

SANAL ŞEHİRLER: FİZİKSEL DÜNYANIN DİJİTAL AYNALARI

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKTAR¹, Bestami KARA², Dursun Yıldırım BAYAR³, Ömer Faruk ERİŞ⁴

¹Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Bayraktar, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 06530, Çankaya, Ankara, huseyin.bayraktar@csb.gov.tr

²Bestami Kara, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 06530, Çankaya, Ankara, bestami.kara@csb.gov.tr

³Dursun Yıldırım Bayar, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 06530, Çankaya, Ankara, dyildirim.bayar@csb.gov.tr

⁴Ömer Faruk Eriş, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, 06530, Çankaya, Ankara, omerfaruk.eriş@csb.gov.tr

ÖZET

Dijital ikizler, multi-disipliner, çok ölçekli ve çok yönlü bilgileri entegre etmek için fiziksel modellerden, sensörlerden, geçmiş veri setlerinden tam olarak yararlanılan bir simülasyon sürecidir. Bu kavramın tanımı gelişen dünyamızda henüz tam şekillenmeye de fiziksel ve sanal modellerin, verinin, iletişimin ve bunları bağlayan servislerin dijital ikizlerin temel yapı taşları olduğu aşikârdır. İlk olarak üretim sürecinde gördüğümüz bu uygulama, daha sonradan büyük verinin de gelişmesi ile beraber yapay zekâ, uzay bilimi, otomasyon ve hatta eğlence gibi çeşitli sektörlerde ortaya çıkmıştır. Bugünün akıllı şehir üretiminde, dijital ikizlerin önemli bir rolü bulunduğu düşünülmektedir. Ülkemizde de bu kavram, 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda sanal ikizler kavramı olarak kullanılmış olup ulaşımdan binalara kadar birçok alanda ve ölçekte kullanılması hedeflenmiştir. Bu sayede, şehirlerimizin akıllı olgusuna transformasyonu veri ve yapay zekâ destekli olarak sağlanması amaçlanmıştır. Bu bildiride, dijital ikizler ve dijital ikiz şehirler kavramları tanımlanacak, bu kavramların akıllı şehirlerle ilişkisi tartışılacak ve dijital ikizlerin akıllı şehir üretiminde kullanılabilecek beş ana uygulamasına değinilecektir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı şehirler, dijital ikizler, sanal dünya

VIRTUAL CITIES: DIGITAL MIRRORS OF THE PHYSICAL WORLD

ABSTRACT

Digital twins is a simulation process that takes full advantage of physical models, sensors, historical datasets to integrate multi-disciplinary, multi-scale and multi-faceted information. Although the definition of this concept is not yet fully formed in our developing world, it is obvious that physical and virtual models, data, communication and the services that connect them are the basic building blocks of digital twins. This application, which we first saw in the production process, later emerged in various sectors such as artificial intelligence, space science, automation and even entertainment with the development of big data. Digital twins are thought to play an important role in today's smart city production. In our country, this concept has been used as the concept of virtual twins in the 2020-2023 National Smart Cities Strategy and Action Plan, and it is aimed to be used in many areas and scales from transportation to buildings. In this way, it is aimed to provide the transformation of our cities to the smart phenomenon with the support of data and artificial intelligence. In this paper, the concepts of digital twins and digital twin cities will be defined, their relationship with smart cities will be discussed, and five main applications of digital twins that can be used in smart city production will be mentioned.

Keywords: Smart cities, digital twins, virtual world

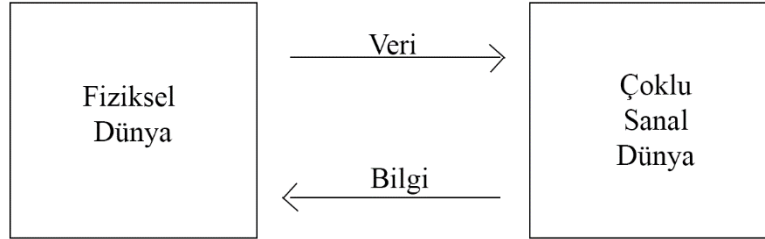
1. GİRİŞ

Mevcut kentsel veri setlerinin bolluğuna ve şehir altyapısının karar verme ve yönetiminde gelişmiş yeteneklere ulaşma potansiyeline rağmen, şehir verilerinden bilgi keşfine yönelik mevcut veriye dayalı yaklaşımlar genellikle kompleks veri kullanımı kapasitesinden yoksundur (Tao vd. 2020). Gevşek bir şekilde tanımlanmış veri yorumlama bileşenleri veya belirli veri kümelerinin disiplinlerden izole edilmiş yorumları, gerekli alan uzmanlığını gözden kaçırmayı kolaylaştırır ve maalesef spekülatif karar vermeyle sonuçlanır. Sanal şehirler ya da dijital ikizler, heterojen şehir verilerinden gerçek zamanlı bilgi keşif sürecine daha bütüncül analitik ve görselleştirme yaklaşımını entegre ederek bu engeli aşmak için tasarlanmıştır (Mohammadi vd. 2017). Bu süreç sadece kentsel verilerde değil karmaşıklaşmış üretim verilerinde de kullanılmaktadır. Akıllı şehri dijital ikizler kapsamında diğer uygulama alanlarından ayıran temel etken belki de hem sosyal hem de sensör verilerinin beraber kullanımı için uzay-zamansal bilgi keşif çerçevesi sunmasıdır. Bu, dijital ikiz tabanlı karar verme için heterojen şehir verilerinden yararlanmaya yönelik ilk adımdır. Ülkemizde de bu heterojen ve kompleks veri setlerinden yararlanmak için 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda sanal şehirlerin akıllı şehir transformasyonunda kullanımı değerlendirilmiş ve bu konuda özellikle akıllı ulaşım bileşeni kapsamında yeni hedefler gün yüzüne çıkmıştır (Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, 2019). Dijital ikiz şehirlerin inşası, kentsel akıllı planlama, yönetim ve hizmetlerde büyük yenilikleri tetikleyecek ve akıllı şehirlerin inşası için

“yeni bir başlangıç noktası” olacaktır (Li vd. 2017). Bu bağlamda, akıllı şehir uygulamalarında dijital ikizler beş farklı şekilde kullanılabileceği öngörülür.

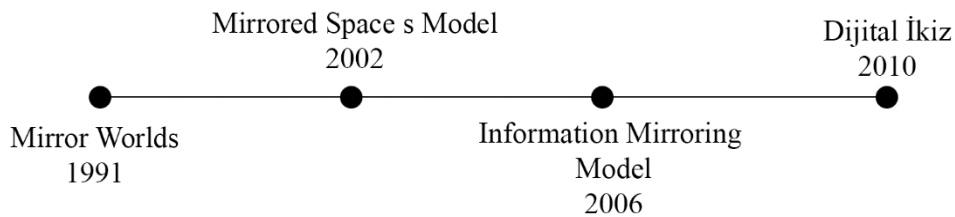
2. TARİHSEL PERSPEKTİF

Dijital ikizler teknolojisi son birkaç yılda büyük bir popülerlik kazanmış olsa da, konsept tamamen yeni değil. Bu teknolojinin ilk ortaya çıkması, David Gelernter'in hesaba dayalı teknolojinin gelecekte dünya üzerindeki etkisini araştırdığı 1991 tarihli “Mirror Worlds” adlı kitabına kadar uzanmaktadır. Bununla birlikte, bu kavram ayrıca 2002 yılında Michigan Üniversitesi'nde Michael Grieves tarafından Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) ile ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Önerilen bu modelin üç bileşeni vardır: gerçek alan, sanal alan ve ikisi arasındaki veri/bilgi akışı için bağlantı mekanizması (Grieves, 2016). Grieves'in bu modeli daha sonra Mirrored Spaces Model olarak da adlandırılmıştır (Grieves, 2005). 2003 yılına geldiğimizde Kary Främpling PLM için kağıt yoluyla üretim bilgilerin transferinin verimsizliğine bir çözüm olarak "her ürün ögesinin karşılık gelen bir "sanal karşılığı" veya onunla ilişkili aracıya sahip olduğu aracı tabanlı bir mimari" önermiştir (Framling vd. 2003). Fakat o dönemlerde yetersiz bilgi işlem gücü, cihazların internet kapasitesinin yeterli olmaması, veri depolama ve yönetimi sıkıntısı ve az gelişmiş makine algoritmaları vb. gibi teknolojilerin sınırlamaları nedeniyle, dijital ikizlerin pratik uygulamaları bulunmamaktadır.



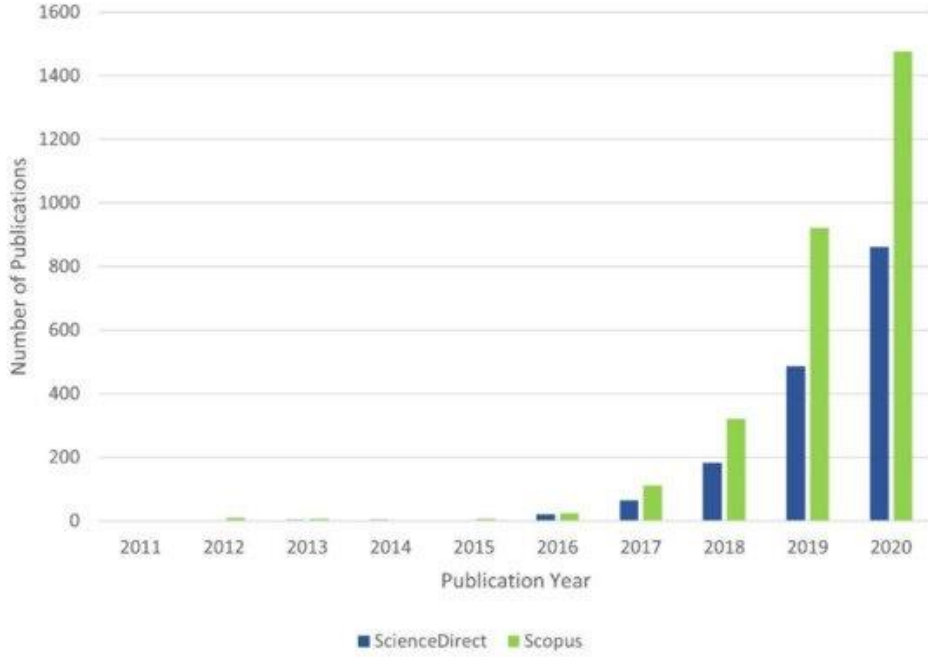
Şekil-1: Grieves'in Information Mirroring Modeli

Bu aşamaya kadar oluşturulan konseptler dijital ikizin temelini oluştursa da kavrama net isim ilk defa NASA'nın 2010'daki teknolojik yol haritasının taslak versiyonunda ortaya çıktı (Shafto vd 2010). NASA yol haritalarında Dijital ikizlere aynı zamanda "Virtual Digital Fleet Leader" de denmekteydi. NASA, DT tanımını oluşturan ilk kurum olarak bu kavramın tanımını şöyle ifade etmektedir; “Uçan ikizinin ömrünü yansıtmak için mevcut en iyi fiziksel modelleri, sensör güncellemelerini, filo geçmişini vb. Gibi veri kaynaklarını kullanan bir araç veya sisteme entegre çok ölçekli ve olasılıklı simülasyon.” Kısa süre sonra ABD Hava Kuvvetleri, NASA'yı takip ederek uçaklarının tasarımı, bakımı ve istatistiksel tahminleri için bu teknolojiyi kullandı (Tuegel vd. 2011). Fikir, yapıdaki herhangi bir yorgunluğu veya çatlağı tahmin etmek amacıyla uçağın fiziksel ve mekanik özelliklerini simüle etmek için bu teknolojiyi kullanmak ve böylece uçağın kalan ömrünü uzatmak ve maksimum verimi sağlamaktı. Yine de söz konusu makalelerde Dijital ikizler yalnızca uçaklar için tanımlandı ve uçağı yaşam döngüsü boyunca yönetmek için bir hesaplama modeli olan 'Airframe Digital Twin' veya ADT olarak adlandırdı. Bu noktaya kadar Dijital ikiz kavramının zaman içerisinde evrimi Şekil-2'de de görülebilir.



Şekil-2 : Dijital İkiz kavramının gelişimi

Dijital ikizlerin ilk tanıtılmasından bu yana, giderek daha fazla araştırmacı bu konuya odaklanmaya başlamıştır ve bu durum popülaritenin artmasına sebep olmuştur. Şekil 3, 2011'den 2020'ye kadar Scopus'ta ve aynı zamanda ScienceDirect'te bulunan ve makale başlığında, özetinde veya anahtar kelimelerde 'Dijital İkiz' terimini içeren yayınların sayısının katlanarak büyümesini göstermektedir. Şekil 3'te de açıkça görülebileceği gibi 2016 ve sonrası yayınların sayısındaki artış bu popülaritenin niceliksel izdüşümü olarak söylenebilir.



Şekil-3: 2011-2020 yılları arasındaki dijital ikiz içeren yayın sayısı

Kısaca özetlemek gerekirse, dijital ikizler teknolojisi uzun süredir gündemde olan fakat teknolojik yetersizlikten ötürü faaliyete geçmeyen son zamanlarda trend olmuş teknolojidir. Özellikle havacılık ve savunma alanında geleceğin teknolojisi görülmesi sebebiyle stratejik bir yatırım olarak atfedildiğinden dolayı gelecek on yılın belirleyici teknolojilerinden biri olmaya adaydır. Bu durum halihazırda dijital ikiz teknolojisinin pazar payından da açıkça anlaşılmaktadır. 2020 yılında küresel dijital ikizler teknolojisi pazarı 12,7 milyar ABD doları olmaktadır (D'mello 2020).

Söz konusu pazar katlanarak büyürken, her sektör ve işletme bu teknolojiye yatırım yapmak istemektedir. Ancak herhangi bir sektör için fayda-etki analizi yapmak da önemlidir. Maksimum kazanç ve verim sağlayabilecek doğru dijital ikiz teknolojisi türünün seçmek için bu teknolojinin farklı özelliklerini ve türlerini anlamak da faydalıdır. Günümüzde artık neredeyse her alanda kullanılan bu teknoloji, şehirlerimizin için de olmazsa olmaz bir kavram olarak nitelenmektedir (DT 2018). Şüphesiz ki, mikro ölçekte BIM teknolojilerinden operasyon merkezlerine kadar çeşitli alanlarda hayatımızı kolaylaştıracaktır. Ülkemizde bu alanda çalışmalar yürütülmekte olup strateji ve politika bağlamında 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda sanal ikizler ve sanal şehirler adı ile bu teknolojinin önemi gün yüzüne çıkarılmıştır. Bu bildiride sanal şehirlere dayalı uygulamalar incelenecektir.

İncelemeye geçmeden önce dijital ikiz ve sanal şehir terimleri arasındaki anlam karmaşasından bahsetmek ve bu durumu açığa çıkarmak faydalı olacaktır. Dijital ikiz kavramı daha çok endüstriyel alanda ün kazandığı için bu terim kullanıldığında farklı anlamlar ortaya çıkmaktadır. Bu sebepten dolayı sanal şehirler kavramı tercih edilmektedir. Fakat bu durum her sanal şehrin dijital ikiz olduğu anlamına gelmemektedir. Eğer ki fiziksel dünyanın yansıması dijital ortamda gerçekleşmişse ve ikisi arasında veri ve bilgi akışı yoluyla iletişim kurulmuş ise bu sanal şehir dijital ikiz olarak geçmektedir. Günümüzde

üretile metaverse ortamları fiziksel dünya ile tamamen ilintisiz olduğu için dijital ikiz konseptine uymamakta olup yine de sanal şehir olarak atfedilebilir. Bu bildiride ve aynı zamanda 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda bahsi geçen sanal şehirler, fiziksel dünya ile veri-bilgi akışı yoluyla ilintili ve bu sayede teknolojiden maksimum verim sağlayan hayatı kolaylaştıran sürdürülebilir akıllı şehirlerdir. Dijital ikiz kavramı ile sanal şehir kavramının ortak kümesi esasında akıllı şehirlerin yapı taşlarından birini oluşturmaktadır.

2. SANAL ŞEHİRLERE DAYALI AKILLI ŞEHİR UYGULAMALARI

Dünya hızla kentleşmekte ve dünya nüfusunun büyük çoğunluğunun gelecekte şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, şehirlerin büyük bir nüfus akını için etkin bir şekilde hazırlanması gerekir. Ancak, dünyadaki çoğu kentsel alanın gelişigüzel büyümesi göz önüne alındığında, sanal şehirler, veri analitiği yardımıyla kentsel gelişmeleri kolaylaştırmaya yardımcı olabilir. Şehirlerin dijital ikizlerini yaratarak, gerçek dünyada politikaları, tasarım ilkeleri ve inşaat yöntemleri sanal olarak test edilebilir ve yürürlüğe koyulabilir. Dijital ikizlerin benimsenmesi, şehirlerin vatandaşlarının yaşam kalitesini artırmak için nasıl tasarlandığını, işletildiğini, sürdürüldüğünü kökten değiştirebilir.

Dijital ikizlere dayalı olarak, büyük veri merkezi, IT operasyon merkezi, kentsel izleme ve değerlendirme merkezi gibi çeşitli sektörleri barındıran **Akıllı Şehir Operasyon Merkezi** kurulabilir. Söz konusu operasyon merkezinin amaçları şu şekilde sıralanabilir: Kentin üst düzey tasarımına katılmak ve değerlendirmek, Çeşitli endüstriyel sektörlerin genel çerçevelerini ve işleyişini planlamak ve gözden geçirmek, Konu ile ilgili politikaları ve standartları düzenlemek ve formüle etmek, Kentsel verinin paylaşımına destek olmak, Sosyal merkezli büyük veri kullanan çalışmalara destek olmak (Deren, 2021).

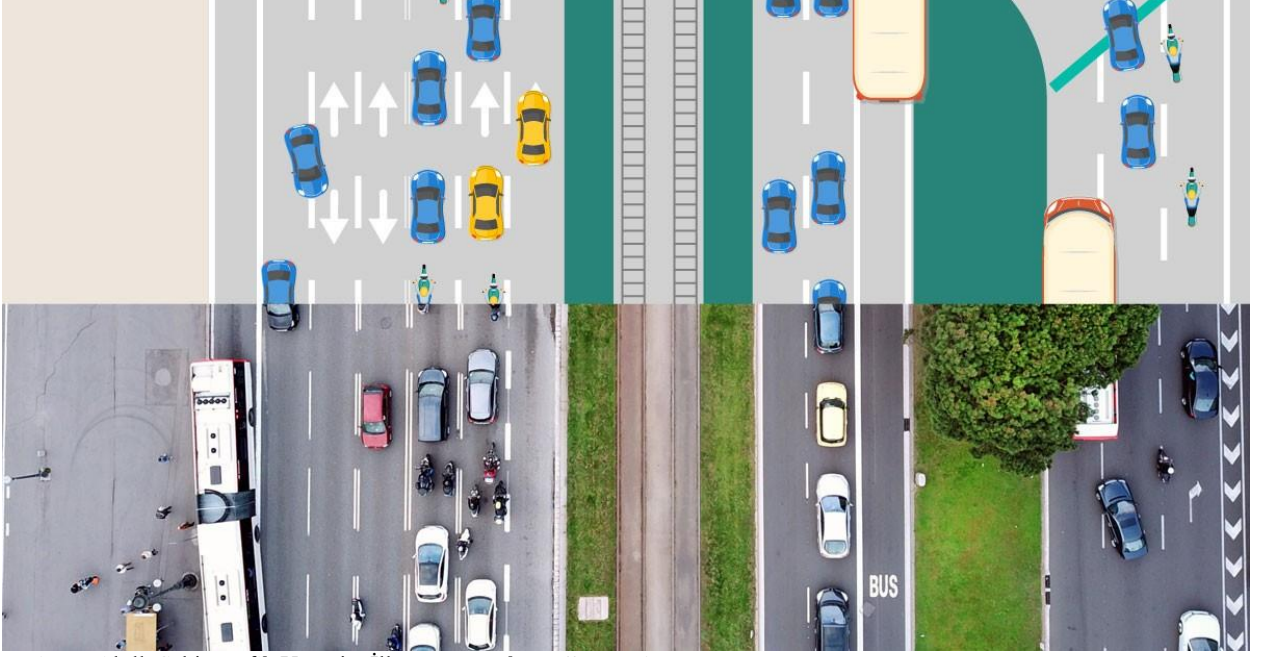


Resim-1: Akıllı Şehir Yönetim Merkezi, <https://www.ifezsmartcity.kr>

İkinci uygulama yöntemi olarak, geçmiş ve gerçek zamanlı verileri içeren enerji şebekesinin dijital modeli olarak **Akıllı Şebeke Dijital İkizi** kurulabilir (Deren, 2021). Elektrik, bilgisayar ve diğer iletişim cihazlarını içerebilen bu şebeke sayesinde farklı ölçeklerde simülasyon süreçleri yürütülebilir. Özellikle akıllı şehirlerde enerji talebinin artması bu sistemlerin önemini her geçen gün arttırmaktadır.

Akıllı Şehirler Trafik Yönetim Merkezi ise bu konuda yapılabilecek yöntemlerden biridir. 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında hazırlanan Kent İçi Hareketlilik Analizi projesi

ülkemiz adına bu yöntemin ilk adımı sayılabilir. Çeşitli zaman-mekan analizleri ve sensörler aracılığıyla gelen hem geçmiş hem de gerçek zamanlı veri sayesinde artan nüfusun ulaşım ihtiyacı sorunsuz bir şekilde halledilebilir (Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, 2019).



Resim-2: Akıllı Şehir Trafik Yönetim İllüstrasyonu, <https://www.aimsun.com>

Son zamanlarda artan küresel salgınlar sebebi ile akıllı şehir dijital ikizler alanında önem kazanan bir diğer yöntem ise **Akıllı Şehirler Kamusal Salgın Servisleridir**. Ülkemizde halihazırda uygulanan hasta bilgi sisteminin uzay-zamansal katmanına aktarımı sayesinde salgının ortaya çıkışını belirlemek ve yakın temasta bulunan kişileri belirlemek için yakınlık analizi, yapay zeka analizi ve diğer teknolojiler ile salgın problemlerine doğrudan ve dinamik bir şekilde müdahale edilebilir (Li vd. [2017](#)).

Ülkemizin coğrafi yapısı itibarıyla önem arz eden bir diğer dijital ikiz yöntemi de **Taşkın İzleme ve Durum Merkezidir**. Halihazırda üretilen şehirlerin 3 boyut modelleri hava ve coğrafi verileri ile entegre edilerek potansiyeli taşkın durumunu önceden tahmin edebilir ve problem doğrudan müdahalede yardımcı olabilir. Küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki endişe verici artışla birlikte bu teknoloji, gelecekteki çevrenin ve bunun şehirler üzerindeki etkisinin haritalandırılmasına yardımcı olabilir. Deniz seviyelerinin yükselmesi ve tektonik levhaların hareketi gibi veriler, fiziksel şehrin gelişimine yön vermek için kullanılabilir. Riski değerlendirerek şehirler sel, deprem ve tsunami gibi doğal afetleri azaltmak için daha iyi hazırlanabilir.



Resim-3: Akıllı Şehir Çevresel Etki Değerlendirme İllüstrasyonu

Düşük kaliteli inşaatlar ve plansız kentleşme nedeniyle, binalar stabilitesini kaybedip yıkılma tehlikesi ile karşı karşıya kalabilmektedirler. Fiziksel inşaat sürecine başlamadan önce dijital bir ikiz oluşturmak, inşaat malzemelerinin ve uygulamalarının uygunluğunu belirlemeye yardımcı olabilir. Bu durum, kentsel toplumların gelişmesine yardımcı olan güvenli ve sağlıklı mahallelerin yaratılmasına yardımcı olacaktır. Bu durum günümüzde bina tasarım sürecinde çeşitli statik programlar aracılığıyla temel anlamda kullanılsa da kompleks veri setlerinin olduğu statik stabilite testleri dijital ikiz yoluyla geliştirilerek gerçekleştirilebilir. Örnek vermek gerekirse belediye yetkilileri, eski binaların yapısal sağlamlığını denetlemek için verileri kullanabilir, böylece herhangi bir fiziksel hasarı önlemek için mahalleyi zamanında boşaltabilir.



Resim-4: Akıllı Şehir BIM Entegrasi İllüstrasyonu, <https://www.autodesk.com>

3. SONUÇ

Akıllı şehir ile dijital ikizlerin doğrudan bağlantısı bulunmaktadır. Heterojen gerçek dünya verilerinin sanal bir ortamda bir araya getirilmesi ve analize uygun şekilde hazırlanması bu hususta önem arz etmektedir. Büyük verinin sınıflandırılarak ayrı uzman görüşlerine tabii tutulması yanlış ya da eksik çıktılara sebep olabilir. Bu yüzden, akıllı şehir dijital ikiz kavramının Akıllı Şehirler Strateji ve Eylem Planı'nda atfedilmesi ülkemiz için önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı, 2019. <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>

Digital Twin: Market Estimates & Trend Analysis To 2025; Grand View Research: San Francisco, CA, USA, 2018; p. 80.

Deren, L., Wenbo, Y. & Zhenfeng, S. Smart city based on digital twins. *Comput.Urban Sci.* **1**, 4 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43762-021-00005-y>

D'mello, A. Spend on Digital Twins to Reach \$12.7bn by 2021, as Solutions Offer IoT Investment RoI. 2020. Available online: (accessed on 12 October 2020).

Främling, K.; Holmström, J.; Ala-Risku, T.; Kärkkäinen, M. Product agents for handling information about physical objects. *Rep. Lab. Inf. Process. Sci. Ser. B TKO-B* 2003, 153.

Grieves, M. Origins of the Digital Twin Concept. 2016. Available online: (accessed on 25 September 2020).

Grieves, M.W. Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises. *Int. J. Prod. Dev.* 2005, 2, 71–84.

Li, D., Shao, Z., Yu, W., Zhu, X., & Zhou, S. (2020). Public epidemic prevention and control services based on big data of space-time location make cities smarter. *Journal of Wuhan University Information Science Edition*, 45(4), 475–487, 556. <https://doi.org/10.13203/j.hugis20200145>.

Li, R., Zhao, Z., Zhou, X., vd. (2017). Intelligent 5G: when cellular networks meet artificial intelligence. *IEEE Wireless Communications*, PP(5), 2–10.

N. Mohammadi and J. E. Taylor, “Smart city digital twins,” in *The 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence* (IEEE SSCI 2017), (Honolulu, Hawaii, USA), IEEE, 2017.

Shafte, M.; Conroy, M.; Doyle, R.; Glaessgen, E.; Kemp, C.; LeMoigne, J.; Wang, L. Draft modeling, simulation, information technology & processing roadmap. Technol. Area 2010, 11