: Dijital İkiz", *Verimlilik Dergisi*, Özel Sayı, (2021), s. 189-206.

Mete Yıldız, *Bilgi Toplumu ve E-Devlet*, (Anadolu Üniversitesi, Eskişehir: 2019).

Mete Yıldız ve İrem Esmâ Özçubuk, "Akıllı şehirler ve Kamu Politikaları", *Teknoloji ve Kamu Politikaları*, ed. Mete Yıldız ve Cenay Babaoğlu, (Gazi Kitabevi, Ankara: 2020), s. 169-198.

Michael Batty, "Digital Twins", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Cilt: 45, Sayı: 5, (2018) s. 817-820.

Mohd Javaid, Abid Haleem ve Rajiv Suman, "Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review", *Cognitive Robotics*, Sayı: 3, (2023), s.71-92.

Mohsen Attaran ve Bilge Gökhan Çelik, "Digital Twin: Benefits, Use Cases, Challenges, and Opportunities", *Decision Analytics Journal*, Sayı: 6, (2023), s. 1-10.

Mohsen Attaran, Sharmin Attaran ve Bilge Gökhan Çelik, "The Impact of Digital Twins on the Evolution of Intelligent Manufacturing and Industry 4.0", *Advances in Computational Intelligence*, Cilt: 3, Sayı: 11, (2023), s. 1-15.

Muhammet Damar ve Güzin Özdağoğlu, "The Digital Twin Case in the Technological Transformation Process: Research Articles Academic Collaborations and Topics", *In Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Enis Karaarslan, Ömer Aydın, Ümit Çalı ve Moharram Challenger, (Springer International Publishing, Singapur: 2023), s. 3-39.

N. Vanitha Jain, Luthra ve D. Saini, "Digital Twin Technology: An Evaluation", *Dijital Twin Technology*, ed. Gopal Chaudhary, Manju Khari ve Mohamed Elhoseny, (CRC Press, Florida: 2022), s. 1-22.

Neven Josipovic ve Kathrin Viergutz, "Smart Solutions for Municipal Flood Management: Overview of Literature, Trends, and Applications in German Cities", *Smart Cities*, Cilt: 6, Sayı: 2, (2023), s. 944-964.

Nobuyuki Fukawa ve Aric Rindfleisch, "Enhancing Innovation Via the Digital Twin", *Journal of Product Innovation Management*, Sayı: 40, (2022), s. 391-406.

Obinna C. Madubuike, Chimay J. Anumba ve Rana Khallaf, “A Review of Digital Twin Applications in Construction”, *Journal of Information Technology in Construction*, Sayı: 27, (2022), s. 145-172.

Oğuzhan Erdoğan, “Akıllı Kent Üzerine Yazılan Lisansüstü Tezlerin İçerik Analizi”, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 24, Sayı: 2, (2020), s. 917-937.

Özgü Can ve Aytuğ Türkmen, “Digital Twin ve Manufacturing”, *Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse*, ed. Enis Karaarslan, Ömer Aydın, Ümit Çalı, Moharram Challenger, (Springer International Publishing, Singapur: 2023), s. 175-195.

Özer Köseoğlu, *Metropolitan Şehirlerin Geleceği Yeni Yaklaşım, Model ve Uygulamalar*, (SETA Rapor, İstanbul: 2019).

Rafael da Silva Mendonça, Sidney de Oliveira Lins, Iury Valente de Bessa, Florindo Antônio de Carvalho Ayres, Jr., Renan Landau Paiva de Medeiros and Vicente Ferreira de Lucena, “Digital Twin Applications: A Survey of Recent Advances and Challenges”, *Processes*, Cilt: 10, Sayı: 744, (2022).

Ruijie Cheng, Lei Hou ve Sheng Xu “A Review of Digital Twin Applications in Civil and Infrastructure Emergency Management”, *Buildings*, Cilt: 13, Sayı: 1143, (2023).

Schahram Dustdar, Stefan Nastić ve Ognjen Šćekić, *Smart Cities: The Internet of Things, People and Systems*, (Springer, Cham: 2017).

Sezgin Sezgin, *Vatandaşların Akıllı kent Uygulamalarına Bakışı*, (Orion Akademi, Ankara: 2022).

Singapore Government, “E-Services”, (2024), www.sla.gov.sg, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

Stephen R. Galati, “Funding a Smart City: From Concept to Actuality”, *Smart Cities: Applications, Technologies, Standards and Driving Factors*, ed. Stan McClellan, Jesus A. Jimenez ve George Koutitas, (Springer, Cham: 2018) s. 13-26.

Taewoo Nam ve Theresa A. Pardo, “The Changing Face of a City Government: A Case Study of Philly311”, *Government Information Quarterly*, Cilt: 31, Sayı: S1, (2014), s. S1-S9.

Tatiana Mallet Machado and Fernando Tobal Berssaneti, “Literature Review of Digital Twin in Healthcare”, *Heliyon*, Cilt: 9, Sayı: 9, (2023).

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, *Dokuzuncu Kalkınma Planı*, (2006), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/Dokuzuncu_Kalkinma_Planı-2007-2013.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, *Onuncu Kalkınma Planı*, (2014), Erişim https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Planı-2014-2018.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, *On Birinci Kalkınma Planı*, (2019), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu*, (2019), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/03/Surdurulebilir-Kalkinma-Amaclari-Degerlendirme-Raporu_13_12_2019-WEB.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *2020-2023 Ulusal Akıllı şehirler Stratejisi ve Eylem Planı*, (2019), <https://akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlanı.pdf>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *2024-2030 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı Taslağı*, https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/Taslak-Eylem_Planı.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Şehirlerin Dijital İkizlerini Güncelliyoruz”, <https://cbs.csb.gov.tr/sehirlerin-dijital-ikizlerini-guncelliyoruz-haber-278818>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Örnek Uygulama İncelemeleri, https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/KapasiteGelistirme/Egitim_Pdf/Ornek_Uygulama_Incelemeleri.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni*, (2019), https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/menu/akillisehirler-kitap_20190311022214_20190313032959.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://sehirendeksi.gov.tr/endeckpublic/>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://www.akillisehirler.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://www.akillisehirler.gov.tr/egitim/>, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, *Orta Vadeli Mali Program 2019-2021*, (2018), <https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2019/10/Yeni-Ekonomi-Programı-2019-2021.pdf>, (Erişim Tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Kalkınma Bakanlığı, *2018-2020 Orta Vadeli Program*, (2017), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/08/Orta_Vadeli_Program_2018-2020.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı'nda (2014-2016)*, (2014), http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/rJ6g4+Ulusal_Akilli_Ulasim_Sistemleri_Strateji_Belgesi_2014-2023_ve_Eki_Eylem_Plani_2014-2016_.pdf, (Erişim tarihi: 24 Mart 2024).

Tianhu Deng, Keren Zhang ve Zuo-Jun (Max) Shen, "A Systematic Review of A Digital Twin City: A New Pattern of Urban Governance Toward Smart Cities", *Journal of Management Science and Engineering*, Cilt: 6, Sayı: 2, (2021). s. 125-134.

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, *Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi*, (2004), https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf, (Erişim Tarihi: 24 Mart 2024).

WEF, *Digital Twin Cities: Key Insights and Recommendations*, (2023), <https://www.weforum.org/publications/digital-twin-cities-key-insights-and-recommendations/>, (Erişim tarihi: 4 Mart 2024).

Winnie Tang, "Smart City 3.0", 2017, https://winnietang.hk/files/42/Smart_City_3_0_en.pdf (Erişim tarihi: 4 Mart 2024).

Xinyue Ye, Jiaxin Du, Yu Han, Galen Newman, David Retchless, Lei Zou, Youngjib Ham ve Zhenhang Cai, "Developing Human-Centered Urban Digital Twins for Community Infrastructure Resilience: A Research Agenda", *Journal of Planning Literature*, Cilt: 38, Sayı: 2, (2023). s. 187-199.

Yeji Yun ve Minhwa Lee, "Smart City 4.0 from the Perspective of Open Innovation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, Cilt: 5, Sayı: 92, (2019).

Zbigniew J. Makiela, Magdalena M. Stuss, Karolina Mucha-Ku's, Grzegorz Kinelnski, Marcin Budziński ve Janusz Michałek, "Smart City 4.0: Sustainable Urban Development in the Metropolis GZM", *Sustainability*, Cilt: 14, Sayı: 3516, (2022).

Zehra Çubukçu, Levent Memiş ve Cenay Babaoğlu, "Akıllı Şehirlerde Acil Durum ve Afet Yönetiminde Dijital İkiz Teknolojisi: Potansiyeller ve Uygulamalar," *TYB Akademi: Dil Edebiyat ve Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 14, Sayı: 40, (2024), s. 9-24.

Zhang Zhaoyun ve Lv Linjun, "Application Status and Prospects of Digital Twin Technology in Distribution Grid", *Energy Reports*, Sayı: 8, (2022), s. 14170-14182.

Zhengrong Liu ve Jianping Wu, "A Review of the Theory and Practice of Smart City Construction in China", *Sustainability*, Cilt: 15, Sayı: 7161, (2023).

Zhihan Lv, Wen-Long Shang ve Mohsen Guizani, "Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities: History, Current Situation, and Application Perspectives", *Applied Sciences*, Sayı: 12, (2022).

DİJİTAL İKİZ VE AKILLI ŞEHİRLER

CENAY BABAĞLU, LEVENT MEMİŞ

Teknolojik araçlar, kentsel alanda karşılaşılan ihtiyaçların ve sorunların giderilmesinde yeni çözümler getirmektedir. Bu sayede şehirlerin olağan ve olağanüstü yaşamları iyileştirilirken mekana bağlı olmayan çevresel sorunların azaltılmasına da katkı sunulmaktadır. Son yıllarda dijital araçların artan etkisi bağlamında bu raporda yeni dönemin önemli teknolojik yeniliklerinden dijital ikiz, akıllı şehir kavramı üzerinden irdelenmektedir. Bu kapsamda hem akıllı şehirlerin gelişim çizgisi ele alınarak dijitalleşme süreci incelenmekte hem de dijital ikiz teknolojisinin akıllı şehirleri dönüştüren etkileri ele alınmaktadır. Rapor kapsamında dijital ikizin çalışma prensipleri, kullanım alanları, şehirlere yönelik katkıları ve sorun alanları örnek uygulamalar üzerinden incelenerek Türkiye'deki mevcut durum değerlendirilmekte ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunmaktadır.