



Geliş/Received: 29/09/2025
Kabul/Accepted: 20/10/2025
Araştırma Makalesi / Research Article

ISSN: 2547-9725

KENTLERDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAĞLAMINDA İKİZ DÖNÜŞÜM: UYGULAMA ALANI, ENGELLER VE FIRSATLAR

Emre DOĞAN*

İbrahim Güray YONTAR**

Öz

İklim değişikliği, iklim ortalamasında ve atmosfer bileşimlerinde uzun vadelerde meydana gelen doğa veya beşeri kaynaklı, karşılaştırılabilir ve gözlemlenebilir değişimlerdir. Beşeri faaliyetlerin iklim değişikliğine etkisi özellikle Sanayi Devrimi'yle birlikte çevre yerine kalkınmayı önceleyen sanayileşme anlayışının yaygınlaşmasıyla belirginleşmiştir. Kentsel ulaşım, enerji, kentsel arazi kullanımı, atık, kentsel binalar ve tarım gibi faaliyet alanlarındaki karbon emisyonları iklim değişikliğinin nedenleri arasındadır. Artan sıcaklık, afetler, kıyı kentlerde yaşanan deniz seviyesi yükselmeleri ve insan sağlığındaki olumsuz sonuçlar da kentlerin iklim değişikliğinden etkilendiğini göstermektedir. Güncel, küresel ve acil bir konu olan iklim değişikliği ile mücadele bu bağlamda yerelden uluslararası düzeye kadar her kademedede belirli değişimleri gerektirmektedir. Çalışmada bu dönüşümlerden biri olan ikiz dönüşüm ele alınmıştır. İkiz dönüşüm esas itibariyle dijital dönüşüm ve yeşil dönüşümün aralarında bir sinerji oluşturularak gerçekleştirilmesidir. Sadace dijital yenilikler ve teknolojik araçlar aracılığıyla iklim değişikliğiyle mücadele etmek mümkün değildir. Teknolojik araçların kaynak yoğun bir sektörü oluşturmaları ve dijital atıkların geri dönüşümünün zor olması, çevreye duyarlı bir dijitalleşmeyi yani ikiz dönüşümü gerekli kılmaktadır. Aynı zamanda temel olarak ikiz dönüşüm kapsamında kentlerde yaşanan değişim ve bu değişimin önündeki engelleri ve fırsatları incelemektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Kentleşme, İkiz Dönüşüm, Dijital Dönüşüm, Yeşil Dönüşüm.

JEL Kodu: Q54, S53, Q55.

* Arş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, dogan.emre@deu.edu.tr, ORCID: 0009-0009-8397-4321

** Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, guray.yontar@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7400-0260

Twin Transformation in the Context of Climate Change in Cities: Application Field, Obstacles and Opportunities

Abstract

Climate change refers to long-term shifts in climate averages and atmospheric composition. These changes must be comparable and observable. The impact of human activities on climate change has become particularly evident since the Industrial Revolution and the subsequent industrialisation process, which focused on development rather than the environment. Carbon emissions from activities such as transport, energy, urban land use, waste, urban buildings and agriculture are among the causes of climate change. At the same time, temperature changes, disasters, sea level rises in coastal cities, and adverse effects on human health caused by climate change also demonstrate that cities are affected by climate change. The current, global, and urgent fight against climate change requires specific changes at every level, from local to international. The twin transformation essentially aims to achieve synergy between the digital transformation and the green transformation. The fact that technological tools constitute a resource-intensive sector and that digital waste is difficult to recycle necessitates environmentally conscious digitalisation, i.e. the twin transition. This study examines the reasons behind the twin transition, its scope and current status. It also examines the changes taking place in cities within the scope of the twin transition and the obstacles and opportunities facing this change.

Keywords: Climate Change, Urbanization, Twin Transformation, Digital Transformation, Green Transformation

JEL Codes: Q54, S53, Q55.

1. GİRİŞ

Kentleşme ve sanayileşme başta olmak üzere doğal kaynakların sınırsızmış gibi kullanımı ve fosil yakıtlara olan bağımlılık sonucu artan karbon salımı hem çevreye hem de insan sağlığına zarar veren sonuçlar doğurmaktadır. Karbon emisyonları atmosfer bileşimini bozarak iklim değişikliğine neden olmaktadır. Kentler ise karbon salımının en fazla olduğu mekanlardır. Hem nüfusun enerji ihtiyacı hem de kentsel hizmet kaynaklı emisyonlar iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından biri olan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Kentler aynı zamanda iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarından en fazla etkilenen mekanlardandır. Afetler, küresel ısınma, hava kirliliği, düzensiz yağış rejimleri gibi iklim değişikliğinin sonuçları kentleri hem çevresel hem de ekonomik açıdan olumsuz etkilemektedir. Bu durum, iklim değişikliği ile kentleşme arasındaki karşılıklı bir etkileşimi göstermektedir.

İklim değişikliği ile mücadele pek çok alanda değişim ve dönüşüm gerektirmektedir. Mevcut durum ve davranış kalıplarına devam etmek, iklim değişikliğinin geri dönüşü ve düzeltilme imkânı olmayan sonuçlarına neden olmaktadır. Bu dönüşümlerden biri olan dijital dönüşüm, bilgi işlem teknolojisi temelli bir yaklaşımla, verilerin daha hızlı ve etkili işlenebildiği bir dönüşümdür. Yeşil dönüşüm ise daha kapsamlı olarak çevre odaklı ve doğal kaynakları korumayı hedefleyen bir dönüşümdür. İkiz dönüşüm kavramı da bahsedilen bu iki dönüşümü birbirini tamamlar şekilde gerçekleşmesini hedefleyen literatürde oldukça yeni olan bir kavramdır.

İkiz dönüşüm, iklim değişikliği ile mücadele için önemli bir yol haritası sunmakta ve kentlerde iklim değişikliği ile mücadele için de önemli bir kavramı ifade etmektedir. Kentsel hizmet alanlarında gerçekleşen dönüşümler, ikiz dönüşüm kapsamında daha iyi nasıl olunabileceğini göstermektedir. Fakat her dönüşüm ve değişimde olduğu gibi ikiz dönüşümün de önünde başta ekonomik ve bilgi yetersizliği olmak üzere çeşitli engeller vardır. Aynı zamanda doğru bir ikiz dönüşümün uzun vadede hem kentsel hem de ulusal düzeyde fırsatlar sunacağı düşünülmektedir.

İklim değişikliği ile kentleşmenin etkileşimine odaklanan bu çalışmada ilk kısmında bu etkileşimin nedenlerine, sonuçlarına ve kentsel mekanlardaki önemli karbon salımı gerçekleştiren sektörlerle değinilecek ikiz dönüşüm kavramı ele alınacaktır. Son olarak ikiz dönüşümün kentsel boyutuna bakılıp bu dönüşümün gerçekleştirildiği kentsel faaliyet alanları, önündeki engeller ve gelecekte sunduğu fırsatlara değerlendirilecektir.

2. KENTLEŞME VE İKLİM DEĞİLİKLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Aşırı kentleşme ve hızlı nüfus artışı, 20. yüzyılda ekosistemde kimi bozulma ve dengesizliklere neden olmuştur. Sanayi Devrimi ile birlikte oluşan ekonomik ve toplumsal koşullar çevrenin korunması gerçeğini ortaya çıkarmıştır (Keleş, 2013: 611). Kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışları karşısında çevrenin korunması gereği, özellikle 1970'lerde

ortaya çıkmış ve bu anlayış ilerleyen dönemlerde uluslararası alana da taşınmıştır (Toprak Karaman, 1998: 47).

Uluslararası seviyede çevrenin korunması kapsamında ilk önemli adım 1972’de Stockholm’de atılmıştır. Adı “Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı” olan bu toplantıda çevrede insan kaynaklı oluşan zararlara dikkat çekilmiş, yaşam koşullarının iyileştirilmesinden bahsedilmiş ve çevre-insan ilişkisi açısından işbirliği ve dayanışma ilkelerinin altı çizilmiştir (Keleş, Hamamcı & Çoban, 2012: 449-450). Toplantı sonrası 1973’te UNEP’in (Birleşmiş Milletler Çevre Örgütü) kurulması da çevre sorunlarına karşı artan ilginin bir göstergesidir. 1992’de Rio de Janeiro’da toplanan Birleşmiş Milletler Çevre ve Geliştirme Konferansı ve 2002 yılında Johannesburg’da Rio Konferansının değerlendirilmesi toplantısı, Birleşmiş Milletler’in çevre ve çevre sorunları karşısında uluslararası düzeyde önemli bir yerde olduğunu göstermektedir (Sönmezoglu & Erler Bayraktar, 2012: 252-253).

1988 yılında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) kurulmasıyla, spesifik olarak iklim değişikliğine olan ilgi de başlamıştır. 1992 Birleşmiş Milletler Çevre ve Geliştirme Konferansının bir çıktısı olan “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” kapsamında doğrudan iklim değişikliği sorununa değinilmiştir (Türk, 2008: 250).

2.1. İklim Değişikliği ile Kentleşmenin Karşılıklı Etkileşimi

1992 tarihli Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinde (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) iklim değişikliği; iklim değişkenleri ve ortalamasındaki uzun süreler içinde meydana gelen değişimler, beşeri veya doğal olarak iklim sistemi bileşenlerindeki değişimler, karşılaştırılabilir ve gözlemlenebilir periyotlarda doğrudan veya dolaylı olarak insan etkinliklerinin atmosfer bileşimini bozması ve buna bağlı oluşan değişimler olarak tanımlanmıştır (1992: 5).

İklim sistemleri; dünya ekseninde meydana gelen değişimler, toz bulutları, kıta hareketleri veya volkanik patlamalara bağlı olarak tarih boyunca doğal yollarla değişmiştir (Ersoy, 2006: 6). Fakat günümüzde meydana gelen

iklim değişikliği doğal değil %95 oranıyla insan kaynaklı bir değişimdir (IPCC, 2018: 55-56). İnsan faaliyetleri kaynaklı iklim değişikliğinin en önemli eylemlerinin başında fosil enerji kullanımı gelmektedir. Sanayileşme süreciyle birlikte fosil yakıtlar atmosferdeki sera gazı oranlarının önemli derecede artmasına neden olmuştur. En çok kullanılan fosil yakıtlar kömür ve petrolken, fosil yakıtların en çok kullanıldığı alanlar ise ısınma, ulaşım, enerji üretimi ve sanayidir (Kaba, 2020: 7)

Kentler hem iklim değişikliğine neden olan insan faaliyetlerinin meydana geldiği mekanları hem de iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarından en çok etkilenen mekanları oluşturmaktadır (Uysal, 2022: 332). Kentler, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu kadar fazla emisyon kaynağı olmasına rağmen kentler küresel kara parçasının %3'ünü, toplam dünya nüfusunun ise %68'ini kapsamaktadır (Tuğaç, 2022: 42-43). Kentler hem ekosistemin geleceğinde hem de ülkelerin kalkınma politikalarında önemli bir yere sahiptir.

Kentlerin ekonomik faaliyetlerin merkezi haline gelmesi, nüfus artışının kontrol edilememesi ve sınırların genişlemesi sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır (The World Bank, 2009: 100-104). Kentlerin hem nüfus hem de ekonomik faaliyetleri neticesinde fosil yakıtlara olan bağımlılığı devam ettiği sürece 2050 yılı için 2005'e göre 3 kat daha fazla emisyon salımı gerçekleştireceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda, küresel anlamda en fazla karbon ayak izine sahip ilk 100 kentin toplam emisyon oranlarının, küresel emisyonların %20'sini oluşturmaktadır (Mora, Dousset, Caldwell & Powell, 2017: 502-504). Atık, enerji talebi ve kullanımı, yanlış arazi kullanımı ve sera emisyonlarına katkıları, iklim değişikliği açısından kentlerin önemini göstermektedir (Balaban, 2017, 620).

Kentler barındırdıkları nüfus göz önüne alınırsa, iklim değişikliğinden en çok etkilenen mekanları oluşturmaktadır. Su kıtlığı, sel ve taşkınlar, artan sıcaklıklar, deniz seviyesindeki yükselmeler ve hava kirliliği gibi iklim değişikliğinin olumsuz sonuçları kentleri sosyal, çevre, ekonomik ve sağlık alanlarında etkilemektedir. Bu etkilerden ilki olan sıcaklık artışlarının, özellikle küresel ısınmaya bağlı olarak 2000'lerden itibaren sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Kentte

yaşayanların %30'u yıl içinde en az 20 gün boyunca insan sağlığına zararlı seviyedeki sıcaklıklara maruz kalmaktadır (Mora vd, 2017: 503).

Kentlerdeki sıcaklık artışları yangınlara neden olmakta, kentlilerin sağlığını doğrudan etkilemekte ve ısıtma-soğutma kaynaklı enerji talebini yükselterek sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır (Baysal, 2019: 22). Kentlerde meydana gelen yangınların sadece kentle sınırlı kalmadığı, çevre alanlarda da hava kirliliği gibi etkilere neden olduğu bilinmektedir. Aşırı sıcak hava olaylarının kentlerde aynı zamanda düzensiz yağış rejimlerine neden olması, su kıtlığının yaşanması ve buharlaşmanın artmasıyla ekosistemlerin zarar görmesi gibi etkileri de bulunmaktadır. Su kıtlığı yaşanan kentlerde suyun kentin diğer alanlarına aktarılması için gerçekleştirilen tedarik süreçleri ise enerji kullanımını arttırmaktadır (Baysal, 2019: 19-20).

İklim değişikliğine bağlı fırtına, hortum, kasırga gibi afetler de kentleri olumsuz etkilemektedir. 2010-2021 arasında %32 ile fırtınalar en çok görünen afet olurken onu %30'la sel, %17'yle hortum takip etmektedir (Kurban, 2023: 37-38). Sel ve taşkınlar açısından, son yıllarda gerçekleşen afetlerin %90'ının iklim değişikliği kaynaklı olduğu ve bu afetlerden biri olan sellerin ise küresel açıdan 1600 kenti etkilediği görülmektedir (Tuğaç, 2022: 46). Sel ve taşkınlar iklim değişikliği kaynaklı yağış rejimindeki düzensizlik ve aşırılıklar nedeniyle daha da artmakta ve kentin ana problemlerinden birini oluşturmaktadır. Aşırı yağışa bağlı olarak tarımsal alanların zarar görmesi neticesinde kentlerde gıda güvenliği sorunu da meydana gelmektedir (Kahraman & Şenol, 2018: 357-358). Aşırı yağışlarla bağlı olarak kentlerde meydana gelen bir diğer sorun ise su kalitesindeki düşüş ve su kıtlığıdır. Özellikle kentlerdeki yoksul kesimin temiz suya erişimi zorlaşmaktadır. 2050'de yaklaşık 570 kentin su kaynaklarında %10 düşüşün gerçekleşeceği ve bu kentlerde toplam 700 milyona yakın kentin su kıtlığıyla karşılaşacağı tahmin edilmektedir (C40Cities, 2018: 2).

Deniz seviyesindeki artışların kentlere etkisi de önemli derecededir. Bu artışlar hem kıyı kesimlerde göçe neden olmakta hem sosyal ve kültürel yapılara zarar vermekte hem de

denizcilik ve tarım gibi alanlardaki etkileriyle ekonomiyi etkilemektedir. 2050 yılı için yapılan bir tahminde, sera gazı salımlarının bugünkü gibi devam etmesi durumunda yaklaşık 600 kentte yaşayan 800 milyondan fazla insanın deniz seviyesindeki artıştan etkileneceği belirtilmektedir. Sadece Endonezya'nın 11 milyon nüfuslu Jakarta kenti örneği üzerinden konuya bakıldığında nüfusun %60'ını oluşturan yoksul kesimin, deniz seviyesinin yükselmesi durumunda yaşanacaklara karşı savunmasız olduğu belirtilmektedir (C40Cities: 2018: 4).

Böylece iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarının kentler üzerindeki etkileri çevre, sağlık, sosyal yaşam ve ekonomik olarak dört grupta toplanabilir. Çevre üzerindeki etkilerini; deniz seviyesindeki yükseliş nedeniyle özellikle kıyı kentlerdeki toprak kaybı, bu alanlardaki biyolojik çeşitliliğin azalması, kara ve deniz ekosistemleri gibi doğal yutak alanların zarar görmesi, katı ve sıvı atıkların düzensiz olarak çevreye atılmasıyla verilen kirlilikler olarak (Düzgün, 2020: 36-37) sayılabilir. Kentlerde sağlıkları açısından olumsuz sonuçlar ise temiz suya erişim nedeniyle yaşanan salgın hastalık, enfeksiyon gibi hastalıkların artışı, afetler karşısında kentlilerin psikolojilerindeki bozulmalar (Baysal, 2019: 22), hava kirliliği nedeniyle solunum sistemindeki rahatsızlıklar ve ölümler sayılabilir. İklim değişikliğinin kentlerin ekonomisi üzerindeki etkileri açısından da enerji altyapılarının zarar görmesi nedeniyle yaşanan aksamalar, denizcilik ve kıyı faaliyetleriyle geçinen kesimin gelir kaybı, ulaşım sistemlerindeki zararların ekonomiyi sekteye uğratması ve kentin ekonomik açıdan kritik altyapılarındaki zararlar nedeniyle enerjiye ulaşımın zorlaşması sayılabilir (Tuğaç, 2022: 46-47). Sosyal açıdan ise en önemlisi, iklim değişikliğine karşı savunmasız olan yoksul kentsel mekanlarda yaşayanların gördükleri zararlardır.

2.2. Kentlerde Karbon Emisyonunu Azaltmada Önemli Sektörler

Kentlerde iklim değişikliği ile mücadele için emisyon salımına büyük katkısı olan sektörel alanların belirlenip bir yol haritasının çıkarılması ve stratejik planların oluşturulması elzemdir. IPCC'nin 1,5 Derece Özel Raporu'nda küresel sıcaklık

artışının sınırlandırılması ve/veya durdurulması için temel olarak kentlerde sera gazı salımının %85'e kadar azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının ise %80'lere çıkarılması gerekmektedir (IPCC, 2018). Kentlerde gerçekleştirilen faaliyet alanlarının küresel ölçekte karbon salımında sektörel alanlarda oransal dağılımı ise enerji sektörü %26, endüstriyel faaliyetler %20, ormancılık sektörü %17, ulaşım sektörü %14, tarım faaliyetleri %14, binalardan kaynaklı emisyon oranları %7 ve atık sektörü kaynaklı emisyon oranı %3 olarak görülmektedir (IPCC, 2018).

Kentlerde en fazla emisyonu neden olan sektörlerin başında gelen enerji sektörü temel olarak fosil yakıtlara olan bağımlılıktan kaynaklanmaktadır. Kentlerde ulaşım araçlarının fosil yakıt tüketimi küresel açıdan emisyonların %37'sini oluşturmaktadır (Tuğaç, 2020: 1133). Yine fosil yakıt kullanılarak kentlerdeki soğutma-ısıtma için gereken enerjinin kullanımı, taşımacılık faaliyetleri ve elektrik kullanımı da enerji sektöründen kaynaklı emisyonları arttırmaktadır. IPCC 2023 Özel Raporu, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğinin ve kullanılabilirliğinin arttığını, maliyetlerinin ise azaldığını belirtmektedir (IPCC, 2023: 10-11).

Kentsel ulaşım sistemleri de kentlerde emisyon oranına en fazla katkısı olan sektörlerden biridir. Özellikle bireysel araç kullanımının artması, toplu taşıma sistemlerinin yetersiz kalması ve nüfus artışı gibi etkenler, kentlerde ulaşımdan kaynaklanan emisyonları arttırdığı gibi hava kirliliği ve trafik sorunlarına da neden olmaktadır. Ulaşım sektörü kaynaklı emisyonların azaltılması için geleneksel teknolojiye dayalı ulaşım sistemlerine geçiş, bireysel araç kullanımı yerine karbonsuz raylı sistemler, çok modlu ulaşım, sıfır emisyon elektrikli araç kullanımına geçiş önem arz etmektedir. Enerji talebi yüzünden kentsel alanlarda emisyon oranı yüksek olan sanayi ve endüstriyel faaliyetler ise hem çevresel kirliliğe hem de iklim değişikliğine etki etmektedir. Bu sektörde emisyon oranlarının azaltılması için ise enerji kullanımının rasyonelleştirilip minimize edilmesi, geri dönüşümün yaygınlaştırılması ve döngüsel ekonomi modeline geçilmesi gerekmektedir (Lewandowski, 2016: 42-43).

Sayılan bu üç sektörel alan, kentsel emisyon oranlarının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Ayrıca bina yapı sektöründeki enerji talebi ve binalarda kullanılan enerji (aydınlatma, ısıtma-soğutma işlemleri gibi), tarım ve ormancılık faaliyetleri kapsamında arazi kullanımı ve mekânsal planlamalardan kaynaklı değişimler, katı ve sıvı atık kaynaklı emisyonla da kentlerde karbon emisyonlarını yükselten temel alanlardır. Bu açıdan kent yönetimleri için günümüzde iklim eylem planlarının önemi tartışılmazdır. Bu planlar hem yönetim eksenli olarak tüm ilgili kesimlere açık olmalı hem de iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından biri olan afetlere karşı kentleri dirençli hale getirmelidir. Bu stratejik eylem planları kapsamında kurulacak olan kurumların sürdürülebilirliği ve kent sistemlerinde söz sahibi olmaları ise kurumların gücünü arttıran unsurlar olacaktır (Urban Climate Change Research Network, 2015: 1-2).

3.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAYNAKLI YAŞANAN DÖNÜŞÜMLER

“Dönüşüm” Türk Dil Kurumu tanımına göre “şekil değiştirme, bir durumdan başka bir duruma geçme, tahavvül” olarak tanımlanmıştır (TDK). Kentler de dinamik yapıya sahip olduklarından tarih boyunca çeşitli dönüşümler geçirmişlerdir. İklim değişikliğinin kentler üzerindeki etkileri düşünülürse günümüzde buna dayalı dönüşümler yaşanması olağandır.

3.1. Dijital Dönüşüm

Dijitalleşme kavramı, analog denenen temel bilgi sistemlerinin sayısal formata dönüşümünü ifade etmektedir. Bilgi ve verilerin sayısal forma geçirilmesiyle birlikte bunların bilgisayarda saklanıp işlenebilirliği sağlanmıştır. Özel sektörde olduğu kadar kamu yönetiminde de dijitalleşme sayesinde iş süreçleri kapsamında verilen hizmet ve faaliyetler daha verimli, hızlı ve yenilikçi şekilde sunulmaya başlanmıştır. Dijitalleşme ve dijital dönüşümle elde edilen bilgi ve verilerin iş yapımındaki kullanımı, paylaşımı, iletişimi ve analizi önemli ölçüde geliştirilmiştir (Deniz & Büyük, 2023: 61).

Dijitalleşme ve dijital dönüşüm 2016 tarihinde gerçekleştirilen Dünya Ekonomik Forumu'nda dikkat

çekilmiştir. Bu formda, Endüstri 4.0 benimsenerek yaşanan gelişmelerin dijitalleşmeye dayandırıldığı görülmektedir. Endüstri 4.0 içerisinde dijitalleşmeyle ilgili olarak nesnelerin interneti, büyük veri ve blok zinciri gibi kavramlara dikkat çekilmiştir (Yurtsever, 2023: 677). Bu uygulamalar, aynı zamanda ekonomik açıdan da verimliliği arttırmada büyük öneme sahiptir. Risklerin sık ve çeşitli olduğu günümüzde, karşılaşılan sorunlara ve risklere karşı dijital unsurların optimize edilerek yeni iş modelleri ve ortaklıklar oluşturması, kaynak yaratması en nihayetinde kazançlı olacaktır (Berman, 2012: 22).

Dijital dönüşümü en genel anlamıyla dijital teknolojiler üzerinde inşa edilmiş ve bu şekilde yönlendirilen değişim olarak tarif edilmektedir. Dijital dönüşüm sayesinde kurumlar sosyal medya, büyük veri, analitik ve bulut gibi araçlarla kurumsal geçiş yaşamaktadırlar. Bir diğer tanımına göre ise dijital dönüşüm, kurumların dijital teknoloji uygulamalarını işletme süreçlerine entegre etmesidir. Kurumlar böylece yenilikçi teknolojiler kullanarak yeni değerler yaratmakta, gelişen teknolojileri yakalayarak ekonomik açıdan daha rekabet edebilir hale gelmektedirler. Bu değişim, onların daha hızlı ve verimli olmalarına yaramakla birlikte, müşteri odaklı bir anlayışın da hakimiyet kazanmasını sağlamaktadır. Dijital dönüşüm sadece özel sektörde değil kamu yönetimi kapsamında eğitim, sağlık ve finans kurumlarını da kapsamaktadır ve bu alanlarda yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri ve bilişim gibi teknolojik gelişmeler sisteme entegre edilmektedir (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu-BTK, 2020: 10-11).

Dijital dönüşüm kamu yönetiminde özellikle kodlama, yazılım dili ve yapay zekadaki gelişmelerle birlikte merkezi ve yerel yönetimlerde demokratik yönetim anlayışının gelişimine yardımcı olmuştur. 21. yüzyıl içinde kamu yönetimindeki idari reformların dijital devrim olarak adlandırıldığı görülmektedir. Bu süreç içerisinde sosyal hareketlilik, yönetişim ve küreselleşme kavramları kamu yönetiminde değişimi hızlandırmış, e-devlet ve e-demokrasi gibi uygulamaları ortaya çıkarmıştır. Dijitalleşmeyle birlikte yönetime katılım kolaylaştırılmış, stratejik planlarda veri toplanması ve analizi

hızlı ve verimli hale getirilmiş ve şeffaflık, hesap verebilirlik ilkeleri sayesinde daha demokratik bir yönetim anlayışı egemen kılınmıştır (Coşkun & Yıldırım, 2018: 150-151). Kamu yönetimindeki bu dijitalleşme süreci “dijital çağ yönetişimi” anlayışının gelişmesine katkı sağlamıştır. Yerinden entegrasyon, ihtiyaca dayalı holizm ve sayısallaştırma süreçlerini ana tema haline getiren dijital çağ yönetişimi, kamu hizmetlerinde bilgi teknolojilerinin kullanımını, tüm süreçlerin teknoloji sayesinde basit hale getirilmesini ve rutin işlerin otomatikleştirilmesini sağlamaktadır (Dunleavy, Margetts, Batsow & Tinkler, 2006: 482-485).

Dijitalleşme ve dijital dönüşümün kentlere yansımaları ise en belirgin olarak akıllı kent uygulamalarında görülmektedir. Akıllı kent uygulamalarının merkezinde, kentleşme sonucu ortaya çıkan sorunların çözümünde dijitalleşme, yenilikçi uygulamalar, yeni teknolojiler ve bilgi işlem teknolojisinin etkili olacağı bulunmaktadır (Ulubaş Hamurcu, 2023: 72). Kentlerde hizmet sunumunun etkili ve verimli gerçekleştirilmesi zorunluluğu, kentlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması ve iklim değişikliğiyle mücadelede yenilikçi teknolojilere olan ihtiyaç, akıllı kent uygulamalarını ön plana çıkarmaktadır. Dijital çözümler trafik yönetimi, hava kalitesi, kirliliğin önlenmesi, ulaşım sistemlerinin verimli hale getirilmesi ve emisyonların azaltılması gibi alanlarda etkili uygulamaları sunmaktadır. Akıllı kent modelinin bir bileşeni olan akıllı çevre, çevrenin sürdürülebilirliğinde bilgi işlem teknolojisinin kullanılmasını, akıllı sayaç ve akıllı enerji şebekeleri gibi uygulamaları içeren bir kavramdır (Ortaçesme, Atik & Muhammetoğlu, 2023: 11). Bu bileşenin, kentlerde iklim değişikliği ile mücadelede olumlu katkı sağlaması beklenmektedir.

3.2. Yeşil Dönüşüm

Yeşil dönüşüm doğal kaynakların daha verimli kullanılması, iklim değişikliği gibi çevre sorunlarının çözümü, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması gibi hedefleri olan kapsamlı bir dönüşümü ifade etmektedir. Yeşil dönüşüm, geleneksel üretim-tüketim biçim ve süreçlerinin yenilenebilir kaynaklar ve çevre dostu üretim biçimlerine doğru yenilikçi bir dönüşümü ifade etmektedir. Bunlar arasında en önemli

dönüşüm enerji, ulaşım, barınma, arazi kullanımı ve endüstri gibi alanlarda gerçekleşmektedir. Yeşil dönüşümü ortaya çıkaran temel sorun, eski ekonomik büyüme yaklaşımının doğal kaynakları sınırsızmış gibi algılamasıyla hammadde sıkıntısının çıkması ve buna bağlı artan fiyat tehdididir (Cheba, Bak, Szopik & Ioppolo, 2022: 2). Yeşil dönüşümle birlikte sıklıkla kullanılan yeşil kalkınma bu kapsamda, daha sağlıklı, düzenli bir ekoloji ve yaşanabilir ortamlar için gerekli gelişmeleri hedeflemektedir. Bu gelişim, iklim değişikliği ile mücadele kapsamındaki dönüşümlere de itici etken olmaktadır (Liu, Wang, Huang, Zhang & Long, 2023: 4).

Yeşil dönüşümde çevre odaklı üretim-tüketim süreçlerinin öncelenmesi önemli alanlarda değişime neden olmaktadır. Bunlar arasında; fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, enerji bağımlılığının azaltılıp enerji verimliliğini arttırmak, sektörel bazlı emisyonların her alan için ayrı planlanıp nötrlemeye çalışmak, doğal kaynakların sürdürülebilirliğini sağlamak ve rasyonel atık yönetimini oluşturmaktır. Yeşil dönüşüm süreci, sürdürülebilir gelişme ve sürdürülebilir kalkınma anlayışıyla yakından ilgilidir. Sadece çevrenin öncelenmesi değil aynı zamanda sürdürülebilir bir ekonomik model inşa edilerek gelecek nesillerin de gezegenden yararlanma hakları göz önüne alınmaktadır (Yurtsever, 2023: 681).

Çevre sorunları, iklim değişikliği, küresel ısınma ve kentleşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkileri gibi küresel olan sorunlar, yeşil dönüşüm kavramını küresel bir konu haline getirmiştir (Yu & Khan, 2021: 3-4). Böylece yeşil dönüşüm, sürdürülebilir kalkınma felsefesine dayanarak, ekonomik büyümeyi çevreyi yadsıyarak değil, çevrenin korunması, gelecek nesillerin haklarını sağlama ve yüksek yaşam kalitesi yaratma gibi hedeflerle sürdürmeyi önceler (Cheba vd, 2022: 1). Yeşil dönüşümün kapsamı ve sınırlarının genişliği, evrensel olarak yeşil dönüşüm için kabul edilmiş tek bir yöntem ve uygulamanın da bulunmamasıyla sonuçlanmaktadır (Şengüllendi & Şehitoğlu, 2023: 558). Çevreyi önceleyen bir sistemi hedefleyen yeşil dönüşüm bu kapsamda kentlerdeki gelişmeyi çevre dostu bir boyuta taşımaktadır.

3.3. İkiz Dönüşüm: Dijital Dönüşüm ve Yeşil Dönüşümün Entegrasyonu

Yeşil dönüşüm, dijital dönüşümün çevre üzerinde olası olumsuz etkilerini ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Dijital dönüşüm kapsamında ileri teknolojik araç gereçlerle her ne kadar çevresel sorunlara çözüm aranmak istense de bu teknolojik araçların üretim süreçleri çevreye zarar verebilir. Yeşil dönüşüm bu açıdan “yeşil teknolojik araçlar” aracılığıyla teknolojik gelişmelerin çevresel sürdürülebilirliğini sağlamayı da amaçlamaktadır. Bu araçlar çevresel zararların azaltılması, iklim değişikliği ile mücadele edilmesi ve düşük karbonlu araçların geliştirilmesi için ortaya çıkan araçlardır. Bunlara; e-yakıt, ileri biyoyakıt, karbon yakalama araçları ve sıfır karbon çimento örnek verilebilir (Bianchini & Ghisetti, 2023: 878). Bu çaba, ikiz dönüşüm kavramının ortaya çıkmasını da sağlamıştır.

Yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün birbirlerini tamamlar şekilde gerçekleştirilmesini hedefleyen ikiz dönüşüm, “sürdürülebilir dijital dönüşüm”, “ikiz dijital”, “dijital ve döngüsel” veya “çevresel ve dijital dönüşüm” olarak da adlandırılmaktadır (Zencirli, 2024: 28). Adlandırmalar her ne kadar çeşitli olsa da ikiz dönüşüm ile amaçlanan yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün eş zamanlı gerçekleştirilmesiyle sistematik dönüşümleri gerçekleştirmek, karbon ayak izinin azaltma hedefine ulaşmak ve yeşil bir gelecek meydana getirmektir (Rehman, Giordino, Zhang & Alam, 2023: 7). İkiz dönüşüm sayesinde yeşil ve dijital dönüşüm arasında sinerji oluşturulacak, riskleri yönetmek mümkün olacak ve adil, sürdürülebilir, rekabetçi bir gelecek inşa edilecektir.

Başarılı bir ikiz dönüşümün gerçekleştirilmesi için temelde “endüstriyel, teknolojik ve bilgi seviyesi” gerekmektedir. Endüstriyel seviye için dijitalleşmenin tamamlanması, döngüsel ekonomi için hedeflerin belirlenmesi, sektörel alanda ikiz dönüşümün teşvik edilip stratejik planların oluşturulması gerekmektedir. Teknolojik seviye için döngüsel geçişlerde araştırmaların teşvik edilmesi ve gerekli analizlerin yapılması gerekmektedir. Bilgi seviyesi için gerekli becerilerin edinilmesi ve farklı eğitim girişimleri arasında sinerjinin güçlendirilmesi gerekmektedir (Ortega-Gras, Beuneo-Delgado, Canavate-

Cruzado & Garrido-Lova, 2021: 14). Avrupa Komisyonu tarafından 2022 tarihli “Towards a Green & Digital Future” (Yeşil ve Dijital Bir Geleceğe Doğru) raporunda ikiz dönüşüm için gerekli unsurlardan bahsedilmektedir. Bunlar arasında sosyal, çevresel, ekonomik ve siyasi gereksinimler bulunmaktadır. Sosyal gereksinim; adil dönüşümün sağlanması, çevresel gereksinim; dijital ve yeşil teknolojilerin çevresel ayak izlerinin azaltılması, siyasi gereksinimler ise yatırımların yönlendirilmesi, standartların oluşturulması ve politik tutarlılığın sağlanmasıdır (Muench, Stoemer, Kathrine, Asikainen, Salvi & Scapolo, 2022: 7).

Yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün kaçınılmaz olduğu günümüzde, bu iki dönüşüm arasında sinerji, uyum ve birbirlerini destekleme enerjisini oluşturan ikiz dönüşüm kavramı, uluslararası düzeyde de gündeme gelmiştir. Başta Avrupa Birliği ülkeleri ve ABD olmak üzere, ikiz dönüşümüne uyum sağlanması için belli becerilere ihtiyaç duyulduğu tartışılmaktadır. Çünkü yeni yaratılan işler, eski işlere göre farklı beceriler gerektirebilmektedir. Buna örnek olarak dijitalleşme sonucu vasıflı çalışanlara ulaşmanın veya çalışanlarda bu beceri setini bulabilmenin zorluğu verilebilir (Deniz & Büyük, 2023: 63). Avrupa Birliği, Avrupa Yeşil Mutabakatı başta olmak üzere önemli düzenlemelerinde ve strateji belgelerinde, ikiz dönüşüm kavramının önemini vurgulamaktadır.

UNEP Dijital Dönüşüm Alt Programı’nın (Digital Transformation Subprogramme), “Digital Transformation: Becoming an Innovative, Agile and Collaborative Organization, Fit for Purpose in the Digital Age- 2022 Version 1.0” adlı raporunda yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün uyumuna dikkat çekilerek, dijital araçlarla çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabileceği, iklim değişikliği ile mücadelede olumlu etki edeceği ve kirlilik gibi konularda gelişmeler yaşanabileceğine dikkat çekilmektedir. Yeşil ve dijital dönüşümün birlikte ele alınmasının en temel faydalarından biri olarak kaynak kullanımının optimize edilmesi ve karbon emisyonlarının ek %20 azalması olarak belirtilmiştir. Bu faydalara rağmen iklim değişikliği ile mücadelede sadece dijital çözümlere bel bağlanılmaması gerektiği de vurgulanmaktadır. Çünkü dijital

araçların malzeme talebi, e-atık süreci ve bu süreçlerde çevre üzerindeki olumsuz baskı yadsınmamalıdır. Özellikle e-atıkların sadece %20'si geri dönüştürülebilmektedir. (UNEP, 2022: 4-6).

2022 tarihli Towards a Green and Digital Future raporunda yeşil dönüşüm ve dijital çözümün birbirini tamamlayabileceği gibi, bu iki dönüşümün çatışabilme olasılığı da tartışılmaktadır. Dijitalleşme sürecinin kaynak yoğun bir süreç olması, atık üretiminin fazlalığı ve bunların geri dönüşümünün zor olmasının altı çizilmektedir. Rapordaki çarpıcı örneklerden biri olarak; hibrit araç fiyatının düşmesiyle bireysel araçlanmanın artması, uzaktan çalışmanın yaygınlaşmasıyla ısıtma-soğutma başta olmak üzere bina enerji talebinin artması verilmektedir. Bu gibi sakıncaların giderilmesi için proaktif ve bütünleştirici yönetim gerekmektedir (Muench, vd, 2022: 16-18).

İkiz dönüşüm, yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün bir sinerji içerisinde gerçekleşmesini hedeflemesine rağmen bu iki dönüşümün bazen birbirini engelleyebileceği de anlaşılmaktadır. Bu riskin oluşmaması için teknolojik kapasitenin geliştirilmesi ve bu gelişmelerin çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması gerekmektedir. Eğer yeşil dönüşüm ve dijital dönüşüm istenilen gibi birbirlerini tamamlar ve uyum içerisinde gerçekleşirse, iklim değişikliğiyle mücadele olmak üzere pek çok çevre sorununun çözümünün hızlanacağı tahmin edilmektedir. Dijital dönüşüm sayesinde kullanımı yaygınlaşan araçlarla birlikte iklim verilerinin dijital ortamda saklanması, kullanılması ve analiz edilmesi, hava kirliliğinin takip edilip ölçülmesi vb. uygulamalar iklim değişikliği ile mücadelede önemli katkı sağlayacaktır.

4. İKİZ DÖNÜŞÜMÜN KENTSEL BOYUTU

İkiz dönüşüm temel olarak çevre dostu teknolojik dönüşümü incelemektedir. Bu uygulama alanlarının kentsel boyutuna bakmak için kentsel hizmet alanlarında göre hangi uygulamaların önemli olduğuna değinilecektir.

4.1. İkiz Dönüşümün Kentte Uygulama Alanları

Kentlerde enerji sektörü emisyon oranlarında en yüksek paya sahip alanlardan biridir. Değişen toplumsal beklentiler, iklim değişikliğinin enerji politikalarına yansması ve teknolojik gelişmeler enerji sektöründe değişimi hızlandırmaktadır. İkiz dönüşüm kapsamında “kentsel çoklu enerji sistemleri” düşük karbonlu enerji sistemleri açısından önemli bir uygulamadır. Kentsel çoklu enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji sistemine entegre ederek, çeşitli altyapılar arasında sektörel birleştirmeye iyileştirilmiş ve verimliliği yüksek sistemler kurmaktadır. Bu sistemler aynı zamanda düşük ve net sıfır emisyon hedeflidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin yerel üretim ve tüketimini teşvik eden, merkezi olmayan esnek bir kentsel enerji sistemi kurulmaktadır. Kentsel alanlarda enerjiye artan talep, artan sayıda enerji taşıyıcıları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dağınık yapısı bu karmaşık sistemler için birbirine bağlı dijital araçları zorunlu hale getirmektedir. Kentsel çoklu enerji sistemlerinde nesnelerin interneti, blok zincir teknolojisi, yapay zekâ, dijital ikizler ve dijitalleşme sayesinde bu alanda yeni iş akışları sunmakta (Koirala, Cai, Khayatian, Munoz, An, Mutschler, Sulzer, De Wolf & Orehounig, 2024: 1-3) ve karmaşık olan sistemi basitleştirmektedir. Dijitalleşmenin sunduğu bu imkanlar aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji sistemlerine daha verimli entegrasyonunu sağlamaktadır. Fakat kentsel enerji sistemlerinin bu şekilde verimli ve çevreye duyarlı hale getirmek için veri güncelleme metodolojisinin sürekli değişim halinde olması ve modellemeler için ölçeklenebilirliğin zor olması, sistemin uygulanabilirliğini güçleştirebilmektedir (Koirala vd., 2024: 17).

Kentsel hizmet alanlarından olan ve karbon salımı yüksek bir diğer sektör kentsel ulaşım ve sistemleridir. Dijital teknolojiler sayesinde fiziksel ulaşım sistemlerinin sanal versiyonunun yaratılmasıyla hem ulaşım sistemlerinin güvenliği sağlanmakta hem trafik ölçümleri yapılmakta hem de sistemin sürdürülebilirliği sağlanmaktadır. Dijital ikizlerde sistemdeki veri odaklı güncellemelerle doğru temsiller kurulmakta ve gerçek zamanlı izlemelere olanak sağlanmaktadır. Bu sistem ulaşım sistemlerinde akıllı karar

olmaya dayalı model destekli ve ölçeklenebilir bir yapı inşa etmektedir (Gao, Jia, Sun & Luo, 2025: 3-15). Ulaşım sistemlerinde ayrıca sensörler sayesinde ulaşım unsurların heterojen bilgileri basitleştirilmekte ve verilerin entegrasyonu sağlanmaktadır. Kentsel ulaşım sistemlerinde uygulanan dijital ikizler sayesinde otoyol, demiryolu, köprü ve tünellerde kontrol ve yönetim kolaylaşmaktadır. Bu sistemdeki temel zorluklar; zorlu inşa süreçleri, çok taraflı işbirliğinin sağlanamaması, uzun bakım döngüleri ve yüksek bakım maliyetleri olarak sayılabilir (Gao, vd, 2025: 1-2). İkiz dönüşümün kentsel ulaşım sistemlerindeki bir diğer uygulama ise elektrikli araçların yaygınlaştırılmasıdır. Bu bağlamda merkezi ve yerel yönetimlerin çevre dostu elektrikli araçları teşvik etmesi, desteği arttırması ve inovasyon yoluyla kentlerde bu araçların kullanımına rehberlik etmesi beklenmektedir. Bu politikalar daha yeşil, sağlıklı ve sürdürülebilir kentler için önemli bir adım olacaktır. Sürdürülebilir ulaşım sistemlerinde uygulanacak bu politikalar çevre kirliliğinin azaltılması, trafik sorununun çözülmesi, sera gazı emisyon oranlarının düşürülmesi ve kaynakların korunmasını sağlayacaktır (Li, Lau & Gong, 2025: 2).

İkiz dönüşümün kentsel alanlardaki bir diğer uygulama alanı ise bina ve bina enerji sistemleridir. Yaşlanan bina stokları eski cepheler, artan enerji talebi, iç mekân konforsuzluğu ve işlev yetersizlikleriyle karşılaşmaktadır. İkiz dönüşüm kapsamında “Kentsel Bina Enerjisini Yenileme Sistemleri” kent merkezlerindeki bu eski ve fazla enerji talebi olan binaları yenileyerek hem iklim direncini arttırmakta hem de bunların karbonsuzlaşmasına yardımcı olmaktadır. Makine öğrenimi, veri odaklı kümeleme, yapay zekâ ve çok amaçlı optimizasyonun entegrasyonu önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Kentsel bina enerji dönüşümü-yenilemesi kapsamında gerçekleştirilen uygulamalara bakıldığında ilk olarak mekânsal analitik ve kentsel modelleme örnek verilebilmektedir. Bu modellemede bina tipolojileri, mekân düzeni, çevre düzeni, bölge ölçeğinde enerji talebi, yenileme etkinliği ve uzun vadeli dayanıklılık gibi unsurlar saptanmaktadır. Son olarak ilçe düzeyinde planlama için mekân-zaman bağlantısı yoluyla çok boyutlu kentsel etkileşimleri analiz edilerek zamansal öğrenme modeli

aracılığıyla planlamalar yapılmaktadır (Shan, Jia, Su, Xu, Ning & Zhang, 2025: 22-27). Kentsel binalara yenilenebilir enerji sistemi entegre edilerek enerji verimliliği sağlanmakta, jeotermal enerji santralleri sayesinde tüm binalar sıcak-soğuk su ihtiyacı karşılanmakta, güneş enerjisiyle bina dışı aydınlatma sistemleri çalışmakta (Agostinelli, Cumo, Guidi & Tomazzoli, 2021: 15-16) ve böylece kent binalarından kaynaklı enerji emisyonlarının azaltılmasında büyük katkılar sağlanmaktadır.

Kentlerde atık yönetimi, artan kent nüfusu da göz önüne alınırsa önemli bir küresel sorun olabilmektedir. Genel olarak belediyelerin görevi olan katı atıkları etkin şekilde yönetmesi kent sürdürülebilirliği, kent temizliği ve sağlığı açısından son derece önemlidir. Günümüzde artık klasik katı atık dışında yeşil atık, tehlikeli atık ve inşaat atığı gibi çeşitlenmiş bir atık yelpazesi bulunmaktadır. İkiz dönüşüm kapsamında özellikle nesnelerin interneti teknolojisi sayesinde atık konusunda gerçek zamanlı izleme ve veri toplama gerçekleştirilerek etkili bir atık yönetimi yapılabilir. Nesnelerin interneti teknolojisi, kentsel atıklar açısından toplama devreleri, ekipmanlar, çöp kutusu doluluk seviyesi ve çöp kutusu konumları gibi konularda yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Kentsel atık yönetimi sisteminde dijitalleşmeyle birlikte doğru atık konum bilgilerinin toplanması, coğrafi bilgi sistemi, haritalama, algoritma tabanlı uygulamalar ve işletme maliyet tahmini gibi teknolojilerden yararlanılmaktadır (Belhiah, Aboudi & Ziti, 2023: 37-38). Böylece kentsel alanlarda atık yönetimi açısından yakıt tüketiminde azalma, performansta tutarlılık ve verimlilik gibi olumlu sonuçlar doğurmaktadır.

Küresel ısınma ve yağış rejiminin düzensizleşmesi kentlerde su yönetimine önemi arttırmaktadır. İkiz dönüşümün kentlerde su yönetimine yansımaları olarak su yönetimindeki dijitalleşme, eskiyen altyapıların tespiti ve onarımı, su kayıplarını önleme, içme suyundaki kirliliğin tespiti gibi sorunların üstesinden gelmektedir. Karar destek sistemleri, süreç optimizasyonu, süreç simülasyonu ve dijital ikiz gibi uygulamalar kullanılmaktadır. Su yönetiminde kullanılan dijital ikizler, simülasyon modeli sunarak kurumsal verileri kullanıp karar desteği sağlamaktadır. Böylece gelişmiş ölçüm

altyapısı ile ayrıntılı basınç kontrolleri sayesinde su kaybını kontrol edilerek su dağıtım sisteminde optimizasyon sağlanmaktadır. Bunun yanında kurumsal kapasite geliştirme, dağıtım sistemi operasyonları ve kamu hizmetlerinde dijitalleşmenin gerçekleşmesi daha verimli bir su yönetimine katkı sağlamaktadır (Grigg, 2025: 6-12). Dijital su yönetimine geçişle birlikte kentlerde su arızasının belirlenmesi, suyun daha etkili kullanımı, su kaybının önlenmesi ve su yönetimiyle ilgili verilerin işlenmesiyle etkili bir su yönetimi gerçekleştirilebilmektedir.

İklim değişikliği nedeniyle afetlerin şiddet ve sıklığındaki artış kentsel direnç konusunu gündeme getirmektedir. Geleneksel afet yönetimi olarak afet sonrası süreçten ziyade bütünsel afet yönetimiyle afet öncesi, sırası ve sonrasını planlama yaklaşımı ön plandadır. İkiz dönüşüm kapsamında kentlerde yangın modelleri, deprem modelleri ve rüzgâr modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller kent ölçeğinde bina hasarlarının simülasyonunu sunmaktadır. Deprem modellerinde, kentsel alandaki bina kümelerinin sismik dinamik tepkisinin rasyonel tahmini, deprem senaryolarında doğru hasar tahmini ve bunların görselleştirilmesi yapılmaktadır. Yangın modellemelerinde, yangının yayılma sahneleri görselleştirilmekte, duman mekanizmalarına dayalı yangın simülasyonları oluşturulmaktadır. Rüzgâr modellemesinde ise binalarda rüzgâr hasarının en doğru şekilde tahmin edilmesi için bina cephe bileşenlerinin bir modeli çıkarılmaktadır. Aynı zamanda ikiz dönüşüm kapsamında afet yönetimi açısından tüm aşamalarda dijital çözümler bulunmaktadır. Afet öncesi sokak görünümüne dayalı kentsel veri toplama, afet sırasında yapısal deformasyonla ilgili veri toplama ve afet sonrasında da İHA'lara dayalı hasar veri toplama yöntemleri kullanılarak etkili bir afet yönetimi gerçekleştirilmektedir (Wang, Yue, Lu, Hu, Xu, Tian & Zhang, 2024: 36-40).

Kent planlamasında da dönüşüm gerçekleşmektedir. Dijital coğrafi ikizler ve akıllı şehir uygulamalarıyla birlikte hassas coğrafi bilgiler işlenmekte ve iklim değişikliği başta olmak üzere çevre sorunlarıyla mücadele edilmektedir. Uzaktan algılama, mekânsal verilerin toplanması, havadan lazer

taraması ve İHA ölçümleriyle birlikte kentlerin dijital ikizleri oluşturulmaktadır. Kentsel planlamada kullanılacak bu dijital araçlara ek olarak altyapı ağları, sokak ve kapalı alan ağları, bitki örtüsü ve kentteki karakteristik alanların da haritası çıkarılmaktadır. Dijital dönüşüm sonucu elde edilen tarama ve fotogrametik (photogrammetric) görüntülemelerden elde edilen sonuçlarla kentsel çevrenin yapısı ve parametresi yüksek doğruluk oranlarıyla sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, bina haritası, arazi örtü tipleri, kentteki bitki örtüsü gibi bilgileri kapsamaktadır. Bu verilerin işlenmesi ise iklim değişikliği ile mücadele ve uyum gibi konularda kent alanının etkili planlamasına katkı sağlamaktadır. Kentsel arazi ve kentsel yapısının karmaşık görünümü böylece sanal temsiliyle planlamada kullanılmak üzere basitleştirilmektedir (Petrov, Dimitrov & Ihtimanski, 2024: 11-13). Kent ağaçlarının coğrafi bilgi sistemiyle kontrol edilmesi ve buna göre planlama yapılması da uygulanan yöntemlerden biridir. Kentsel ağaçların yönetiminin iyileştirilmesi, kentin daha yeşil görünmesi ve kentsel alanlarda ağaçların daha görünür olması için coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak planlamalar yapılmaktadır (Reitberger, Kooniyara, Parhizgar, Roetzer & Lang, 2025: 12).

4.2. İkiz Dönüşüm İçin Engeller ve Fırsatlar

İkiz dönüşüm literatürde yeni bir kavram olmasından dolayı karşılaşılan engeller ve yaratılan fırsatlar konusunda kapsamlı deneyimler bulunmamaktadır. Yine de yeşil dönüşüm ve dijital dönüşümün birlikte ele alınmasını karşılayan bir kavram olmasından kaynaklı olarak belli başlıklar öne çıkarılabilir.

İkiz dönüşüm kapsamında gerçekleştirilen uygulamaların en önemli çıktılarından biri enerji verimliliğinin arttırılmasıdır. Kentsel enerji emisyon oranlarının yüksekliği nedeniyle bu fırsatın kentlerde iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir yeri olduğu söylenebilir. Örneğin binalarda yapılan çalışmalarda enerji verimliliği optimizasyonunun sağlandığı ve enerji tasarrufu sağlanarak verimliliğin arttığı görülmektedir. Dönüşümlerle birlikte binalarda enerji verimliliğinin %30-40 oranlarından arttırıldığı ifade edilmektedir (Omar, 2025: 1-2). Enerji verimliliği kapsamında bina enerji sistemlerine güneş

enerjisi paneli, rüzgâr tribünleri ve jeotermal sistemler gibi yenilenebilir ve karbonsuz enerji sistemleri entegre edilebilmekte, enerji israfının algılanması kapsamında erken uyarı ve önleyici uyarılarla enerji verimliliği sağlanmaktadır (Omar, 2025: 11). Enerji verimliliği konusunda, akıllı sayaç sistemleriyle enerji kullanım tahminleri çıkarılmakta, davranış kalıpları tespit edilerek tüketicilerin enerji verimliliğinde farkındalıklar oluşturulabilmektedir (Arsecularatne, Rodrigo & Chang, 2024: 9).

İkiz dönüşümün gerçekleştirilmesi durumunda karbon emisyonlarında da salımın azaltılması hedeflenmektedir. İkiz dönüşümle birlikte karbon emisyonlarının %20 oranında ek azaltım sağlayacağı tahmin edilmektedir (UNEP, 2022: 4-6). Bu azaltımda iklim risklerinin derin analizi, yeşil inovasyona yapılan yatırımlar ve yeşil teknolojilerin payı yüksektir.

İkiz dönüşümün bir diğer fırsat alanı ise inovasyon ve rekabet edebilirlikteki artıştır. Yapılan çalışmalar, yaşanan dönüşümün kurumlarda yeşil inovasyon ve dijitalleşmeyi olumlu etkilediğini göstermektedir. Büyük veri analitiği, bulut bilişim ve yapay zekâ gibi araçlar kullanıldıkça kirlilik azaltma, enerji verimliliği ve çevre dostu inovasyonlarda faaliyetler daha da artmaktadır. İkiz dönüşümle birlikte yeşil inovasyona artan ilgi sadece çevresel etkinin azaltılması ve inovasyon çalışmalarını olumlu etkilemekle kalmaz, kurumların rekabet gücünü, ikiz dönüşüm pazarının büyümesini (Burinskiene & Nalivaike, 2024: 9) ve verimliliği de geliştirir (Yang & Liu, 2024: 17-19).

İkiz dönüşümün kurumlarda yeşil inovasyona yaptığı vurgu, bu sektörlerde çalışacak vasıflı işçi gereksinimi de arttırmaktadır. İstihdam açısından yenilebilir enerji sistemlerinde veya dijital sektörde çalışmak üzere yeni becerilere sahip kişilere ihtiyaç artmaktadır. İş gücündeki bu artan talep, yeni iş alanları ve istihdam açısından da bir fırsat olarak görülebilir.

İkiz dönüşümün kentsel mekanlarda uygulanmasını zorlaştıran etmenlerden en önemlisi finansal engellerdir. Özellikle başlangıç için istenen yüksek maliyetler kamu yönetimi açısından bu konudaki politikaları etkileyebilir.

Finansal engel olarak yüksek ilk maliyetler ve sermaye harcama zorlukları önemli bir engel olarak ifade edilmektedir. Geleneksel yöntemlere kıyasla sürdürülebilir bilgi işlem teknolojisi için gerekli altyapı yaklaşık %40 daha fazla sermaye gerektirmektedir. Bunun temel nedeni ise enerji verimli, enerji tasarruflu donanım ve sistemlerin üretim süreçlerinin yüksek maliyetli olmasıdır. Kurumlar için yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu, sisteme entegrasyonu, depolama ve bakım sistemleri de yüksek maliyetlidir (Amiri, Goswami, Islam, Hossen, Mithila & Akter, 2025: 13-14). İkiz dönüşüm ve yeşil bilişim için kurulan verimli ve az enerjiye ihtiyaç duyan iyileştirilmiş sistemler ancak uzun vadede (5-6 yılda) maliyetini karşılamaktadır (Amiri vd, 2025: 15).

Kent yönetimlerinde katı kamu bütçe sınırlamaları ve yatırımların önceliği her zaman sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyusmayabilir. Kısıtlı pazar, sınırlı farkındalık ve karmaşık uygulama süreçleri kamu yönetiminde bu dönüşümün gerçekleşmesinde finansal engelleri oluşturabilir. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin yetersiz yatırımları ve sürdürülebilir ölçüm standartlarının eksikliğinden oluşan karmaşık yapı da bu başlık altındaki engellerden sayılabilir (Amiri vd, 2025: 15-16). Kurulacak yeni dijital ve yeşil sistemlerin, mevcut sistemlere entegrasyonu yıkıcı ve zor olabilmektedir. Ayrıca bu iki sistemin birlikte ele alındığı durumlarda teknik sorunları çözmek ek yatırımlara neden olabilmektedir (Burinskiene & Nalivaika, 2024: 9).

İkiz dönüşümle ilgili diğer engeller ise yeşil ve dijital okuryazarlığın yetersizliğinden kaynaklı çevresel konulardaki bilgi eksikliği, uyumsuzluklar, politik yetersizlikler, mevzuattan kaynaklı olarak uyum süreçlerinde bürokratik zorluklar, gizlilik, veri güvenliği açısından veri toplama yöntemlerinde hassas verilerin korunmasındaki riskler ve eşit erişim sorunu olarak sıralanabilir. Bu engeller aslında kamu yönetiminde her dönüşüm sürecinde yeniliklere karşı sistemin karşılaştığı klasik engeller olarak görülebilir.

5. SONUÇ

IPCC “1,5 Derece Özel Raporu”nda, iklim değişikliğinin %95 oranla insan faaliyetlerinde olduğu belirtilmiştir. İklim

değişikliğinde insan faaliyetlerinin ön planda olmasından kaynaklı olarak sorunla mücadele için bu alana yönelmek gerekmektedir. İklim değişikliğinin nedenlerinden beşeri faaliyetlere bakıldığında enerji sektörü, endüstriyel faaliyetler, ormancılık sektörü, ulaşım, tarım faaliyetleri, binalardan kaynaklı enerji kullanımı ve atıklar ön plana çıkmaktadır. Bu faaliyetler aynı zamanda kentsel alanlarda meydana geldiği için kentlerin iklim değişikliğine olan nedenleri arasında sayılmaktadır. Bu durum iklim değişikliği ile mücadelede kentlerin önemini göstermektedir. Avrupa Birliği başta olmak üzere pek çok uluslararası çalışmada da iklim değişikliği ile mücadelede kentlerin önemi, yapılması gerekenler, eylem planları ve strateji belgeleri dikkat çekmektedir.

İklim değişikliği ile mücadelede yaşanan dönüşümlere bakıldığında, bunların kentlerden bağımsız ele alınamayacağı görülmektedir. Dijitalleşme kapsamındaki akıllı kentler, akıllı ulaşım sistemleri, akıllı köyler gibi uygulamalardan anlaşılabileceği üzere, dijitalleşme kentleri doğrudan etkilemektedir. Yeşil dönüşüm kapsamında da kentlerin çevreye duyarlı yönetim anlayışını benimsemeye başladığı görülmektedir. İkiz dönüşüm ise bu iki dönüşüm arasındaki sinerjinin oluşturulmasını ve birbirlerini tamamlamasını ifade eden bir kavramdır. Dijitalleşmenin çevre üzerindeki etkisinin azaltılması ikiz dönüşümün temel hedeflerindendir. Dijital araçlardan kaynaklı e-atıkların yalnızca %20'sinin geri dönüştürülmesi ve dijital sektörün kaynak yoğun bir yapıda olması, dijitalleşmenin çevre üzerindeki baskısını göstermektedir. Bu yüzden kavramsallaştırılan ikiz dönüşüm oldukça yeni ve önemli bir kavramdır.

Makalenin temel konusunu oluşturan ikiz dönüşümün kentsel mekanlarda uygulama alanlarına bakıldığında, enerji, bina, atık, su yönetimi, kentsel planlama ve ulaşım sektörlerinin ön plana çıktığı saptanmıştır. Başta yapay zekâ, blok zincir teknolojisi, nesnelerin interneti ve akıllı sensörlerin, ikiz dönüşümün kentlerdeki en çok kullanılan araçları olduğu görülmüştür. Kentsel hizmet alanlarında ikiz dönüşümün yararları; enerji verimliliğinin sağlanması, ulaşım sistemlerinde sürdürülebilirliğin oluşturulması, binalarda enerji optimizasyonunun sağlanarak enerji talebinin azaltılması, atık

yönetiminde dijitalleşmeyle etkili bir atık yönetiminin oluşturulması, su kaynaklarında kentlerdeki su kaybının önlenmesi, iklim kaynaklı afetlerin öncesi, sırası ve sonrasında etkili bir afet yönetiminin gerçekleştirilebilmesi ve kent planlamasında güvenilir verilerin elde edilip işlenilmesi olarak sıralanabilir. İkiz dönüşümün önündeki engellere bakıldığında ise öne çıkan konunun finansal zorluk olduğu görülmüştür. Dijital teknolojilerin kurulumu ve bakımının yüksek maliyetli olması bunda önemli bir etkidir. Dijital sistemlerin ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, maliyetini karşılamasının uzun vadelerde gerçekleşmesi ve gelişmekte olan ülkelerin kamu yatırımlarının bazen başka önceliklere sahip olması da önemli mali engelleri oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, günümüzde iklim değişikliği artık kaçınılmaz sonuçlar doğuran önemli ve acil bir sorundur. İklim değişikliği ile mücadele ise katılımın sağlandığı, yerelden uluslararası her kademede eylemlerin gerçekleştirilmesi gereken bir alandır. İkiz dönüşüm kavramı her ne kadar yeni bir kavram olsa da iklim değişikliği ile mücadelede özellikle enerji verimliliğinin arttırılmasında önemli bir katkı sağlayacağı görülmektedir. Kentlerde ikiz dönüşümün gerçekleştirilmesi iklim değişikliği ile mücadele ve uyum politikalarında olumlu bir katkı sağlayacaktır.

Etik Beyanı: Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara uyulduğunu yazarlar beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde Akademik İzdüşüm Dergisinin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk çalışmanın yazarlarına aittir.

Destek ve Teşekkür: Bu araştırmanın hazırlanmasında herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

Katkı Oranı Beyanı: Araştırmanın kavramsal kısımlarının hazırlanmasında ağırlıklı olarak ikinci yazar, analiz kısımlarının hazırlanmasında ise ağırlıklı olarak birinci yazar katkı sağlamıştır.

Çatışma Beyanı: Araştırmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışma beyanımız bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Agostinelli, S., Cumo, F., Guidi, G. & Tomazzoli, C. (2021). Cyber-Physical Systems Improving Building Energy Management: Digital Twin and Artificial Intelligence. *Energies*, 14(8), 1-25.
- Amiri, S.M.H., Goswami, P., Islam, M., Hossen, M.S., Mithila, M. & Akter, N. (2025). Green Computing: The Ultimate Carbon Destroyer for a Sustainable Future. *Education and Computer Science*, July, 1-26.
- Arsecularatne, B., Rodrigo, N. & Chang, R. (2024). Digital Twins for Reducing Energy Consumption in Buildings: A Review. *Sustainability*, 16(21), 1-16.
- Balaban, O. (2017). Küresel Isınma, İklim Değişikliği ve Düşük Karbonlu Şehirler. *Kent Planlama* (Ed. S. S. Özdemir, Ö. B. Özdemir Sarı & N. Uzun). Ankara: İmge Kitabevi.
- Baysal, E. (2019). *İklim İçin Kentler Yerel Yönetimlerde İklim Eylem Planı*. İstanbul: 350Türkiye Yayınları.
- Belhiad, M., Aboudi, M.E. & Ziti, S. (2023). Optimising Unplanned Waste Collection: An IoT-Enabled System for Smart Cities, a Case Study in Tangier, Morocco. *ET Smart Cities*, (6), 27-40.
- Berman, S. J. (2012). Digital Transformation: Opportunities to Create New Business Models. *Strategy & Leadership*, 40(2), 16-24.
- Bianchini, S., Damoli, G. & Ghisetti, C. (2023). The Environmental Effects of The “Twin” Green and Digital Transition in European Regions. *Environmental and Resource Economics*, 84(4), 877-918.
- BTK. (2020). Türkiye’de Dijital Dönüşüm ve Dijital Okuryazarlık Raporu. 14 09, 2023 tarihinde <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/arastirma-raporlari/tu-rkiyede-dijital-do-nu-s-u-m-ve-dijital-okuryazarlik.pdf>. adresinden alındı.

- Burinskiene, A. & Nalivaike, J. (2024). Digital and Sustainable (Twin) Transformations: A Case of SMEs in the European Union. *Sustainability*, 16(4), 1-24.
- C40Cities. (2018). A Summary of The Future We Don't Want Research. 11 09, 2023 tarihinde https://www.c40.org/wpcontent/uploads/2023/04/178_9_Future_We_Dont_Want_Report_1.4_hires_120618.original-compressed.pdf. adresinden alındı.
- Cheba, K., Bak, I., Szopik-Depczyńska, K., & Ioppolo, G. (2022). Directions of Green Transformation of the European Union Countries. *Ecological Indicators*. 136(5), 1-15.
- Coşkun, B. & Yıldırım, Ç. (2018). Kamu Yönetimi Açısından Dijital Zekanın İyi Yönetime Etkisi. *Ombusman Akademik*, Özel Sayı 1, 141-162.
- Deniz, N. & Büyük, K. (2023). İkiz Dönüşüm: Yeşil ve Dijital Dönüşüm. *Dijital Teknolojiler ve Eğitim Dergisi*, 2(1), 57-70.
- Dunleavy, P., Margetts, H., Batsow, S. & Tinkler, J. (2006). New Public Management Is Dead Long Live Digital-Era Governance. *Journal Of Public Administration Research And Theory*, 16(3), 467-494.
- Düzgün, S. (2020). *İklim Değişikliği ve Kentsel Alanda Seller: Rize İl Merkezi Örneğinde Bir İnceleme*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Giresun: Giresun Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ersoy, Ş. (2006). Küremiz Isınıyor. *Bilim ve Ütopya*. 139, 5-13.
- Gao, C., Jia, L., Sun, M. & Luo, J. (2025). Current Status and Future Prospects of Digital Twin Technology Applications in Intelligent Transportation Infrastructure Management. *IET Intelligent Transport Systems*. (19), 1-22.
- Grigg, N.S. (2025). Digital Transformation in Water Utilities: Status, Challenges, and Prospects. *Smart Cities*, 8(99), 1-19.
- IPCC. (2018). Special Report Global Warming of 1.5 °C. 07 10, 2023 tarihinde <https://www.ipcc.ch/sr15> adresinden alınmıştır.

- IPCC. (2023). Climate Change 2023 Synthesis Report Summary for Policymakers. 14 10, 2023 tarihinde https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf adresinden alınmıştır.
- Kaba, E., D. (2020). İklim Değişikliğine Dirençli Kentler Oluşturulmasında Yerel Politikaların Rolü. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Samsun: On Dokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kahraman, S. & Şenol, P. (2018). İklim Değişikliği: Küresel, Bölgesel ve Kentsel Etkileri. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi*. Özel Sayı 1, 353-370.
- Keleş, R. (2013). *Kentleşme Politikası*. İmge Yayınevi: Ankara.
- Keleş, R., Hamamcı, C. & Çoban, A. (2012). *Çevre Politikası*. Ankara: İmge Kitabevi Yayınları.
- Koirala, B., Cai, H., Khayatian, E., Munoz, An, J.G., Mutschler, R., Sulzer, M., De Wolf, C. & Orehounig, K. (2024). Digitalization of Urban Multi-Energy Systems – Advances in Digital Twin Applications Across Life-Cycle Phases. *Advances in Applied Energy*, 16, 1-22.
- Kurban, D. (2023). *İklim Değişikliği Karşısında Kentlerin Eylem Planları: AB ve Türkiye Kentleri*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Edirne: Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Lewandowski, M. (2016). Designing the Business Models for Circular Economy – Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(1), 1-28.
- Li, D., Lau, A.D. & Gong, Y. (2025). Electric Vehicles Empowering the Construction of Green Sustainable Transportation Networks in Chinese Cities: Dynamic Evolution, Frontier Trends, and Construction Pathways. *Energies*, 18(8), 1-45.
- Liu, Y., Wang, Q., Huang, B., Zhang, X., Wang, X., & Long, Y. (2023). Status And Challenges Of Green Manufacturing: Comparative Analysis of China and Other Countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 197(2023), 1-10.

- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, R. & Powell, F. (2017). Global Risk Of Deadly Heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501-507.
- Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M. & Scapolo, F. (2022). *Towards a Green & Digital Future - Key Requirements for Successful Twin Transitions in the European Union*. Publications Office of the European Union.
- Omar, O. (2025). Digital Twins for Climate-Responsive Urban Development: Integrating Zero-Energy Buildings into Smart City Strategies. *Sustainability*, 17(15), 1-18.
- Ortaçesme, V., Atik, M. & Muhammetoğlu, H. (2023). Akıllı Kentlerde Akıllı Çevre Uygulamaları: Kashiwonoha ve Antalya. *Peyzaj Dergisi*, 5(1), 1-17.
- Ortega-Gras J.J., Bueno-Delgad M. V., Cañavate-Cruzado, G. & Garrido-Lova, J. (2021). Twin Transition through the Implementation of Industry 4.0 Technologies: Desk-Research Analysis and Practical Use Cases in Europe. *Sustainability*, 13(24), 1-18.
- Petrov, S., Dimitrov, S. & Ihtimanski, I. (2024). Integrated Application of Geospatial Technologies for Digital Twinning of Urbanized Territories for Microscale Urban Planning. *Proc. of Spie*, Vol 13212, 1-15.
- Rehman, S. U., Giordino, Zhang, D.Q. & Alam, G. M. (2023). Twin Transitions & Industry 4.0: Unpacking the Relationship Between Digital and Green Factors to Determine Green Competitive Advantage. *Technology in Society*, (73), 1-15.
- Reitberger, R., Kooniyara, V.P., Parhizgar, L., Roetzer, T. & Lang, W. (2024). Tree growth simulation in Geographic Information Systems: Coupling CityTree and ArcGIS for Solar Radiation Analysis. *Sustainable Cities and Society*. 120, 1-15.
- Shan, R., Jia, X., Su, X., Xu, Q., Ning, H. & Zhanh, J. (2025). AI-Driven Multi-Objective Optimization and Decision-Making for Urban Building Energy Retrofit: Advances,

- Challenges, and Systematic Review. *Applied Sciences*. (15), 1-46.
- Sönmezoğlu, F. & Erler Bayır, Ö. (2012). Çevre Sorunlarına İlişkin Uluslararası Rejimler. *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 47(Ekim 2012), 247-289.
- Şengüllendi, M. F. & Şehitoğlu, Y. (2023). Yeşil Dönüşüm Araştırmalarının Kavramsal Dönüşümü: En Temel ve Güncel Araştırma Konularının Bibliyometrik Analiz Yöntemi ile Tespit Edilmesi. *İstanbul Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(11), 557-574.
- TDK. (2025). “Dönüşüm” tanımı. 01 09, 2024 tarihinde <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- The World Bank. (2009). Climate Resilient Cities A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters. 10 10, 2022 tarihinde <https://documents1.worldbank.org/curated/en/164671468026943315/pdf/466800PUB0Clim101OFFICIALUSEONLY1.pdf> adresinden alınmıştır.
- Toprak Karaman, Z. (1998). *Çevre Yönetimi ve Politikası*. Anadolu Matbaacılık: İzmir.
- Tuğaç, Ç. (2020). İklim Değişikliğine Karşı Kentsel Dirençliliğin Sağlanması ve Ekonomik Boyutu Üzerine Bir Değerlendirme. *İdeal Kent Araştırmaları Dergisi Kentleşme ve Ekonomi Özel Sayısı*, 11(2), 1126-1155
- Tuğaç, Ç. (2022). İklim Değişikliği Krizi ve Şehirler. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 1(1), 38-60.
- Türk, S. M. (2008). İklim Değişikliği ile Mücadelede Küresel Adımlar: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü. *Demokrasi Platformu*, 4(15), 243-270.
- UCCRN. (2015). *Climate Change and Cities Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. New York: Columbia University.
- Ulubaş Hamurcu, A. (2023). Akıllı Şehirler ve Sürdürülebilir Kentsel Dönüşüm. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 2(4), 70-95.

- UNEP. (2022). Digital Transformation: Becoming an Innovative, Agile and Collaborative Organization, Fit for Purpose in the Digital Age - 2022 Version 1.0. 07 09, 2023 tarihinde <https://www.unep.org/resources/policy-and-strategy/digital-transformation-becoming-innovative-agile-and-collaborative> adresinden alınmıştır.
- UNFCCC. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC. 17 09, 2023 tarihinde https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf adresinden alınmıştır.
- Uysal, Y. (2022). İklim Değişikliği ve Küresel Isınma ile Mücadelede Yerel Yönetimlerin Rolü: Tespitler ve Öneriler. *Kesit Akademi Dergisi*, 8(30), 324-354.
- Wang, Y., Yue, Q., Lu, X., Gu, D., Xu, Z. & Zhang, S. (2024). Digital Twin Approach for Enhancing Urban Resilience: A Cycle Between Virtual Space and the Real World. *Resilient Cities and Structures*, 3, 34-45.
- Yang, C. & Liu, Q. (2024). Driving Green Innovation Through Digital Transformation: Empirical Insights on Regional Variations. *Sustainability*, 16(23), 1-24.
- Yu, Z., & Khan, S. A. R. (2022). Green Supply Chain Network Optimization Under Random and Fuzzy Environment. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24(2), 1170-1181.
- Yurtsever, M. (2023). Yeşil Dönüşüm: Endüstri 5.0'ın Sürdürülebilir İşletmelere Etkisi. *Sosyal İnsan ve İdari Bilimlerde Yenilikçi Çalışmalar*. (Ed. S. Sarıbaş & T. Akkuş) İstanbul: Duvar Yayınları.
- Zencirli, M. (2024). Organize Sanayi Bölgelerinde İkiz Dönüşüm. *Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*. 8(15), 21-31.

TWIN TRANSFORMATION IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE IN CITIES: APPLICATION FIELD, OBSTACLES AND OPPORTUNITIES

Extended Summary

Aim:

The study examines the urban dimension of the twin transition concept, which is a current and important concept in combating climate change. It investigates how the twin transition brings about transformation in urban service areas, particularly in urban transport, energy and waste management, and to what extent these changes contribute to combating climate change. The concept of dual transformation is a relatively new concept in the literature. It is thought that adapting this new concept to urban applications in the fight against climate change will contribute to the literature.

Method(s):

The study employed document analysis, one of the qualitative research methods. National and international articles, books, papers, reports and news items were used for the concepts of climate change and twin transformation. Current practices, city reports, international documents and news items were used for the urban dimension of the twin transformation concept. The sources obtained were examined without being taken out of context and were critically analysed.

Findings:

Applications implemented within the scope of twin transformation have been seen to offer various benefits, primarily energy efficiency. In particular, the use of applications such as artificial intelligence, smart sensors and digital twins in urban service areas is providing significant progress in combating climate change. It is said that implementing digital transformation and green transformation together can achieve a 20% greater reduction in carbon emissions than the reduction targets alone. It is also said that emissions from energy use,

transport, waste and building systems in cities can be reduced within this scope.

Conclusion and Discussion:

Twin transformation is an important concept in combating climate change in cities. This is because it encompasses both digital transformation and green transformation. The realisation of this transformation in urban service areas is important in this regard. However, the financial obstacles facing twin transformation must be overcome. At the same time, qualified personnel must be employed and technological advances must be made. If these obstacles are overcome, long-term gains will be achieved through the implementation of twin transformation in cities. Among these, ensuring energy efficiency is one of the most important. This study is important in terms of establishing the connection between twin transformation and cities. There are very few articles in Turkish on the concept of the twin transition. Those that do exist merely outline the conceptual framework. This study, however, takes a more comprehensive approach to the concept of the twin transition, establishes its connection with cities, and discusses areas of application. This study also reveals the obstacles facing the twin transition and points the way to overcoming them.