



Dijital İkiz Şehir Fenomeni: Dünyadan Örnekler ve Türkiye'deki Yönelimler

Digital Twin City Phenomenon: Cases from the World and Trends in Turkey

Abdulgazi YIKICI¹

Öz

Günümüzde şehirlerde, küresel ısınma, nüfus artışı ve kaynakların tükenmesi gibi sorunları çözmek ve kamusal hizmet sunumunu güçlendirmek için teknolojik gelişmelere de paralel olarak bir arayış mevcuttur. Etkili çözümler üretilmesinde ise bilgi ve iletişim teknolojilerindeki yenilikler önemli bir rol oynamaktadır. Dijital ikiz şehir fenomeni de bu arayışların ve teknolojideki yeniliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Türkçe literatürde akıllı şehirler ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen uluslararası literatürün gündeminde yer alan ve akıllı şehirlerin inşasında yeni bir başlangıç noktası olarak kabul edilen dijital ikiz şehirlere ilişkin herhangi bir araştırmaya rastlanılmamaktadır. Söz konusu eksiklikten hareketle çalışmanın amacı, dijital ikiz şehir fenomeninin teori ve uygulama boyutuyla ortaya konulmasıdır. Nitel bir araştırma tasarımına sahip olan bu çalışmada, literatür incelemesi ve doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışmada dijital çağ yönetişimi, dijital ikiz ve dijital ikiz şehir kavramları ele alınmakta, ardından dünyanın çeşitli şehirlerinden dijital ikiz örneklerine yer verilmekte ve son olarak ise dijital ikiz şehirler ile ilgili Türkiye'deki mevcut durum ve yönelimler değerlendirilmektedir. Sonuç olarak dijital ikiz şehirlerin kent yaşamının sürdürülebilirliğini olumlu yönde etkileme potansiyeli taşıdığı söylenebilir. Bununla birlikte dijital ikiz şehir teknolojisi çerçevesinde pratikte gerçekleştirilenlerin teorideki beklentileri karşılayacak düzeye henüz ulaşmadığı, bunun arka planında ise teknik ve ekonomik yetersizliklerin yanı sıra güvenlik endişelerinin yer aldığı belirtilmelidir. Ancak dijital ikiz şehirlerin teknolojik yeniliklere paralel bir şekilde gelişmesi ve bu fenomene verilen önemin ve gösterilen ilginin giderek artması teori ile pratik arasındaki farkın kapanacağına işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Dijital Çağ Yönetişimi, Dijital İkiz, Dijital İkiz Şehir, Kentsel Planlama

ABSTRACT

Today, in cities, parallel to technological developments, there is a search to solve problems such as global warming, population growth and depletion of resources and to strengthen public service provision. Innovations in information and communication technologies are essential in producing effective solutions. The digital twin city phenomenon has emerged as a result of these technological searches and innovations. Although there are many studies about smart cities in the Turkish literature, there are no studies on digital twin cities, which are on the agenda of international literature and are accepted as a new starting point in the construction of smart cities. Starting from the said deficiency, the study aims to reveal the digital twin city phenomenon with theory and practice dimensions. This study used a qualitative research design and employed a method of document analysis and literature review. In this context, the concepts of digital era governance, digital twin, and digital twin city are discussed in this study. Afterward, digital twins' cases from various world cities are included in the study. Finally, the current situation and trends in digital twin cities in Turkey were evaluated. As a result, it can be said that digital twin cities have the potential to affect the sustainability of urban life positively. Nonetheless, it should be noted that what is realized in practice within the framework of digital twin city technology is not yet reached the level that meets the expectations in theory. There are technical and economic inadequacies as well as security concerns in the background of this. However, the development of digital twin cities in parallel with technological innovations and the increasing importance and interest in this phenomenon indicates that the gap between theory and practice will close.

Keywords: Digitalization, Digital Era Governance, Digital Twin, Digital Twin City, Urban Planning

¹ **Corresponding Author:** Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümü, abdulgazi.yikici@ktu.edu.tr, 0000-0003-1230-1612



GİRİŞ:

“Geleceği tahmin etmenin en iyi yolu onu inşa etmektir.”
Peter Drucker

Şehirlerin büyümesi ve başarısı, modern uygarlığın en büyük zaferlerinden birisidir. Dünya nüfusunun %56'sına ev sahipliği yapan şehirler, gayri safi yurt içi hasılanın da %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Günümüzde eşi benzeri görülmemiş bir kentleşme düzeyine tanık olunurken, 2050 yılına kadar bu oranın %68'e yükseleceği tahmin edilmektedir (United Nation, 2018). Yenilik merkezi niteliği taşıyan şehirler bir yandan siyasal, ekonomik, teknolojik ve sosyo-psikolojik avantajlar sağlarken (Yıkıcı & Salman, 2022: 1680), diğer yandan kirlilik, kuraklık, acil durum ve afet önleme gibi ciddi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Nüfus artışı ve iklim değişikliği sorunu, söz konusu zorlukların seviyesini artırmakta, diğer bir deyişle mücadeleyi daha güç bir boyuta taşımaktadır. Bu durum şehirlerin, kamusal hizmet üretimi ve sunumu ile sağlıklı ve güvenli bir çevre temini gibi temel işlevlerini yerine getirmesini engelleyebilmektedir.

Bununla birlikte şehirlerdeki nüfusun artması bazı olumlu sonuçlar da doğurmaktadır. Nitekim dünyanın eğitilmiş ve yetenekli nüfusunun giderek daha büyük bir bölümünün şehirlerde yaşaması, çeşitli bilgi havuzlarının oluşmasına ve etkili çözüm önerilerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Söz konusu çözüm önerilerinin ise beşerî sermayenin iyi yönetilmesi ile yakından ilişkili olduğu (Florida vd., 2017: 90) ve bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeye paralellik arz ettiği gözden kaçırılmamalıdır. Bilgi ve iletişim teknolojileri günümüzde sadece sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel itici gücü değil, aynı zamanda kentsel alanların yönetiminden yönetim anlayışına geçişte de önemli bir araçtır.

Şehirlerde gerçekleşen faaliyetlerde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı 21. yüzyıl ile birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır. Dijital devrim ve internetin küresel yayılımı bu durum üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Nitekim Cocchia (2014: 29)'nın dijital şehirlerin doğuşunu bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ile ilişkilendirmesi bu yargıyı destekler niteliktedir. Ayrıca Cocchia (2014: 30), kentsel mekânların yeniden tasarlanması yoluyla yaşam kalitesinin iyileştirmesine yönelik vatandaş taleplerinin bu sürecin önemli bir katalizörü olduğunu ifade etmektedir.

Dijital ikiz ve bunun teknolojik temeli üzerine inşa edilen dijital ikiz şehir fenomeni bu dijitalleşme sürecinin, diğer bir deyişle yenilikçi veri toplama, analiz etme ve modelleme teknolojilerindeki gelişimin bir çıktısıdır. Dijital dönüşümün kaçınılmaz bir eğilimi olan dijital ikiz teknolojisi; verileri, modelleri ve fiziksel varlıkları bütünleştiren bir altyapıya sahiptir. Fiziksel nesnenin sanal ortamda temsil edilmesine karşılık gelen ve başlangıçta havacılık alanında kullanılan dijital ikiz teknolojisi, simülasyon, modelleme ve değerlendirme gibi sanal tekniklerin uygulanmasına elverişli bir ortam sunmaktadır. Dijital gölgeden farklı olarak bu teknoloji, insan müdahalesi olmadan dijital nesnelere aracılığıyla fiziksel varlıklar üzerinde kontrol sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Fiziksel ve sanal dünyalar arasında kurulan köprü sayesinde ve dijital kopyadan hareketle fiziksel nesnenin durumu ve ilerlemesi dinamik bir şekilde takip edilebilmektedir. Bu bağlamda “taklitler aslını yaşatır” (*imitations keep the original alive*) sloganının (Craciun, 2014: 151), fiziksel ürünün izlenmesi ve iyileştirilmesine aracılık eden “dijital ikiz” (*digital twin*) teknolojisine karşılık geldiği söylenebilir. Sunmuş olduğu avantajlardan ötürü dijital ikizlerin kullanım alanı giderek genişlemiştir. Dijital ikizlerin kullanımına yönelik ortaya çıkan eğilim, bu fenomenin uygulama alanını fiziksel nesnelere modellenmesinden sosyo-teknik sistemlerin, diğer bir deyişle şehirlerin modellenmesine kaydırmıştır. Dijital ikizlerin, devlet-vatandaş arasındaki etkileşimi kolaylaştırılıp güçlendirme ve hizmet sunumlarının vatandaş beklentilerini karşılama yeteneğini geliştirmenin bir yolu olarak görülmesi de bu değişimin yaşanmasında etkili bir unsurdur (Abdeen & Sepasgozar, 2021: 4).

Teknolojideki yeniliklerin harmanlanmasıyla ortaya çıkan “dijital ikiz şehir” (*digital twin city*) fenomeni, daha etkin ve verimli bir kentsel planlama yapılabilmesi bağlamında umut vadetmektedir (Caprari, 2022: 1). Bu fenomeni, şehirlerin dijital temsilleri veya sanal kopyaları şeklinde de nitelendirmek mümkündür. Gerçek ve sanal ortamların hassas bir şekilde haritalandırılması, entegrasyonu ve etkileşimine dayanan dijital ikiz teknolojisi (Deren vd., 2021: 1), kentsel mal ve hizmetlerin üretimi, sunumu ve kentsel alanların kullanımına ilişkin konularda şehir yöneticilerine sağlıklı karar alma ve rasyonel hareket etme imkânı sağlamaktadır. Gittikçe şehir yönetiminin klasik mekanizmalarının yerini alan bu teknoloji aracılığıyla kente ilişkin verilerin gerçek zamanlı olarak toplanması ve işlenmesi karar alma süreçlerini de kısaltmaktadır. Dijital ikiz şehirler; şehir planlaması, bina inşaatı, afetlerle mücadele, enerji tüketimi, iletişim, lojistik ve ulaşımın verimliliğini ve bir bütün olarak kentlerin sürdürülebilirliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır (Deng vd., 2021: 127). Ayrıca dijital ikiz şehir teknolojisinin, çevresel sistemlerin mevcut durumlarının değerlendirilerek optimal çözümlerin saptanmasına imkân tanınması şehirlerin ekolojik açıdan da sürdürülebilirliğine katkı sunma potansiyeli taşımaktadır (Shahat vd., 2021: 2).

Birçok ülke ve hükümet tarafından, küresel ısınma, nüfus artışı ve kaynakların tükenmesine çözüm olarak görülen dijital ikiz şehir uygulamaları dünya çapında giderek artan sayıda şehirde sürdürülmektedir. Dijital ikiz şehirler, uluslararası alanda büyük ilgi gören, çokça tartışılan, üzerine çeşitli projeler geliştirilen ve akademik çalışmalar yürütülen bir alandır. Buna karşılık Türkçe literatürde dijital ikiz şehirlerin araştırma nesnesi olarak incelendiği herhangi bir araştırmaya rastlanılmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, dijital ikiz şehir teknolojisinin teorik çerçevesinin ortaya konulması ve dünyanın çeşitli şehirlerindeki ve Türkiye’deki dijital ikiz şehir uygulama örneklerinin incelenmesidir.

Belirlenen çalışma amacı doğrultusunda makalede, nitel araştırma yöntemlerinden literatür incelemesi ve doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Literatür incelemesi yöntemi, literatürde konunun ne şekilde ele alındığı, tartışmalı noktaların ve eksikliklerin neler olduğu, çalışmalardan elde edilen sonuçların ve araştırılması gereken hususların ortaya konulmasında son derece etkilidir (Snyder, 2019: 335; Fan vd., 2022: 174). Konu ile ilgili çeşitli çalışmalardan bilgi toplanmasına imkân tanıyarak, güvenilir bir bilgi tabanı geliştirilmesine yardımcı olması da söz konusu yöntemin avantajları arasında yer almaktadır (Tranfield vd., 2003: 219-220). Doküman analizi ise basılı/elektronik belgelerin içeriğinin titiz ve sistematik bir şekilde değerlendirilmesinde tercih edilen bir araştırma yöntemidir (Wach & Ward, 2013: 1). Konu ile ilgili kaynakların elde edilmesinde literatür incelemesi yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda Web of Science, ScienceDirect, Taylor and Francis, Wiley Online Library, JSTOR, GoogleScholar, TR Dizin ve ASOS İndeks veri tabanlarında herhangi bir tarih aralığı konulmadan “dijitalleşme/digitalization”, “dijital çağ yönetimi/digital era governance”, “dijital ikiz/digital twin”, “dijital ikiz şehir/digital twin city” ve “şehir dijital ikizi/city digital twin” anahtar kelimeleri ile tarama yapılmıştır. Ulaşılan basılı/elektronik materyallerin değerlendirilmesi ve uygulama örneklerinin birbirleriyle benzerlik ve farklılıkları bağlamında incelenmesinde ise doküman analizi yönteminden yararlanılmıştır.

Buradan hareketle çalışmanın birinci bölümünde dijital çağ yönetiminin, ikinci bölümünde dijital ikiz teknolojisinin, üçüncü bölümünde de dijital ikiz şehir fenomeninin teorik çerçeveleri ve gelişim süreçleri açıklanmaktadır. Ardından çalışmanın dördüncü bölümünde dünyanın çeşitli şehirlerindeki dijital ikiz örneklerine, beşinci ve son bölümünde ise dijital ikiz şehirler ile ilgili Türkiye’deki mevcut durum ve yönelimlere yer verilmektedir.

1. Dijital Çağ Yönetişi

1970’li yıllarda patlak veren petrol şokları ile bunların yol açtığı ekonomik sorunlar, refah devleti uygulamalarının sorgulanmasına neden olmuştur (Çolak, 2021: 46; Ayhan & Önder, 2017: 30). Bu dönemde bütçe açıkları, işsizlik, ekonomik durgunluk, yüksek enflasyon ve toplumsal çözülme gibi sosyo-ekonomik sorunlar ortaya çıkmıştır (Çolak, 2016: 352). Bunlara ilave olarak geleneksel bürokrasilerin bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelere ayak uyduramamasının performans düşüklüğü ve verimsizliğe yol açması neticesinde reform konusu kamu yönetiminde bir kez daha gündeme gelmiştir (Çolak, 2021: 48; Karcı, 2008: 41). 1980’lerden itibaren kamu yönetimi alanında işletme biliminin teori ve yöntemlerinin ağırlığını hissettirmesi, kamu-özel sektör arasındaki sınırların belirsizleşmesine ve “yeni kamu işletmeciliği (YKİ)” (*new public management*) adı verilen yeni bir akımın gelişmesine zemin hazırlamıştır (Çolak, 2019: 518-519).

Ayrıştırma (büyük kamu sektörü hiyerarşilerini bölme), rekabet, teşvik, özelleştirme, bütçe reformları, yönetim özgürlüğü gibi temalar çerçevesinde kurgulanan YKİ (Gruening, 2001: 2; Margetts & Dunleavy, 2013: 2) ile esas olarak hizmette kalite, etkinlik ve verimlilik artışı hedeflenmekteydi (Tuncer & Usta, 2013: 189). Ancak Dunleavy vd. (2005: 471-472, 476-477), 1980’li ve 1990’lı yıllarda Yeni Zelanda ve Birleşik Krallık’ta YKİ yaklaşımının sonuçları üzerine yaptıkları değerlendirmede, söz konusu yönetim modelinin belirlenen hedefleri gerçekleştirmekten uzak bir görüntü çizdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca YKİ’nin ayrıştırma ve rekabete odaklanarak idari birimlerin sayısını artırması ve bu durumun da daha karmaşık ilişkileri doğurmasının idari, ekonomik ve toplumsal sorunlara yol açtığını ifade etmişlerdir. Yönetimsel unsurları önceleyerek dijital gelişmeleri nispeten göz ardı etmesi YKİ paradigmasını zayıflatmış ve kamu yönetimi reformu için hareket tarzını, ayrıştırma, rekabet ve teşviki baz alan bu paradigmadan, hizmetleri yeniden bütünleştirmeye odaklanan dijital çağ yönetişimine kaydırmıştır (Margetts & Dunleavy, 2013: 2; Białozyt, 2017: 118).

İçinde bulunulan çağı nitelendirmede başvurulan “dijital çağ” (*digital age*) kavramı, Cambridge sözlüğünde, pek çok şeyin bilgisayarlar aracılığıyla yapıldığı ve bu teknolojinin büyük miktarda veriye ulaşmayı mümkün kıldığı bir dönem şeklinde tanımlanmaktadır. Geçmişte askerî amaçlarla üretilip kullanılan teknoloji (West, 2007: 2), zamanla toplumsal hayatın çeşitli yönlerine sirayet etmeye başlamıştır. 2000’li yılların başında internet, e-posta, Web gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinde kaydedilen ilerlemeler ofis süreçlerini etkilemiş ve söz konusu yeniliklerin kullanımı zamanla kamu yönetiminde de yansımaları bulmuştur (Dunleavy vd., 2005: 478; Dunleavy vd., 2015: 12).

Devletin dijitalleşmesi, doğal olarak vatandaşlar, işletmeler, sivil toplum örgütleri ve devlet arasındaki mevcut iletişim ve etkileşim kanallarının elektronik ortama aktarılmasına, diğer bir deyişle mevcut bürokratik uygulamaların, yönetim sistemlerinin revize edilmesine ve bir bütün olarak kamu yönetiminin dönüşümüne öncülük etmiştir (Yavuz, 2015: 274; Białozyt, 2017: 124). Yeni fikir ve reformların ortaya çıktığı bu dönemi “dijital çağ yönetişi (DÇY)” (*digital era governance*) şeklinde adlandıran Dunleavy vd. (2005: 468), çalışmalarında kamu yönetimindeki dönüşümün bilgi teknolojilerinde meydana gelen değişikliklerin bir çıktısı olduğunu ileri sürmüşlerdir (Dunleavy vd., 2005: 478). İlave olarak dijital çağ yönetişi adını verdikleri bu yeni dönemi üç temel özellik çerçevesinde biçimlendirmişlerdir (Dunleavy vd., 2005: 480). Bu özellikler şunlardır; “yeniden bütünleşme” (*reintegration*), “ihtiyaç temelli bütünsellik” (*needs-based holism*) ve “dijitalleştirme” (*digitization*).

YKİ paradigması çerçevesinde geniş hiyerarşiye sahip kurumların yerini tek amaçlı uzman kuruluşların alması ve doğal olarak idari birimlerin sayısının artması koordinasyon ve iş birliği sağlamayı zorlaştırarak kurumlar arasında bir kopukluk yaratmıştır (Longo, 2011: 42). Ayrıştırmanın yol açtığı bu sorunlara bir cevap niteliği taşıyan yeniden bütünleşme, dijital çağın sunduğu fırsatların kamuda kullanılmaya başlanmasıyla hizmet organizasyonu ve politikalarında sadeleşmeye, diğer bir deyişle bütünleşme doğrultusunda ortaya çıkan dönüşüme işaret etmektedir (Dunleavy vd., 2005: 480; Dunleavy & Margetts, 2010: 3-4). Bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla YKİ’nin farklı kurumsal hiyerarşilere ayırdığı unsurlar bir araya getirilerek, bozulan koordinasyon ve iş birliği ortamı yeniden tesis edilmek

istenmiştir (Margetts & Dunleavy, 2013: 6). Yeniden bütünleşme temasının tamamlayıcısı olarak ihtiyaç temelli bütünsellik, bütünsel reformlar aracılığıyla yönetim süreçlerindeki gereksiz adımları, formları, kontrolleri ve maliyetleri ortadan kaldırarak hizmet sağlayıcılar ile tüketiciler arasındaki karmaşık ilişkiyi basitleştirmeyi amaçlamaktadır (Dunleavy vd., 2005: 480; Çolak, 2021: 67). İletişim ve iş birliği süreçlerinde e-posta ve diğer iletişim teknolojileriyle birlikte internet kullanımının yaygınlaşması, seyahat, toplantı, belge alışverişi gibi geleneksel maliyetlerin ve zaman kaybının en aza indirilmesine imkân sağlamıştır (Goldsmith & Eggers, 2004: 17). Böylece sosyal çevrede meydana gelen değişikliklere anlık ve etkin bir şekilde cevap veren çevik ve dayanıklı hükümet yapılarına geçişte önemli bir adım atılmıştır. Dijitalleşme ise bilgi ve iletişim teknolojilerinden elde edilen faydaların/avantajların mümkün olan her iş modeline uyarlanması içermektedir. İnsan müdahalesi gerektirmeyen “sıfır dokunuş” (*zero touch*) teknolojilerine sahip otomasyon sistemleri ve hizmet sunumunda gereksiz aşamaların kaldırılmasına dayanan “radikal aracısızlaştırma” (*radical disintermediation*) ile işlemlerin dijitalleştirilmeye çalışılması bu kapsamda değerlendirilmektedir (Dunleavy vd., 2005: 480; Margetts & Dunleavy, 2013: 6). 2000’li yıllarda bu üç tema üzerine inşa edilen DÇY, 2010 yılından itibaren yeni bir çehreye bürünerek kamu yönetimi reformlarına yön vermeye başlamıştır. Yeniden bütünleşme, ihtiyaç temelli bütünsellik ve dijitalleşme hedeflerini içselleştiren ve bu dönemden itibaren YKİ’den daha da uzaklaşan DÇY anlayışı, bünyesine kattığı Web 2.0 (ikinci nesil internet hizmetleri), sosyal medya, bulut bilişim gibi teknolojilerle yeni gelişmelere giden yolu açmıştır (Dunleavy & Margetts, 2010: 3-4). Kamu hizmetlerinin sunulmasının dijital çağında, bilgi ve iletişim teknolojilerinde kaydedilen ilerlemeler, kamu sektörü kurumları ve vatandaşlar arasındaki iletişimde birçok yenilikçi mekanizmanın gelişmesine aracılık etmiştir.

Yaşanan bu dönüşüm çerçevesinde ortaya çıkan e-devlet, e-demokrasi ve e-yönetişimi, DÇY yaklaşımının birer alt bileşeni olarak değerlendirmek mümkündür. Kamusal hizmetlerin yerine getirilmesinde karşılaşılan sorunların ortadan kaldırılarak hizmetlerin etkin, verimli, zamanında ve şeffaf bir şekilde sunulması için gösterilen çaba, dijitalleşme aracılığıyla yönetsel ve toplumsal süreçlere de yansımıştır (Anshari & Hamdan, 2022). Günümüzde yaygınlaşmaya başlayan dijital ikiz şehir fenomeni de bu dijital dönüşümün bir çıktısı niteliğindedir. DÇY’ye paralel olarak sanal bir versiyonunun inşası yoluyla fiziksel şehri dijital alanda haritalandıran dijital ikiz şehir ile de şehrin fiziksel ve dijital boyutları arasında eş zamanlı işleyiş ve etkileşim mekanizması kurularak kentsel planlama, yönetim ve hizmetlerin karmaşıklığının ve belirsizliğinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda dijital ikiz şehre geçmeden önce, söz konusu fenomenin fikri ve teknolojik altyapısında yer alan ve aynı zamanda dijital dönüşümün kaçınılmaz bir eğilimi olan dijital ikiz teknolojisine değinmenin konunun anlaşılabilirliğine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Dijital İkiz

Günümüzde bilgi, bilgisayar ve internet teknolojileri hızlı bir gelişme seyri içerisinde. Birçok alanda yapılan icat ve yenilikler, günlük hayatı geçmişte monarkların sahip olduğu yaşayıştan bile basit hâle dönüştürmektedir. Bu bağlamda özellikle internetin ortaya çıkması ve kullanım alanının genişlemesi, tekerleğin icadı ölçüsünde radikal değişikliklerin ve yeniliklerin altyapısını hazırlamıştır (Jain vd., 2022: 2). Ayrıca teknoloji alanında kaydedilen ilerlemeler insanların hayal gücünü ve gelecekteki küreselleşme vizyonunu da yeniden şekillendirme potansiyeli taşımaktadır.

Ürün performansını optimum düzeye çıkarma ve tasarım maliyetini azaltmada geleneksel fiziksel test mekanizmaları ile bilgisayar destekli simülasyon ve mühendislik araçlarından yeterli verim alınmadığı ve bu süreçlerde bilgi ve zaman kaybının yaşandığı görülmüştür. Üretimin fiziksel ve sanal dünyaları arasındaki etkileşimin sağlanmasına yönelik ihtiyaç ile veri toplama ve işleme teknolojilerindeki gelişmeler dijital ikiz teknolojisinin ortaya çıkmasında etkili olmuştur (Leng & Jiang, 2019; Zhang vd., 2020: 3). Söz konusu gelişmelere; “Coğrafi Bilgisi Sistemleri (GIS)” (*Geo-Information Systems*), “Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)” (*Building Information Modeling*), “nesnelerin interneti (IoT)” (*Internet of Things*), “beşinci nesil kablosuz sistemler (5G)”, “makine öğrenimi” (*machine learning*), “büyük veri” (*big data*), “blokzinciri” (*blockchain*), “bulut bilişim” (*cloud computing*), “yapay zeka” (*artificial intelligence*) ve “Şehir Bilgi Modeli (CIM)” (*City Information Model*) örnek olarak gösterilebilir (Batty,

2018: 817; Lehtola vd., 2022: 3; Kaur vd., 2020: 3; Tao & Qi, 2017: 81; Luo vd., 2019; Deng vd., 2021: 126; Chen vd., 2018: 22). Bu noktada geleneksel yöntemlerin tamamen ortadan kaldırılmayacağı, gerekli durumlarda bunların başta makine öğrenimi olmak üzere diğer teknolojik yeniliklerle entegre bir şekilde kullanılabilmesi gözden kaçırılmamalıdır (Kar vd., 2019: 498). Bilgi ve iletişim teknolojilerinde kaydedilen bu ilerlemelerin çıktısı ve bir nesnenin gerçek dünyadaki özelliklerini ve davranışlarını taklit eden dinamik bir temsili olarak dijital ikiz (Papyshev & Yarime, 2021: 2), varlıkların tasarım ve üretim aşamalarında güvenli ve verimli bir şekilde hareket edilmesine katkı sunmaktadır (Chen vd., 2021: 1).

Dijital ikiz kavramı ilk kez Grieves (2014: 1) tarafından 2002 yılında Michigan Üniversitesinde gerçekleştirilen “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM)” (*Product Lifecycle Management*) konulu ve “PLM için Kavramsal İdeal” (*Conceptual Ideal for PLM*) adlı sunumda “Yansımali Mekanlar Modeli” (*Mirrored Spaces Model*) olarak kullanılmıştır (Grieves & Vickers, 2017). Farklı isimle nitelendirilmiş olsa da bu model dijital ikizin; fiziksel ürün, sanal ürün ve fiziksel ve sanal ürünleri birbirine bağlayan veri/bilgi bağlantıları şeklindeki tüm unsurlarını içerisinde barındırmaktadır (Grieves, 2005: 77). Kısa bir süre sonra “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi: Yeni Nesil Yalın Düşünceyi Sürdürmek” (*Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*) adıyla çıkardığı kitapta Grieves (2006), bu kavramsal modele “Bilgi Yansıtma Modeli” (*Information Mirroring Model*) şeklinde atıfta bulunmuştur. Ancak bu dönemde teknolojik sınırlamalar nedeniyle konu yeterince ilgi görmemiş ve yapılanlar az sayıda makale yayınlanmasından öteye geçmemiştir (Tao vd., 2019a: 2407). İletişim, sensör ve simülasyon teknolojilerinde yaşanan teknik gelişmelerle birlikte dijital ikiz 2012 yılında “Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)” (*National Aeronautics and Space Administration*) ve Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri tarafından havacılık endüstrisine tanıtılmıştır (Tao vd., 2019b: 5). Bu kapsamda sürdürülen çalışmalar sonucunda dijital ikizlerin farklı endüstrilere de uygulanabileceğine yönelik bir kaniya varılması, söz konusu teknolojinin gelişimini teşvik etmiştir (Tao vd., 2019a: 2407).

Dijital ikiz kavramının ve teknolojisinin ön plana çıkmasında son derece etkili bir kuruluş olan NASA, söz konusu kavramı, çeşitli ölçeklerdeki verileri modelleme ve sensör güncellemeleri çerçevesinde entegre eden fiziksel nesnenin ultra gerçekçi sanal bir aynası şeklinde tanımlamaktadır (Shafto vd., 2010: 7). Dijital ikiz esas itibarıyla; sensör ve ölçüm teknolojileri, IoT, simülasyon, modelleme ve makine öğreniminden oluşmaktadır. Bu çerçevede dijital ikiz uygulamasının temel işlevi ve en önemli özelliği üretim sistemi ve bu sistemin evrimi arasında sürekli senkronizasyon sağlamaktır (Segovia & Garcia-Alfaro, 2022: 5). Aynı zamanda bu işlev, dijital ikizin; erken uyarı, anormallik algılama, tahmin ve optimizasyon yapma aracılığıyla fiziksel ikizinin durumunu yansıtmasına imkân tanımaktadır (Kaur vd., 2020: 5; GeoTwin, 2021). Diğer bir deyişle fiziksel nesnedeki bir değişiklik dijital ikizin durumunu da değiştirmekte ve bu noktada dijital ikiz, dijital gölge ile benzerlik göstermektedir. Ancak dijital ikizin, insan müdahalesine gerek duymadan sanal varlığın fiziksel nesneyi kontrolüne olanak tanınması, onu dijital gölgeden farklı kılmaktadır (Kritzing vd., 2018: 1017; Enders & Hoßbach, 2019: 6).

Havacılık ve uzay alanında doğan dijital ikiz fenomeni, üretim süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Negri vd., 2017: 940). Dijital bir ikiz, yüksek kalitede hazırlanmış plan yardımıyla yapılacak veya yazdırılacak ürünün, üretim ortamının ve sürecinin simüle edilmiş hâline karşılık gelmektedir (Grieves, 2014: 2). Simülasyon, modelleme ve değerlendirme gibi sanal tekniklerin uygulanmasını mümkün kılan bu dijital kopya, fiziksel ürünün kullanım ömrünün tamamlanmasının ardından da var olmaya devam etmektedir (Jones vd., 2020: 37). Üstelik gerçek zamanlı veri toplama, analiz etme ve bunların entegrasyonuna uygun bir altyapı sağlayan dijital ikiz, varlıkların sanal modellerinden hareketle fiziksel ürünün durumunu ve ilerlemesini dinamik şekilde izleme ve kalan faydalı ömrünü tahmin etme imkânı da tanımaktadır (Tao & Qi, 2017: 83; Liu vd., 2018: 2). Bu özelliklerinin yanı sıra dijital ikiz teknolojisi, içerisindeki simülasyon ortamı ile küresel ürün tasarımcıları, araştırma-geliştirme grupları, son kullanıcılar ve müşterilerden oluşan çok paydaşlı ekiplere iş birliği yapabilecekleri bir platform sunmaktadır (Hämäläinen, 2020: 296). Öte yandan sayılan tüm bu avantajlar tek bir aşamada ortaya çıkmamaktadır. Diğer bir deyişle söz konusu kazanımların ayrı ayrı elde edildiği dijital ikiz türleri bulunmaktadır. Bunları; “dijital ikiz örnek” (*digital twin instance*), “dijital ikiz prototip” (*digital twin*

prototype) ve “performans dijital ikiz” (*performance digital twin*) şeklinde sınıflandırılmak mümkündür (Botín-Sanabria vd., 2022: 5).

Tüm yaşam döngüsü boyunca fiziksel ürünün sanal karşılığını, takip ve tahmin yoluyla temsil eden dijital ikiz örnek, üründen beklenen davranış ve performansın doğrulanmasına imkân tanımaktadır (Singh vd., 2021: 8-9). Diğer bir tür olan dijital ikiz prototip, fiziksel ikiz hakkında önemli bilgi ve özelliklerin toplanıp depolanması süreci ile üretim senaryolarının simüle edilmesinde rol almaktadır. Bunun yanı sıra üretim aşaması öncesinde fiziksel üründe ortaya çıkması muhtemel kusur ve riskleri belirleyerek üretim maliyetleri ile işlem süresinin etkin bir şekilde azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Singh vd., 2021: 8-9). Son tür olan performans dijital ikiz ise öngörülemez koşullarda fiziksel ürünlerin izlenmesi ve bunun sonucunda çeşitli verilerin toplanıp analiz edilmesini gerçekleştirmektedir. Bu tür ikiz ayrıca fiziksel ürün için tasarım optimizasyonu ve bakım stratejisi oluşturulmasına da ortam hazırlamaktadır (Botín-Sanabria vd., 2022: 5).

Dijital ikiz teknolojisi üretim, inşaat ve enerji tüketimi süreçlerinde genel itibarıyla faydalı bulunmaktadır. Bu teknolojinin temel avantajının ekonomik olduğu düşünülmekte ve faaliyetlerin dijital ikiz kullanımı yoluyla planlanmasının para ve zaman tasarrufu sağlayacağına inanılmaktadır (Lehtola vd., 2022). Teknoloji ve endüstrinin ilerleyip müşteri ihtiyaçlarının çeşitlenmesi dijital ikiz vizyonunu da sürekli ve hızlı bir şekilde geliştirmektedir (Sharma vd., 2022: 2). Fiziksel sistemin yaşayan modelini temsil eden dijital ikizlerin ortaya çıkardıkları avantajlar bu teknolojiye hem akademik ve endüstriyel ilginin artmasına hem de söz konusu teknolojinin kullanım alanının giderek genişlemesine zemin hazırlamaktadır. Bu durum kentleşme oranlarının ve bilgi ve iletişim teknolojilerinin yükselişine bağlanabilir. Dijital ikiz araştırması ve uygulaması, sayılanların yanı sıra nakliye lojistiği, tıp, mühendislik, otomotiv endüstrisi ve hatta kurtarma operasyonları gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır (Botín-Sanabria vd., 2022: 1; White vd., 2021: 2; Papyshv & Yarime, 2021: 3). Nitekim Temmuz 2018’de Tayland’da muson yağmurları dolayısıyla karışık bir yapıya sahip olan mağarada mahsur kalan futbol takımının kurtarılmasında dijital ikiz teknolojilerinden yararlanılmıştır. Bu teknoloji aracılığıyla çeşitli kurtarma operasyonu senaryoları simüle edilmiş ve en iyi seçenek belirlenerek kurtarma operasyonu gerçekleştirilmiştir (Dixon, 2018; Puri, 2018).

Bilgi-işlem yeteneklerinin gelişmesi ve dijital ikizlerin kullanımına yönelik ortaya çıkan eğilim, bu fenomenin uygulama alanını fiziksel nesnelere modellenmesinden sosyo-tekniik sistemlerin, diğer bir deyişle şehirlerin modellenmesine kadar genişletmiştir. Günümüzde nüfusun yaklaşık %56’sına ev sahipliği yapan, ilerlemelerin çıkış noktası ve merkezi olan şehirler, dijital ikiz teknolojisinin önemli bir uygulama alanını teşkil etmektedir. Buna paralel olarak küresel teknoloji pazarı danışmanlık firması ABI Research (2021), kentsel alanlardaki dijital ikiz uygulama örneklerinin 2025’e kadar 500’ü aşacağına ilişkin bir öngöründe bulunmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, devlet-vatandaş arasındaki etkileşimi kolaylaştırılıp güçlendirilme ve hizmet sunumlarının beklentileri karşılama yeteneğini geliştirmenin bir yolu olarak görülmektedir (Abdeen & Sepasgozar, 2021: 4). Ayrıca dijital ikizler, bunun yanı sıra teknolojik altyapısı ile şehirlerin gerçek zamanlı izlenmesine imkân tanıyarak kentsel konularda isabetli kararların alınması noktasında da hatırı sayılır bir potansiyel sunmaktadır. Şehri akıllı hâle getireceği ve bu alanlarının sürdürülebilirliğini artıracığı düşüncesi (Wan vd., 2019: 187; Hämäläinen, 2020: 296-297), dijital ikiz teknolojisinin bu alanda kullanılmasında önemli bir teşvik unsurudur.

3. Dijital ikiz Şehir

Bir şehirden beklenen temel fonksiyon, içinde yaşayanlara uygun yaşam koşullarını sağlamasıdır. Bu durumun sürdürülebilirliği, değişen yaşam ve çevre koşullarına uyumu gerekli kılmaktadır. Çünkü yaşanan gelişim ve dönüşüm, bir şehrin hem ihtiyaçlarını hem de mücadele etmesi gereken iç ve dış sorun alanlarını çeşitlendirmektedir (Lehtola vd., 2022: 2). Günümüzde şehirlerin karşı karşıya olduğu temel sorun alanlarını; iklim değişikliği, çevresel kirlenme, kuraklık, ekonomik kriz, işsizlik, yoksulluk, pandemi ve doğal afetler şeklinde sıralamak mümkündür (Spaans & Waterhout, 2017: 109). Geleneksel kentsel planlama süreçlerinde veri alışverişine dayalı teknolojik gelişmelerin yeterince dikkate alınmaması (Klyukin vd., 2018), nüfusun hızla artması ve arazi sınırlılığının şehirleri dikey büyümeye

zorlaması bu sorunları daha dramatik hâle getirmektedir (Chen vd., 2008). Esasında kompakt, diğer bir deyişle yoğun şehir olarak nitelendirilen bu mekânsal yapı, bir yandan arazi kullanımında ve ulaşımında verimlilik sağlarken, diğer yandan trafik sıkışıklığı, çevresel kirlilik, kentsel ısı adası ve gürültü gibi sorunlara yol açmaktadır (Cheshmehzangi & Butters, 2016: 68). Bu durum doğal olarak şehirlerin yeni teknolojiler, modeller ve fikirler aracılığıyla nasıl güncellenebileceğine ilişkin arayışları gündeme getirmektedir.

Şehirlerde yaşanan sorunları ortadan kaldırmak, yaşanması muhtemel sorunlara karşı ise önlem alıp bunların potansiyel etkilerini hafifletmek amacıyla çeşitli adımlar atılmaktadır. Sayılan amaçlar doğrultusunda faaliyette bulunan önemli kuruluşlardan biri de esasında ulusal düşünce kuruluşu olan “Çin Bilgi ve İletişim Teknolojileri Akademisi (CAICT)” (*China Academy of Information and Communication Technology*)’dir. Bilgi ve iletişim alanında yeni bir sayfa açmak için çalışmalarını sürdüren CAICT’nin “Akıllı Şehir Ekibi” (*Smart City Team*), çözüm için dijital ikiz kavramından hareketle 2017’de “dijital ikiz şehir” modelini önermiştir (World Economic Forum [WEF], 2022: 4). Öneri yeni olsa da şehirlerin dijital ortamda “üç boyutlu (3D)” (*three-dimensional*) olarak tasarımının popülerlik kazanması, “Google Earth” ve “Microsoft Virtual Earth”ün (şimdi Bing Maps) kullanıma sunulduğu 2005 yılına dayanmaktadır (Heo vd., 2013: 26). Bu bağlamda dijital ikiz şehrin tasarımında ve uygulanmasında kullanılacak düşünsel ve teknolojik altyapının temellerinin daha önceden atıldığı söylenebilir. Nitekim dijital ikiz şehir projeleri de bu birikimin üzerine inşa edilmektedir.

Dijital ikiz şehir, çeşitli teknolojilerin kullanımı ile şehirdeki varlıkların dijital ikizlerini bir araya getirmektedir (Ivanov vd., 2020: 179). Deren vd. (2021: 2-3), “doğru haritalama” (*accurate mapping*), “sanal-gerçek etkileşim” (*virtual-real interaction*), “yazılım tanımı” (*software definition*) ve “akıllı geri bildirim” (*intelligent feedback*)’in dijital şehir ikizlerinin dört temel özelliği olduğunu ileri sürmektedir. Doğru haritalama, sensör teknolojileri aracılığıyla fiziksel şehrin detaylı dijital modellemesinin gerçekleştirilmesine; sanal-gerçek etkileşim, fiziksel çevrede meydana gelen eylemlerin sanal ortamda gözlenebilmesine; yazılım tanımı, fiziksel çevrede bulunan insanların, olayların ve nesnelerin simüle edilmesine; akıllı geri bildirim ise dijital ikiz şehir üzerinde uygulanan planlama, tasarım ve simülasyon aracılığıyla olumsuz etkiler ve potansiyel tehlikelerin bildirilmesine karşılık gelmektedir. Paralel olarak Shahat vd. (2021: 8-9) de dijital ikiz şehri ele alan makalelerin sistematik analizi sonucunda bu modelin uygulanmasının genel olarak beş tema altında ifade edilebileceğini ortaya koymaktadır: “Veri yönetimi” (*data management*), “görselleştirme” (*visualization*), “durumsal farkındalık” (*situational awareness*), “planlama ve tahmin” (*planning and prediction*) ve “entegrasyon ve iş birliği” (*integration and collaboration*). Bu özelliklerin uygulanması, diğer bir deyişle şehrin fiziksel formu ile içerisindeki unsurların dijital ortama aktarılması, GIS, BIM, IoT, 5G, blokzinciri ve CIM teknolojileri sayesinde mümkün olabilmektedir (Deren vd., 2021: 2-3). Sıralanan bu teknolojilerin dijital ikizlerin doğuşunda da önemli bir rol oynadıkları bilinmektedir.

Dijital ikiz şehir modelinde nesnelerin görselleştirilmesi işlemi 3D modeller aracılığıyla yapılmaktadır (Biljecki vd., 2015). 3D modeller ise genellikle “nokta bulutları” (*point clouds*) ve/veya görüntüler kullanılarak oluşturulmaktadır (Ruohomäki vd., 2018: 155). Bu bağlamda dijital ikiz şehirler, 3D modelleme ile ilgili mevcut iki sistemin bir devamı olarak ortaya çıkmıştır: GIS ve BIM (Lehtola vd., 2022: 3). GIS, şehrin topoğrafyası, çevresi ve mekânsal yapısı ile birlikte haritalandırılmasına aracılık ederek dijital temsiller için bağlam sağlamaktadır (Batty, 2018: 818; Deng vd., 2021: 127). Dijital ikiz şehrin diğer bir çıkış noktası olan BIM de yerleşik çevrenin ayrıntılı modellerini içermektedir. Bu modellerde binaların geometrik yapıları, mekânsal ve topolojik ilişkileri ve fiziksel altyapıları detaylı bir şekilde yer almaktadır. Ancak BIM’de model ile fiziksel varlık arasında bağlantı bulunmamakta ve bu durum güncellemeler için elle veri girişini zorunlu kılmaktadır. Dijital ikizin BIM’e göre temel avantajı fiziksel nesne ile bu nesnenin dijital kopyası arasında sağladığı gerçek zamanlı etkileşimdir (Shahat vd., 2021: 3). IoT ve 5G teknolojisi, dinamik veri toplama ve geri bildirim aktarma mekanizmalarının temelini oluşturmaktadır (Hämäläinen, 2021: 203). “Makineden makineye iletişim (M2M)” (*Machine-to-Machine Communication*) şeklinde de bilinen IoT (GSMA, 2019: 3), sensör teknolojileri sayesinde anlık veri sağlama ve simülasyona imkân tanıyarak fiziksel varlığın dijital ortamda gerçek zamanlı temsili

mümkün kılmaktadır (Khuntia vd., 2021: 133). Verilerin aktarılması ve geri bildirim mekanizmasının çalışması ise 5G gibi yeni kablosuz teknoloji uygulamaları üzerinden gerçekleştirilmektedir (GSMA, 2019: 25). IoT cihazlarının tür olarak çeşitlenip, sayısal olarak artması gerçek zamanlı üretilen veri boyutlarını astronomik rakamlara ulaştırmaktadır (Mistry vd., 2020: 9). Blokzinciri teknolojisi de dijital ikizler arasındaki davranışsal bilgileri kaydederek verilerin değerini ve gizliliğini güvence altına almaktadır (Mistry vd., 2020: 2; Deng vd., 2021: 129). Bir şehrin dijital ikizinin oluşturulmasında bu teknolojilerin her biri önemli roller oynamaktadır. Tüm sürecin ve bütün unsurlarıyla bir şehrin dijitalleştirilmesi için CIM'in kurulması kritik derecede bir öneme sahiptir (Hämäläinen, 2021: 204). GIS, BIM, IoT ve büyük veri teknolojilerinden yararlanılarak oluşturulan CIM (Deng vd., 2021: 130), kentsel alandaki nesnelerin mekânsal verilerini ve sanal kopyalarını içermektedir. Bu modelin geliştirilmiş bir versiyonu, trafik sıklığı ve doğal afetlerin potansiyel etkisi gibi kentsel sorunların çözüme kavuşturulmasında şehir planıcıları ve tasarımcılarının işlerini kolaylaştırabilir (Chen vd., 2018: 22).

Dijital ikiz, şehir planlamasını geliştirmede bir fırsat olarak algılanmaktadır (Klebanov vd., 2019: 1; Nochta vd., 2021: 264). Dolayısıyla dijital ikiz şehir ile de temelde şehrin işlevlerinin etkin ve verimli bir şekilde yerine getirilmesi, yapı ve doğal çevresinin sürdürülebilirliğinin ve yönetiminin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Khajavi vd., 2019: 147416). Nitekim dijital ikiz teknolojisinin şehrin dijital modeli üzerinde simülasyon gerçekleştirme imkânı tanınması; kentsel hizmetlerin sunumunda etkinlik ve verimlilik artışını, doğal afetlerin nedenlerinin belirlenmesini ve bu sayede mevcut ve potansiyel sorunlar karşısında kentlerin tepkilerinin test edilerek acil durum tahliye planlarının formüle edilmesini sağlayarak bu alanların daha güvenli mekânlar hâline getirilmesine yardımcı olabilir (Kar vd., 2019: 497; Papyshv & Yarime, 2021: 4). Dijital model üzerinde yapılacak simülasyon ve senaryo tahminleri ile mekânsal yerleşimin optimize edilmesi, çevresel değerlerin izlenmesi ve trafik sıklığının giderilmesi de kentlerin güvenliğinin ve dolayısıyla direncinin artmasına katkı sunabilir.

Dijital ikiz şehir, sunmuş olduğu avantajlarla insanların yaşam kalitesinin yükselmesine de zemin hazırlamaktadır (Lehtola & Ståhle, 2014: 168). Söz konusu kazanımlar, şehirdeki tüm paydaşların iyi bir şekilde organize edilmesi ve bunların en iyi oldukları alanlara yönlendirilmesi ile açığa çıkmaktadır. Çünkü ekosistem aktörlerinin kendilerinden beklenen hizmetleri gereği gibi sunmaları bu aktörlerin temel yetkinlikleri çerçevesinde faaliyette bulunmalarına bağlıdır (Linde vd., 2021: 2). Örneğin, bir enerji sağlayıcısı şebekeyi optimize etmek için altyapıya; sistem yazılımcıları ise enerji şebekesine erişimlerinin sağlanmasına ihtiyaç duymaktadır (Linde vd., 2021: 7). Sayılan bu avantajlar şehir yöneticilerinin çevre kirliliği, iklim değişikliği, enerji kullanımı ve hizmetlerin planlanması konularında bilinçli kararlar almasını sağlayarak şehirlerin geçici çözümlerin külfetlerinden kurtarılmasına ve bu alanların daha yaşanabilir mekânlar olmasına katkı sunabilir (Caprari, 2022: 2). Ancak şehrin dijital ikizinin inşa edilmesinde ve sürdürülmesinde dijital ikiz teknolojisinin kullanımını engelleyen çeşitli zorlukların ortaya çıkması da muhtemeldir. Çünkü bir şehir anlaşılması ve tahmin edilmesi kolay bir sistem değil, aksine fiziksel yapısında ve sosyo-ekonomik faaliyetlerinde sürekli değişim ve dönüşüm meydana gelen sosyo-tekni bir ekosistemdir (Fürst vd., 2021: 32).

Şehirlerin dijital ortamda modellenmesi, bu alanlardaki çeşitli sistemlerin ve işlevlerin iç içe geçmesinden ötürü karmaşık bir süreçtir. Karmaşık bir sistemler ağı niteliğine ek olarak şehrin sürekli bir değişim ve dönüşüm yaşaması; verilerin toplanması, yönetilmesi, işlenmesi ve dijital kopyasına entegre edilmesi işlemlerinin başarısını düşürme potansiyeli taşımakta (Shahat vd., 2021: 3), diğer bir deyişle fiziksel nesne-dijital ikiz etkileşimini zorlaştırmaktadır (Fürst vd., 2021: 32). Bu kapsamda şehirden toplanan veri boyutlarının büyüklüğü önemli bir sorun alanıdır. Çünkü veri yönetimi, şehrin dijital ikizinin ana temasını oluşturmaktadır (Shahat vd., 2021: 9). Büyük boyutlu verilerin varlığı ise dijital kopyanın fiziksel şehre entegre bir şekilde sürdürülmesini, dolayısıyla da veri yönetimini güçleştiren bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Verilerin büyüklüğünün yanı sıra topoğrafik yapının karmaşıklığı; kentsel alandaki sosyal, ekonomik, politik yapı ve süreçler hakkında veri eksikliğinin bulunması; paydaşlar, altyapı ve teknoloji gibi unsurların karşılıklı bağımlılığına ve etki alanları arasındaki ilişkiye dair bilgilerin tek bir platformda birleştirilmesi, görselleştirilmesi ve bunlar arasında iş birliği bir ortam tesis edilmesinin son derece zor olması diğer önemli sorun alanlarıdır (Chen vd.,

2018: 32; Shahat vd., 2021: 11). Sayılan bu zorluklar şehir dijital ikizinin faydalı planlama kararları alma ve geleceğe ilişkin optimal senaryo tahminleri yapma yeteneğini olumsuz yönde etkileme potansiyeli taşımaktadır.

Bununla birlikte Wan vd. (2019), tek dijital ikiz modeli yerine birden fazla model geliştirilmesinin sıralanan sorunların ve ortaya çıkan veri karmaşıklığının çözümü için daha uygun olabileceğini ileri sürmektedir. Buna karşılık Batty (2018), modellerin amacının gerçek sistemle ilgili her şeyi yansıtmak olmadığını ve etkileşim süreçlerinde çok küçük de olsa gecikmeler bulunduğunu belirterek tamamen yansıtılmış bir dijital ikizin, ulaşılamayacak bir ideali temsil ettiğini savunmaktadır. Bununla birlikte fiziksel nesne ile dijital modelin mümkün olduğunca yakınlaştırılmasına yönelik çalışmaların sürdürülmesi gerektiğini de ifade etmektedir. Teknik gerekçelerin yanı sıra dijital ikiz şehir projelerinin %66,7'sinin devlet yatırımları tarafından finanse edilmesi ve bu alanda özel sermaye ve girişimlerin yetersiz kalması gibi sorunun ekonomik yönü de bulunmaktadır (WEF, 2022: 6). Şehirlerin dijital ikizlerinin oluşturulması süreci, içerisinde birtakım zorluklar barındırsa da, dünyanın farklı yerlerinde bu çerçevede çeşitli adımlar atılmaktadır.

4. Dijital İkiz Şehir Örnekleri

Dijital ikiz şehirlerin pilot projeleri dünya çapında birçok şehirde geliştirilmektedir. Bu pilot projeler ile temelde kentsel planlama, tasarım ve hizmet sunumunun iyileştirilmesi, enerji tasarrufu sağlanması, maliyetlerin azaltılması, iklim değişikliği ve doğal afetlerle mücadele edilmesi, diğer bir deyişle direnci yüksek daha yaşanılabilir ve sürdürülebilir mekânlar yaratılması hedeflenmektedir. Bu projelerin tasarlandığı şehirlerin farklı yönetim geleneklerine sahip ülkelerde yer alması, dijital ikiz şehir modelinin geniş bir uygulama alanına sahip olduğuna işaret etmektedir.

Bu bölümde Singapur, Helsinki, Espoo, Zürih, Rennes, New York ve Amaravati'deki dijital ikiz şehir projeleri incelenmiştir. Bu projelerin seçilmesinde ise dijital ikiz şehir uygulama süreçleri hakkında nitelikli bilgiye erişilebilme durumu ölçüt olarak belirlenmiştir.

İlk olarak Singapur, dijital ikiz şehirlerin kurulması bağlamında öncü sayılabilecek yeniliklere imza atmaktadır (Soon & Khoo, 2017; Geddie & Aravindan, 2018). Singapur'da, kamu kurumlarının yanı sıra "OneMap", "People Hub", "Business Hub" gibi kaynaklardan elde edilen geometrik ve jeo-uzamsal verilere dayalı olarak otobüs duraklarından binalara kadar kentin üç boyutlu bir modelini içeren "Sanal Singapur" (*Virtual Singapore*) platformu yapılandırılmaktadır (NRF, 2021). 2014 yılında başlatılan ve "Ulusal Araştırma Vakfı (NRF)" (*National Research Foundation*)'nın 73 milyon dolar aktardığı proje, hükümetin özel sektör ortağı ve aynı zamanda Fransız çok uluslu yazılım şirketi olan Dassault Systemes ile iş birliği içerisinde geliştirilmektedir (Guerrini, 2016). Projenin diğer paydaşlarını ise "Başbakanlık Ofisi" (*Prime Minister's Office*), "Singapur Arazi Otoritesi (SLA)" (*Singapore Land Authority*) ve "Singapur Devlet Teknoloji Ajansı (GovTech)" (*Government Technology Agency of Singapore*) oluşturmaktadır. SLA, bina ve duvarların yanı sıra sokak ve ağaçlar gibi yer üstü yapılar hakkında da ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Dijital şehir ikizi, su temini, kanalizasyon, drenaj, telekomünikasyon gibi yer altı kamu hizmetlerinin haritalandırılabilmesi için yakın zamanda şehrin yer altı yapıları hakkındaki veriler eklenerek güncellenmiş ve projenin bu kısmı "dijital yer altı" (*digital underground*) olarak adlandırılmıştır. Projenin bu kısmında "Singapur-ETH Merkezi" (*Singapore-ETH Centre*), SLA ve "Zürih Şehri Geomatik Departmanı" (*Geomatics Department of the City of Zurich*) ile birlikte hareket etmektedir (Jaw vd., 2018: 2; Yan vd., 2019: 3; Yan vd., 2021). Şehrin yer altı sistemleri ile ilgili bilgilerin de eklenmesiyle temel veri kümelerinin büyük bir çoğunluğu Sanal Singapur'a dâhil edilmiştir. Bu projenin; şehrin iyileştirilmesi, kamusal hizmetlerin simülasyonu, ulaşım akışlarının düzenlenmesi, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve genel itibarıyla yetkililerin optimal kentsel planlama kararları vermelerine katkı sunması ve kamu, özel sektör, araştırmacılar ve vatandaşlar tarafından kullanılması planlanmaktadır (Dassault Systemes, 2018; NRF, 2021). Ancak binaların yükseklik ve konumlarına ilişkin bilgilerin militan saldırılarda kullanılabileceği gerekçesiyle dünya çapındaki ağa bağlanmayan Sanal Singapur, henüz kamuya açık hâle getirilmediği için doğal olarak vatandaşların erişimine kapalıdır (Geddie & Aravindan, 2018; White vd., 2021: 2).

Öte yandan gizlilik endişelerine ilave olarak verinin bulunmadığı durumlarda tahminin aşırı güven duyulan geçmiş veriler üzerinden yapılması Sanal Singapur projesinin de önemli bir sorun alanıdır (Papyshev & Yarime, 2021: 2; GeoTwin, 2021). Ayrıca bilgi akışının hâlâ fiziksel taraftan dijitalle doğru tek yönlü olması Sanal Singapur'un tam bir dijital ikiz düzeyine ulaşmasını engellemektedir (Shahat vd., 2021: 14). Sanal Singapur'un dış dünyadan izole edilmesinin ortaya çıkan problemlerin çözümünde zaman kaybına yol açması, açıklık ve güvenlik arasında denge kurulmasına ilişkin tartışmaları gündeme getirmektedir (VentureBeat, 2022).

Dijital ikiz şehir kurulmasına yönelik birtakım çalışmaların yürütüldüğü diğer bir şehir Helsinki'dir. Şehirde, bu modelin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynayan 3D modellemeler ile ilgili araştırmaları 1980'li, 3D modellerin kentsel planlamada kullanılmasını ise 2000'li yıllara kadar geri götürmek mümkündür (Ruohomäki vd., 2018: 155). 3D modeller ile ilgili çalışmaların ve bunların kullanımının eski bir tarihe dayanması, kentte dijital ikizin kurulması noktasında iyi bir teknolojik altyapıya sahip olduğunu ve dijitalleşmeye önem verildiğini göstermektedir. Nitekim mevcut şehir stratejisinde; hizmet verimliliği ve kalitesinin artırılması, hizmetlere zaman ve mekândan bağımsız olarak erişebilirliğin sağlanması ve iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı sorunlar ile diğer krizlerin öngörülüp bunlara yanıt verilmesini kolaylaştıran bir araç olarak dijitalleşmenin önemine dikkat çekilmektedir (Helsinki, 2022a). Buradan hareketle şehir veri stratejisi, dijital ikizi, şehirdeki faaliyetlerle ilgili senaryo tahminleri yapılması ve bunların simüle edilmesi için bir araç olarak algılanmaktadır (Helsinki, 2022b). Finlandiya tarafından formüle edilen ve geliştirilen cityGML ölçütünün, standart harici verilerin entegrasyonuna imkân tanınması, dijital şehir modellerinin zenginleştirilmesine uygun bir ortam hazırlamıştır (Hämäläinen, 2021: 204-205). Bu bağlamda Helsinki'de dijital ikiz şehir kurulmasına yönelik ilk girişim şehir plancıları tarafından 2018-2019 yılları arasında akıllı şehir geliştirme alanı olan Kalasatama bölgesinde gerçekleştirilmiştir (Hämäläinen, 2021: 205). Dijital ikiz girişiminin temel hedefi ayrıntılı 3D modeller üretmek ve bunları kamusal kullanıma sunmaktır (Hämäläinen, 2020: 298). "Akıllı Kalasatama" (*Smart Kalasatama*) kapsamında oluşturulan platform, sadece Kalasatama dijital ikiz şehir projesinin değil, aynı zamanda Helsinki'deki akıllı şehir gelişiminin de en önemli aşamalarından birini temsil etmektedir. Çevrim dışı, diğer bir deyişle internet bağlantısı gerektirmeyen "Açık Şehirler Planlayıcısı" (*OpenCities Planner*) adlı uygulama ile de desteklenen bu platform, gerçek uygulamadan önce projelerin gelişmiş dijital tasarımının test edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca yapılan rüzgâr ve güneş simülasyonları ile bu faktörlerin insanlar ve yapılar üzerindeki etkilerinin tespit edilerek kentin bu veriler çerçevesinde planlanması düşünülmektedir. Bunun yanı sıra rüzgâr simülasyonlarının yüksek/alçak hava basıncının analiz edilmesine imkân tanınması, binalar üzerindeki negatif etkilerin incelenmesine ve kar birikmesinin önlenmesine yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Dijital ikizlerin, dijitalleşme programına dâhil edilmesi ve kentsel karar süreçlerinde şehir modeli platformunun kullanılması Helsinki'nin uzun vadeli kalkınmasına yapılan bir yatırım olarak değerlendirilmektedir (Airaksinen vd., 2019).

Üçüncü olarak Espoo kentinde dijital ikiz şehir oluşturulması çerçevesinde faaliyette bulunmaktadır. Helsinki'nin metropol alanı olan ve aynı zamanda 2016-2017 yıllarında Avrupa'nın en sürdürülebilir şehri seçilen Espoo'nun kentsel planlamasında da uzun süredir 3D modeller kullanılmaktadır (Zoeteman vd., 2016: 103; Zoeteman vd., 2017). Güncel olarak kullanılan bu 3D modellere trafik, enerji tüketimi gibi verilerin entegre edilmesi ise henüz geliştirilme aşamasındadır (Lehtola vd., 2022: 3). Espoo'da erken sayılabilecek bir dönemde, 2017 yılında dijital ikiz şehir ile ilgili bir toplantı düzenlenmiştir. Dijital ikiz teması üzerinde tartışma ve bu tema için yol haritası oluşturmanın toplantı gündeminde yer alması (Eurostep, 2017), bu konuya önem verildiğini göstermektedir. Nitekim Espoo kentindeki "Nokia Kampüsü" (*Nokia Campus*)'nde 5G teknolojisi ve IoT sensörleri kullanılarak LuxTurrin5G adıyla bir dijital ikiz oluşturma projesinin geliştirilmesi söz konusu durumun yansıması niteliğindedir. Hızlı bağlantı ve kapsamlı veri toplamanın şehirlerin sürdürülebilirliğine ve iklim değişikliği sorununa çözüm üretmeye ne oranda katkı sağlayacağını belirlemeyi hedefleyen projede; 19 akıllı direk, 2 akıllı ve güvenli otobüs durağı, otonom araçlar ve 250'den fazla IoT bağlantılı cihaz kullanılmaktadır. Proje sonucunda Nokia Kampüsü dijital ikizinin analiz ve görselleştirmeye imkân

tanıyan bir bilgi kaynağı hâline gelmesi, akıllı şehir planlaması ve gelişimi açısından dijital ikiz teknolojisinin potansiyelini doğrulamaktadır (Blare.Tech, 2020; LuxTurrim5G, 2021; Spinverse, 2021).

Gelişmiş dijital ikiz şehir örneklerinden bir diğeri Zürih şehri dijital ikizidir (Shahat vd., 2021: 4). Temel planlama uygulaması açısından dikkate değer bir proje olan şehir dijital ikizi, 2040 yılına kadar gerçekleşmesi beklenen nüfus artışına yönelik hazırlanan programın bir parçasını teşkil etmektedir (Caprari, 2022: 11). Bu bağlamda Zürih dijital ikizi ile kentsel mahallelerin kimliğinin korunarak mevcut yerleşim alanlarının kalite standartlarına uygun bir şekilde yoğunlaştırılması, sosyo-ekonomik ve ekolojik bir fayda yaratılması ve vatandaş katılımının artırılması hedeflenmektedir (Schrotter & Hürzeler, 2020: 100). Şehri ilgilendiren kararların etkinliğini kentsel mekânın dijital modeli üzerinden artırmayı hedefleyen ve dinamik bir yapıya sahip olan dijital ikiz, aynı zamanda akıllı şehir stratejisinin de bir çıktısı niteliğindedir. Zürih dijital ikizi; sokak alanlarını, yer altı kamu hizmeti tesislerini ve seçilmiş kamu binalarını 3D olarak gerçekçi ve ayrıntılı bir şekilde görselleştirmektedir (Schrotter & Hürzeler, 2020: 102-103; Caprari, 2022: 7). Verilere erişimi geliştirmek ve bu verileri işleme süreçlerini verimli hâle getirmek amacıyla uzamsal ve meta veriler federal mevzuatta geniş bir şekilde açıklanmıştır (Schrotter & Hürzeler, 2020: 101-102). Ayrıca otomatik olarak güncellenen verilerin toplanmasını kolaylaştıran bir "coğrafi portal" (*GeoPortal*) ile inşaat planlamasının dijital şehre entegre edilmesini sağlayan görüntüleyici geliştirilmiş ve bu sayede iklim analizleri için uygun bir ortam tesis edilmiştir (Schrotter & Hürzeler, 2020: 105, 108).

Karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek ve kent mekânını daha yaşanılabilir bir hâle getirmek için Rennes'te de dijital ikiz şehir projesi yürütülmektedir. Tıpkı diğer projeler gibi Rennes dijital ikiz projesi de tüm paydaşların ihtiyaçlarını dikkate alan ve onları sisteme dâhil eden bir kentsel gelişme sağlamak için 3D modeller aracılığıyla görselleştirilen geometrik ve topoğrafik unsurlardan hareketle tasarlanmaktadır (Dassault Systèmes, 2022). Aslında 3D model oluşturmaya, diğer bir deyişle Rennes şehrinin dijital ortama aktarılmasına yönelik girişimler 1999 yılına kadar uzanmaktadır. Yaklaşık yirmi yıllık 3D modelleme geçmişinin bir sonucu olan Rennes dijital ikiz projesi, Dassault Systèmes yazılım şirketi ile ortak bir şekilde geliştirilmektedir (Le Breton vd., 2021: 28). Bu bağlamda şehirdeki yapı çevrenin 3D modellerle sanal ortamda haritalandırılması ve IoT sensörlerinin toplayacağı gerçek zamanlı veriler ile şehrin fiziksel formunun ve dijital ikizinin eşitlenerek "Sanal Rennes" (*Virtual Rennes*) platformu üzerinden kamusal kullanıma açılması planlanmaktadır (Samms, 2019). 3D modeller ve simülasyon teknolojisi üzerine inşa edilen Sanal Rennes'in, inşaat ve altyapı projelerinin dijital ortamda görselleştirilmesine imkân tanınmasının kentsel tasarım süreçlerinde mimarlara, kentsel karar süreçlerinde ise belediye yetkililerine yardımcı olacağı, böylelikle de şehri başarısız proje maliyetlerinden kurtaracağı öngörülmektedir (Kumar, 2020). Nitekim dijital ikiz teknolojisinin metro istasyonu planlaması ve inşaatında kullanılması ile maliyetlerin önemli ölçüde azaltılması (WEF, 2022: 31), dijital ikizlerin proje maliyetlerini azaltacağına ilişkin hipotezi doğrulamaktadır. Kentsel işleyişi genel itibarıyla modelleyen Sanal Rennes platformu, bunun yanı sıra kent politikalarının ve hizmetlerinin değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır. İlerleyen süreçte Sanal Rennes'in iş dünyasına da açılması düşünülmektedir. Bir ön hazırlık olarak dijital ikiz üzerinde farklı girdileri test etmek için şirketlere proje çağrısında bulunulmuştur (Smart City Brussels, 2022).

Dünyanın en dijital şehri olma stratejisiyle hareket eden New York, dijital ikiz şehrin kurulması bağlamında çeşitli girişimlere ev sahipliği yapmaktadır (Deng vd., 2021: 125). New York şehrinde hâlihazırda enerji sistemlerini ve tüketimini izlemek için dijital ikiz teknolojisi kullanılmaktadır (WEF, 2022: 21). Buna paralel bir şekilde New York'taki Brooklyn Navy Yard sitesinde de enerji ayak izini dönüştürmek için bir dijital ikiz projesi oluşturulmaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki büyük şehirlerde karbon nötrlüğü sağlamayı hedefleyen ve Cityzenith tarafından tasarlanan "Temiz Şehirler-Temiz Gelecek" (*Clean Cities-Clean Future*) girişiminin başlatılmasına aracılık eden bu dijital ikiz projesinde, her çeşit binanın işletme maliyetleri ve karbon emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması hedeflenmektedir (CitiesToday, 2021). Dijital ikizlerin 3D ve 4D verilerin toplanmasına, görselleştirilmesine ve analizine imkân tanıyan teknolojik altyapısı ile gerçek zamanlı enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji üretimini izlemeyi otomatikleştirerek bu sorunlara çözüm getireceğine

inanılmaktadır. Brooklyn'deki dijital ikiz projesinin New York'un geri kalanı ve ülke için örnek oluşturması beklenmektedir (Rogerson, 2021; Tallman, 2021; Mookerjee, 2021). Columbia Üniversitesinde 2021 yılında başlatılan "Kentsel Ulaşım için Hibrit İkizler: Kavşaklardan Şehir Çapında Yönetime" (*Hybrid Twins for Urban Transportation: From Intersections to Citywide Management*) adlı proje, New York'taki diğer bir dijital ikiz uygulaması örneğidir. Projede, New York şehrindeki önemli kavşakların ve diğer konumların dijital ikizlerinin oluşturularak trafik ve tıkanıklık koşullarının simüle edilmesi planlanmaktadır. Trafik akışının optimize edilmesi ile de kavşaklardaki duraklamaların ve emisyon oranlarının azaltılması amaçlanmaktadır (Reid, 2022).

Son olarak Amaravati'de kalkınma, planlama, kentsel hizmetler ve vatandaş katılımında radikal değişikliklerin gerçekleştirilmesinin öngörüldüğü bir dijital ikiz şehir örneği bulunmaktadır (SmartCitiesWorld, 2018). Şehrin inşa edilmesine dijital ikizinin tasarlanmasından başlanarak şehirlerin nasıl tasarlandıkları, inşa edildikleri ve yönetildikleri sorularının cevabının önceden senaryolaştırılması (Weekes, 2019; Jansen, 2019; Baractari, 2019), Amaravati dijital ikiz şehir projesini farklı kılmaktadır. Diğer bir deyişle Amaravati dijital ikiz projesi (Sagar, 2020), kentin fiziksel yapısının dijitalleştirilmesini değil, arzu edilen ve dijital ortamda tasarlanan örnekten hareketle kentin fiziksel formunun oluşturulmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda Amaravati "dijital ikizden yaratılmış şehir" şeklinde ifade edilebilir. İlave olarak proje kapsamında IoT sensörleri aracılığıyla inşaat, trafik ve iklime ilişkin verilerin gerçek zamanlı izlenmesi/simüle edilmesi ve her Amaravati vatandaşı için dijital ikiz kullanıcı kimliği oluşturulması planlanmaktadır (PwC, 2020: 11). Siyasi liderlikteki değişim ve finansman kaybı sonrasında Amaravati'nin gerçek dünyadaki gelişimi duraksamış olsa da (Minsky, 2020; Kosowatz, 2021), Amaravati dijital ikiz projesi kentsel tasarım ve planlamaya yeni bir boyut kazandıracak niteliktedir.

Küresel olarak şehirlerde, altyapı ve işlevlerin iyileştirilerek vatandaşların hayatlarının kolaylaştırılması ve onlara daha iyi bir gelecek sunulması için çalışmalar yürütülmektedir. Dijital ikiz şehirlerin oluşturulmasına yönelik gösterilen çabalar da bunun bir örneğini teşkil etmektedir. Kapsam, yöntem, paydaş ve hedef gibi değişkenler dijital ikiz şehir örnekleri arasında farklılaşmakla birlikte, dijital ikiz teknolojisi altında aynı kimliği paylaşan bu projelerin genel olarak daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirlerin inşası amacına hizmet ettiği söylenebilir.

5. Türkiye'de Dijital İkiz Şehir Modeli: Mevcut Durum ve Yönelimler

Türkiye'de de dijital ikiz şehir modeli oluşturulmasına yönelik girişimlerde bulunmaktadır. 2016-2019 yılları arasında Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğünden alınan bilgiler kullanılarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından "Kentsel Yerleşim ve Gelişme Alanlarında 3 Boyutlu Topoğrafya ve Bina Modeli Oluşturma" projesi kapsamında 81 il merkezi için 3D dijital ikiz tasarlanmıştır. Dönemin Bakanı Murat Kurum tarafından dijital ikizlerin oluşturulmasıyla afetlere ve kaçak yapılaşmaya karşı önlem alınacağı, şehrin silüetini bozma potansiyeli taşıyan inşaat faaliyetlerinin önüne geçileceği ve 3D veri altyapılarının üç yılda bir güncelleneceği belirtilmiştir (ÇŞİDB, 2019). Dijital ikiz şehir projelerinin yürütüldüğü Singapur, Fransa, Finlandiya gibi ülkelerden önce Türkiye'de tüm il merkezlerinin dijital ikizinin oluşturulması ciddi bir atılım şeklinde yorumlanabilir. Dijital ikizlerin tasarlanmasında, ulaşımdan kentsel planlamaya, turizmden enerji verimliliğine, iklim değişikliğinden doğal afetlerle mücadeleye kadar geniş bir çerçeveye sahip olan akıllı şehir modelinin hayata geçirilmek istenmesi önemli bir teşvik unsudur. Bu bağlamda Türkiye'de dijital ikizlerin oluşturulma amacının, dünyanın çeşitli yerlerindeki uygulamalarla benzerlik arz ettiği görülmektedir.

Planlandığı gibi, dijital ikizlerinin oluşturulmasından yaklaşık üç yıl sonra, 2022 yılında, il merkezlerindeki değişimin ve bununla bağlantılı olarak kentleşme planlarının değerlendirilmesi için Bakanlık güncelleme çalışması başlatmıştır. Güncellemelerde kullanılacak verilerin dijital göz ve akıllı sensörlere sahip dronlar aracılığıyla toplanacağı belirtilmiştir. Önceki dijital ikizler ile yenilerinin karşılaştırılması sonucunda ise şehirlerde sadece meydana gelen değişimin boyutlarının tespit edilmesi değil, aynı zamanda ortaya çıkan sorunlara da çözüm üretilmesi hedeflenmektedir. Dolayısıyla çıkacak sonuçlara göre kentsel politikaya yön verilmek istenmektedir. Bakanlık, şehirlerdeki dönüşümün

analizine dayanan güncelleme çalışmasının pilot uygulamasını Karaman’da gerçekleştirmiştir. Kentin yapılı ve doğal çevresi dronlar yardımıyla kayıt altına alınarak süreç içerisinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Dron ile verilerin elde edilmesi ve bunların işlenmesine paralel olarak “nokta bulutu”, “3D bina ve arazi modeli” geliştirilmesi de gündeme alınmıştır. 3D olarak modellenen verilerin ise “kadastro parselleri” ve “Mekansal Adres Kayıt Sistemi”yle bütünleştirilerek kent bilgi sistemlerinde ve kentlerin planlanmasında, ilave olarak da afet risklerinin senaryolaştırılmasında kullanılması öngörülmektedir. Ayrıca değerlendirme sonuçlarının; tarihî ve kültürel varlıkların korunması ve tanıtımı, ulaşımın düzenlenmesi, enerji güvenliği ve tasarrufu, madenlerin kontrolü ve çevresel bozulmanın önlenmesinde ilgili kurum ve kuruluşlara yol gösterici olacağı düşünülmektedir (TRT Haber, 2022). Karaman’dan sonra diğer bir pilot il olan Denizli’de de dijital ikiz güncelleme çalışmalarına başlanmıştır (Habertürk, 2022). İl merkezlerine ek olarak ÇŞİDB, müsilaj ve diğer çevre kirliliklerinin oluşmadan önlenmesi ve ekosistem güvenliğinin sağlanması için Marmara’nın dijital ikizinin oluşturulmasını gündemine almıştır (Anadolu Ajansı, 2022).

Türkiye’de dijital ikiz şehir uygulamalarının uzun aralıklarla güncellenen kopyaların karşılaştırılması üzerine kurulu olması, dijital ikiz konseptiyle çelişmektedir. İletişimin ve bilgi akışının fiziksel nesneden dijital ikize tek yönlü seyri de bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra güncellemelerde kullanılan araçların ve yöntemlerin mevcut bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin gerisinde kalmış olması, gerçek zamanlı değişikliklerin dijital ikize yansıtılmasını engellemektedir.

SONUÇ:

Günümüzde kentlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve vatandaşların hayat standartlarının yükseltilmesi konusunda yoğun emek harcanmaktadır. Kentlerin daha yaşanabilir mekânlar hâline dönüştürülmesinde ise bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, diğer bir deyişle dijitalleşme süreci önemli bir rol oynamaktadır. Fiziksel varlıklar hakkında kapsamlı bilgi toplayan, gerçek zamanlı olarak veri setini güncelleyen, geçmiş ve şimdiki verileri ve tahmin yoluyla gelecek senaryolarını birbirine bağlayarak modelleyen dijital ikiz teknolojisi, mevcut durumun araştırılarak anlaşılmasını ve gelecekteki eğilimlerin öngörülmesini kolaylaştırabilir. Dolayısıyla bu teknolojinin kentsel mekânlara entegre edilmesi şehir yöneti(şi)minin ve işlevlerinin geliştirilmesine, maliyetlerin optimize edilmesine, farklı hizmet modellerinin tasarlanmasına ve vatandaşların yaşam kalitesinin artırılmasına katkı sunabilir.

Dünyanın çeşitli yerlerinden verilen dijital ikiz şehir örneklerinde bu düşünceye paralel olarak ulaşım, kentsel yapılı çevre ve altyapı, kamusal hizmet sunumu, enerji ve inşaat faaliyetleri gibi konulara odaklanıldığı ve daha yaşanabilir mekânlar inşa edilmek istendiği görülmektedir. Sensörler ve gerçek zamanlı geri bildirim yoluyla fiziksel ve sanal dünyalar arasında âdeta iki yönlü bir köprü kuran şehir dijital ikizleri, kent yetkilileri, planlamacı ve tasarımcıları tarafından daha isabetli kararlar alınarak kentlerin sağlıklı ve güvenli bir yapıya kavuşturulması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması, dolayısıyla da kentsel direncin artırılması amacıyla tasarlanmaktadır. Dijital ikiz teknolojisinin; gerçek zamanlı veri toplama, bu verileri işleme, görselleştirme, modelleme ve bunlardan hareketle geleceğe ilişkin senaryo alternatifleri oluşturma gibi yetenekleri çeşitli avantajlar sunmaktadır. Zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması ile kaynakların etkin ve verimli kullanılmasına imkân tanınması bu kapsamda değerlendirilebilir. Nitekim Tayland’da futbol takımının mağaradan kurtarılması ile Rennes’teki metro istasyonunun planlanması ve inşa edilmesinde dijital ikiz teknolojisinin kullanılmasından elde edilen sonuçlar bu teknolojinin iş/işlem süreçlerini kısaltmasına ve maliyetleri azaltmasına örnek olarak verilebilir. Söz konusu kazanımların ve daha fazlasının elde edilmesi ise Helsinki, Espoo ve Rennes örneklerinde de görüldüğü üzere sağlam veri ve teknoloji altyapısının varlığı ile doğrudan bağlantılıdır. New York’taki dijital ikiz şehir projeleri ise doğrudan karbon emisyonunu azaltmayı hedeflemesi açısından hem öteki dijital ikiz şehir projelerinden ayrılmakta hem de karbon emisyonu çerçevesinde yapılacak gelecek çalışmalar için bir örnek oluşturmaktadır. Karbon emisyonu, günümüz toplumlarının

en büyük sorun alanlarından birini teşkil etmekte ve büyük oranda fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda New York'taki projelerin dijital ikiz teknolojisi aracılığıyla trafik optimizasyonu sağlamayı ve enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji üretimi takibini dijitalleştirmeyi amaçlaması yenilikçi çözümler getirmektedir.

Dijital ikiz şehir örnekleri genel itibarıyla fiziksel dünyadaki varlıkların sanal ortamda eşlenerek dijital ikizlerinin oluşturulmasına dayanmaktadır. Oysa Amaravati örneğinde süreç bunun tam tersi bir şekilde işlemekte, yani dijital ortamda oluşturulan modelden hareketle kentin fiziksel yapısı inşa edilmektedir. Bu bağlamda Amaravati'deki uygulama, "geleceği tahmin etmenin en iyi yolu onu inşa etmektir" düşüncesi ile bağdaştırılabilir. Gelecekteki nüfus artışının göz önünde bulundurularak mevcut yerleşim alanlarının yoğunlaştırılmasında dijital ikiz teknolojisinin kullanılması bağlamında Zürih dijital ikizi de belirli bir oranda bu düşünce ile paralellik arz etmektedir. Amaravati örneğinden yola çıkılarak bir şehrin veya herhangi bir bölümünün inşa edilmeden önce dijital ortamda tasarlanması sadece proje süreçlerinin kısaltılmasını ve genel olarak maliyetlerin azaltılmasını sağlamamakta, aynı zamanda düzenli ve sağlıklı bir kentsel gelişmeye de zemin hazırlamaktadır. Dijital ikiz şehir ile temelde şehrin işlevlerinin yerine getirilmesi, sürdürülebilirliğinin geliştirilmesi ve yöneti(şi)minin güçlendirilmesinin hedeflendiği göz önünde bulundurulursa, Amaravati şehrinin kurulmasında izlenen yöntem kentlerin geleceği ve sürdürülebilirliği noktasında umut vadetmektedir.

İncelemeye konu edilen dijital ikiz şehir projeleri (Singapur hariç) Caprari (2022)'nin de tespitini destekler nitelikte kentsel peyzajın önemli bir parçasını oluşturan bitki örtüsünün dijital konfigürasyonundan yoksundur. Bu durum günümüzde yeşil alanların statik görüntülerle temsil edilmesi geleneğinin bir sonucu olabilir. Hâlbuki çevre statik değil, yaşayan, gelişen ve dönüşen canlı bir organizmadır. Dolayısıyla da yeşil çevrenin anlık olarak takip edilmesi ve meydana gelen değişimlerin dinamik bir şekilde dijital ikize yansıtılması gerekmektedir. "Tallinn-Helsinki Dinamik Yeşil Bilgi Modeli" (*Tallinn-Helsinki Dynamic Green Information Model*) projesi bu boşluğu doldurma bağlamında önemli bir adım olarak nitelendirilebilir. Proje ortakları arasında Tallinn ve Helsinki şehirleri, Tallinn Teknoloji Üniversitesi ve Aalto Üniversitesi yer almaktadır. Söz konusu proje ile Tallinn ve Helsinki'deki hedef alanlar için yapılacak 3D modellerden hareketle bir kaynak kütüphanesi oluşturulması ve sonraki süreçte bu kütüphanenin diğer iklim bölgelerindeki şehirlerin ihtiyaçlarını da karşılayacak şekilde genişletilmesi planlanmaktadır (TalTech, 2021).

Bununla birlikte çalışma kapsamında incelenen örnek projeler, dijital ikiz şehir modelinin teorik çerçevesiyle tam olarak örtüşmemektedir. Çünkü dijital ikiz şehir örneklerinde veri akışı sadece fiziksel varlıktan, dijital ikize doğru olarak tek yönlü bir seyir izlemektedir. Oysa dijital ikizin temelinde iki yönlü otomatik bir veri akışı, diğer bir deyişle insan müdahalesi olmadan fiziksel nesneden dijital ikize, dijital ikizden ise fiziksel nesneye bir etkileşim söz konusudur. Bu bağlamda Amaravati dijital ikiz şehir projesi hariç tutulmak kaydıyla mevcut dijital ikiz şehir örneklerinin dijital gölgeye daha yakın bir konumda buldukları söylenebilir. Ayrıca kentsel alanlardaki verilerin büyük olması ve çok sayıda ayrıntı içermesi, çevresel unsurların modelleme çalışmalarının dışında bırakılması, sosyo-ekonomik faaliyetleri görselleştirmeye imkân sağlayacak teknolojik altyapı ve özel sermaye eksikliği dijital ikizin, fiziksel şehri tam anlamıyla temsil etmesini zorlaştırmaktadır. Teori ve pratik arasındaki boşluğun temelinde teknolojik ve ekonomik yetersizliklerin yanı sıra güvenlik endişesi boyutu da yer almaktadır. Verilerin sürekli artması ve veri güvenliğinin sağlanmasının da buna paralel olarak zorlaşması vatandaşların mahremiyeti ve veri güvenliği sorunlarını gündeme getirmektedir. İlave olarak şehirlerin ayrıntılı modellerinin terör faaliyetlerinde kullanımından çekinilmesi de vatandaşların yaşam kalitesinin yükseltilmesini amaçlayan bu projelerin kamuya açılmasını engellemektedir. Sanal Singapur projesinin dünya çapındaki ağa bağlanmaması, diğer bir deyişle çevrimdışı olarak kullanılması yine bu kapsamdaki endişelerin bir sonucudur.

Buna paralel olarak Türkiye'deki dijital ikiz şehir uygulamaları da dijital ikiz şehir modelini tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Güncellemelerde takip edilen yöntem ve kullanılan araçlar bu durumun ortaya çıkmasında etkili olmaktadır. Oysa değinilen diğer dijital ikiz şehir projelerinde fiziksel nesnedeki anlık değişimlerin dijital kopyaya yansıtılabilmesi için 5G altyapısı ile IoT tabanlı sensörlerden yararlanılmaktadır. Bu bağlamda dijital ikiz şehir projelerinde deneyimli yazılım şirketlerinden ve bu projeleri uygulayan şehir yönetimlerinden destek alınması, Türkiye'deki dijital ikiz şehir uygulamalarının ve bunlardan elde edilecek faydaların etkinliğinin artırılmasına katkı sunabilir. Kaldı ki, şehirlerin dijital ikizlerinin inşa edilmesine yönelik dünyanın çeşitli yerlerinden verilen proje ve uygulama örnekleri ile bunlarda kullanılan yöntem ve araçlar, Türkiye'de bu kapsamda yürütülecek çalışmalarda yol gösterici olabilir.

Günümüzde henüz emekleme aşamasında olsa da dijital ikiz şehir örnekleri kentlerin gelişimi ve dönüşümüne ivme kazandıracak niteliktedir. Dijital ikiz şehirlerin teknolojik yeniliklere paralel bir şekilde gelişmesi ve bu fenomene ilginin hızla artması yakın gelecekte teori ile pratik arasındaki farkın giderek kapanacağına işaret etmektedir. Bu bağlamda veri toplama, işleme ve depolama yöntemlerinin geliştirilmesi; insan, doğa ve organizasyon faktörlerinin, diğer bir deyişle şehrin sosyo-ekonomik ve çevresel bileşenlerinin modellenmesine yönelik çalışmalara ağırlık verilmesi; yarısından fazlası devletler tarafından finanse edilen dijital ikiz şehir projelerine özel sermayenin çekilmesine yönelik teşvik politikaları yürütülmesi ve dijital ikiz şehirler için bir araştırma gündemi tasarlanması fiziksel nesne ile dijital ikiz arasındaki entegrasyonun iyileştirilmesine ve tamamen yansıtılmış bir dijital ikiz şehir elde edilmesine katkı sağlayabilir. Son olarak dijital ikiz şehir modelinin teori ve uygulama boyutlarıyla ele alındığı bu çalışma ile Türkçe literatürdeki önemli bir boşluğun doldurulması ve ilgili alandaki gelecek çalışmalara ışık tutulması temenni edilmektedir.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazar, kendi ve / veya diğer üçüncü kişi ve kurumlarla çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Finansal Destek: Finansal destek bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA:

Abdeen, F. N., & Sepasgozar, S. M. E. (2021). City digital twin concepts: A vision for community participation. *Environmental Sciences Proceedings*, 12 (1), 1-5.

ABI Research (2021). *New urban use cases drive over 500 cities to adopt digital twins by 2025*. <https://www.abiresearch.com/press/new-urban-use-cases-drive-over-500-cities-adopt-digital-twins-2025/> (Erişim Tarihi: 18.10.2022).

Airaksinen, E., Bergström, M., Heinonen, H., Kaisla, K., Lahti, K., & Suomisto, J. (2019). *The kalasatama digital twins project: The final report of the KIRA-digi pilot project*. Ministry of the Environment. https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D_Kalasadama_Digital_Twins.pdf (Erişim Tarihi: 08.10.2022).

- Anadolu Ajansı (2022). *Marmara'nın dijital ikizi 2023'te devreye girecek.* <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/marmaranin-dijital-ikizi-2023te-devreye-girecek/2579133#> (Erişim Tarihi: 14.10.2022).
- Anshari, M., & Hamdan, M. (2022). Enhancing e-government with a digital twin for innovation management. *Journal of Science and Technology Policy Management.* <https://doi.org/10.1108/JSTPM-11-2021-0176>
- Ayhan, E. & Önder, M. (2017). Yeni kamu hizmeti yaklaşımı: Yönetişime açılan bir kapı. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 3 (2), 19-48.
- Baractari, V. (2019). *Creating digital twins for smart cities - The race is on.* <https://openlm.com/blog/creating-digital-twins-for-smart-cities-the-race-is-on/> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Batty, M. (2018). Digital twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45 (5), 817-820.
- Białytyt, W. (2017). Digital era governance - A new chapter of public management theory and practice. *MAZOWSZE Studia Regionalne*, (22), 117-129.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4 (4), 2842-2889.
- Blare.Tech (2020). *How does digital twin technology revolutionize smart city planning?.* <https://www.blare.tech/project/how-does-digital-twin-technology-revolutionize-smart-city-planning> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).
- Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. D. J. (2022). Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 14 (6), 1-25.
- Cambridge Dictionary (2022). *Digital age, meaning in the Cambridge English Dictionary.* <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/digital-age> (Erişim Tarihi: 26.09.2022).
- Caprari, G. (2022). Digital twin for urban planning in the green deal era: A state of the art and future perspectives. *Sustainability*, 14 (10), 1-15.
- Chen, H., Jia, B., & Lau, S. S. Y. (2008). Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat International*, 32 (1), 28-40.
- Chen, K., Lu, W., Xue, F., Tang, P., & Li, L. H. (2018). Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge. *Automation in Construction*, 93, 22-34.
- Chen, L., Xie, X., Lu, Q., Parlikad, A. K., Pitt, M., & Yang, J. (2021). Gemini principles-based digital twin maturity model for asset management. *Sustainability*, 13 (15), 1-15.
- Cheshmehzangi, A., & Butters, C. (2016). Sustainable living and urban density: The choices are wide open. *Energy Procedia*, 88, 63-70.
- CitiesToday (2021). *New York City: A digital twin model.* <https://cities-today.com/industry/new-york-city-digital-twin-model/> (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- Cocchia, A. (2014). Smart and digital city: A systematic literature review. In R. P. Dameri and C. Rosenthal-Sabroux (Eds.), *Smart city: How to create public and economic value with high technology in urban space* (pp. 13-43). Springer.

- Craciun, M. (2014). *Material culture and authenticity: Fake branded fashion in Europe*. Bloomsbury.
- Çolak, Ç. (2016). Yeni Sağ'ı oluşturan bileşenlerin birbiri ile çelişen kavramları üzerine bir değerlendirme. *The Journal of Academic Social Science Studies (JASSS)*, 9 (44), 351-361.
- Çolak, Ç. (2019). Why the new public management is obsolete: An analysis in the context of post-new public management trends. *Croatian and Comparative Public Administration*, 19 (4), 517-536.
- Çolak, Ç. (2021). *Yeni kamu yönetişimi: Kamu yönetiminde üçüncü bir paradigma iddiası*. Astana Yayınları.
- ÇŞİDB (2019). *Şehirlerin "dijital ikizi" ile afetlere önlem alınacak*. <https://www.csb.gov.tr/sehirlerin-dijital-ikizi-ile-afetlere-onlem-alinacak-bakanlik-faaliyetleri-29645> (Erişim Tarihi: 14.10.2022).
- Dassault Systèmes (2018). *Meet Virtual Singapore, the city's 3D digital twin*. <https://govinsider.asia/digital-gov/meet-virtual-singapore-citys-3d-digital-twin/> (Erişim Tarihi: 03.10.2022).
- Dassault Systèmes (2022). *Rennes metropole*. <https://www.3ds.com/insights/customer-stories/rennes-metropole> (Erişim Tarihi: 13.10.2022).
- Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z.-J. M. (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6 (2), 125-134.
- Deren, L., Wenbo, Y., & Zhenfeng, S. (2021). Smart city based on digital twins. *Computational Urban Science*, 1 (1), 1-11.
- Dixon, B. (2018). *The technology behind the Thailand cave rescue*. <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/technology-behind-thailand-cave-rescue/> (Erişim Tarihi: 30.09.2022).
- Dunleavy, P., & Margetts, H. (2010). The second wave of digital era governance. *American Political Science Association Conference* (pp. 1-32). Washington DC.
- Dunleavy, P., Evans, M., & McGregor, C. (2015). *Connected government: Towards digital era governance?*. University of Canberra. <https://www.governanceinstitute.edu.au/magma/media/upload/ckeditor/files/IGPA%20Telstra%20Report%20on%20Digital%20Governance%20for%20module%204.pdf> (Erişim Tarihi: 27.09.2022).
- Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., & Tinkler, J. (2005). New public management is dead - Long live digital-era governance. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 16, 467-494.
- Enders, M. R., & Hoßbach, N. (2019). Dimensions of digital twin applications - A literature review. *Twenty-fifth Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2019)* (pp. 1-10). Mexico.
- Eurostep (2017). *Digital twin afternoon in Espoo, Finland*. <https://www.eurostep.com/digital-twin-afternoon-in-espoo-finland-spektri-business-park-on-wednesday-22nd-nov-1300-1630/> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).
- Fan, D., Breslin, D., Callahan, J. L., & Iszatt-White, M. (2022). Advancing literature review methodology through rigour, generativity, scope and transparency. *International Journal of Management Reviews*, 24 (2), 171-180.

- Florida, R., Adler, P., & Mellander, C. (2017). The city as innovation machine. *Regional Studies*, 51 (1), 86-96.
- Fürst, J., Cheng, B., & Hebgen, B. (2021). Realizing the digital twin transition for smart cities. *Open Journal of Internet of Things (OJIOT)*, 7 (1), 32-42.
- Geddie, J., & Aravindan, A. (2018). *Virtual Singapore project could be test bed for planners - and plotters.* <https://www.reuters.com/article/us-singapore-technology-idUSKCN1M70U1> (Erişim Tarihi: 04.10.2022).
- GeoTwin (2021). *Agent-based models as digital twins, the present and the future.* <https://geotwin.io/en/company/newsroom/blog/agentbased-models-as-digital-twins-the-present-and-the-future> (Erişim Tarihi: 05.10.2022).
- Goldsmith, S., & Eggers, W. D. (2004). *Governing by network: The new shape of the public sector.* Brookings Institution Press.
- Grieves, M. (2006). *Product lifecycle management: Driving the next generation of lean thinking.* McGraw-Hill.
- Grieves, M. (2014). *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. Whitepaper.* <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf> (Erişim Tarihi: 06.09.2022).
- Grieves, M. W. (2005). Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises. *International Journal of Product Development*, 2 (1/2), 71-84.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt and A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* (pp. 85-113). Springer.
- Gruening, G. (2001). Origin and theoretical basis of new public management. *International Public Management Journal*, 4, 1-25.
- GSMA (2019). *5G, the Internet of Things (IoT) and wearable devices: What do the new uses of wireless technologies mean for radio frequency exposure?.* <https://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2017/10/GSMA-5G-IOT-Wearable-Devices-ENGLISH-Oct-2019.pdf> (Erişim Tarihi: 15.09.2022).
- Guerrini, F. (2016). *'Virtual Singapore' platform will help the city-state address shortage of space, aging population.* <https://www.forbes.com/sites/federicoguerrini/2016/08/18/virtual-singapore-platform-will-help-the-city-state-address-shortage-of-space-aging-population/?sh=70cf40a151f7> (Erişim Tarihi: 04.10.2022).
- Habertürk (2022). *Denizli'nin gelişimi dron ile havadan takip edilecek Denizli'de Dijital Şehir İkiz Projesi çekimleri başladı.* <https://www.haberturk.com/denizli-haberleri/98243938-denizlinin-gelisimi-dron-ile-havadan-takip-edilecekdenizlide-dijital-sehir-ikiz-projesi> (Erişim Tarihi: 14.10.2022).
- Hämäläinen, M. (2020). Smart city development with digital twin technology. *33rd Bled eConference - Enabling Technology for a Sustainable Society* (pp. 291-303). Maribor.
- Hämäläinen, M. (2021). Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. *IET Smart Cities*, 3 (4), 201-210.

- Helsinki (2022a). *Helsinki's priorities for the council term and coming decade*. <https://www.hel.fi/en/decision-making/en/decision-making/en/decision-making/decision-making/strategy-and-economy/strategy/helsinkis-priorities#data-and-digitalisation-help-run-a-smart-city> (Erişim Tarihi: 06.10.2022).
- Helsinki (2022b). *The city of Helsinki data strategy*. <https://digi.hel.fi/english/helsinki-city-data-strategy/> (Erişim Tarihi: 06.10.2022).
- Heo, J., Jeong, S., Park, H.-K., Jung, J., Han, S., Hong, S., & Sohn, H.-G. (2013). Productive high-complexity 3D city modeling with point clouds collected from terrestrial LiDAR. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 26-38.
- Ivanov, S., Nikolskaya, K., Radchenko, G., Sokolinsky, L., & Zymbler, M. (2020). Digital twin of city: Concept overview. *2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC)* (pp. 178-186). Chelyabinsk.
- Jain, V., Luthra, N., & Saini, D. (2022). Digital twin technology: An evaluation. In G. Chaudhary, M. Khari and M. Elhoseny (Eds.), *Digital twin technology* (pp. 1-21). CRC Press.
- Jansen, M. (2019). *Digital twins for greenfield smart cities*. <https://newcities.org/the-big-picture-digital-twins-for-greenfield-smart-cities/> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Jaw, S. W., Van Son, R., Soon, V. K. H., Schrotter, G., Kiah, R. L. V., Ni, S. T. S., & Yan, J. (2018). The need for a reliable map of utility networks for planning underground spaces. *17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)* (pp. 1-6). Rapperswil.
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52.
- Kar, A. K., Ilavarasan, V., Gupta, M. P., Janssen, M., & Kothari, R. (2019). Moving beyond smart cities: Digital nations for social innovation & sustainability. *Information Systems Frontiers*, 21, 495-501.
- Karçı, Ş. M. (2008). Yeni kamu işletmeciliği yaklaşımının temel değerleri üzerine bir inceleme. *Akdeniz İİBF Journal*, 8 (16), 40-64.
- Kaur, M. J., Mishra, V. P., & Maheshwari, P. (2020). The convergence of digital twin, IoT, and machine learning: Transforming data into action. In M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far and H. Jahankhani (Eds.), *Digital twin technologies and smart cities* (pp. 3-17). Springer.
- Khajavi, S. H., Motlagh, N. H., Jaribion, A., Werner, L. C., & Holmström, J. (2019). Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. *IEEE Access*, 7, 147406-147419.
- Khuntia, M., Singh, D., & Sahoo, S. (2021). Impact of Internet of Things (IoT) on 5G. In D. Mishra, R. Buyya, P. Mohapatra and S. Patnaik (Eds.), *Intelligent and Cloud Computing: Proceedings of ICICC 2019* (pp. 125-136). Springer.
- Klebanov, B., Antropov, T., & Zvereva, O. (2019). Hybrid automaton implementation for intelligent agents' behavior modelling. *International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT 2019): Applications, Trends and Opportunities* (pp. 1-4). Tashkent.
- Klyukin, A. A., Kulachkovsky, V. N., Evseev, V. N., & Klyukina, A. I. (2018). Possibilities of new information technologies in the system of urban planning and construction. *Key Engineering Materials*, 771, 49-55.

- Kosowatz, J. (2021). *Smart cities look for digital twins*. <https://www.asme.org/topics-resources/content/smart-cities-look-for-digital-twins> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (11), 1016-1022.
- Kumar, V. (2020). *Why digital twin is essential in making smart cities?*. <https://industrywired.com/why-digital-twin-is-essential-in-making-smart-cities/> (Erişim Tarihi: 13.10.2022).
- Le Breton, M. A., Girardeau, M., & Bailleul, H. (2021). From open data to smart city governing innovation in the Rennes metropolitan area (France). *International Journal of E-Planning Research*, 10 (4), 17-38.
- Lehtola, V. V., & Stähle, P. (2014). Societal innovation at the interface of the state and civil society. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 27 (2), 152-174.
- Lehtola, V. V., Koeva, M., Elberink, S. O., Raposo, P., Virtanen, J. P., Vahdatikhaki, F., & Borsci, S. (2022). Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102915>
- Leng, J., & Jiang, P. (2019). Dynamic scheduling in RFID-driven discrete manufacturing system by using multi-layer network metrics as heuristic information. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30 (3), 979-994.
- Linde, L., Sjödin, D., Parida, V., & Wincent, J. (2021). Dynamic capabilities for ecosystem orchestration A capability-based framework for smart city innovation initiatives. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 1-12.
- Longo, J. (2011). #OpenData: Digital-era governance thoroughbred or new public management trojan horse?. *Public Policy & Governance Review*, 2 (2), 38-51.
- Luo, W., Hu, T., Zhang, C., & Wei, Y. (2019). Digital twin for CNC machine tool: modeling and using strategy. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10, 1129-1140.
- LuxTurrim5G (2021). *Digital twin boosts smart city planning and service development*. <https://www.luxturrim5g.com/new-blog/2021/10/11/digital-twin-boosts-smart-city-planning-and-service-development> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).
- Margetts, H., & Dunleavy, P. (2013). The second wave of digital-era governance: A quasi-paradigm for government on the web. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371, 1-17.
- Minsky, C. (2020). Digital twins give urban planners virtual edge. <https://www.ft.com/content/15851b06-1b6f-11ea-81f0-0c253907d3e0> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Mistry, I., Tanwar, S., Tyagi, S., & Kumar, N. (2020). Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: a systematic review, solutions, and challenges. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 135, 1-21.
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939-948.
- Nochta, T., Wan, L., Schooling, J. M., & Parlikad, A. K. (2021). A socio-technical perspective on urban analytics: The case of city-scale digital twins. *Journal of Urban Technology*, 28 (1-2), 263-287.

- NRF (2021). *Virtual Singapore*. <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore> (Erişim Tarihi: 03.10.2022).
- Papyshev, G., & Yarime, M. (2021). Exploring city digital twins as policy tools: A task-based approach to generating synthetic data on urban mobility. *Data & Policy*, 3, 1-18.
- Puri, D. (2018). *The vital role of technology in the Thai cave rescue mission*. <https://www.networkworld.com/article/3291787/the-vital-role-of-technology-in-the-thai-cave-rescue-mission.html> (Erişim Tarihi: 30.09.2022).
- PwC (2020). *Digital twins in smart city: A bridge between the physical and virtual world*. <https://www.pwccn.com/zh/research-and-insights/greater-bay-area/digital-twins-in-smart-city.pdf> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Reid, R. L. (2022). *In NYC, digital twin project tackles traffic*. <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2022/09/in-nyc-digital-twin-project-tackles-traffic> (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- Rogerson, S. (2021). *New York pilot demonstrates digital twin technology*. <https://www.iotm2mcouncil.org/iot-library/news/smart-cities-news/new-york-pilot-demonstrates-digital-twin-technology/> (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M., & Suomisto, J. (2018). Smart city platform enabling digital twin. *International Conference on Intelligent Systems (IS)* (pp. 155-161). Funchal.
- Sagar, M. (2020). *The growing trend of city-scale digital twins around the world*. <https://opengovasia.com/the-growing-trend-of-city-scale-digital-twins-around-the-world/> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Samms, G. (2019). *Municipal digital twins can transform city planning*. <https://www.forbes.com/sites/pikerresearch/2019/06/12/municipal-digital-twins-can-transform-city-planning/?sh=1e44dfa441ea> (Erişim Tarihi: 13.10.2022).
- Schrotter, G., & Hürzeler, C. (2020). The digital twin of the city of Zurich for urban planning. *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88 (1), 99-112.
- Segovia, M., & Garcia-Alfaro, J. (2022). Design, modeling and implementation of digital twins. *Sensors*, 22, 1-30.
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2010). *Draft modeling, simulation, information technology & processing roadmap: Technology area 11*. National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf (Erişim Tarihi: 16.09.2022).
- Shahat, E., Hyun, C. T., & Yeom, C. (2021). City digital twin potentials: A review and research agenda. *Sustainability*, 13 (6), 2-20.
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 1-15.
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4 (2), 1-19.

- Smart City Brussels (2022). *An 11th smart lunch dedicated to digital twins!*. <https://smartcity.brussels/news-911-an-11th-smart-lunch-dedicated-to-digital-twins> (Erişim Tarihi: 13.10.2022).
- SmartCitiesWorld (2018). *Digital twin created for new Indian smart city*. <https://www.smartcitiesworld.net/news/news/digital-twin-created-for-new-indian-smart-city-3674> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339.
- Soon, K. H., & Khoo, V. H. S. (2017). CityGML modelling for Singapore 3d national mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, 37-42.
- Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide-Rotterdam as participant in the 100 resilient cities programme. *Cities*, 61, 109-116.
- Spinverse (2021). *Press release: LuxTurrim5G solutions ready for global smart city markets*. <https://news.spinverse.com/press-release-luxturrim5g-solutions-ready-for-global-smart-city-markets> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).
- Tallman, E. (2021). *Interview. Digital twin platform SmartWorldOS transforms New York's Historic Brooklyn Navy Yard*. <https://emag.archiexpo.com/interview-digital-twin-platform-smartworldos-transforms-new-yorks-historic-brooklyn-navy-yard/> (Erişim Tarihi: 11.10.2022).
- TalTech (2021). *Finest centre for smart cities*. <https://taltech.ee/en/finest-centre-for-smart-cities#p53656> (Erişim Tarihi: 17.10.2022).
- Tao, F., & Qi, Q. (2017). New IT driven service-oriented smart manufacturing: Framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49 (1), 81-91.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019a). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15 (4), 2405-2415.
- Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. Y. C. (2019b). *Digital twin driven smart manufacturing*. Elsevier.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14, 207-222.
- TRT Haber (2022). *81 ilin dijital şehir ikizleri güncellenecek*. <https://www.trthaber.com/haber/gundem/81-ilin-dijital-sehir-ikizleri-guncellenecek-679652.html> (Erişim Tarihi: 13.10.2022).
- Tuncer, A., & Usta, S. (2013). İki kriz arasında yönetim: Yeni kamu işletmeciliği. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (30), 181-195.
- United Nation (2018). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN*. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (Erişim Tarihi: 22.09.2022).
- VentureBeat (2022). *How Singapore created the first country-scale digital twin*. <https://venturebeat.com/business/how-singapore-created-the-first-country-scale-digital-twin/> (Erişim Tarihi: 05.10.2022).

- Wach, E., & Ward, R. (2013). *Learning about qualitative document analysis*. <https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/2989/PP%20InBrief%2013%20QDA%20FINAL2.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (Erişim Tarihi: 06.12.2022).
- Wan, L., Nocht, T., & Schooling, J. M. (2019). Developing a city-level digital twin - Propositions and a case study. *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC): Driving Data-Informed Decision-Making* (pp. 187-193). Cambridge.
- Weekes, S. (2019). *The rise of digital twins in smart cities*. <https://www.smartcitiesworld.net/special-reports/the-rise-of-digital-twins-in-smart-cities> (Erişim Tarihi: 12.10.2022).
- WEF (2022). *Digital twin cities: Framework and global practices*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Digital_Twin_Cities_Framework_and_Practice_2022.pdf (Erişim Tarihi: 10.09.2022).
- West, D. M. (2007). *Digital government: Technology and public sector performance*. Princeton University Press.
- White, G., Zink, A., Codeca, L., & Clarke, S. (2021). A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*, 110, 1-11.
- Yan, J., Jaw, S. W., Soon, K. H., Wieser, A., & Schrotter, G. (2019). Towards an underground utilities 3D data model for land administration. *Remote Sensing*, 11 (17), 1-21.
- Yan, J., Van Son, R., & Soon, K. H. (2021). From underground utility survey to land administration: An underground utility 3D data model. *Land Use Policy*, 102, 1-11.
- Yavuz, N. (2015). Dijital çağ yönetimi: Kamu yönetiminde ihtiyaç temelli bütünleşme çabası. İçinde Ö. Köseoğlu ve M. Z. Sobacı (Eds.), *Kamu yönetiminde paradigma arayışları: Yeni kamu işletmeciliği ve ötesi* (ss. 273-293). Dora.
- Yıkıcı, A., & Salman, T. (2022). Kadın dostu kent bağlamında kadın ve kent ilişkisi: Trabzon örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (3), 1677-1708.
- Zhang, M., Sui, F., Liu, A., Tao, F., & Nee, A. Y. C. (2020). Digital twin driven smart product design framework. In F. Tao, A. Liu, T. Hu and A. Y. C. Nee (Eds.), *Digital twin driven smart design* (pp. 3-32). Elsevier.
- Zoeteman, B., Mulder, R., Smeets, R., & Wentink, C. (2016). *Toward sustainable EU cities: A quantitative benchmark study of 114 European and 31 Dutch cities*. Tilburg University. https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/13611754/16142_85537_UvT_EU_Study_3_gecorrigeerd_def_RM_1_.pdf (Erişim Tarihi: 06.10.2022).
- Zoeteman, B., Paenen, S., Mulder, R., & Wentink, C. (2017). *Benchmarking sustainability performance of Espoo with selected EU cities: A 2017 benchmark study of 15 selected high scoring cities in Northern Europe, prepared for the city of Espoo, Finland*. <https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/19971591/> (Erişim Tarihi: 06.10.2022).

EXTENDED SUMMARY

Research Problem:

The aim of this study is to reveal the theoretical framework of digital twin city technology and to examine the digital twin city application examples in various cities of the world and in Turkey.

Research Questions:

Which administrative model in the terminology of public administration and urbanization forms the theoretical background of the digital twin model? How did the digital twin emerge and what factors influenced its application to cities? In which cities of the world are the applications related to the digital twin city model carried out and what are the similarities and differences of these applications with each other? What studies are carried out within the scope of digital twin city in Turkey and what is their qualification level? In this context, what are the opportunities and threats that Turkey will face in the future?

Literature Review:

The need to ensure the interaction between the physical and virtual worlds of production and the developments in data collection and processing technologies have paved the way for the emergence of digital twin technology (Leng & Jiang, 2019; Zhang et al., 2020: 3). Grieves (2014: 1) in the emergence of the concept of digital twin; NASA has played an important role in the spread of the concept and technology of digital twins (Shafto et al., 2010: 7). The digital twin is essentially about; sensor and measurement technologies, IoT, simulation, modeling and machine learning. In this context, the main function and the most important feature of the digital twin application is to ensure continuous synchronization between the production system and the evolution of this system (Segovia & Garcia-Alfaro, 2022: 5). The fact that the digital twin allows the virtual entity to control the physical object without the need for human intervention makes it different from the digital shadow (Kritzing et al., 2018: 1017; Enders & Hoßbach, 2019: 6). The advantages of digital twins pave the way for both academic and industrial interest in this technology and the expansion of the use of this technology. The emerging trend towards the use of digital twins has expanded the field of application of this phenomenon from the modeling of physical objects to the modeling of socio-technical systems, in other words, cities. The idea that it will make the city smart and increase the sustainability of these areas (Wan et al., 2019: 187; Hämäläinen, 2020: 296-297) is an important incentive in the use of digital twin technology in this area.

The phenomenon of “digital twin city”, which emerges by blending innovations in technology, is promising in the context of more effective and efficient urban planning (Caprari, 2022: 1). Digital twin technology enables city managers to act rationally on issues related to the production, presentation and use of urban areas of urban goods and services. Digital twin cities; It aims to improve the efficiency of urban planning, building construction, disaster response, energy consumption, communication, logistics and transportation, and the sustainability of cities as a whole (Deng et al., 2021: 127). In addition, digital twin city technology has the potential to contribute to the ecological sustainability of cities (Shahat et al., 2021: 2). Digital twin city applications, which are seen by many countries and governments as solutions to global warming, population growth and resource depletion, are being carried out in a growing number of cities around the world (Singapore, Helsinki, Espoo, Zurich, Rennes, New York, Amaravati). Digital twin cities are an area where various projects are developed and academic studies are carried out in the international arena. On the other hand, there is no research in the Turkish literature in which digital twin cities are examined as research objects.

Methodology:

This study has a qualitative research design. Qualitative research is based on a rigorous and systematic analysis of a particular topic. In this context, literature review and document analysis method, which are qualitative research methods, were used in the study. The literature review method is extremely effective in revealing how the subject is approached in the literature, what are the controversial points and deficiencies, the results obtained from the studies and the issues that need to be investigated (Snyder, 2019: 335; Fan et al., 2022: 174).

This method, which is based on the examination of qualitative and quantitative studies published on the relevant topic, also provides researchers with a reliable information base (Wach & Ward, 2013: 1). Literature review method was used to obtain the relevant sources. In this context, Web of Science, ScienceDirect, Taylor and Francis, Wiley Online Library, JSTOR, GoogleScholar, TR Index and ASOS Index databases were searched with the keywords “digitalization”, “digital era governance”, “digital twin”, “digital twin city” and “city digital twin” without any date range. In the evaluation of the printed/electronic materials reached and in the examination of the application examples in the context of similarities and differences with each other, the document analysis method was used.

Results and Conclusions:

Digital twin technology; Its capabilities such as collecting data in real time, modeling this data and creating future scenario alternatives based on them offer several advantages. As a matter of fact, the rescue of the football team from the cave in Thailand and the shortening of work/transaction processes and the reduction of costs by using digital twin technology in the planning and construction of the metro station in Rennes can be given as examples of these advantages. The achievement of these achievements and more is directly linked to the existence of a robust data and technology infrastructure, as seen in the examples of Helsinki, Espoo and Rennes. The digital twin city projects in New York are distinguished from other digital twin city projects in terms of aiming to reduce carbon emissions directly and offer innovative solutions in the context of reducing carbon emissions.

Examples of digital twin cities are generally based on the creation of digital twins by mapping assets in the physical world in a virtual environment. However, in the case of Amaravati, the physical structure of the city is being built based on the model created in the digital environment. In this context, the practice in Amaravati can be reconciled with the idea that “The best way to predict the future is to create it.” In the context of the use of digital twin technology in the intensification of existing settlement areas in view of future population growth, the Zurich digital twin is in line with this idea to a certain extent. The digital twin city projects (with the exception of Singapore) under review lack a digital configuration of vegetation, which forms an important part of the urban landscape, supporting the detection of Caprari (2022). This may be a result of the tradition of representing green spaces with static images today. The “Tallinn-Helsinki Dynamic Green Information Model” project can be described as an important step in the context of filling this gap (TalTech, 2021).

However, the sample projects examined within the scope of the study do not fully coincide with the theoretical framework of the digital twin city model. Because in digital twin city examples, the data flow follows a one-way course from the physical entity to the digital twin. However, the basis of the digital twin is a two-way interaction. In this context, with the exception of the Amaravati digital twin city project, it can be said that the existing digital twin city examples are located closer to the digital shadow. At the root of the gap between theory and practice is technological and economic inadequacies, as well as the dimension of security concerns. In parallel, digital twin city applications in Turkey do not fully reflect the digital twin city model. The method followed in the updates and the tools used are effective in the emergence of this situation. In this context, receiving support from software companies experienced in digital twin city projects and city administrations implementing these projects can contribute to increasing the effectiveness of digital twin city applications in Turkey and the benefits to be obtained from them.

Although it is still in its infancy today, digital twin city examples are capable of accelerating the development and transformation of cities. The development of digital twin cities in parallel with technological innovations and the rapid increase in interest in this phenomenon indicate that the gap between theory and practice will gradually close in the near future. Finally, with this study, where the digital twin city model is discussed with its theory and application dimensions, it is hoped to fill an important gap in the Turkish literature and to shed light on future studies in the relevant field.