

Yerel Sürdürülebilirlikte Dijital İkiz Teknolojisi ve Doğal Afetleri Önlemede Etkisi: Japonya Örneği

(Digital Twin Technology in Local Sustainability and Its Impact on Natural Disaster Prevention: The Case of Japan)

Mehmet ÖLMEZ^a 

^a Öğr. Gör. Dr., İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, mehmet.olmez@inonu.edu.tr

Öz

Başta savunma sanayii olmak üzere birçok alanda kullanılan dijital ikiz teknolojisi, son yıllarda afet yönetiminde de kullanılmaktadır. Yerel yönetimler tarafından dijital ikiz teknolojinin verileri afet öncesi gerçekçi bir şekilde uygulandığı zaman, kaynak planlamasından kaçak yapı denetimine kadar birçok boyutta kent analizlerini inceleyebilecektir. Dijital ikiz ile yapılan bu hazırlık çalışmaları afet sırasında ve sonrasında yerel yönetimlerin olaylara karşı hızlı müdahale etmesini ve verimli sonuçlar almasını sağlayacaktır. Bu çalışma, literatür taramasıyla, yapılan çalışmalardan bir derleme çalışması olarak yapılmıştır. Çalışmada, Japonya'daki yerel yönetimlerin dijital ikiz teknolojisini kullanarak afet yönetiminde nasıl bir rol oynadığı incelenmiştir. Çalışmada, Japonya'nın örnek olarak seçilmesinin nedeni, ülkenin afet yönetimi alanında dünya çapında en gelişmiş dijital ikiz sistemlerinden birine sahip olmasıdır. Çalışmada; akademik literatür, resmi belgeleri, yerel yönetimlerin afet politikalarına ilişkin raporlar ve teknoloji kullanımına dair ikincil veriler analiz edilmiş ve yerel yönetimlerin teknolojiyi nasıl benimsediğini anlamayı amaçlamıştır. Dijital ikiz teknolojinin, afetleri önlemede dayanıklı ve akıllı bir kentin kurulmasında etkisini belirlemek amacı doğrultusunda Japonya'daki dijital ikiz uygulama örnekleri incelenmiştir. Doğal afetlerin olumsuz etkilerini en aza indirebilme konusunda dijital ikiz teknolojinin faydalarının ve uygulamalarının deprem ile yaşayan ve bu afet durumunu başarı ile yöneten Japonya örneği temelinde araştırılması, çalışmanın özgün bir yapıda olmasını sağlamıştır. Bu çalışma sonucunda Japonya'nın depremlere karşı dijital ikiz teknolojisini başarılı bir şekilde uyguladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:

Yerel Yönetim, Yerel Sürdürülebilirlik, Doğal Afet, Dijital İkiz

Makale türü:

Derleme

Abstract

Digital twin technology, which is used in many fields, especially in the defense industry, has also been used in disaster management in recent years. When the data of digital twin technology are applied realistically by local governments before disasters, they will be able to examine urban analysis in many dimensions from resource planning to illegal building control. These preparatory studies with the digital twin will enable local governments to intervene quickly and get efficient results during and after disasters. This study was conducted as a compilation of the studies conducted through a literature review. In the study, it is examined how local governments in Japan play a role in disaster management by using digital twin technology. The reason for choosing Japan as an example is that the country has one of the most advanced digital twin systems in the field of disaster management worldwide. The study analyzed academic literature, official documents, reports on disaster policies of local governments and secondary data on the use of technology and aimed to understand how local governments adopt technology. In order to determine the impact of digital twin technology on the establishment of a resilient and smart city in preventing disasters, examples of digital twin applications in Japan were examined. Investigating the benefits and applications of digital twin technology in minimizing the negative effects of natural disasters on the basis of the example of Japan, which has lived with earthquakes and successfully managed this disaster situation, has provided the study with a unique structure. As a result of this study, it has been observed that Japan has successfully applied digital twin technology against earthquakes.

Keywords:

Local Government, Local Sustainability, Natural Disaster, Digital Twin

Paper type:

Review

Başvuru/Received: 24.02.2025 | Kabul/Accepted: 24.03.2025, iThenticate benzerlik oranı/similarity report: %8

Giriş

Yerel yönetimler, yöre halkın ortak ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik oluşturulan ve ülkelere göre farklılıklar gösteren yönetim birimleridir. Özellikle 20'nci yüzyılın ikinci yarısından itibaren yönetim ve kamu yönetimi alanlarında görülen teori ve yaklaşım çeşitliliği, yerel yönetimler üzerinde de etkisini göstermiştir. Girdisi ve çıktısıyla daha başarılı bir yönetim süreci geliştirmeyi amaçlayan bu teori ve yaklaşımlara uyum sağlayabilen yerel yönetimler gelişim gösterebilmiş ve bu konuda dünyaya örnek olmuşlardır. Yerel yönetimlerin başarısını etkileyen önemli olaylardan biri de afet yönetiminde göstermiş oldukları başarıdır. EM-DAT (2022) verilerine göre dünya genelinde 370 afet olayının yarısından fazlası Asya Kıtasında (137) meydana gelmiştir. Bu afetlerin dünya genelindeki sıralaması sel, fırtına ve deprem iken AFAD (2021) verilerine göre Türkiye'de bu sıralama heyelan, sel, çığ ve deprem şeklinde olmuştur. Aynı verilerde bu afetlerden en çok ekonomik hasara ve can kaybına neden olan afetin deprem olduğu da belirtilmiştir.

21'inci yüzyıla birlikte, teori ve yaklaşım yönünde yaşanan gelişmelerin yanında teknolojik gelişmelerin de ön plana çıktığı, hatta en etkileyici faktör durumuna geldiği bir dönem başlamıştır. Bu dönem, yerel yönetimlerin sadece teorideki ve yaklaşımdaki yenilikleri takip etmelerinin yeterli kalmayacağı, teknolojideki gelişmeleri de takip ederek kendisini bu gelişmelere uyarlamak durumunda kaldıkları bir dönem olarak literatürdeki yerini şimdiden almıştır. Teknolojiyle yaratılan dijital devrim, hayatın birçok noktasına dokunur hâle gelmiştir. Günlük yaşamın her anında ve mekânında karşımıza çıkan dijital uygulamalar içerisinde ortaya çıkarılan yeni bir kavram da dijital ikiz kavramıdır. Henüz tanınma ve benimsenme aşamasında olan dijital ikiz kavramı, geleceğin şehirlerinin en yaygın uygulamalarından olmaya aday kavramlardan birisidir. Bazı gelişmiş şehirlerde yeni yeni kullanılmaya başlayan dijital ikiz uygulamalarının, akıllı evler, akıllı biletler, akıllı telefonlar gibi birçok teknolojik araç ve uygulama gibi kent yaşamını kolaylaştırıcı etkiye sahip olma potansiyeli bulunmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, gerçek ile sanal arasında kentlerin geçmişi, bugünü ve geleceği hakkında bir köprü görevi kurulmasına imkân vermektedir (Shahat vd., 2021: 3-8). Yerel yönetimlerin de teknolojideki gelişmeleri takip ettiği bu dönemde, dünya genelinde afetlere yönelik bir çözüm önerisi kapsamında dijital ikiz teknolojisi önem kazanmaya başlamıştır.

Bu doğrultuda derleme niteliği taşıyan bu çalışmada öncelikle konu ile ilgili kavramsal ve kuramsal çerçeve ortaya konmaktadır. Bu bağlamda Japonya'daki dijital ikiz uygulamalarının özellikle afet yönetimine etkisinin belirlenmesini ve bu olayların afetler üzerindeki etkisinin incelenmesini amaçlamıştır. Çünkü doğal afetlere karşı dijital ikiz teknolojisini en kapsamlı şekilde uygulayan ülkelerden biri olan Japonya'nın hükümet politikaları ve yerel yönetimlerin teknolojik adaptasyonu bu süreci desteklemektedir. Japonya, afet riski yüksek bir ülke olduğu için afetlere karşı dijital teknolojilerin kullanımına yönelik uzun yıllardır sistematik politikalar geliştirmektedir. Bu çerçevede yerel yönetimler 3D modelleme, simülasyonlar ve büyük veri analizleriyle dijital ikiz uygulamalarını afet yönetim süreçlerine entegre etmektedir. Çalışmanın sonucunda ise teorik bilgiler ve sonuçları birlikte dikkate

alınarak genel bir değerlendirme yapılmaktadır. Ayrıca doğal afetlerin olumsuz etkilerini en aza indirebilme konusunda dijital ikiz teknolojisinin faydalarının ve uygulamalarının deprem ile yaşayan ve bu afet durumunu başarı ile yöneten Japonya örneği temelinde araştırılması, çalışmanın özgün bir yapıda olmasını sağlamıştır.

1. Kavramsal Çerçeve ve Literatür İncelemesi

Çalışmaya genel bir çerçeve üzerinden bakılacak olursa, yerel yönetim, sürdürülebilirlik, yerel sürdürülebilirlik, dijital ikiz ve afet yönetimi gibi öne çıkan bazı kavramlar bulunmaktadır. Bu kavramlar ve dijital ikiz ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar hakkında kısa bilgiler vermek, çalışmanın daha iyi anlaşılması konusunda yardımcı olacaktır.

1.1. Yerel Yönetim ve Sürdürülebilirlik

Yerel yönetimlerin günümüz anlamında kurumsallaşması ve kendini kabul ettirmesi birkaç yüzyıllık bir sürecin eseridir. Ticari kaygıları gidermek üzere oluşturulan kent yapılarıyla eşzamanlı ortaya çıkan yerel örgütlenmeler, yerel toplulukta belli amaçlara ulaşmak ve belli toplumsal ihtiyaçları gidermek üzere kurulmuşlardır (Keleş, 2012: 29). Bu nedenle yerel yönetimler halka hizmet sunma konusunda kritik bir rol üstlenmişlerdir. Üstlendikleri bu rol yerel yönetimlerin, yönetimleri ile performansları arasında ekonomik, durumsal ve kaynak temelli olma konuları bakımından çerçeveler oluşturulmasına neden olmuştur. Bu kapsamda yerel yönetim kavramı, kamu hizmetlerinin yerine getirilmesi amacıyla devlet tüzel kişiliği dışında oluşturulan, daha az yetkiye ve kamu tüzel kişiliğine sahip yerel otorite olarak tanımlanabilmektedir. Daha öz bir tanımla yerel yönetimler, gelir elde etmede ve hizmet sunumunda geniş yetkilere sahip bağımsız yerel birimler olarak bilinmektedirler (Walker & Andrews, 2015: 2-11).

Bilinen ve geliştirilen yapısıyla yerel yönetimlerin ortaya çıkışının kentlerin doğuşu ile aynı dönemde olduğu görülmektedir. Her ne kadar kent kültüründen önce var olan *komün* geleneği içerisinde “belli bir mekândaki topluluğun birlikte yaşamaktan kaynaklanan sorunlarının çözümü” felsefesi bulunsa da yerel yönetim anlayışının günümüzdeki anlamına yakın şekil alması Batı Avrupa’da kent kavramının ortaya çıkmasıyla olmuştur (Ertan, 2004: 22-23). Bununla birlikte yerelleşmenin şekillendiği kentlerin özgürleşmesinde komünlerin etkili olduğu tarihsel olarak da kabul edilmektedir. 16 ve 17’nci yüzyıllarda devlet örgütlenmesinin kent örgütlenmesine ideolojik üstünlük sağladığı görülmekte olup bu dönem içerisinde yerelleşme kavramına çoğunlukla teorik katkılar yapılmıştır. 18’inci yüzyılla beraber gelen reformlar 19’uncu yüzyılda devam etmiş ve yerel yönetimlerin yerel hizmet kuruluşları olarak algılanmasını sağlamıştır. Kaynaklarının arttığı ve merkezi hizmetten daha fazla hizmet sunabildiği 20’nci yüzyılda yerel yönetimler en parlak dönemini yaşamış ve bir sonraki yüzyıla daha güçlü bir şekilde girmişlerdir. 21’inci yüzyıl ise yerel yönetimlerin, uluslararası örgütlerin destekleri ve küreselleşme anlayışı içerisinde en güçlü hizmet sunum organı olarak anıldığı bir dönem olmaktadır (Çiçek, 2014: 55). Bu dönem içerisinde yerel yönetimlerin hizmet

sunumunda kullandığı en önemli araçlar arasında yer alan teknolojik araçlar, yerel yönetimlere yardımcı olduğu kadar omuzlarındaki sorumlulukların artmasına da neden olmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı tek başına kullanılabilse de asıl anlamına kalkınma ile kullanıldığında kavuşmaktadır. Bu nedendir ki sürdürülebilirlik denildiğinde asıl anlatılmak istenen kavram sürdürülebilir kalkınmadır. Sürdürülebilirlik kavramı başta ekonomi alanında olmak üzere multidisipliner bir kavram olarak birçok alanda kullanılan bir kavram haline gelmiştir. 20'nci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkan sürdürülebilir kalkınma, gelişmekte olan ve gelişmiş toplumlarda kabul edilen, yaşamın tüm alanına uygulanabilen ve ekonomi ile çevrenin uyumlaştırılabilmesi temeline dayanan bir gelişim anlayışıdır. "Yeşil ekonomi" yaklaşımının ilk tohumlarının atıldığı ve sınırlı kaynaklarla sınırsız büyümenin mümkün olmadığını vurgulayan, 1972 yılında yayınlanan Büyümenin Sınırları (The Limits of Growth) isimli rapor, çevreyle uyumlu kalkınma anlayışının da ilk adımı olarak kabul edilmektedir. 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından kabul edilen ve Brundtland Raporu olarak da bilinen "Ortak Geleceğimiz" isimli rapor, sürdürülebilir kalkınma kavramının ilk olarak kullanıldığı belge durumundadır. Bu rapor, şimdiki kuşakların ihtiyaçlarının giderilmesi adına gelecek kuşakların ihtiyaçlarının giderilmesinin tehlikeye atılmaması gerektiğini vurgulayarak sürdürülebilir kalkınmanın "bugünü yaşarken yarını göz ardı etmeme" ilkesine dayandığını belirtmektedir (Yalçın & Yalçın, 2013: 34-35).

Sürdürülebilirlik kavramı her ne kadar dünyanın geleceğini düşünerek ortaya atılmış bir kavram olsa da dünyanın sürdürülebilir kalkınma hedefleri, yerel düzeyde sürdürülebilirliği sağlamaya bağlıdır. Bu anlamda yerel sürdürülebilirlik, yöresel öğelerin katılımıyla sağlanan ve yerel toplulukların sosyal, ekonomik, fiziki ve kültürel alanlarda gerçekleştirilen kalkınmanın sürdürülebilirlik ilkeleriyle örtüşürülmesidir (Yalçın & Yalçın, 2013: 34). Yerel sürdürülebilirlik kavramının temelini oluşturan Avrupa Sürdürülebilir Kent ve Kasabalar Konferansı, 1994 yılında Danimarka'nın Aalborg kentinde gerçekleştirilmiş olup burada alınan kararlar sonucunda Sürdürülebilirliğe Doğru Avrupa Kentler ve Kasabalar Şartı (Aalborg Şartı) kabul edilmiştir. Bu şart, sürdürülebilirliğin, yerel karar alma sürecinin tüm alanlarının yer aldığı, denge temelli yerel ve yaratıcı bir süreç olduğundan bahisle doğaya uygun yaşam koşullarıyla çevrelenmiş, sosyal adaleti, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama konusunda kentlerin ve kasabaların önemli görevler üstlendiğini vurgulamıştır (Karakuzulu, 2010: 400).

1.2. Doğal Afet

AFAD'ın hazırladığı kavramsal sözlükte; afet terimi, genel anlamda "belli bir alanda yaşayan toplumun tamamının veya belli bir kısmının yaralanmasına veya hayatını kaybetmesine neden olan olay" şeklinde belirtilmiştir. Aynı tanım içerisinde " Bu toplumun ekonomik ve sosyal kayıplara yol açan, normal hayatı ve insani faaliyetlerinin kesintiye uğraması" olarak ifade edilmiştir. Ayrıca afet, insanların yaşam standartlarını tamamen durduran ve toplumun mevcut imkânları ile

üstesinden kalkamadığı, maddi ve manevi kapasitesinin yetersiz kaldığı suni yâda yapay olay” olarak tanımlanmaktadır (AFAD, 2014). Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan tanımda 'afet' kavramı, AFAD'ın tanımına benzer olarak “insanların veya toplumların fiziksel yaralanmalara, can ve mal kaybına yol açan doğal ya da insan kaynaklı olan olay” şeklinde belirtilmiştir (Kadıoğlu, 2011: 78-85).

Dünya genelinde elliden fazla çeşidinin bulunduğu bilinen afetler içerisinde yer alan doğal afetlerin, jeolojik kökenli doğal afetler ve meteorolojik kökenli doğal afetler şeklindeki sınıflandırması yaygın olarak kullanılmaktadır (Işık vd., 2012). Centre of Research on the Epidemiology of Disasters (CRED - Afetlerin Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi) ise doğal afetleri, biyolojik, jeofiziksel, hidrolojik, meteorolojik, klimatolojik ve dünya dışı doğal afetler şeklinde sınıflandırmaktadır (Bartholdson & Yon Schreeb, 2018: 103). Son yirmi yılda, dünya çapında 7000'den fazla afet olayı yaşanmış olup bu afetlerden yaklaşık 1,5 milyon insan hayatını kaybetmiş ve 4 milyardan fazla insan bu olaylardan etkilenmiştir (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2020).

1.3. Dijital İkiz

Özel sektör başta olmak üzere, hayatın birçok alanında hızla yayılan yapay zekâ uygulamaları, birçok farklı konuda adından söz ettirmektedir. Bu konulardan birisi de “dijital ikiz” uygulamalarıdır.

Dijital İkiz kavramı ilk olarak 2002 yılında Dr. Michael Grieves tarafından ortaya çıkmış (Grieves, 2014:1) ve 2010 yılında Shafto vd. tarafından geliştirilmiştir. Dijital ikiz kavramı bilimsel olarak ise ilk kez 2010 yılında NASA tarafından yapılan çalışmalarda kullanılmıştır (Glaessgen & Stargel, 2012:2-3). NASA, ulaşılması güç olan uzay ile ilgili bilgi ve araştırmaların yapılması konusunda dijital ikizi kullanmaktadır (Shafto vd., 2010:9-11).

Michigan Üniversitesi'nden Dr. Grieves'in “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM)” sunumunda ise üç temel unsurun birleşimi ile dijital ikiz kavramının ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu unsurlar, ilk olarak dijital anlamda ikizi oluşturulacak bir makine, fabrika, mekân ve ortamın belirlenmesi; ikinci unsur olarak, verilerin dijital ortama girilmesi ve son olarak da dijital modellemeye hazır hale getirilen verilerin dijital ortamda ikizinin oluşturulmasıdır (Grieves, 2014:1-3). Sanal ortamda bir sistem veya sürecin kopyasının oluşturulması temeline dayanan dijital ikiz kavramı en güncel tanımıyla, fiziksel bir sistem veya sürecin veri kaynaklı olarak hesaplandığı, rasyonel tahminler doğrultusunda hedeflenen verimlilik oranlarına ulaşmak üzere tasarlanmış yapay zekâ temelli bir modeldir (Yiğit, 2023:5). Ayrıca dijital ikiz kavramı, gerçek hayattaki nesnenin dijital ortamdaki ikizi, şeklinde de tanımlanabilmektedir (Campbell, 2015:7-8). Fiziksel bir nesnenin sanal ortama yansıtılması şeklinde özetlenebilecek olan dijital ikiz, simülasyon, modelleme ve değerlendirme gibi araçların kullanılmasına elverişli ortamlar sunmaktadır (Yıkıcı, 2022: 139). Dijital ikiz kavramının başta sanayi kuruluşlarında olmak üzere birçok alanda kullanım hızı artmakta ve kurumların gelişim düzeylerini üst seviyelere çıkarmaktadır.

Sonuç olarak dijital ikiz, fiziksel bir nesnenin veya sürecin geçmiş bilgilerine dayanarak gerçek zamanlı ve gerçek dünyadaki veri ölçümlerine göre hazırlanmış bir dijital profildir (Zhuang vd., 2018:1149-1150). Ancak dijital ikiz simülasyon ve kopyalama ile eş anlamlı olmamakla birlikte bunların daha ileri seviyeleri olarak bilinmektedir (Boschert & Rosen, 2016: 59-62). Dijital ikizi, bir similasyondan ve kopyadan ayıran temel unsur, nesnenin veya sürecin kendi özelinde karar verebilme özelliğinin olması ve kendi kendini yönetebilmesidir. Bundan dolayı dijital ikiz teknolojisi, her alan veya her aracın birer dijital model oluşturulması ile sorun olabilecek durumların önceden saptanması ve bu sorunların erken uyarı sistemi ile önlem alınması ana fikrinden doğmuştur (Christy, 2017:4). Dijital ikiz aslında gerçek dünya ile teknoloji dünyası arasında çift yönlü bir köprü görevi görmekte ve dijital dönüşümün hayal evresi olarak tanımlanabilmektedir.

Yakın zaman içerisinde başta özel sektör olmak üzere kamu ve STK'larda Endüstri 4.0 olarak bilinen dördüncü sanayi devriminin çatısı altında dönüşümler gerçekleştirilmektedir. Endüstri 4.0 kapsamında işletme ve kurumlar hızlı bir şekilde kendilerini yenilemek adına elde ettikleri bilgi ve verileri kaliteli bir üretim sürecine dönüştürmektedir. Bu verilerin önceden tasarlanıp doğru bilgiye dönüşmesi açısından dijital ikiz kavramı önemli bir teknolojik aşama olarak görülmektedir (Apillioğulları, 2019: 20-27). Wang vd. (2020:8) Dijital ikiz uygulamalarının gelişim süreçlerini beş aşamada incelemişlerdir. Bu uygulamaların birinci aşaması tasarım ve optimizasyon (D ve O), ikinci aşaması üretim ve kurulum (M ve I), üçüncü aşaması kullanım ve bakım (U ve M), dördüncü aşaması acil durum yönetimi (EM) ve beşinci aşaması geri dönüşüm ve sökme (R ve D) şeklinde belirlenmiştir (Wang vd., 2020:8). Bu aşamalardan en önemli kısım ise acil durum yönetimi kapsamında kullanılmasıdır.

1.4. Literatür İncelemesi

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde dijital ikiz teknolojilerinin kullanımına ilişkin araştırmaların büyük çoğunluğunun üretim, endüstri, mühendislik, mimarlık ve sağlık gibi alanlarda olduğu tespit edilmiştir. Doküman analizi kapsamında Google akademik, dergipark ve EBSCO web sitelerinde "dijital ikiz" başlığı ile ilgili yapılan literatür taramasında bu kavramın daha çok robotik çalışmalar, insansız hava araçları, savunma sanayi, simülasyon, Endüstri 4.0 ve 5.0, 3D, sağlık ve üretim gibi kavramlar ile birlikte kullanıldığı görülmektedir. Yerel yönetimler alanındaki makaleler incelendiğinde ise daha çok akıllı kent kavramı ön plana çıkmaktadır. Afetlere yönelik etkisi konusunda yeterli düzeyde çalışma olmamakla beraber kavramın daha çok afet yönetimi, planlama, önleme ve koruma gibi kavramlar ile birlikte kullanıldığı anlaşılmıştır.

Sosyal bilimler alanında yapılan çalışmalar sınırlı sayıda kalmış ve doğal afet ile ilişki çalışmalarının yetersiz olduğu görülmüştür. Yerel yönetimlerin dijital ikiz teknolojisi kullanımı ve bu teknolojinin doğal afetleri önlemede etkisi ile ilgili benzer çalışmalara bakıldığında; Lu vd. (2024), acil durumlara tepki olarak sosyal ağlardaki toplulukların dinamik doğasını ve evrimini araştırmak için 2011 Japonya depreminden önce ve sonra Twitter'dan veri toplayan bir deprem uyarı sistemi

oluşturmuştur. Araştırmacılar, yangın, sel ve tayfun durumlarında sosyal sensör verilerini kullanan yöntemler önermişlerdir. Çubukçu vd., (2024: 16-20) akıllı şehirlerin afet yönetimi kapsamında dijital teknolojinin kullanımını konulu çalışmada afet öncesi problem ve riskleri düşünerek yapılacak dijital ikiz teknolojisi hazırlığı ile afet anında ve sonrasında hızlı bir müdahale sağlanacağını belirtmiştir. Ayrıca çalışmada dijital ikiz ile ilgili iki yönlü etkileşimin gelişim sürecinde olduğunu ve afet yönetiminde kullanımının artacağı düşünülmektedir. Ariyachandra ve Wedawatta (2023: 16-17) tarafından dijital ikiz kapsamında akıllı şehirlerin incelenmesi ve afet risk yönetiminde ilgili kavramların belirlenmesi konulu çalışmada 312 başlık ve özet çalışmalar ile 72 makale analiz edilmiştir. Bu çalışmada dijital ikizlerin afet dayanaklığını sağlayabilmesi için bilgi türlerini hesaba katan güçlü bir bilgi altyapısı geliştirmenin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada sosyal algılama unsurunun afetlerde giderek daha fazla kullanılıyor olmasına rağmen çoğu zaman yetersiz kaldığı da belirtilmiştir. Esen (2023: 17) tarafından yapılan “Dirençli Şehirler Oluşturma ve Afet Zararlarını Azaltmada Kamu Yönetiminin Yeri” konulu çalışmada çözüm önerileri oluşturulmuştur. Bu çalışmada afet zararlarını azaltmada kentsel dönüşümün çok önemli olduğu ve akıllı kent uygulamalarının oluşturulmasında dijital ikiz uygulamasının kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Yu ve He (2022:21-28), “Dijital İkiz Odaklı Altyapı Çalışmalarında Felaketleri Önleme ve Hafifletme” konulu çalışmada altyapı, inşaat ve afet yönetim aşamalarındaki verilerin eksikliği nedeni ile dijital ikiz uygulamasının istenilen düzeyde verimli olmadığını ve aşamalar arasında iş birliği seviyesinin zayıf olduğunu belirtmiştir. Bulut ve Aslan (2022: 11-18) tarafından yapılan “Doğal Afetlere Karşı Dirençli Kentler Oluşturmaya İlişkin Yenilikçi Yaklaşımlar: Akıllı Kent Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme” konulu çalışmada doğal afetlerin çok fazla yaşandığı günümüzde kentlerin dirençlilik düzeylerini artırmak ve doğal afetlere yönelik tedbirler alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu tedbirlere yönelik dijital ikiz teknolojisi ile aşırı hava koşulları ve iklim değişikliğinin neden olduğu risklerin ortaya çıkarıldığı ve analiz edildiği bir yöntemin hazırlanması gerektiği belirtilmiştir.

Dijital ikiz teknolojisi ve afet yönetimi ile ilgili özellikle mühendislik alanında çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri Abigail vd. (2020) tarafından “Akıllı Şehir Dijital İkiz Destekli Enerji Yönetimi: Gerçek Zamanlı Kentsel Bina Enerji Kıyaslaması” konulu çalışmadır. Yapılan çalışmada yerel yönetimler tarafından dijital ikiz destekli binaların kullanılması ile kentlerin üzerinde bulunana aşırı enerji tüketimlerin otokontrollerin yapılmasının mümkün olduklarını belirtmişlerdir. Zhu vd. (2020:1152-1154) tarafından, afetleri sınıflandırmak amacı ile çok sistemli bir sınıflandırma ve kodlama ile örnek bir çalışma üzerinde öneriler geliştirilmiştir. Ford ve Wolf (2020) ise dijital ikiz sistemleri ile akıllı şehirlerde afet yönetimi çalışması kapsamında akıllı kentlerin dijital ikizlerden faydalanılması üzere çeşitli altyapı sistemlerinde algılama ve simülasyonun toplum yönetimine entegre edilmesini konusunda bir sistem altyapısını kurmuşlardır. Bu sisteminin afet yönetimine entegrasyonu ve kentlerin yorgunluk riskini azaltılmaya yönelik önerilerde bulunmuşlardır. Park vd. (2018:1-3) tarafından yapılan çalışmada ise yerel yönetimlere, afet yönetimleri kapsamında binalarda yangın felaketi sırasında

vatandaşların olayı görmesi açısından AR (Augmented Reality – Artırılmış Gerçeklik) tabanlı bir görsel ve simülasyon çalışması önerilmiştir.

2. Yerel Yönetimlerde Sürdürülebilirlik

Yerel yönetimler, yasalar ile kurulan ve ülkelere göre farklılıklar gösteren yöre halkın ortak ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik oluşturulan ve devlet denilen büyük örgütsel yapının yönetim birimleridir (Oktay, 2020: 172-175). Kamu hizmetlerinin bir kısmı merkezi yönetim ile sunulurken kalan kısım ise 1982 Anayasasının 127. Maddesinde yer aldığı üzere yerel yönetimler tarafından yürütülmektedir. Merkezi yönetim ülke geneline hizmet sunumunda yer alırken yerel yönetimler daha çok yöreye özgü hizmetler sunmaktadır (Sezer ve Vural, 2010:204). Yerel yönetimler olarak tasvir edilen kentler, sadece toplumsal yaşam alanı olarak görülmekten çok yapılarıyla, nüfuslarıyla ve ekonomileriyle birer kalkınma aracı olarak işlev görmektedirler. Bu kalkınma rolünün yanında son yarım asırdır, kalkınmanın sürdürülebilir bir yapıda devam etmesi önem kazanmaktadır.

Yerel kalkınma, 1970'lerde petrol fiyatlarının artışına bağlı olarak küresel çapta yaşanan ekonomik krize bir yanıt olarak geliştirilirken sürdürülebilir yerel kalkınma, sürdürülebilirlik sürecinin önemli olduğu dönemde yerel kalkınmanın ileri bir boyutu olarak ortaya çıkmıştır (Garcia vd., 2019: 2). Bu noktada belirsizliğin arttığı küreselleşen ve sürekli değişen dünyada sürdürülebilir yerel kalkınma çalışmaları, sınırlı kaynaklardan yola çıkarak dünyanın geri kalanıyla rekabet etmek durumunda olan en savunmasız bölgelerin hayatta kalması ve dayanması için geliştirilmiş bir mekanizma durumuna getirilmiştir. Buradaki bölgesel dayanıklılık, bölgelerin kapasiteleri ve kaynaklarına bütüncül bir bakış açısıyla ulaşılacak, işbirliğine dayalı bir çabayı belirtmektedir. Yerel sürdürülebilirlikte gerekli olan bütüncül bakış açısı, çevrebilimi, tarım ve ekonomi gibi ana tematik kategorilerden oluşan sosyal bilimlere karşılık gelmektedir (Garcia vd., 2019: 14-15).

Sürdürülebilir kalkınma noktasında ortaya konan hedeflerin küresel olarak etki etmesi beklense de alınan önlemler ve ulaşılacak sonuçlar yerel kapsamlıdır ve ülkelerin bu beklentilere ne kadar cevap verebileceğiyle ilişkilidir. Bunun yanında her ülkenin gelişmişlik derecesi ve sürdürülebilirliğe verdiği önem ve taahhüt, kendi iç çıkarları ve eylemleri üzerinde de etkiye sahip olabilmektedir. Bu kısıtların farkında olan bilim dünyası, küresel sürdürülebilir hedeflerin ulusal ve yerel düzeyde uygulanabilen gündemlere dönüşmesi için destek olmaktadır (Salvia vd., 2019: 844-846; Yolcu ve Ozan, 2024: 173).

Yerel yönetimlerin başarısında önemli bir paya sahip olan yönetim kavramının sürdürülebilirlikte de olumlu katkılar sağladığı görülmektedir. Yönetişim, sürdürülebilir kalkınma için gerekli düşünce ve eylemlere tek tek müdahale etmek yerine tüm sosyo-ekolojik sistemler düzeyinde genişletilmiş bir işbirliği yöntemi sunmaktadır. Dolayısıyla yönetim aynı zamanda çevresel sorunlarla başa çıkmada, karışıklıklar ve doğrusal olmayan değişimle karakterize edilen belirsiz bir gelecek karşısında ekolojik sistemlerin direncini artırmada önemli rol üstlenmelidir (Ioppolo, 2016: 3).

Sürdürülebilirlikte yerel eylemlerin benimsenmesi konusunda Avrupa'nın 40 kentinde Kentsel Sürdürülebilirlik İçin "Kurumsal ve Sosyal Kapasitelerin Geliştirilmesi" programının bir parçası olarak yerel sürdürülebilirlik politikaları ve uygulamaları üzerine bir dizi araştırma projesi yürütülmüştür. Sürdürülebilir kentsel kalkınmanın sağlanmasında yönetim için gerekli olan faktörlerin ve koşulların incelendiği bu araştırmada, yerel yönetimlere daha yüksek derecede özerklik verildiğinde, politika oluşturma ve uygulamada daha cesur davrandıkları ve sürdürülebilirliğe ulaşma konusunda karşılaştıkları sorunlara daha çabuk yanıt verdikleri sonucuna ulaşılmıştır (Kusakabe, 2013: 3-4).

Yerel yönetimlerde sürdürülebilirlik anlayışı, kentlerde ve kentlilerde üretim ve tüketimde de sürdürülebilir bir anlayışın doğmasına neden olmuştur. Kent yaşamının "Sürdürülebilir Kalkınma" içerisindeki gelişim hedefleri doğrultusunda adına "Yavaş (Sakin) Şehir Hareketi" denilen, üretimde ve tüketimde sürdürülebilir bir yaşam anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu hareket, bugünün ve yarının sağladığı imkânlardan faydalanarak geçmişten gelen miras ve bilgi birikimi ile çevreye uyumlu teknolojileri kullanan, yaşam kalitesi ve performansı yüksek yerleşim yerleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Yavaş şehirler, doğaya zarar vermeden, yerel kültürü ve tarihsel dokuyu koruyarak ve aynı zamanda teknolojinin nimetlerini yadsımayan, yerel halkı fiziksel ve ruhsal açıdan yormayan birer yaşam alanı olması adına sürdürülebilir yerel kalkınmanın önemli bir ayağı konumundadır (Hekimci, 2015: 77-84).

3. Yerel Sürdürülebilirlikte Dijital İkiz Etkisi

Günümüzden altmış yıl önce dünya nüfusunun yaklaşık %33'ü kentlerde yaşıyorken 2022 yılı sonu verilerine göre dünya nüfusunun yaklaşık %60'ının kentlerde yaşıyor olması (Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2024), altmış yıllık süreçte kentlerin önemli sorunların çözüm noktası olmasının yanında kentlerin sorunlarının artmış olduğu sonucuna ulaşmayı da mümkün kılmaktadır. Nüfus artışı, kentlerin ülke ekonomilerine, bilim dünyasına, toplumsal yapıya olumlu sonuçlar getirdiği kadar kentlerdeki sorunların artmasına ve karmaşıklaşmasına da sebep olmuştur. Bu sorunlar karşısında yerel yönetimler sürekli çözüm arayışları içerisinde olmuş ve çoğu zaman teknolojinin getirdiği yenilikleri kullanma yoluna gitmiştir. Yerel yönetimlerin son dönemde kullanmakta olduğu bu teknolojik gelişmelerden birisi de "Dijital İkiz" uygulamasıdır. Şehirler için karmaşık zorlukların üstesinden gelme kapasitesine sahip olan dijital ikiz (Dembski vd., 2020: 1), kentlerin ve şehirlerin gerçek durumunun sanal ortama yansıtılması sonucu yapay zekâ yardımıyla veri toplama, analiz etme ve modelleme sürecinin bir çıktısı olan "Dijital İkiz Şehir" gelişimine öncülük etmektedir (Yıkıcı, 2022: 139). Şehirlerin dijital ikizleri, gerçekliğin birebir kopyası değil, karmaşık bir soyutlamasıdır. Kentsel dijital ikiz en iyi şekilde modeller, veriler ve simülasyonlar için bir kap olarak nitelendirilebilir. Bölgesel yetkililer tarafından sağlanan dijital yükseklik modeli veya dijital bina modeli gibi coğrafi veri ve bilgilere dayanan sağlam bir 3D şehir modeli üzerine kurulan dijital ikiz şehirler, senaryo geliştirme süreçlerini ve bunların her ölçekte test edilmesini desteklemek için büyük bir potansiyele sahiptir. Sanal gerçeklikte bir kentsel dijital ikiz kullanmak, işbirliğine dayalı planlama süreçleri için akıllı teknolojileri

kullanmanın yeni bir yolu olmakla kalmaz, aynı zamanda farklı geçmişlere sahip katılımcılar arasında fikir birliği oluşturmayı da kolaylaştırır (Dembski, 2020: 2-4). Dijital ikiz şehirler, altyapı projelerinin planlama aşamasında toplum katılımını sağlar ve sağlam bir sistem oluşturmak üzere bu teknolojileri entegre edebilir. Dijital ikiz, değişikliklere ve temsile (örneğin, gelecekteki tasarımlara) olanak tanır ve işbirliğine dayalı planlama ve katılım yoluyla gerçek dünyadaki riskleri ve ilgili maliyetleri en aza indirir (Abdeen, 2022: 1-2). Çeşitli dijital teknolojilerin kullanımı ile şehirdeki varlıkların dijital ikizlerinin oluşturulduğu dijital ikiz şehirlerin, doğru haritalama, sanal-gerçek etkileşim, yazılım tanımı ve akıllı geri bildirim olmak üzere dört temel özelliği olduğu belirtilmektedir (Yıkıcı, 2022: 145). Dijital ikiz şehirleri için Kore'nin büyük kentlerinden biri olan Incheon'daki yerel yönetim tarafından şehrin dijital ikizini inşa etmiş ve bu uygulama ile şehrin trafik, temizlik, yangınla ve atıkla mücadele de bu uygulamadan yararlanılmaktadır (LaShell, 2021).

Dijital ikizler, yerel yönetimler açısından bakıldığında başta afet olmak üzere oluşabilecek risk ve değişimlerin etkilerini tahmin etmeye ve sanal ortamda görmeye olanak sağladığı için kent planlaması için güçlü bir araç olarak görülmektedir. Yerel yönetimler oluşturacakları sistemi üç boyutlu olarak görebilmektedir. Bu sistem ile özellikle oluşabilecek ekonomik maliyetin tahmin edilebildiğinden yerel yönetimlerin kamu tasarruf tedbirleri kapsamında dahi tasarruf etmesini de sağlamaktadır (Patrick, 2018).

Dijital ikiz uygulaması yeni bir kavram olmasına rağmen özel sektör başta olmak üzere kamu sektöründe de hızlı bir şekilde yaygınlaşmaya devam etmektedir. Christy (2017:7) Japonya, Çin ve Almanya'da toplam 202 işletme ile yapmış olduğu araştırmada, firmaların %23'ünün dijital ikiz kavramını kullandığını, %23'ünün kullanmayı planladığını, %19'unun ise 3 yıl içerisinde kullanmaya başlayacaklarını ve geri kalan işletmelerin ise kullanmayı planlamadıklarını tespit etmiştir. ABD Ulusal Otoyol Trafik Güvenliği İdaresi tarafından 2014 yılında teknoloji ve inovasyon öncüsü olarak bilinen Tesla'nın bir modeline ait araçları geri çağırılmıştır. Ancak Tesla araçları geri çağırarak yerine 29.222 aracını teknoloji ve inovasyon uygulaması olan dijital ikiz yazılım güncellemesiyle sorunu gidermiştir (Raves & Salam, 2017:211-216). Yakın gelecek içinde milyarlarca nesnenin dijital ikizi tarafından gerçeğini anımsatmayacak biçimde yapılması planlanmaktadır. General Electrics firmasının Türkiye'de bulunan fabrikalarında beş yüz binden fazla uygulaması dijital ikiz ile izlenmektedir. Ayrıca dijital ikiz uygulaması özellikle ekonomik anlamda maliyetlerin düşürülmesini de sağlamaktadır. Meksika'da yerel yönetimler tarafından yakın zaman içerisinde enerji santralindeki türbinin dijital ikiz çalışması yapılmıştır. Bu uygulama ile türbinin tüm aksaklıkları ve eksikleri gözlemlenmiş ve uygulama sonrasında 10 milyon \$'dan fazla tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca kurumlar arası işbirliğinde dijital ikiz kavramıyla verimli sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Maserati ve Siemens işbirliğinde 2015 yılında araçların üretim hattında verimlilik adına iyileşmeler olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de ise yine benzer bir işbirliği de Siemens ve Türk Havacılık Uzay Sanayii (TUSAŞ) arasında olmuştur. Bu işbirliği dijital ikiz uygulaması ile Türk Havacılık ve

Uzay Sanayii programlarının daha hızlı bir sürede pazara sunulması hedeflenmiştir (Kumaş & Erol: 2021: 699).

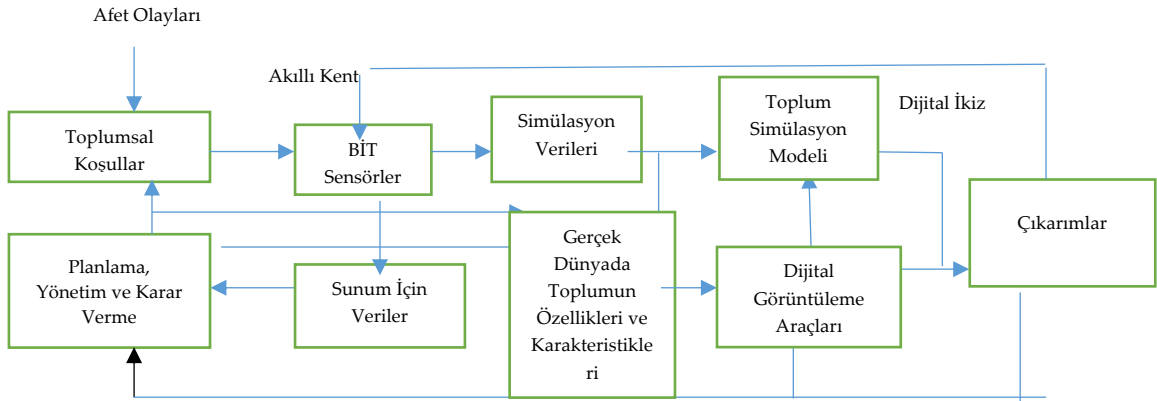
Dünyada Şangay, New York, Singapur, Helsinki gibi şehirlerin kent yönetimindeki başarılarının arkasındaki temel unsur olan dijital ikiz teknolojisinin küresel anlamda yapılan yatırımların karşılığını fazlasıyla verdiği belirtilmektedir. Bu konuda düzenlenen ABI Research'ün 2021 tarihli bir raporu, daha verimli şehir planlaması konusunda yerel yönetimler tarafından dijital ikiz teknolojisi kullanılarak 2030 yılına kadar yapılacak tüm yatırımlardan yaklaşık 280 milyar dolar tasarruf yapılabileceğini belirtmektedir. Ayrıca dijital ikiz teknolojisi kullanılarak düzenlenecek olan kent yaşamının sürdürülebilirlik konusunda da etkili ve verimli olacağı, yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur (Bthaber.com, 2024). Singapur'da "Sanal Singapur" adı ile otobüs duraklarından kamu ve hane halkı binalarına kadar tüm alanı 3D sistemi ile görebilmek mümkündür. Bu uygulama akıllı şehirlerin oluşması için şehirden veri toplanmakta ve elde edilen veriler dijital ikiz şehirler oluşturmak için dijital ikiz bileşenine gönderilerek uygulama başlatılmaktadır. Bu veriler, bina yerleşimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tasarımı gibi çalışmalarda işlenmek üzere dijital ikiz uygulamasında kullanılmaktadır (Centre for Digital Built Britain, 2024). Helsinki'de ise şehir plancıları tarafından kent ile ilgili yapılan çalışmaların senaryo tahminleri sonucunda Kalasatama bölgesinde akıllı şehir geliştirme alanı oluşturulmuştur (Yıkıcı, 2022: 147-148). Dikkate değer bir proje şehri olan Zürih'te, dijital ikiz teknolojisi ile kentsel mahallelerin kimliğinin korunarak vatandaş katılımının artırılması ve yerel yönetimlerin ekolojik bir fayda sağlaması adına çalışmalar yapılmaktadır (Shahat vd., 2021: 4). Dijital ikiz şehir projesinin yürütüldüğü diğer bir şehir ise 3D modeller aracılığıyla kentteki tüm paydaşların ihtiyaçlarını önceden tahmin edebilen ve kentsel gelişimi amaç edinen Rennes şehridir (Dassault Systèmes, 2022). New York'ta ise kent enerji sistemlerini ve tüketimlerinin geçmiş verilerini inceleyen ve buna göre verimli bir sistem oluşturan dijital ikiz uygulaması kullanılmaktadır (Yıkıcı, 2022: 147-150).

Almanya'nın Herrenberg şehrinin dijital ikizi, özellikle modellerden, analizlerden ve simülasyonlardan elde edilen çeşitli kentsel verilerin birbirine bağlanması, birleştirilmesi ve sosyal verilerin uygulanması ile geniş vatandaş katılımının yanında paydaşlar arasında işbirliğini de mümkün kılması açısından, akıllı şehirler alanındaki diğer simülasyon tabanlı çalışmalardan farklılık göstermektedir. Herrenberg'de kentsel planlama için oluşturulan dijital ikiz prototipi, kentsel sistemlerdeki karmaşık süreçleri ve bağımlılıkları görselleştirme, olası sonuçları ve etkileri simüle ederek katılımcı ve işbirlikçi planlamayı mümkün kılma, vatandaşların heterojen ihtiyaçlarını ve gereksinimlerini dikkate alarak kentsel karmaşıklığın üstesinden gelme gibi potansiyellere sahiptir. Bu sistem, açık erişimli verilere ve açık kaynak kodlu yazılımlara dayanmakta, verilerin egemenliğini ve bilgiye erişimi vatandaşlara geri vermektedir. Tüm bunlar sürdürülebilir şehirler inşa etmek için çok önemli faktörlerdir. Bu verilerin değerlendirilmesiyle, kentsel bina ve mahalle modelleri, ulaşımda yayalar ve araçlar için geçiş modelleri, trafikteki tüm araçlar ve canlılar için seyahat modelleri, hava akışını düzenlemek için iklim, sıcaklık, nem ve emisyon modelleri gibi dijital modeller oluşturularak geleceğe yönelik planlamalar

yapılmaktadır (Dembski, 2020: 2-10). Türkiye’de yapılan dijital ikiz teknolojisi Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 81 il merkezini kapsayan uygulama ile yürütülmektedir. Bu uygulama ile dronlar yardımıyla elde edilen verilerin 3D bina ve arazi modeli ile oluşturulduğu “Kentsel Yerleşim ve Gelişme Alanlarında 3 Boyutlu Topoğrafya ve Bina Modeli Oluşturma” çalışması yapılmaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024). Bununla birlikte İstanbul’un Bağcılar Belediyesi, IDC DX Summit 2023 etkinliği kapsamında düzenlenen IDC Türkiye Future Enterprise Ödülleri’nde “BBdX Dijital Şehir İkizi Sürdürülebilir Şehir Yönetimi Projesi” ile ikincilik ödülü kazanmıştır. Ödül kazanan projeye, Bağcılar’ın dijital bir ikizi oluşturularak afet ve acil durumlarda, şehirdeki bütün yapı stoku ve mekânsal verilerin CBS tabanlı olması amaçlanmaktadır (BThaber, 2023).

4. Yerel Yönetimlerde Dijital İkiz Kullanımının Doğal Afetleri Önlemede Etkisi

Dijital ikiz teknoloji ile ilgili Kitain (2018:21) geçmiş, bugün ve gelecek için dijital ikiz kavramının bir pusula olarak düşünülmesi gerektiğini belirtmiş ve dijital ikizin en önemli faydasının mevcut verileri analiz ederek verilen kararları değerlendirebilme imkânı tanınması olarak belirtmiştir. Bununla birlikte dijital ikiz ile gelecekte oluşabilecek muhtemel sorunları çözebilme, maliyeti düşürme, süreci analiz etme, performans değerlendirme ve uzaktan kontrol edebilme olanaklarının mümkün olduğunu belirtmiş ve dijital ikizin karmaşık süreçleri daha kolay ve açık bir şekilde anlaşılmasını sağlayan bir uygulama olduğunu vurgulamıştır.



Şekil 1. Akıllı şehirlerde dijital ikizi ile toplum afet yönetimi modeli

Kaynak: Ford ve Wolf (2020: 6)

Şekil 1’de akıllı şehirlerde dijital ikiz toplum afet yönetim bileşeni ile bir topluluk için akıllı şehirden gelen verileri kullanan bir araç sisteminin dijital görüntülerini oluşturmanın yanı sıra yöneticilere gelecekteki koşullar hakkında öngörülü bilgiler sağlamak için simülasyon modellemesini içermektedir. Dijital görüntü araçları, toplumu ve etkileşimlerini tanımlayan çeşitli fiziksel ve fiziksel olmayan altyapı sistemleri ve modellerini kapsamaktadır. Buna ek olarak, bu görüntüler toplumla ilişkili mekânsal kısıtlamaları da en iyi şekilde yansıtmaktadır. Belirli tehlikeler ve afet yönetimi konularına ilişkin bazı dijital ikizler bu ihtiyaçlara önceden cevap vermektedir. Topluluklar için dijital ikizlerin aynı şeyi daha büyük ölçekte önceden

planlamasını sağlamaktadır. Topluluk simülasyon modeli, gelecekteki koşulları tahmin etmek için dijital görüntü araçlarından ve gerçek dünya topluluğunun altyapı sistemleri özelliklerinden ve karakteristiklerinden elde edilen bilgileri kullanmaktadır. Gelecekteki koşullar, mevcut sistem modeli yönlendiren bilgi döngüleri akıllı şehirlerde dijital ikizi ile olmadan da mevcuttur ve afet yönetimi sırasında manuel olarak kullanılmaktadır. Bu döngülerin akıllı şehirlerde dijital ikizi ile içinde geliştirilmesi, insanların veri toplaması ve işlemesi için gereken zamanı ortadan kaldırarak bu süreçlerin hızını artırmaktadır. Örneğin, akıllı şehir tarafından bilgi üretildikçe, bu bilgi dijital ikiz tarafından yapılan tahminleri etkilemekte ve bu tahminler yönetim kararlarını almak ve akıllı şehrin izleyebileceği ve daha ileri tahminler için dijital ikize gerçek zamanlı olarak geri besleyebileceği eylemleri gerçekleştirmek için kullanılabilir. Topluluk koşulları iyileştikçe ve topluluk özellikleri ve karakteristikleri ayarlandıkça, akıllı şehir ve dijital ikiz sırasıyla bu değişikliklerin etkileri ve gelecekteki potansiyel koşullar hakkında insanların ulaşamayacağı hızlarda bilgi sağlayabilmekte veya topluluk özelliklerini ve karakteristiklerini değiştiren kararlardan etkilenebilmektedir (Ford ve Wolf, 2020: 6-7).

Doğal afetlerin çok sık yaşandığı Japonya’da akıllı şehir planlanmasına yönelik yapılan çalışmalarda dijital ikiz teknolojileri kullanılmaktadır. Ülke genelinde inşaat alanlarının belirlenmesi ve bu yerlere yönelik verilerin toplanması bu teknoloji ile yapılmaktadır. Ülkenin Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından uygulanan “PLATEAU” projesi kentsel yaşamın geleceğini planlamaktadır. 2024 yılının ilk gününde Japonya’nın Noto Yarımadasında meydana gelen 7,6 şiddetindeki depremde 168 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu kadar şiddetli bir depremde Türkiye’ye göre çok az sayıda can kaybının olmasında, Japonya’nın 2020 yılından bu yana uygulamakta olduğu “PLATEAU” projesinin etkisi çok fazladır. Yerel yönetimlerin, özel işletmelerin, şehir planlamacılarının, akademik personellerin ve araştırmacıların yer aldığı bu platform ile ülkenin geleceğine yönelik dijital teknoloji destekleri doğrultusunda sosyal ve bölgesel sorunların çözümü için birliktelik yapılmaktadır. Japonya’nın geleceğine yönelik katılımcıların oluşturduğu 3 boyutlu dijital ikiz modeli ile yapay zeka uygulamalarından da faydalanılarak “Toplum 5.0” çalışmasının temelleri atılmaktadır (Indigo, 2024). Japonya’nın kurmuş olduğu bu sistemden esinlenerek yönetim işbirliği doğrultusunda Türkiye’de merkezi sistem ve yerel yönetimler işbirliğinde afetlere karşı hazırlıklı olması açısından böyle bir çalışmanın planlaması mümkündür.

Dünya genelinde son dönemlerde daha çok yaşanan afet ve acil durumlara karşı çalışmalar yapabilmek için ulusal yapılar ve ülkeler kendi içlerinde bir yönetim yapısı kurmuşlardır. Örneğin ABD, afet durumlarına karşı Federal Acil Durum Yönetim Ajansını (FEMA) Çin Acil Durum Yönetim Bakanlığını, Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisini (UNDRR), Japonya İklim Krizi Çağında İklim Değişikliği ve Afet Önleme Strateji Yönetimini (Lu & Li, 2020:855-859) ve Türkiye ise Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığını (AFAD) kurmuştur. Dijital ikiz teknolojisi, bu kurumların

karşılaştıkları zorlu süreçleri daha etkili ve verimli yönetebilmeleri için iyi bir uygulama alanı olmaktadır.

4.1. Dijital İkiz ve Japonya Örneği

Dünya genelinde tsunami, deprem ve volkanik patlamalar gibi doğal afetlerden maddi ve manevi anlamda en fazla etkilenen ülkelerden biri Japonya'dır. Japonya'da 2014 yılı itibari ile doğal afetlerin yol açtığı maddi zararın yaklaşık 500 milyar dolar olduğu belirlenmiştir. Japonya'da 2014 yılı içerisinde 317 doğal afet meydana gelmiş bu olaylarda yaklaşık 250 bin kişi ölmüş ve 255 bin kişi de yaralanmıştır (EM-DAT, 2014). Japonya'da en fazla can kaybının yaşandığı 1923 yılı Kanto depreminde yaklaşık 150 bin kişi hayatını kaybetmiştir. Yakın zaman içerisinde 2011 yılında Japonya'da 9,0 şiddetindeki deprem ve ardından oluşan 40 metre yüksekliğinde dalgalarla gelen tsunami ile yaklaşık 16 bin kişi hayatını kaybetmiş ve 200 milyarın üzerinde bir ekonomik kayıp oluşmuştur (EM-DAT, 2015b). 2011 yılında yaşanan ve 3/11 felaketleri olarak anılan olaylar sonrasında Japonya hükümeti tarafından 48,9 milyar dolarlık olağanüstü bütçeyi uygulanmaya başlanmıştır (BBC, 2011).

Japonya'da yaşanan doğal afetler ile mücadele, daha dayanıklı binaların yapılmasına karşı zorunlu önlemler alınmasını ve daha sert yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesini sağlamıştır. Özellikle Bina Standartları Yasası, Konut Kalite Güvencesi Yasası ve Güçlendirme Çalışmalarını Teşvik Yasası doğal afetlere karşı çıkarılan zorunlu önlemler yasalarıdır. Japonya'da 1966 yılında deprem sigortasının oluşması adına "Japon Deprem Reasürans Şirketi (JER)" kurulmuş ve aynı yıllarda ulusal bütçenin %8-9'u doğal afetlerle mücadele için ayrılmıştır (Toyama & Sagara, 2013: 4). JER sistemi ile Japonya hükümeti tarafından finanse edilen sistemle, tüm deprem sigorta poliçelerinin yanı sıra olağan üstü durum kredilerinin de toplandığı bir havuz mekanizması oluşturulmuştur (Chavez, 2012: 3).

Japonya'da Toplum 5.0 yaklaşımına göre Japonya'nın vizyon belgesi Japonya İş Federasyonu olan Keidanren tarafından 2018 yılında yayınlanmıştır. Bu raporda afet önleme ve azaltmada LOT ekipmanlarından ve sosyal medyadan etkin bir şekilde yararlanılması belirtilmiştir. Ayrıca merkezi ve yerel yönetimlerin dijitalleşmeye dayalı bir verilerin oluşturulması ve benimsenmesi istenmiştir (Keidanren, 2025). Merkezi ve yerel yönetimler ile iş dünyası işbirliği ile Japonya'da son 30 yıl içerisinde genel anlamda gelişmelerin yaşandığı görülmektedir.

Japonya'da 1992 yılında deprem sigortası yaptırımların oranı %7 iken; bu oran 2007'de %20'ye; 2010'da %25'e yükselmiştir (OECD, 2008: 125). Deprem sigortasına sağlanan destekler bu artışı sağlayan en önemli etkenlerden birisidir. Örneğin Japonya'da deprem başına ödenecek miktar önceden belirlenmektedir. Bu ödemeler üç aşamalı olarak yerine getirilmektedir. Hasar tespitleri sonucunda hasar tutarının 100 milyar yene kadar olan kısmı JER tarafından, 100 - 362 milyar yene kadar olan kısmı hükümet ve JER tarafından, 362 milyar yeni aşan ödemeler ise %99,5'i hükümet tarafından ödenmektedir. Japonya'da sigorta ile ilgili toplam ödemelerin %96'sı Hükümet tarafından yapılmaktadır (Japan Earthquake Reinsurance, 2014: 22). Japonya'da Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı tarafından yakın zamana kadar ülkenin

tüm şehirlerinde 3B Dijital ikiz uygulanmasına geçilecektir. Hedeflenen bu gelişimde, gerçek dünya şehirlerini siber uzayda yeniden üretme girişimi olan "Project PLATEAU" projesi temel aktör durumundadır. Bu çalışma, şehrin mevcut durumunu görselleştirerek ve şehrin sorunlarını analiz etmeyi kolaylaştırarak, entegre kavramlara ve planlara dayalı şehir gelişimini teşvik edecek bir çalışmadır.

Dijital ikiz çalışmaları kapsamında, Japonya'nın başkenti Tokyo'nun 23 bölgesinin tamamını önceden kapsayan bir 3B şehir modeli kurulmuştur. Gelecekte, vatandaş katılımıyla genel olarak optimum ve hızlı bir şehir gelişimine yol açacak bir 3B şehir modeli eklemeyi planlayan Tokyo'da Project PLATEAU, kentsel alanı yeniden üreten bir 3B kentsel alan bilgi platformu şeklinde işlemektedir. Bu proje, çeşitli kentsel aktivite verilerini bir 3B şehir modeline entegre ederek, şehir planlamasının karmaşıklaştırılması ve şehir aktivitelerinin simülasyonunu mümkün hale getirmektedir. Bunun yanında Japonya, 50 kentin 3B şehir modellerinin geliştirilmesini ve şehir planlaması, afet önleme ve bunu kullanan şehir hizmetlerinin oluşturulmasını amaçlayan "Dijital Twin DX of Town Development"ı teşvik etmektedir. Geliştirilen bu dijital ikiz teknolojileri, dayanıklı bir toplum inşa etmeye yardımcı olmaktadır (Obi & Iwasaki, 2021:3-4).

Japonya'da kentsel dijital ikizlerin uygulanması için bir veri platformunun kurulması planlanmaktadır. Bu platform ile dijital hükümet ve belediyeler için yapay zekâ kullanımı sağlanacaktır. Shimizu ve Autodesk kurumları arasında yapılan işbirliği ile kentsel dijital ikiz çalışmasının inşası yapılmaktadır. Kent sistemi içerisinde bilişim alt yapısı, akıllı binalar ve şehirler üzerinde çalışan inşaat şirketlerinin bilgisi, inşaatın ileri teknolojiyle birleştirilerek bilişim işletmeleri tarafından geliştirilecektir. Autodesk bulut hizmetlerini kullanan Japonya'daki ilk kentsel dijital ikiz veri platformu geliştirilecektir. Shimizu, bu proje için binaların / altyapının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) / İnşaat Bilgi Modellemesi (CIM) modellerini, geniş alan arazi modellerini ve simülasyon verilerini platformunda entegre eden bir siber alan inşa edecek ve insan akışını, lojistiği, ulaşımı ve afet önleme işlevlerini optimize etmek için çalışacaktır. Ayrıca Tokyo yerel yönetimi, dijital teknolojinin gücüyle Tokyo'nun potansiyelini ortaya çıkaran "Akıllı Tokyo'nun gerçekleştirilmesi yönünde çeşitli kurumları teşvik etmektedir. Tokyo'da, dijital ikizlerin temeli olan 3B dijital haritaları görselleştirilmekte ve bunları kullanarak çeşitli simülasyonlar yürütülmektedir. Tokyo yerel yönetimi tarafından kentin sosyal ve teknik sorunlarını çözmek ve vatandaşların yaşam kalitesini iyileştirmek amacı ile kentsel anlamda farklı dijital ikiz projeleri gerçekleştirmek için bir insan kaynakları sistemi kurulmuştur (Obi & Iwasaki, 2021:1-4).

Japonya'da 2040 yılına kadar hem gelirin hem de nüfusun azalması nedeniyle yerel yönetimlerde çalışan personel sayısının yarıya düşeceği düşünülmektedir. Japon hükümeti tarafından, yapay zekâ destekli dijital ikiz çalışmalar her geçen gün geliştirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında dijital ikizin kullanım alanları da Şekil 1'de belirtildiği üzere her geçen gün artmaktadır.



Şekil 2. Dijital İkizlerin Temel Kullanım Alanları

Kaynak: (Obi & Iwasaki, 2021:2).

Dijital ikizin yakın zamanda en çok kullanılabileceği alanlardan biri olan afet önleme, özellikle Japonya'da yapılan çalışmalarda ön plana çıkmaktadır. Japonya afetler ülkesi olarak bilindiğinden, meydana gelen sel, kasırga ve depremlere karşı afet dayanıklılığını artırmak için son on yıl içerisinde dijital ikiz teknolojisi geliştirilerek kullanılmaktadır. One Concern Kuruluşu tarafından Japonya'nın yaşamış olduğu büyük afetler ve iklim riskleri değerlendirilerek bunların elektrik şebekeleri, ulaşım ağları ve yerel topluluklar gibi altyapı öğelerini nasıl etkileyeceğini öngörmek için dijital ikiz teknolojisi kullanılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, ülkedeki başta yerel yönetimler olmak üzere özel kurumların ve kamu kurumlarının afetlerin potansiyel risklerini ölçmelerine ve azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Dünyanın diğer bölgelerinde son on yıl içerisinde yaşanan tayfun sayısı ortalama iki iken Japonya'nın Kumamoto kentinde her yıl tayfun meydana gelmiştir. Bu bölgede en son 2016 yılında iki gün ara ile 7+ büyüklüğünde bir deprem olmuş 8.000'den fazla bina yıkılmış ve yaklaşık 30 bin bina hasar görmüştür. Bu olaylardan iki ay sonra şiddetli yağmurlar sel baskınlara neden olmuştur. One Concern Kuruluşu ve Japonya'nın Kumamoto yerel yöneticileri arasında yapılan işbirliği çalışması ile nehir taşmaları ve kıyı fırtına dalgaları dâhil olmak üzere çeşitli sel senaryolarını modelleyen bir dijital ikiz uygulaması geliştirilmiştir. Bu teknoloji ile kentin hava durumu ve yerel verileri entegre edilerek sel riskleri doğru bir şekilde tahmin edilmekte ve proaktif önlemlere olanak tanıyacak bir öngörü sistemi kurulmaktadır. Yakın zaman içerisinde beklenmedik düzeyde yaşanan yoğun yağış sırasında nehir seviyelerini başarıyla tahmin etmiş ve gerekli testleri başarı ile geçen bu teknoloji, Japonya'nın iklim risklerini daha iyi yönetmesini sağlamayı ve yerel yönetimlere gerekli iyileştirmelere zaman kazandırmayı hedeflemektedir (Landvault & Moates, 2024).

4.2. Dijital İkizin Türkiye’de Kullanımı

EM-DAT (2017) verilerine göre 2017 yılında dünyada 122 ülkeyi etkileyen 318 doğal afet meydana gelmiştir. Bulunduğu coğrafi konum itibariyle bir deprem ülkesi olan Türkiye’de bu coğrafi konum içerisinde 2014 yılına kadar 159 doğal afet olmuş ve bu afetler sonucunda yaklaşık 100 bin kişi hayatını kaybetmiş ve 100 bin kişi ise yaralanmıştır (EM-DAT, 2015a). Türkiye’de yaşanan 7,5 ve üstü depremlerin ilki 1939 yılındaki Erzincan 32.962 kişi), 1999 yılındaki Marmara (17.480 kişi) ve 2023 yılında ise Kahramanmaraş’ta (53.537 kişi) ölmüş ve bu depremlerde yaklaşık 104 bin kişi hayatını kaybetmiştir. 1999 Marmara depreminden sonra deprem farkındalığı konusunda 2000 yılında zorunlu deprem sigortası için DASK kurulmuştur. Aynı yıllar içerisinde AFAD kurulmuş ve bu kurumun kurulması ile yapıların güçlendirilmesi, denetimi ve kentsel dönüşüm projeleri gibi birçok çalışma yapılmıştır. Fakat son yaşanan 6 Şubat depremindeki maddi ve manevi sonuçlar bu çalışmaların yetersiz olduğunu göstermiştir (Göver, 2023: 282). Türkiye genelinde DASK sigortasının yaptırımların oranı %27 olduğu (Özüdoğru, 2023: 3) görülürken bu oranın belli bir zaman diliminde yüksek çıkmasının sebebinin, inşaat sektörünün canlanması amacı ile ev sahibi olmak isteyenler için indirilen faiz oranlarına bağlı olarak bankaların kredi verirken DASK’ı zorunlu tutması olduğu görülmektedir.

Gelişmiş ülkelerin geliştirdiği teknolojileri kullanma hızı günden güne gelişen Türkiye’de TÜBİTAK-BİLGEM bulut bilişim ve büyük veri araştırma laboratuvarı, robotik ve otonom sistemler laboratuvarı ile ilk 500’deki büyük işletmelerin yer aldığı işbirliği çalışmalarında dijital ikiz teknolojisi ve yapay zekâ uygulamaları kapsamında teknoloji çalışmaları devam etmektedir (Çubukcu vd, 2024: 21). Özel sektörün daha çabuk ve daha etkin kullanmaya başladığı dijital ikiz uygulamalarının, yerel yönetimlerin alanları içerisinde afet yönetimleri kapsamında, can ve mal kaybının en çok yaşandığı depremler özelinden bakıldığında gerçek ve sanal dünya arasında bir geçişin izlenmesi mümkündür. Bu kapsamda yerel yönetimlerin kendi bölgelerinde gerçek zamanlı olarak deprem felaketindeki değişimi 3D, insansız hava araçları, topografi yer ölçümleri ve sensörler aracılığıyla izlenmesi ile depremin sismik boyutu görülebilir. Bu çalışma ile ilgili yakın zaman içerisinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından "Kentsel Yerleşim ve Gelişme Alanlarında 3 Boyutlu Topoğrafya ve Bina Modeli Oluşturma" projesi ile Türkiye’nin tüm kentlerinde afetlere önceden önlem alınması, kaçak yapıların tespit edilmesi ve kentlerin trafik yoğunluğuna göre imar planlarının hazırlanması 3 boyutlu dijital ikiz teknolojisi ile hedeflenmektedir. Bu projenin ilk aşaması Eylül 2022 tarihi ile insansız hava araçları yolu ile 22 ilde 3 boyutlu dijital ikiz çalışmaları ile başlamıştır. Türkiye’nin 3 boyutlu dijital ikiz uygulaması ile tüm kentlerde afetlere yönelik önlemlerin önceden belirlenmesi ve kaçak yapıların hızlı bir şekilde tespit edilerek durdurulması düşünülmektedir. Ayrıca yerel anlamda güneş enerjisinden daha etkin faydalanmak ve kentlerin güneş görme değerlerini belirleyebilmek için dijital ikiz teknolojileri kullanılmaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Kamu alanında dijital ikiz teknolojisi merkezi yönetim ile yerel yönetimler arasındaki denetim, işleyiş, finans ve veri akışı gibi konularda da bir köprü ortamı

sağlamaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, yerel yönetimler tarafından daha çok kent planlama ve yapı denetim gibi alanlarda kullanımı artmaktadır (Aslan ve Bulut, 2023: 60). Türkiye’de yerel yönetimler tarafından dijital ikiz ve afet yönetimine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Özellikle dijital ikizin yerel yönetimlerde trafik, enerji ve atık yönetimi gibi alanlarda etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ile teknolojinin alt yapısının güçlendirilmesi sağlanmaktadır.

Türkiye’nin Erzurum ilinin Olur ilçesinde binaların dijital ikizlerini oluşturmak ve bir deprem olayına karşın yerel yönetimlere destek vermek amacı ile Özkaya (2023: 32) tarafından yapılan çalışmada bir kamu binasının dijital ikizi oluşturulmuştur. Bu dijital ikiz çalışması ile binanın depreme dayanaklığı incelenmiş ve güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Türkiye’nin birçok kentinin deprem kuşağı içerisinde yer alması nedeni ile oluşabilecek afet yönetimine karşıda dijital ikiz teknolojinin kullanımı sınırlı sayıda artmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi Türkiye için yeni bir konu olduğundan dolayı bu anlamda ön verilerin ve ön çalışmaların yapılması belli bir zamanı alacaktır.

5. Sonuç

Teknolojideki gelişmeler, hayatı kolaylaştırmanın yanında bunları sunan taraf açısından da bir güç ve öncelik kaynağı durumuna gelmektedir. Bu bağlamda, teknolojiyi kullanabilen ve kullanım alanları konusunda yeni fikirler üretebilen yerel yönetimler, öncü ve örnek olma konularında kendilerinden bahsettirmektedir.

Bilim insanları, kentleşmeye bağlı sorunları çözebilmek ve geleceğin şehirlerini planlayabilmek adına yakın geçmişte çalışmalara başlamış bulunmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen en başarılı sonuçlardan birisi dijital ikiz teknolojisidir. Cheng vd. (2023), dijital ikiz uygulamasının acil durum yönetiminin farklı aşamalarına entegre edebilmesinin ve sivil altyapının acil durum yönetimi için yeni bir çözüm sağlayabilmede etkin olabileceğini belirtmiştir. Ancak dijital ikiz uygulamasının kentlere uygulanmasıyla, mevcut durumun gelecekte yaratacağı sorunların düşünülmesi ve bu sorunların önlenilme imkânına sahip olabilmemesinin doğru verilerin elde edilmesi ile mümkün olabileceğidir. Bu bağlamda dijital ikiz kentleri oluşturulurken “kentlerin mevcut durumunu nasıl analiz eder ve düzenli veri toplayabiliriz?” ve “şehrin coğrafi ve sosyal davranışlarını nasıl tahmin edebiliriz?” soruları önem kazanmaktadır. Bu soruların cevaplarının içerisinde yer alan ortak kavram ise “veri” kelimesidir. Güvenlik gibi nedenler ile kentlerin altyapı veri kaynaklarına erişmek genellikle zordur, bu da afet verilerinin eksikliğine yol açmaktadır. Verilerin sürdürülebilirliğini sağlamak, şehirlerin dijital ikiz çalışmalarının başarıya ulaşmasındaki en temel faktör durumundadır. Dijital ikiz, şehirlerin deprem gibi doğal afetlerden en az hasar ile çıkmasını sağlayabilecek bir uygulama olarak doğal afetlerden kaynaklı zararları azaltabilecek, kentsel dayanıklılığı artıracak ve uyum kapasitesini iyileştirecek bir teknoloji sunmaktadır. Bu nedenle, verilerin toplanması, korunması ve yönetimi için uygun politika ve düzenlemelerin oluşturulması gerekmektedir. Dünya genelinde meydana gelen doğal afetlerden, her yıl yaklaşık 350 milyon insanın etkilendiği ve milyarlarca

dolar ekonomik zararın meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bu zararların en asgari düzeye indirilmesi için bilimsel anlamda dijital ikiz teknolojisinin uygulanması yerel yönetimlerin kullanımını artırmaktadır. Riaz vd. (2023:2) aşırı iklim olaylarının toplumlara verdiği zararı en aza indirmek için kapsamlı erken uyarı sistemlerinin gerekli olduğunu ve böyle bir sistem ile yerel yönetimlerin tüm paydaşların doğru ve güncel bilgiler edinmesine ve etkili bir şekilde yanıt vermesine olanak tanıyacağını belirtmiştir. Akıllı kentlerin etkin yönetimi yoluyla iklim direncini artırmaya yönelik teknolojinin oluşturulmasında 3D kent modellemesinin, erken uyarı sistemlerinin ve dijital ikizlerin önemini, potansiyelini ve gelecekteki yönelimlerinin yüksek olduğunu vurgulamıştır. Bu anlamda PRISMA yaklaşımı aracılığıyla 3D sanal şehir modellerinin tasarımını içeren ve gerçek zamanlı sensör verilerini kullanarak erken uyarı uyarılarının oluşturulmasını belirten 68 makale çalışmasını incelemiştir. Çalışma sonucunda gerçek bir dijital ikizde çift yönlü veri akışının uygulanması ve kullanılmasına ilişkin çok sayıda araştırma boşluğunun devam ettiğini ancak dijital ikiz ile gerçek fiziksel çevre arasındaki çift yönlü veri akışının iklim direncini arttırmak için ortaya çıkan bir kavram olduğu sonucuna varmaktadır. Bu çalışma ile aynı doğrultuda dijital ikiz teknolojisinin afet öncesi ve sonrası yapılacak afet yönetim planlamasına yönelik anında hızlı tepki verme kabiliyetini artıracığı bu teknoloji ile doğal afetler ile başa çıkmada güçlü bir strateji aracı olacağı düşünülmektedir. Ariyachandra ve Wedawatta (2023: 1-2) bir AVM'deki sensörlerden elde edilen büyük verilerle birleştirilen dijital ikiz uygulaması ile "Dijital İkiz Akıllı Şehirler" oluşturmanın mümkün olabileceğini belirtmiştir. Dijital ikiz teknolojilerinin artan yaygınlığına ve afet risk yönetimi üzerindeki olumlu etkisi düşünüldüğünde dijital ikizler, doğal ve insan yapımı afetlerin etkilerini öngörme, hazırlık yapma ve azaltmada afet önlemede etkili bir teknoloji olarak kullanılmakta ve yenilikçi bir anlayış doğrultusunda gelişimi devam etmektedir. Bu teknoloji, yerel yönetimlerin geçmiş dönemdeki verilerin doğru bir şekilde kodlanıp hazırlanması ile başta deprem olmak üzere, sel, heyelan ve çığ gibi doğal afetlere yönelik risk değerlendirmesine yönelik erken uyarı sistemi görevini görecektir. Ayrıca, dijital ikizler, kapsamlı hasar değerlendirmeleri ve yapay zekâ teknoloji doğrultusunda planlama öngörüsü sağlayarak etkili kurtarma ve yeniden inşayı kolaylaştıracak ve nihayetinde yerel yönetimleri gelecekteki krizlere karşı daha dayanıklı hale getirecektir. Bu teknolojisi ile kentlerin alt ve üst yapı tasarımları konusunda yaşanabilecek riskler azaltılabilecek ve kentin gelişimine yönelik etkin planlar yapılabilecektir. Dijital ikiz teknolojisi sayesinde akıllı kentlerin önceden tasarımı hazırlanarak su, elektrik ve trafik uygulamalarının sürdürülebilirliğini artırmak mümkün olacaktır. Dijital ikiz, akıllı şehirlerde enerji, ulaşım gibi kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Akıllı sensörler ve analitik araçlar aracılığıyla, kentin kaynaklarını optimize etmek ve sürdürülebilirliğini artırmak mümkün olacaktır.

Yerel yönetimler açısından bakıldığında dijital ikiz uygulaması yöneticilerin en yeni ve en etkili adımı konumundadır. Dijital ikiz uygulaması, elde edilen tüm verilerin toplanması sonucunda kentin trafik problemleri, güvenliği, enerji tüketimi, atıkların toplanması ve depolanması gibi konularda yerel yöneticilere gerçek zamanlı bilgi akışı sağlanmasına yardımcı olacaktır. Yerel yöneticilerin bu veriler ve bilgiler ışığında

geleceği en iyi şekilde tahmin edebilmesi ve doğru karar alması, kentin sosyal, kültürel ve ekonomik anlamda gelişimine katkı sağlayacaktır. Ancak yerel yönetimlerin, sermaye yoğun bir süreç olan dijital ikiz uygulamalarını başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için gerekli finansmanı sağlaması, önlerindeki en büyük engel olma potansiyeline sahiptir. Teknik açıdan sürdürülebilirliği, sürekli kapasite oluşturma ve bakıma bağlı olan bu tür projelerin, yerel yönetimler tarafından sürdürülebilirlik kapsamında uygulanabilmesi için uzun vadeli eğitim programlarını, sistem bakımını ve onarımını sağlayacak kaynakların bulunmasına öncelik verilmelidir.

Ancak Türkiye'deki yerel yönetimlerin bütçeleri ve sorumluluk alanları Japonya ve Avrupa'daki yerel yönetimlere göre çok kısıtlıdır. Türkiye'de bazı büyükşehirler dışında belediyelerin kendi bütçeleri ile dijital uygulamaların hayata geçirmesi zor görülmektedir. Bu durumda merkezi yönetimin başta doğal afetler ile mücadelede yerel yönetimlere finansman anlamında destek olacak projelerde yer almalıdır.

Türkiye, üç büyük kıtanın içerisinde yer aldığı konumu itibari ile doğal afetleri sürekli yaşayan ve özellikle büyük hasar depremleri bakımından dünyanın dördüncü ülkesidir. Ülke genelinde yaşanan doğal afetlerde binlerce insan ve milyarlarca kaynak yok olmaktadır. Bu maddi ve manevi kayıpların çoğunluğu, zemin etütlerinin bina yapımına uygun olmaması gerçeğine dayanmaktadır. Ayrıca inşaat sektöründe nitelikli işgücü eksikliği ve denetimler konusunda yaşanan sıkıntılar, arka plandaki eksiklikleri oluşturmaktadır. Bu kapsamda doğal afetlerin çok sık yaşandığı Türkiye'de dijital ikiz uygulamasının kullanılması, yerel yönetimlerin her türlü doğal afetlere karşı hazırlıklı olması ve acil durumlarla etkin bir şekilde mücadele edebilmesini mümkün kılacaktır. Lu vd. (2024:3-5) 2011 Japonya depreminden önce ve sonra Twitter'dan veri toplayan bir deprem uyarı sistemi oluşturmuştur. Bu çalışma ile yangın, sel ve tayfun durumlarında sosyal sensör verilerini kullanan yöntemler önerilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda yerel yönetimlerin sosyal medya üzerinden veri toplayan bir deprem uyarı sistemi oluşturulması önerilmektedir.

Çalışmada Japonya'daki dijital ikiz uygulamaları belirlenerek bu olayların afetler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Japonya'da 'Japon Deprem Reasürans Şirketi (JER)' ne yıllık bazda ulusal bütçenin %8-9'u doğal afetlerle mücadele için ayrılmaktadır. Bu bütçeden ayrılan payı Japon yerel yönetimleri dijital ikiz gibi teknolojilerinin uygulanmasında kullanmaktadır. Türkiye'de de AFAD ya da Türkiye Sigorta Birliğine ve tüm yerel yönetimlere dijital ikiz, yapay zekâ gibi teknolojilerin kullanılması için genel bütçeden en az %10 pay ayrılması önerilmektedir.

Japonya'da Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı tarafından ülkenin tüm şehirlerinde 3B dijital ikiz uygulanmasına geçilecek "Project PLATEAU projesi ile dünya şehirlerini siber uzayda yeniden üretme girişimi hedeflemektedir. Japonya tarafından yapılan bu çalışmanın paydaşları içerisinde Türkiye'nin de alınması konusunda girişimlerde bulunulmalıdır. Ayrıca Tokyo'da, dijital ikizlerin temeli olan 3B dijital haritaları görselleştirilmesi kapsamında yapılan ve kentin sosyal ve teknik sorunlarını çözmek amacı ile yürütülen bu iki çalışma ile Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından "Kentsel Yerleşim ve Gelişme Alanlarında 3 Boyutlu

Topoğrafya ve Bina Modeli Oluşturma" projesi ile destekli gidilmesi ve karşılıklı ulusal yönetim kapsamında destek alınması önerilmektedir.

Türkiye ve Japonya afetler ülkesi olarak bilindiğinden, meydana gelen sel, kasırğa ve depremlere karşı afet dayanıklılığını artırmak için ortak ve benzer çalışmalarda işbirliği anlaşmaları yapılmalıdır. One Concern Kurumu ile Japonya'nın Kumamoto yerel yöneticileri arasında yapılan işbirliği çalışması benzeri çalışmalar ile Türkiye'deki başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere birçok bölgede nehir taşmaları ve kıyı fırtına dalgaları önleme, önceden haber verme gibi senaryoları modelleyen bir dijital ikiz uygulaması kurulması önerilmektedir. Dijital ikiz teknolojisi daha çok geçmişe ve geçmişteki bilgilerin harmanlanması ile tahmine dayalı bir süreç olduğundan özellikle sel ve deprem gibi doğal afetlerin önlenmesine ya da etkisinin en aza indirilmesine olanak sağlayacaktır. Günümüzde henüz başlangıç aşamasında olan dijital ikiz uygulamaları ile bu problemleri önceden görülecek akıllı kent uygulamalarının yapılması ve daha sürdürülebilir bir ortam oluşturulması önerilmektedir. Dijital ikizler, gerçek zamanlı verileri sürekli yenileyerek ve takip ederek olası bir depremin ve küçük tektonik plakalardaki kaymalar gibi sismik aktivitedeki ince değişiklikleri tespit edebilecektir. Bu gerçek zamanlı veriler doğrultusunda bir depremin olası büyüklüğünü, yerini ve zamanlamasını tahmin etmek mümkün olabilecektir. Ayrıca deprem sonrası dirençli yapıların oluşması için dijital ikiz, erken uyarı sistemlerinin etkinleştirilmesine olanak sağlanacak ve yerel yönetimlere acil durum önlemlerini uygulamak, savunmasız alanları boşaltmak ve kaynakları harekete geçirmek için zaman kazandıracaktır. Levine ve Spencer (2022:3-6) deprem sonrası bir binanın güvenliğinin değerlendirilmesi için insansız hava aracı (İHA) görüntüleri ile bir Yapı Bilgi Modeli (BIM) kullanarak entegre eden bir dijital ikiz çerçevesi sunmaktadır. Bu çalışmada yapısal olmayan hasarı belirlemek ve bu hasarı belirli BIM bileşenleriyle ilişkilendirmek için 3B nokta bulutu değişiklik tespiti kullanılmakta ve mevcut bir betonarme moment çerçeve binası için dijital bir ikiz geliştirmekte ve BIM rehberliğinde görüntü seçimi ve bileşen tanımlamayı göstermektedir. Bu nedenle dijital ikiz teknolojisini afet risklerinin azaltılması, kayıpların önlenmesi, etkin afet yönetiminin yapılabilmesini sağlamak adına yararlanılarak akıllı ve dirençli kentlerin oluşturulması mümkün olacaktır.

Sonuç olarak Japonya örneği, dijital ikiz teknolojisinin afet yönetiminde sağladığı bütüncül faydaları gözler önüne sermektedir. Yerel yönetimlerin dijital ikiz sistemlerini entegre etmesi, afet öncesinde riskleri öngörme, afet sırasında anlık müdahaleleri koordine etme ve afet sonrasında yeniden yapılanma süreçlerini hızlandırma açısından kritik bir işlev üstlenmektedir. Japonya örneğinde, bu teknolojinin yalnızca kentsel planlama ve altyapı yönetimi ile sınırlı kalmadığını, aynı zamanda veri odaklı karar alma süreçlerini optimize ederek yerel yönetimlerin krizlere karşı daha dirençli hale gelmesini sağladığını göstermektedir. Türkiye gibi yüksek afet riski taşıyan ülkelerde de benzer bir dönüşümün gerçekleştirilmesi, kamu ve özel sektör iş birliğiyle desteklenmiş ulusal bir dijital ikiz stratejisinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, Japonya'nın dijital ikiz odaklı afet yönetim modeli, Türkiye'de yerel yönetimlerin sürdürülebilir afet politikalarını

güçlendirmesi için önemli bir referans niteliğindedir. Türkiye’de devam eden dijital ikiz projelerinin, afet yönetimi bağlamında daha etkin ve yaygın hale getirilmesi, teknolojinin hem mekânsal planlama ile hem de aynı risk yönetimi ve kriz müdahalesi alanlarında da kapsayıcı bir şekilde kullanılması ile mümkün olacaktır.

Katkı Oranı ve Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmanın tüm aşamaları yazar(lar) tarafından tasarlanmış ve eşit oranda katkı sunulmuştur. Makalede, herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyanı ve Finansal Destek

Makalede, akademik ve bilimsel etik kurallarına uyulmuştur. Çalışmada Etik Kurul Raporu aranmamaktadır. Makalede herhangi bir finansal kaynaktan yararlanılmamıştır.

Kaynaklar

- Abdeen, F. N. & Sepasgozar, S. M. (2022). City digital twin concepts: A vision for community participation. *Environmental Sciences Proceedings*, 12 (1), 19, 1-5.
- Abigail, F., Neda, M. & John, T. (2019). Smart City Digital Twin–Enabled Energy Management: Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking, *Journal of Management in Engineering*, Volume 36, Issue, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000741](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741)
- AFAD. (2014). *Açıklamalı afet yönetimi terimleri sözlüğü*, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, ss.216
- AFAD.(2021). 2020 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2020yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf [03.07.2024].
- Apillioğulları, L. (2019). *Dijital dönüşüm: akıllı fabrikalar*, Aura Kitapları, İstanbul
- Ariyachandra, M.F. & Wedawatta, G. (2023). Digital twin smart cities for disaster risk management: a review of evolving concepts. *Sustainability* 2023, 15, 11910. <https://doi.org/10.3390/su151511910>
- Bartholdson, S. & Yon Schreeb, J. (2018). Natural disasters and injuries: what does a surgeon need to know?. *Current trauma reports*, 4, 103-108.
- Bthaber.com. (2024). *Şehirler, dijital ikiz teknolojisi ile büyüyecek*. 7 Mayıs 2024, <https://www.bthaber.com/sehirler-dijital-ikiz-teknolojisi-ile-buyuyecek>
<https://www.bagcilar.bel.tr/haber/5600/bagcilar-belediyesi-dijital-sehir-ikizi-surdu>
- BBC. (2011). *Japan government announces disaster relief budget* [Çevrimiçi], <http://www.bbc.co.uk/news/business-13167014>, [Erişim tarihi: 19.04.2024].
- Boschert, S. & Rosen, R. (2016). Digital twin-the simulation aspect, *Mechatronic Futures*, Springer, Cham, ss.59-74
- Bulut, Y. & Aslan M. (2022). *Doğal afetlere karşı dirençli kentler oluşturmaya ilişkin yenilikçi yaklaşımlar: akıllı kent uygulamaları üzerine bir inceleme*, *Dirençli Şehirler İçin Vizyoner Yönetimi*, (Editör Prof. Dr. Hamza Ateş,ss. 9-24)
- Bulut, Y., & Aslan, M. M. (2024). Kentsel Hizmetlerin Etkinliğine Yönelik Bir Öneri: Metaverse Entegrasyonlu Uygulamalar. *Ombudsman Akademik*(19), 55-76.
- Campbell, M.M. (2015). Digital twins made tangible: the bike example, https://www.iscoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/digitaltwins/#Digital_twins_made_tangible_the_bike_example, (Erişim Tarihi: 05.06.2024).

- Centre for Digital Built Britain. (2024). *National digital twin programme* | centre for digital built britain. <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme> (Erişim tarihi 20.06.2024).
- Chavez L. G. (2012). Government insurance risk pool: a lifesaver or learning to swim?, communication presented at the *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon.
- Cheng, R.; Hou, L. & Xu, S. A (2023). Review of Digital Twin Applications in Civil and Infrastructure Emergency Management. *Buildings* 13, 1143. <https://doi.org/10.3390/buildings13051143>
- Christy, P. (2017). *Prepare for the Impact of digital twins*, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/preparefor-the-impact-of-digital-twins/>. ss.1-15 Yayınlanma Tarihi: Eylül 2017. Erişim Tarihi: 12.06.2024).
- Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2024). *Kentsel- kırsal nüfus oranı*. 6 Mayıs 2024, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i>
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). Şehirlerin "dijital ikizi" ile afetlere önlem alınacak, <https://www.csb.gov.tr/Sehirlerin-Dijital-Ikizi-Ile-Afetlere-Onlem-Alinacak-Bakanlik-Faaliyetleri-29645>, (Erişim Tarihi: 05.06.2024)
- Çiçek, Y. (2014). Geçmişten günümüze Türkiye’de yerel yönetimler. *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 11 (1), 53-64.
- Çubukcu Z., Memiş L. & Babaoğlu. C. (2024). Digital twin technology in emergency and disaster management of smart cities: potentials and implementations, *TYB Akademi* Sayı 40, ss. 9 - 24
- Dassault Systèmes (2022). *Rennes metropole*. <https://www.3ds.com/insights/customerstories/rennes-metropole> (Erişim Tarihi: 08.07.2024)
- Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., & Yamu, C. (2020). Urban digital twins for smart cities and citizens: The case study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, 12(6), 2307. 1-17.
- EM-DAT (2014) *EM-DAT database advanced search*, [Çevrimiçi], http://www.emdat.be/advanced_search/index.html, [Erişim tarihi: 19.03.2024].
- EM-DAT (2015a) *EM-DAT database advanced search*, [Çevrimiçi], http://www.emdat.be/advanced_search/index.html, [Erişim tarihi: 19.04.2024].
- EM-DAT. (2015b) *Result for country profile*, [Çevrimiçi], <http://www.emdat.be/result-country-profile>, [Erişim tarihi: 19.01.2024].
- EM-DAT (2017) *EM-DAT database advanced search*, [Çevrimiçi], http://www.emdat.be/advanced_search/index.html, [Erişim tarihi: 21.05.2024].
- EM-DAT (2022). *Disaster in numbers*, <https://www.emdat.be/publications/> [Erişim tarihi: 11. 06. 2024]
- Ertan, B. (2004). Demokrasi ve yerel yönetimler. *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 11 (1), 22-30.
- Esen, A. (2023). Dirençli şehirler oluşturma ve afet zararlarını azaltmada kamu yönetiminin yeri. *Avrasya Dosyası Dergisi* Cilt 14 (Sayı 1): 8-88, İstanbul.
- Ford, D. & Wolf M. C. (2020) Smart Cities with Digital Twin Systems for Disaster Management, *ASCE*, DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000779, , <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- Garcia, J. M., Toril, J. U., Real, J. L. R. & Valenciano, J. P. (2019). Sustainable local development: an overview of the state of knowledge. *Resources*, 8 (1), 1-18.
- Glaessgen, E. & Stargel, D. (2012). The Digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles, 53. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, *Structural Dynamics and Materials Conference*, Honolulu, Hawa, ss.1-14
- Göver, İ. H. (2023). Türkiye ve Japonya’nın deprem gerçekliği: Karşılaştırmalı bir analiz. *Mevzu–Sosyal Bilimler Dergisi*, (10), 279-323.
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory Replication, *Working Paper*, ss1-7
- Hekimci, F. (2015). Sürdürülebilir yerel kalkınma ve yavaş şehirler. *Verimlilik Dergisi*, 4, 77-112.
- Işık Ö., Aydınlioğlu H.M., Koç S., Gündoğdu O., Korkmaz G. & Ay A., (2012). Afet yönetimi ve afet odaklı sağlık hizmetleri, *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(2), 82-123.

- Japan Earthquake Reinsurance. (2014) *Introduction to Earthquake Reinsurance in Japan Annual Report 2014*, Japan Earthquake Reinsurance Co. Ltd.
- Ioppolo, G., Cucurachi, S., Salomone, R., Saija, G., & Shi, L. (2016). Sustainable local development and environmental governance: A strategic planning experience. *Sustainability*, 8 (2), 180, 1-16.
- Indigo. (2024). *Depremle mücadelede dijital ikiz teknolojisi: Türkiye Japonya'nın yol haritasını izleyebilir mi?*, <https://indigodergisi.com/2024/01/depremler-mucadelede-dijital-ikiz-teknolojisi/>, Erişim Tarihi: 08.07.2024
- Kadıoğlu M. (2011). Afet Yönetimi beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek, T.C. *Marmara Belediyeler Birliği Yayını*, 219 ss.
- Karakuzulu, Z. (2010). Sürdürülebilir Kentler ve Kasabalar: Yerel Gündem 21 ve Bursa Örneği. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi VI. Ulusal Coğrafya Sempozyumu Kitabı*, 397-406.
- Keidanren. (2025). Japan Business Federation, Policy Proposals Industrial Technology, <https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2018/095.html>
- Keleş, R. (2012). *Yerinden yönetim ve siyaset*. İstanbul, Cem Yayınevi.
- Kumaş, E. & Erol, S. (2021). Endüstri 4.0'da anahtar teknoloji olarak dijital ikizler. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 691-701
- Kusakabe, E. (2013). Advancing sustainable development at the local level: The case of machizukuri in Japanese cities. *Progress in Planning*, 80, 1-65.
- Kitain, L. (2018). Digital twin - the new age of manufacturing. <https://medium.com/datadriveninvestor/digital-twin-the-new-age-of-manufacturing-d964eeba3313> Erişim tarihi: 05.06.2024
- Landvauld & Moates C.(2024). Digital twins for disaster prevention blog information, <https://landvauld.io/blog/digital-twins-for-disaster-prevention>
- Levine, N.M.& Spencer, B.F. (2022). Post-Earthquake Building Evaluation Using UAVs: A BIM-Based Digital Twin Framework. *Sensors*, 22, 873. <https://doi.org/10.3390/s22030873>
- Lu, Y.& Lu R (2020). Rebuilding resilient homeland: an NGO-led post-lushan earthquake experimental reconstruction program. *Nat Hazards*. 104:853-882
- Lu, X.; Wang, H.; Huang, M. (2014). Upper bound solution for the face stability of shield tunnel below the water table. *Math. Probl. Eng.*
- Obi, T. & Iwasaki. N. (2021). International Conference on ICT for Smart Society (ICISS). IEEE Publisher, ISBN:978-1-6654-1697-9 ss.1-4
- OECD (2008) *Financial Management of Large-Scale Catastrophes* no.12.
- Oktay, T. (2020). 1920-2020 Döneminde Türkiye'de Belediyelerin Gelişimi. *Medeniyet Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 171-223.
- Özkaya, S.G. (2023) Endüstri 5.0 Konseptinde Şehirlerin Dijital İkizlerinin Oluşturulması (Vaka: Erzurum Olur İlçesi Betonarme Bina). *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar X*, Eğitim Yayınevi, Konya
- Özüdoğru, B. A. (2023). 2023 yılında gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremin etkileri ve politika önerileri, https://www.tepav.org.tr/upload/files/16854357261.2023_yilinda_gerceklesen_kahramanmaraş_merkezli_depreminin_etkileri_ve_politika_önerileri.pdf
- Park, S., Lee, S. & Kim, M. S. (2018). Design and implementation of a smart IoT based building and town disaster management system in smart city infrastructure *Appl. Sci.* 2018, 8(11), 2239 ss.1-27; <https://doi.org/10.3390/app8112239>
- Patrick, B. (2018). *Meet Boston's digital twin*. Web adresinden 22 Kasım 2024 tarihinde erişildi: <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/3d-gis-boston-digital-twin/>
- Rayas A. & Salam S. (2017). Internet of things from hype to reality the road to digitization, *Springer Nature*, Switzerland.ss.1-393

- Riaz, K., McAfee, M. & Gharbia, S.S.(2023). Management of Climate Resilience: Exploring the Potential of Digital Twin Technology, 3D City Modelling, and Early Warning Systems. *Sensors*, 23, 2659. <https://doi.org/10.3390/s23052659>
- Salvia, A. L., Leal Filho, W., Brandli, L. L., & Griebeler, J. S. (2019). Assessing research trends related to sustainable development goals: Local and global issues. *Journal of cleaner production*, 208, 841-849.
- Sezer, Ö., & Vural, T. (2010). Kamu hizmetlerinin sunumunda devletin değişen rolü ve merkezi yönetim ile yerel yönetimler arasında yetki ve görev paylaşımı. *Maliye Dergisi*, 159, 203-219.
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R. & Glaessgen, E. (2010). DRAFT modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *Technology Area* 11. ss.1-32 http://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf (Erişim:05.06.2024)
- Shahat, E., Hyun., C. T., & Yeom, C. (2021). City digital twin potentials: a review and *Research Agenda. Sustainability*, 13(6), 2-20.
- Siemens. (2015). *The digital twin*. retrieved from: <http://www.siemens.com/customer-magazine/en/home/industry/digitalization-in-machine-building/the-digital-twin.html>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339.
- Toyama, M. & J. Sagara (2013) Measuring the cost-effectiveness of various *DRM Measures*.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2020). *Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years 2000–2019*. Human Cost of Disasters; United Nations Office for Disaster Risk Reduction: Geneva, Switzerland
- Walker, R. M., & Andrews, R. (2015). Local government management and performance: A review of evidence. *Journal of public administration research and theory*, 25 (1), 101-133.
- Wang Y.C, Liu, A & Tao, F. (2020) Digital twin driven conceptual design. *Digital Twin Driven Smart Design*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818918-4.00002-6> ss.1-36
- Yiğit, İ. O. (2023), *Dijital ikiz teknolojisi ve katma değerli uygulama alanları*, 20 Nisan 2024, <https://tr.linkedin.com/pulse/dijital-ikiz-teknolojisi-ve-katma-de%C4%9Ferli-uygulama>
- Yalçın, A. & Yalçın, S. (2013). Sürdürülebilir bir yerel kalkınma için cittaslow hareketi bir model olabilir mi?. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5 (1), 32-41.
- Yıkıcı, A. (2022). Dijital ikiz şehir fenomeni: Dünya'dan örnekler ve Türkiye'deki yönelimler. *Kent Akademisi Dergisi*, 16 (1), 138-163.
- Yolcu, F. S., & Ozan, M. S. (2024). Teknoloji Tabanlı Karar Alma Modeli Olarak Yapay Takdir Yetkisi: Türk Kamu Yönetimi İçin Bir Değerlendirme. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 165-183.
- Yu D. & He Z. (2022). Digital twin-driven intelligence disaster prevention and mitigation for infrastructure: advances, challenges, and opportunities, *Springer Science and Business Media LLC*, № 1, p. 1-36
- Zhuang C., Liu J. & Xiong H. (2018). "Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96: ss.1149–1163