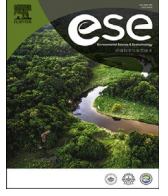




ScienceDirect'te bulunan içerik listeleri

Çevre Bilimi ve Ekoteknoloji

dergi ana sayfası: www.journals.elsevier.com/environmental-science-and-ecotechnology/

İnceleme

Çevresel sürdürülebilirlik için daha akıllı eko-kentler ve bunların öncü yapay zeka çözümleri: Kapsamlı bir sistematik inceleme

Simon Elias Bibri ^(a) ^(*), John Krogstie ^(b), Amin Kaboli ^(c), Alexandre Alahi ^(a)^aMimarlık, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Fakültesi^bNAC), İnşaat Mühendisliği Enstitüsü (IIC), Ulaşım için Görsel Zeka (VITA), İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü Lozan (EPFL), Lozan, İsviçre^bBilgisayar Bilimleri Bölümü, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU), Trondheim, Norveç^cMühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Enstitüsü, İsviçre Federal Lozan Teknoloji Enstitüsü (EPFL), Lozan, İsviçre

A R T I C L E I N F O

Makale geçmişi:

Alındı 7 Mayıs 2023 Gözden

geçirilmiş haliyle alındı 28

Eylül 2023

Kabul Tarihi 28 Eylül 2023

Anahtar Kelimeler:

Daha akıllı eko-

kentler Akıllı eko-

kentler Akıllı şehirler

Yapay zeka

Nesnelerin yapay zekası Makine

öğrenimi Çevresel

sürdürülebilirlik İklim değişikliği

A B S T R A C T

Yapay Zeka (AI) ve Nesnelerin Yapay Zekası (AIoT) alanlarında kaydedilen son gelişmeler, akıllı şehirlerin çevresel performansını ve verimliliğini artırmak ve optimize etmek için dönüştürücü beklentileri ve fırsatları ortaya çıkarmıştır. Bu adımlar da akıllı eko-kentleri etkileyerek devam eden iyileştirmeleri katalize etmiş ve karmaşık çevresel zorlukları ele almak için çözümleri teşvik etmiştir. Bu durum, ileri teknolojilerin ve çevresel stratejilerin sorunsuz bir şekilde entegre edilmesiyle karakterize edilen yeni bir şehircilik paradigması olan daha akıllı eko-kentlerin vizyoner konseptiyle uyumludur. Bununla birlikte, bu yeni paradigmanın ve altında yatan çok yönlü boyutların karmaşık spektrumunun tam olarak anlaşılmasında önemli bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluğu doldurmak için, bu çalışma, daha akıllı eko-kentlerin gelişmekte olan manzarasının ve çevresel sürdürülebilirlik için öncü AI ve AIoT çözümlerinin kapsamlı bir sistematik incelemesini sunmaktadır. Eksiksizliği sağlamak için çalışma, toplayıcı, yapılandırıcı ve anlatı sentezi yaklaşımlarını bütünleştiren birleşik bir kanıt sentezi çerçevesi kullanmaktadır. Bu çalışmanın özünde şu müteakip araştırma soruları yatmaktadır: Ortaya çıkmakta olan daha akıllı eko-kentlerin temel dayanakları nelerdir ve özellikle şehircilik paradigmaları, çevresel çözümler ve veri odaklı teknolojiler nasıl karmaşık bir şekilde birbirleriyle ilişkilidir? Daha akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesini sağlayan temel itici güçler ve kolaylaştırıcılar nelerdir? Daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesinde kullanılabilecek başlıca YZ ve AIoT çözümleri nelerdir? YZ ve AIoT teknolojileri çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarının teşvik edilmesine ne şekilde katkıda bulunur ve daha akıllı eko-kentler için ne gibi potansiyel faydalar ve fırsatlar sunar? Daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesi için YZ ve AIoT çözümlerinin uygulanmasında ne gibi zorluklar ve engeller ortaya çıkmaktadır? Bulgular, sürdürülebilir kentsel kalkınma uygulamalarını geliştirmek için YZ ve AIoT teknolojilerinin önemli potansiyelinin yanı sıra ortaya çıkardıkları zorlukların zorlu doğası hakkındaki anlayışımızı önemli ölçüde derinleştirmekte ve genişletmektedir. Teorik zenginleşmenin ötesinde, bu bulgular politika yapımcıları, uygulayıcıları ve araştırmacıları eko-şehircilik ile YZ ve YZoT odaklı şehirciliğin bütünleşmesini ilerletmek için güçlendirmeye hazır paha biçilmez içgörüler ve yeni perspektifler sunmaktadır. Çağdaş kentsel peyzajın içgörülü bir şekilde araştırılması ve başarılı bir şekilde uygulanan AI ve AIoT çözümlerinin tanımlanması yoluyla paydaşlar, iyi bilgilendirilmiş kararlar almak, etkili stratejiler uygulamak ve çevresel refahı önceliklendiren politikalar tasarlamak için gerekli zemini kazanmaktadır.

© 2023 Yazarlar. Çin Çevre Bilimleri Derneği, Harbin Teknoloji Enstitüsü, Çin Çevre Bilimleri Araştırma Akademisi adına Elsevier B.V. tarafından yayınlanmıştır. Bu makale CC BY lisansı altında açık erişimli bir makedir (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Yapay Zeka (AI) ve Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) hızlı ilerlemesi ve çığır açan yaklaşması, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda derin dönüşümleri tetiklemiştir

^{*} Sorumlu yazar.E-posta adresi: simon.bibri@epfl.ch (S.E. Bibri).

çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve kentsel gelişim. Bu artış, Nesnelerin Yapay Zekasının (AIoT) ön plana çıktığı ve büyük ilgi gördüğü daha akıllı eko-kentlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, AIoT, akıllı şehirlerin ve dolayısıyla akıllı eko-kentlerin karşı karşıya kaldığı artan çevresel zorluklara yenilikçi çözümler sunmaya hazırdır. AIoT, kaynak verimliliğini artırma, enerji tüketimini azaltma, atık yönetimini kolaylaştırma, ulaşım yönetimini geliştirme, biyolojik çeşitliliği koruma ve çevresel etkileri hafifletme yollarını açma potansiyeline sahiptir. Bu gelişmeler, yükselen kentleşme dalgasına ve ekolojik bozulmanın artan karmaşıklığına yanıt olarak kentsel gelişim ortamını yeniden şekillendirme ve kentleri zeka, sürdürülebilirlik ve çevre bilinci merkezlerine dönüştürme gücüne sahiptir.

Yapay zeka, akıllı şehirlerin ve akıllı eko-kentlerin ilerlemesinin arkasındaki önemli bir itici güç olarak hem teknolojik hem de kentsel arazi manzaralarını hızla yeniden şekillendirmektedir (örneğin, Ref. [1e4]). Yıkım ve yenilik potansiyeli (örneğin, Ref. [5,6]) onu bu gelişmelerin ön saflarında konumlandırmıştır. Bu etki, kentsel sistemlerin işleyişini ve alt sistemlerinin karmaşık etkileşimlerini, davranışlarını ve çevrelerine verdikleri tepkileri derinden değiştirmektedir. Sonuç olarak, kentsel süreçler ve uygulamalar, veri güdümlü bilimsel şehircilikle artan uyumları ile belirginleşen önemli bir dönüşüm geçirmektedir. Yapay zekanın kentsel sistemler ve faaliyetler üzerindeki etkisi sürekli olarak artmakta [7,8] ve IoT'nin kolaylaştırdığı çeşitli kaynaklardan gelen veri akışını karşılamak için bilgi işlem yetenekleri üstel bir büyüme yaşamaktadır. IoT'nin potansiyeli, çevresel olarak sürdürülebilir kentsel kalkınmayı katalize etmeye hazır bir sinerji olan YZ modelleri ve algoritmaları aracılığıyla veri analizini kolaylaştırma kapasitesinde yatmaktadır.

IoT'nin merkezi altyapısı, öncelikle üretilen ve işlenen muazzam veri hacminin getirdiği yoğun baskıdan kaynaklanan önemli zorluklarla boğuşmaktadır. Bu verilerden eyleme geçirilebilir içgörüler elde etmek, IoT altyapısının doğasında bulunan veri akışını, depolamayı ve işlemeyi etkin bir şekilde yönetmek için yapay zeka modellerinin ve algoritmalarının entegrasyonunu gerektirmektedir. AIoT'nin ortaya çıkışı, onu geleneksel IoT'den ayıran çeşitli faktörler tarafından desteklenmektedir. Öncelikle AIoT, yapay zeka ve IoT teknolojileri arasındaki sinerjiden faydalanarak daha akıllı ve verimli veri işleme, analiz ve karar verme süreçlerini kolaylaştırmaktadır (örn. Ref. [9e11]). AI ve Ma- chine Learning (ML)/Deep Learning (DL) yeteneklerinin IoT hizmetlerine ve sistemlerine entegrasyonu sayesinde AIoT, gerçek zamanlı veri içgörülerini, tahmine dayalı analitiği ve uyarlanabilir yanıtları güçlendirerek genel sistem performansını ve verimliliğini optimize eder. AIoT'nin, birbirine bağlı cihazlardan oluşan geniş ağ tarafından üretilen çok sayıda ve çeşitli verilerin yönetilmesinde IoT'nin sınırlamalarının üstesinden gelme becerisinde önemli bir ayırım yatmaktadır. Ek olarak, AIoT, dağıtılmış sensör ağı altyapısından hızlı veri akışının iletilmesiyle ilgili zorlukları ele almaktadır [12,13]. AIoT, yapay zekanın gücünden yararlanarak karmaşık ve çok yönlü veri akışlarını etkili bir şekilde işler ve bağlamsallaştırır, böylece gelişmiş uygulamalar için potansiyelin kilidini açar. Özellikle belirli alanlarda, AIoT, IoT cihazları tarafından otonom ve akıllı karar vermenin önünü açarak, değişen çevresel koşullara ve kullanıcı gereksinimlerine yanıt olarak operasyonları öğrenmelerini, uyarlamalarını ve optimize etmelerini sağlar. Özüde, AIoT'nin ortaya çıkışı, çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yenilik, optimizasyon ve otomasyon için bir olasılıklar alanı sunmaktadır (örneğin, Ref. [1,13e16]).

Yapay zekaya benzer şekilde, AIoT de aşağıdakilerin işleyişinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir akıllı şehirler ve dolayısıyla daha akıllı eko-kentler. Özellikle, karmaşık çevresel sorunların ele alınmasında yenilikçi bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

zorluklar. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin çeşitli alanlarında yapay zeka ve yapay zekanın pratik uygulamalarına odaklanmıştır (örneğin, Ref. [17e21]). 2020'nin sonlarına doğru bu odak, yönetim ve planlama açısından akıllı şehirleri de kapsayacak şekilde genişlemiştir (örneğin, Ref. [22e26]). Bununla birlikte, temelde, akıllı şehirler ve eko-kentler arasında güçlü bir bağlantı vardır, çünkü özellikle çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği alanlarında son on yılda birbirlerini önemli ölçüde etkilemişlerdir. Eko-kentler, sürdürülebilir şehirciliğin köklü bir paradigması olarak uzun zamandır bu iki alanla ilişkilendirilmektedir (örneğin, Ref. [27e33]). Bununla birlikte, bu iki alan, akıllı eko-kentler çerçevesinde toplu olarak ele alınmak yerine, sıklıkla ayrı ayrı veya daha yakın zamanda, özellikle AI ve AIoT bağlamında akıllı şehirlerle bağlantılı olarak ele alınmıştır. Bu durum, bir yaklaşıma diğere göre öncelik verme yönünde güçlü bir eğilim olduğunu, özellikle ikinci yaklaşıma çok az önem verildiğini göstermektedir. Özellikle eko-kentler ve buna bağlı olarak akıllı eko-kentler, yenilikçi çözümler ve çevresel geçişler için deneysel zeminler olarak hizmet etmektedir (örneğin, Ref. [27,34e36]). Eko-kentlerdeki deneyler iklim değişikliğinin ötesine geçerek enerji geçişi, kaynakların korunması, ulaşım verimliliği, biyoçeşitliliğin korunması ve deneysel simülasyon ve modellemeyi de kapsamaktadır [37e39]. Bu stratejiler ve ilkeler de akıllı eko-kentlerin gelişiminin arkasındaki temel itici güçleri oluşturmaktadır.

Belirsizliklerle giderek daha fazla kuşatılan bir dünyanın ortasında İklim krizinin aciliyeti ve AI ve AIoT teknolojilerinin ortaya çıkışıyla katalize edilen akıllı şehirlerin ve eko-kentlerin hızlı dijital dönüşümü ile zorlayıcı bir yörünge ortaya çıkmaktadır. Bu yörünge, bu teknolojilerin uygulamalı çözümlerinin, "daha akıllı eko-kentler" olarak adlandırılacak çevresel bozulma ve iklim bozulmasının **karmaşıklığıyla** başa çıkmak için akıllı eko-kentlere entegre edilmesini öngörmektedir. Bu vizyoner kavram, geleceğin kentsel manzarasını yeniden şekillendirmek için yenilikçi, ileriye dönük stratejilerin uygulanmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, YZ ve AIoT teknolojileri henüz ortaya çıkarılmamış muazzam bir potansiyele sahipken, çevresel riskler oluşturdıklarını ve bir dizi toplumsal, etik, yasal ve düzenleyici zorlukları artırdıklarını kabul etmek gerekir.

Çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler alanında YZ ve AIoT çözümlerini araştırarak literatür hızla genişlemektedir. Bununla birlikte, bildiğimiz kadarıyla, hiçbir inceleme çalışması, bu üç alan arasındaki bağlantılar ve sinerjiler ile bunların YZ ve AIoT teknolojileri ve çözümleri açısından akıllı eko-kentlerle kesişimi ile ilgili mevcut bilgi birikimini sistematik olarak analiz etmemiş ve sentezlememiştir. Ayrıca, son zamanlarda yapılan birkaç inceleme çalışması akıllı eko-kentlere daha geniş bir perspektiften bakarken, hiçbirini ortaya çıkan teknolojik ve çevresel çözümleri bütünleştirici bir perspektiften keşfetme girişiminde bulunmamıştır. Bu boşlukları dolduran bu çalışma, daha akıllı eko-kentlerin gelişen manzarasının ve çevresel sürdürülebilirlik için öncü yapay zeka ve AIoT çözümlerinin kapsamlı bir sistematik incelemesine girişmektedir. Kapsamlılığı sağlamak için çalışma, yapılandırıcı, toplayıcı ve anlatı sentezi yaklaşımlarını sorunsuz bir şekilde entegre eden birleşik bir kanıt sentezi çerçevesi kullanmaktadır. Kapsayıcı amaca ulaşmak için çalışma aşağıdaki özel hedeflere odaklanmaktadır:

- Gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerin temelini oluşturan temel kavramları tanımlamak, açıklamak ve bunlar arasında anlamlı bağlantılar kurmak.

- Alandaki mevcut çalışmaları sunmak ve mevcut çalışmanın bunlardan nasıl farklılaştığını ve bunun neden bir "ileri adım" ve bilgiye yeni bir katkı olduğunu açıklamak.
- Çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler alanlarındaki mevcut bilgileri analiz etmek, sentezlemek, yorumlamak ve eleştirel bir şekilde değerlendirerek, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin ilerlemesinde yapay zeka ve AIoT çözümlerinin rolüne ilişkin kapsamlı görüşler elde etmek.
- YZ ve AIoT çözümlerini bu üç alana göre kategorize edin ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini ilerletme üzerindeki etkilerini daha fazla değerlendirin.
- Daha akıllı eko-şehirler çerçevesinde ortaya çıkan eğilimleri, yenilikleri ve yeni yaklaşımları belirleyerek bu üç alan için YZ ve AIoT çözümlerinin dinamik manzarasını yakalayın.
- Gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesinde YZ ve AIoT çözümlerini uygularken ortaya çıkan temel zorlukları ve engelleri belirlemek ve tartışmak.
- Mevcut boşlukları belirlemek ve gelecekteki araştırmalar ve daha fazla inceleme gerektiren alanlar için ilgili yolları keşfetmek.

Bu özel hedefleri takip ederek, çalışma, YZ ve AIoT çözümlerinin gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlere entegrasyonunun bütünsel ve derinlemesine anlaşılmasını sağlamaya ve kentsel bağlamlarda çevresel duyarlılık uygulamalarının ilerlemesine son derece katkıda bulunmaya çalışmaktadır. Bu amaçla, aşağıdaki araştırma sorularını takip etmektedir:

- RQ1: Gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerin temel dayanakları nelerdir ve özellikle şehircilik paradigmaları, çevresel çözümler ve veri odaklı teknolojiler birbirleriyle nasıl ilişkilidir?
- RQ2: Daha akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesini sağlayan temel itici güçler ve kolaylaştırıcılar nelerdir?
- RQ3: Daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesinde kullanılabilecek başlıca yapay zeka ve AIoT çözümleri nelerdir?
- RQ4: YZ ve AIoT teknolojileri çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarının teşvik edilmesine ne şekilde katkıda bulunur ve daha akıllı eko-kentler alanında ne gibi potansiyel faydalar ve fırsatlar sunar?
- RQ5: Daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesi için YZ ve AIoT çözümleri uygulanırken ne gibi zorluklar ve engeller ortaya çıkmaktadır?

Bu sistematik inceleme, mevcut kanıtları sentezleyerek ve bu araştırma sorularını yanıtlamak için en son araştırmaları analiz ederek, akıllı eko-şehirlik konusundaki mevcut bilginin birleştirilmesine, geliştirilmesine ve dönüştürülmesine katkıda bulunmaktadır:

- Ortaya çıkmakta olan daha akıllı eko-kentlerde şehircilik paradigmaları, çevresel çözümler ve veri odaklı teknolojiler arasındaki dinamik etkileşimi ortaya çıkarmak.
- Daha akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesinin arkasındaki itici güçlerin, yani teknolojik ilerlemelerin, çevresel kaygıların ve politika araçlarının belirlenmesi.
- YZ ve YZT'nin çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirlerdeki çok yönlü rollerinin ve bu teknolojilerin daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesinde nasıl kullanılabileceğinin incelenmesi.
- YZ ve AIoT teknolojilerinin sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını teşvik ettiği ve çevresel hedefleri ilerlettiği belirli yolları araştırmak.
- Yapay zeka ve AIoT çözümlerinin daha akıllı eko-kentlerin çevresel duyarlılığını artırmaya önemli ölçüde katkıda bulunabileceği en iyi uygulamaları vurgulamak.

- Daha akıllı eko-kentlerde yapay zeka ve AIoT'nin uygulanmasıyla bağlantılı bir dizi zorluğun belirlenmesi ve değerlendirilmesi, potansiyel engellerin aydınlatılması ve bunların azaltılması veya üstesinden gelinmesi için stratejiler geliştirilmesi.
- Keşfedilmemiş bölgeleri ortaya çıkarmak ve daha akıllı eko-kentlerin büyük ölçekli uygulamalarını yönlendirmek, söylemi ilerletmek ve sürdürülebilir kentsel gelişimde yeniliği teşvik etmek için AI ve AIoT çözümlerinin araştırılmasını teşvik etmek.
- YZ ve AIoT teknolojilerinin sürdürülebilir kentsel geleceklere nasıl katkıda bulunduğunu açıklayarak ve bu teknolojilerin kentsel altyapıları ve sistemleri yeniden tanımlamadaki dönüştürücü potansiyelini keşfederek vizyoner bir bakış açısı sağlamak.

Özünde, çalışma sadece daha akıllı eko-kentlerin mevcut manzarasının kapsamlı bir görünümünü sunmakla kalmıyor, aynı zamanda daha akıllı eko-kentler hakkındaki söylemi ilerletmek ve disiplinler arası işbirliklerini kolaylaştırmak için bir yol haritası sağlamanın yanı sıra sürdürülebilir kentsel gelişimin geleceğini şekillendirmede AI ve AIoT teknolojilerinin potansiyeline de ışık tutuyor. Ayrıca, uygulanan birleşik kanıt sentezi yaklaşımı, sistematik incelemenin kapsamını, derinliğini ve genişliğini artırarak ele alınan araştırma konusunun daha bütünsel ve incelikli bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Sistematik incelemeden elde edilen içgörüler, yalnızca alandaki araştırmacıları ve uygulayıcıları bilgilendirmekle kalmayacak, aynı zamanda politika yapıcılara ve uygulayıcılara sürdürülebilir kentsel yönetim ve planlamada yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin benimsenmesi ve uygulanmasına ilişkin bilinçli kararlar vermelerinde rehberlik edecektir. Genel olarak, daha akıllı eko-kentler alanındaki çözümleri, fırsatları, faydaları ve zorlukları vurgulayarak, sistematik inceleme, daha sürdürülebilir ve teknolojik olarak gelişmiş kentsel ortamlar arayışında araştırma, politika ve uygulamaların ilerlemesini daha da kolaylaştıracaktır.

Bu çalışma aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2'de daha akıllı eko-kentler tanıtılmakta, de- çalışmanın temel kavramsal çerçevesini açıklamakta ve göstermektedir. Bölüm 3, çalışma ile ilgili araştırma incelemesini ele almaktadır. Bölüm 4'te çalışmada uygulanan metodoloji açıklanmakta ve gösterilmektedir. Bölüm 5, literatür analizi ve sentezinin sonuçlarını sunmaktadır. Bölüm 6, temel zorlukları, açık konuları ve sınırlamaları kapsayan ayrıntılı bir tartışma sunmaktadır. Bölüm 7'de önemli boşluklar tespit edilmekte ve potansiyel araştırma yönleri ve daha fazla araştırma gerektiren alanlar için öneriler sunulmaktadır. Bu çalışma, Bölüm 8'de, temel bulguların ve çıkarımların bir özetiyle sona ermektedir.

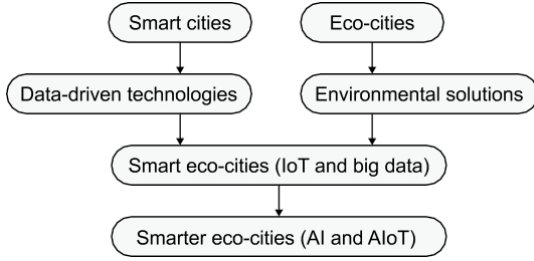
2. Kavramsal arka plan

İlgili kilit kavramların, bütünleştirici ve sinerjik yönleriyle birlikte açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Bu kavramları birbirine bağlamanın değeri (Şekil 1), şehircilik paradigmaları, çevresel çözümler ve veriye dayalı teknolojiler açısından gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerin temel dayanaklarının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırmakta yatmaktadır.

2.1. Daha akıllı eko-kentler ve bunların altında yatan şehircilik paradigmaları

2.1.1. Akıllı şehirler

Akıllı şehirler, sürdürülebilirlik, kaynak yönetimi ve kentleşme sorunlarını ele almak için potansiyel bir çözüm olarak büyük ilgi görmüştür. Akıllı şehir kavramını tanımlamak için çok sayıda girişimde bulunulmuştur. Akıllı şehir gelişimine yönelik birçok tanım ve çok sayıda yön önermektedirler (örneğin, Ref. [40e42]). Bu kavram son yirmi yılda birçok değişikliğe uğramıştır. Bu bağlamda, teknoloji odaklı bir yaklaşımdan, yani altyapılar, mimariler, platformlar, sistemler, uygulamalar ve modellerden insan odaklı bir yaklaşıma doğru ilerlemektedir,



Şekil 1. Daha akıllı eko-kentler. Daha akıllı eko-kentler ve bunların altında yatan şehirçilik paradigmaları, çevresel çözümler ve veri odaklı teknolojiler.

Yani paydaşlar, vatandaşlar, bilgi, hizmetler ve ilgili veriler. Buna göre, çeşitli boyutları kapsar ve şimdiye kadar evrensel olarak kabul edilmiş bir tanımı yoktur. Bununla birlikte, bu çalışma için çalışma tanımı, araştırma hedefleri ve kapsamı ile uyumluluğu ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre akıllı şehir, kaynakları korumak, çevresel etkilerini en aza indirmek ve genel ekolojik refahı artırmak için ileri teknolojilerden ve veri odaklı yaklaşımlardan yararlanan bir kentsel ortamı ifade etmektedir. Tüm sakinler için ekonomik büyümeyi teşvik ederken daha çevre dostu ve yaşanabilir bir çevre yaratmak için enerji verimliliği, sürdürülebilir ulaşım, atık azaltma, su tasarrufu, çevresel izleme ve yeşil altyapıya öncelik verir. Akıllı şehirler, sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını teşvik etmek için teknolojik gelişmelerin ve ölçeklenebilir veri odaklı çözümlerin rolünü giderek daha fazla vurgulamaktadır (örneğin, Ref. [43e46]). Akıllı şehirler, teknolojiyi çevre yönetimiyle bütünleştirerek daha yeşil ve daha sağlıklı yaşam ortamları yaratmaya çalışmaktadır.

Bununla birlikte, akıllı şehirler, başarılı bir şekilde uygulanmalarının yanı sıra ortaya çıkan diğer şehirçilik paradigmalarıyla entegrasyonlarını sağlamak için ele alınması gereken çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu konudaki başlıca sorunlardan biri akıllı şehirler için standart bir tanımın olmamasıdır. Bu netlik eksikliği, akıllı şehir girişimlerinin planlanması ve uygulanmasında kafa karışıklığına ve tutarsızlığa yol açmıştır. Dahası, mevcut akıllı şehir altyapıları ileri teknolojilerin ve veri odaklı sistemlerin entegrasyonunu destekleyecek şekilde tasarlanmamıştır. Bağlanabilirliği, veri toplamayı ve kaynakların etkin yönetimini desteklemeleri gerekmektedir ki bu da ölçeklenebilirlik ve birlikte çalışabilirliği gerektirmektedir. Akıllı şehirler büyüdükçe ve daha fazla cihaz ve sensör bağlandıkça, altyapıları artan veri hacmini ve artan kullanıcı sayısını idare etmelidir. Farklı sistemler ve cihazlar arasında entegrasyon ve sorunsuz iletişim, altyapılarının sorunsuz çalışması için çok önemlidir. Buna ek olarak, akıllı şehirlerde verilerin ve bağlı cihazların yaygın kullanımı ile altyapılarının güvenliğini ve gizliliğini sağlamak çok önemli hale gelmektedir. Bu altyapılar, siber tehditlere karşı koruma sağlamak ve vatandaşların verilerinin gizliliğini korumak için sağlam güvenlik önlemlerine sahip olmalıdır. Çeşitli çalışmalar (örneğin, Ref. [47,48]) akıllı şehirler bağlamında veri güvenliği ve gizlilik sorunlarının ve cihaz düzeyinde güvenlik açığının ele alınmasının önemini vurgulamaktadır. Dahası, uyumlu ve entegre bir akıllı şehir ekosistemi oluşturmak için çeşitli alanların koordine ve entegre edilmesi karmaşık bir görevdir. Akıllı şehirler, akıllı ekonomi, akıllı yönetim, akıllı mobilite, akıllı çevre, akıllı yaşam ve akıllı insanlar üretmek için ağı bağlı altyapıyı ve ilgili veri odaklı teknolojileri stratejik olarak kullanmalıdır. Dahası, akıllı şehirlerin karşı karşıya olduğu sosyal, etik, politik, yasal ve düzenleyici zorlukların üstesinden gelmenin zor olduğu görülmüştür. Bu zorlukların üstesinden gelmek için teknoloji, vatandaşlar ve kurumlara odaklanan çok yönlü bir yaklaşım gereklidir. Bu, sağlam teknoloji altyapısının geliştirilmesini, etkili yönetim modellerinin uygulanmasını ve

vatandaşların karar alma süreçlerine aktif olarak dahil edilmesi. Genel olarak, akıllı şehirler sürdürülebilir kentsel kalkınmayı ilerletmek için büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte, başarılı ve kapsayıcı ekosistemler oluşturmak için kapsamlı bir yaklaşım gerektiren önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

2.1.2. Eko-kentler

Eko-kent kavramı, "girdilerin (kaynakların) ve çıktılarının (atıkların) en aza indirildiği bir kentsel çevre sistemini" ifade etmektedir [49]. Günümüzde yaygın olan eko-kentler, farklı kentsel bağlamlardaki çevresel zorluklara yanıt olarak öncelik verdikleri stratejiler ve çözümler bakımından çeşitlilik göstermektedir. Kavramsallaştırma, uygulama ve geliştirme açısından büyük çeşitlilik gösterirler. Dolayısıyla, eko-kentin kesin bir tanımı yoktur, daha ziyade kavramlar, fikirler ve hedefler bütünüdür [32]. Genel olarak eko-kentler, çevresel sürdürülebilirlik ve ekolojik dengeye güçlü bir şekilde odaklanarak tasarlanan ve geliştirilen kentsel alanlardır [50]. Ekolojik ayak izlerini en aza indirmeyi ve insanlar ile doğa arasında uyumlu bir ilişkiyi teşvik etmeyi amaçlarlar. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları, atık azaltma, yeşil alanlar, sürdürülebilir ulaşım ve kaynakların korunmasına öncelik verirler. Sosyal kapsayıcılığı ve ekonomik refahı teşvik ederken, vatandaşların ve çevredeki ekosistemlerin refahını destekleyen sürdürülebilir bir yaşam ortamı yaratmaya çalışırlar. Eko-kentlerin nihai hedefi, daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunan esnek, düşük karbonlu ve çevre dostu kentsel alanlar yaratmaktır ([51,52]).

2.1.3. Akıllı eko-kentler

Eko-kentler, temel olarak kentsel ekoloji ilkelerinin uygulanmasına veya sürdürülebilir şehir stratejileri ile akıllı şehir çözümlerinin birleştirilmesine dayanan farklı modellerde kendini göstermektedir. Bu modellerden en öne çıkanı, kentsel sürdürülebilirliği sağlamak için IoT ve Büyük Veri teknolojilerini çevresel teknolojilerle bütünleştiren akıllı eko-kentlerdir (örneğin, Ref. [35,53e56]). Akıllı eko-kentler, çevresel refahı önceliklendirirken sürdürülebilirliği, verimliliği ve yaşam kalitesini artırmak için ileri teknolojileri, veri analitiğini ve akıllı sistemleri entegre eden kentsel ortamları ifade etmektedir. Bu doğrultuda, çevresel etkiyi en aza indirmek, kaynakları korumak ve sürdürülebilir ve dirençli kentsel ortamları teşvik etmek için yenilenebilir enerji, Biyokütle Kombine Isı Enerjisi (BCHP), sürdürülebilir ulaşım (yürüme, bisiklete binme, araç paylaşımı, biyogaz arabaları), eko-döngü atık yönetimi, yeşil altyapı, kentsel meta bolizm, sürdürülebilir binalar, akıllı şebekeler ve sürdürülebilir kentsel planlama stratejilerinin kullanımı teşvik etmek için veri odaklı teknolojilerden ve çözümlerden yararlanmaktadır (örnek vaka çalışmaları için bkz. Refs. [53,57]).

Akıllı şehirlerin aksine, akıllı eko-kentler teknolojinin ötesine geçmektedir.

odaklı yaklaşımlardır ve çevresel sürdürülebilirlik ile ekolojik dengeyi temel unsurlar olarak vurgularlar. Sürdürülebilir uygulamalar ve ileri teknolojilerin entegrasyonuna odaklanmakta, doğaya dayalı çözümleri kentsel planlama ve tasarıma dahil etmekte ve toplulukları çevre yönetimine dahil etmektedirler. Yalnızca teknolojiye dayanarak kalmayıp aynı zamanda doğal kaynakları, biyolojik çeşitliliği ve ekosistem hizmetlerini korumaya ve geliştirmeye öncelik veren uyumlu kentsel ortamlar yaratmayı amaçlamaktadırlar. Özünde, çevre dostu ve yaşanabilir kentsel topluluklar yaratmak için uzun vadeli sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı teşvik eden ve gelecek nesiller için doğal kaynakları koruyan kentsel gelişime daha bütünsel ve doğa merkezli bir yaklaşım için çabalamaktadırlar.

2.1.4. Daha akıllı eko-kentler

Bu çalışmaya özgü olarak daha akıllı eko-kentler kavramı, yapay zeka ve AIoT teknolojilerini ve çözümlerini çevre teknolojileri ve stratejileri ile entegre eden akıllı eko-kentleri tanımlamaktadır.

Sürdürülebilir sistemlerinin performansını en üst düzeye çıkarmak ve işleyişlerindeki açık sinerjiler göz önüne alındığında bunları akıllı sistemlerle entegre etmek. Bu entegrasyonun, çevresel sürdürülebilirliğin faydalarını artırma açısından bu sistemlerin ayrı ayrı etkilerinin toplamından daha büyük birleşik etkiler üretmesi amaçlanmaktadır. Akıllı şehir sistemleri arasında akıllı şebekeler, akıllı trafik ışıkları, akıllı mobilite, akıllı binalar, akıllı atık yönetimi ve akıllı çevresel izleme yer almaktadır. Daha akıllı eko-kentler, akıllı eko-kentlerin bir evrimini veya ilerlemesini temsil etmektedir. Daha dayanıklı, sürdürülebilir ve teknolojik açıdan gelişmiş kentsel çevreler yaratmak için enerji, atık, su, ulaşım ve şehir planlamasına yönelik en son teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanarak çevresel sürdürülebilirliğe öncelik verirler. Ayrıca sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını entegre ederek kentsel gelişime daha bütüncül ve kapsamlı bir yaklaşımı vurgulamaktadırlar. Bu doğrultuda, çevrenin korunması, sosyal eşitlik ve ekonomik refah arasında denge kurmayı amaçlamaktadırlar. Kentsel sistemleri optimize etmek ve karmaşık zorlukları daha entegre ve akıllı bir şekilde ele almak için başta yapay zeka ve AIoT olmak üzere akıllı şehirlerin sunduğu ileri teknolojilerden ve çözümlerden yararlanırlar. Sentezlenen çalışmalara dayalı olarak türetilen **d ile** karakterize edilirler:

- Sürdürülebilirlik için YZ ve AIoT teknolojilerinin yenilikçi potansiyeli;
- Uygulanan AI ve AIoT çözümlerinin sağladığı gelişmiş sürdürülebilirlik sonuçları;
- Akıllı şehir sistemleri ile eko-kent sistemleri arasındaki sinerjiler;
- Akıllı eko-kent sistemlerinin optimize edilmiş performansı ve verimliliği; ve
- Kentsel yönetim ve planlama uygulamalarının iyileştirilmesi.

Özetle, akıllı şehirler teknoloji odaklı kentsel gelişime odaklanırken, akıllı eko-kentler IoT ve Büyük Veri teknolojileri aracılığıyla çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına daha güçlü bir vurgu yapmaktadır. Daha akıllı eko-kentler, kentsel gelişime daha bütüncül bir yaklaşım için gelişmekte olan yapay zeka ve IoT teknolojilerinden yararlanarak sosyal ve ekonomik boyutları da dahil ederek bir adım daha ileri gider.

22. Veri odaklı teknolojiler

22.1. IoT, bilgi işlem modelleri ve büyük veri

"IoT" terimi, internet veya diğer ağlar üzerinden diğer cihazlarla veri alışverişi yapmalarını sağlayan algılama, işleme, iletişim ve harekete geçirme teknolojileri ve yetenekleriyle donatılmış fiziksel nesnelerden oluşan kolektif ağı tanımlamaktadır. Genellikle "akıllı cihazlar" olarak adlandırılan bu nesneler, gündelik eşyalardan şehir altyapısı gibi karmaşık sistemlere kadar çeşitlilik gösterebilir. IoT bu cihazların birbirleriyle iletişim ve etkileşim kurmasını, veri toplamasını, veri aktarmasını ve otomatik görevleri yerine getirmesini sağlayarak çeşitli kentsel alanlarda verimliliğin, performansın ve sürdürülebilirliğin artmasına yol açar. Dünya genelinde her geçen gün daha fazla IoT cihazı birbirine bağlanmakta ve analitik sistemlere büyük miktarda veri aktarmaktadır. Küresel olarak günde 2,5 kentilyon bayt veri üretildiği ve bu rakamın 2025 yılına kadar 463 eksabayta yükseleceği tahmin edilmektedir [58].

Uç, sis ve bulut bilişim, çevresel sürdürülebilirlik bağlamında akıllı şehirlerde ve akıllı eko-kentlerde IoT ekosisteminde önemli bir rol oynayan birbirine bağlı üç paradigmadır [53]. Uç bilişim, verilerin veri kaynağında veya yakınında, genellikle cihazda veya yakındaki bir ağ geçidinde işlenmesini içerir. Hesaplamaları yerel olarak yürüterek gecikmeyi azaltmayı ve gerçek zamanlı yanıt verilebilirliği artırmayı amaçlamaktadır. Özellikle otonom araçlar gibi hızlı karar verme ve düşük gecikmeli etkileşim gerektiren uygulamalar için kullanışlıdır. Sis bilişim, birden fazla uç cihazı ve ağ geçidini içeren hiyerarşik bir mimari oluşturarak uç bilişim kavramını genişletir. Sis düşümleri

İlgili verileri buluta iletmeyen önce araçlar arası işleme, veri filtreleme ve ön analitik gerçekleştirmek için veri kaynaklarının yakınına stratejik olarak yerleştirilir. Bu yaklaşım bant genişliği kullanımını optimize eder ve sistem performansını artırır, bu da onu dağıtılmış veri kaynakları ve kaynak kısıtlı cihazları içeren senaryolar için uygun hale getirir. Bulut bilişim, verileri depolamak, yönetmek ve işlemek için merkezi uzak sunucuların kullanılmasını içerir. Geniş hesaplama kaynakları ve depolama yetenekleri sunarak karmaşık veri analitiği, makine öğrenimi ve büyük ölçekli işleme için uygun hale getirir. Bulut bilişim, verilere internet bağlantısı olan her yerden erişilmesine ve analiz edilmesine olanak tanıyarak kapsamlı hesaplama ve depolama yetenekleri gerektiren uygulamalar için idealdir. Bu bilgi işlem paradigmaları, ağ altyapısının farklı seviyelerinde veri üretimini ve analizini verimli bir şekilde yöneten bütünsel bir IoT ekosistemi oluşturmak için işbirliği yapmaktadır.

Büyük Veri, geleneksel veri işleme teknikleri kullanılarak kolayca yönetilemeyen, işlenemeyen veya analiz edilemeyen son derece büyük ve karmaşık veri kümelerini ifade eder. Diğerlerinin yanı sıra, hacim olarak çok büyük, yerellik açısından yüksek, çeşitlilik açısından çeşitli, kapsam açısından kapsamlı, çözünürlük açısından ince taneli ve ilişkiseldirler. Büyük Veri analitiği, büyük ve karmaşık veri setlerinden değerli içgörüler, örüntüler ve korelasyonlar çıkarmak için gelişmiş tekniklerin ve teknolojilerin kullanılmasını içerir. Bu süreç tipik olarak veri toplama, depolama, işleme, analiz ve görselleştirmeyi içerir. Özetle, IoT ve Büyük Veri, veri toplama, analiz etme ve kullanma şeklimizde devrim yaratan birbirine bağlı kavramlardır. IoT akıllı cihazların bağlanabilmesini sağlayarak büyük miktarlarda veri üretmelerine olanak tanıyarak, Büyük Veri de bu verileri yönetme, analiz etme ve bunlardan anlamlı içgörüler elde etme olanağı sağlamaktadır. Birlikte, kentsel gelişim de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yeniliği teşvik etme, karar verme sürecini iyileştirme ve yeni fırsatlar yaratma potansiyeline sahiptirler [59].

22.2. YZ modelleri ve teknikleri

YZ genellikle, simülasyonunu yapabilen bilgisayarlar veya makineler yaratarak insan zeki davranışını taklit etmek olarak tanımlanır. Bu çalışmanın çalışma tanımı YZ'yi "çevresini algılayan ve hedefleri için harekete geçen herhangi bir cihaz/sistem" olarak tanımlamaktadır [60]. Genel olarak, yapay olarak zeki bir makine, çevresindeki ortam hakkında bilgi edinerek öğrenebilir [61], deneyimden gelen bilgilerle performansını artırabilir ve insanların p r o b l e m l e r i nasıl çözdüğüne benzer bir şekilde karmaşık görevleri yerine getirebilir. YZ sistemlerinin yetenekleri arasında Doğal Hesaplama (NC) ve Makine Öğrenimi (örn., Ref. [62,63]) kullanarak veri analizi ve harici verilerden öğrenme; Bilgisayarla Görme (CV), Bulanık Mantık (FL), Doğal Dil İşleme (NLP) kullanarak insan bilişsel işlevlerini taklit etme (örn., Ref. [61]); ve karar desteği, stratejik planlama, sıralı eylemler [65], kendi kendine öğrenme ve kendini geliştirme [66] kullanarak insan düşüncesinin ve duygularının karmaşıklıklarıyla başa çıkma (örn., [64]) yer almaktadır. NC ile ilgili olarak, doğal fenomeni simüle eder ve ML algoritmalarını optimize etmek için bilgisayarlarla hesaplama ortamı olarak doğal materyali kullanır [62]. Evrimsel hesaplama (EC) da sürekli optimizasyon için ve birçok değişken içeren karmaşık optimizasyon problemlerinde kullanılır. ML modellerini optimize etmek için yaygın olarak uygulanmaktadır [67]. Örneğin, biyolojik fenomenler olarak evrim ve ekoloji, optimizasyon algoritmalarına ilham vermektedir [68]. ML, 0 ve 1'i çeşitli ara derecelere sahip aşırı doğruluk durumları olarak kullanarak, siyah veya beyaz senaryolar arasındaki boşluğu karakterize ederek veya her veri noktasını olasılık puanı atfına dayalı olarak farklı kümelere ayırmak için bulanık c-ortalamalar kümelemesini kullanarak insan muhakemesini ve bilişini taklit etme açısından FL'ye dayanabilir. CV, örüntüleri tanıyarak ve bu bilgilere dayanan anlamlı kararlar vererek görsel verilerden bilgi almak için makine öğrenimini uygular. Buna ek olarak, makine öğrenimi CV, FL ve NLP gibi farklı yapay zeka modelleriyle örtüşür, kesişir veya bunlar için bir araç olarak kullanılabilir.

Örneğin, NLP bilgisayarların insan dilini anlamasını, analiz etmesini, manipüle etmesini ve üretmesini sağlar. NLP, insanlar ve akıllı sistemler arasında verimli ve etkili bir iletişim sağlayarak akıllı şehirlerde önemli bir rol oynamaktadır. NLP teknikleri insan dilini çeşitli biçimlerde analiz edip anlayarak akıllı etkileşimlere ve karar verme süreçlerine olanak tanır. Akıllı şehirlerde NLP, akıllı planlama, akıllı yönetim, akıllı mobilite ve akıllı hizmetler gibi birçok alanda uygulanabilir. Akıllı şehirler NLP'den yararlanarak iletişim kanallarını geliştirebilir, hizmet sunumunu iyileştirebilir ve vatandaş geri bildirimlerinden değerli içgörüler elde ederek daha duyarlı ve vatandaş merkezli kentsel ortamlara yol açabilir. Tyagi ve Bhusan [69] akıllı şehirler inşa etmek için Bilgi ve İletişim Teknolojisi (ICT) süreçlerini optimize etmede NLP'nin potansiyelini araştırmaktadır. Çalışma, NLP'nin yapısını, arka planını ve kapsamını analiz etmekte ve çeşitli alanlardaki son uygulamalarını sunmaktadır. Yazarlar, NLP'nin akıllı şehirleri geliştirmedeki rolünü vurgulamakta ve uygulamadaki açık zorlukları tartışarak NLP'nin akıllı şehirler inşa etmede önemli bir dayanak olduğunu vurgulamayı amaçlamaktadır.

Ayrıca, yapay zeka, akıllı şehirlerin inşasında çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler için yapay zeka ve AIoT uygulamalarının bir parçası olarak son birkaç yıldır ilgi çekmektedir. Bu teknikler arasında Yapay Sinir Ağı (YSA), Destek Vektör Makinesi (DVM), Doğrusal Regresyon (LR), Karar Ağaçları (DT), Rastgele Ormanlar (RF), Adaptif Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Toplu-Normalleştirme (BN), Evrişimli Sinir Ağları (CNN'ler), Derin Sinir Ağları (DNN'ler) ve Genetik Algoritma (GA) bulunmaktadır. ML ile ilgili olarak, regresyon, sınıflandırma veya her ikisi için kullanılan denetimli öğrenme teknikleri arasında LR, Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller (LGM), DT, RF, SVM, YSA ve Bayesian Ağları (BN) bulunmaktadır. DL'ye gelince, DNN, CNN'ler ve Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN'ler) algoritmalarını kullanan biyolojik bir sinir ağı veya beyinden ilham alan bir makine öğrenimi türüdür. Böylece, büyük miktarda veriyi toplayarak, analiz ederek ve yorumlayarak ve daha hızlı ve daha kolay bir şekilde karar vererek insanların belirli bilgi türlerini edinme şeklini taklit eder. DL teknikleri üç temel katmandan oluşan sinir ağlarından yararlanır: girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı. Bu katmanlar, veri temsiliinde elde edilmesinde ve çoklu soyutlama düzeyleri arasında bağlantılar kurulmasında önemli bir rol oynar.

223. AIoT ve sistem sütunları: Bir veri bilimi döngüsü perspektifi

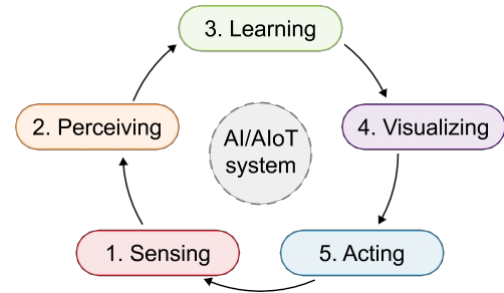
IoT aracılığıyla üretilen dinamik ve ilişkisel verileri yönetmek ve analiz etmek, giderek daha güçlü hesaplama ve analitik yetenekler gerektirmektedir. Bu durum, IoT operasyonlarının verimliliğini optimize eden, insan-makine etkileşimlerini geliştiren, veri yönetimi ve analitik modellerini ilerleten ve karar alma süreçlerini iyileştiren teknolojik bir çerçeve olan AIoT'nin ortaya çıkmasına yol açmıştır. AIoT, gelişmiş analiz, gelişmiş gerçek zamanlı içgörüler, akıllı karar verme ve otonom davranış sağlamak için IoT cihazlarını ve sensörlerini AI modelleri ve teknikleriyle bağlamayı ve birleştirmeyi içerir. ML/DL'nin kontrol doğruluğunu artırmada ve çok modlu etkileşimleri kolaylaştırmada değer gösterdiği bir süreç olan dinamik ortama yanıt vermek için kontrol ve etkileşim yoluyla hareket eder [13]. Büyük Veri aracılığıyla YZ ve IoT arasındaki sinerji, çeşitli alanlarda daha akıllı ve daha verimli uygulamalar sağlayarak inovasyonu teşvik etmekte ve dönüştürücü çözümlere olanak tanımaktadır. IoT, Büyük Veri üretir ve bu da farklı şehircilik bağlamlarında kentsel sistemler için çok çeşitli pratik uygulamalarla ilgili olarak "YZ'nin en iyi sonuçları sağlayan kararları yorumlamasını, anlamasını ve vermesini" [70] gerektirir [1,71]. Başka bir deyişle IoT, karmaşık görevleri en iyi şekilde yerine getirmek ve uygulamalı zeka biçiminde yararlı bilgiler elde etmek için veri odaklı YZ analitiğini mümkün kılmaktadır. YZ'nin yeniden canlanması, gelişmiş bilgi işlem sayesinde Büyük Veri'nin bolluğu ve gücü tarafından yönlendirilmektedir.

depolama kapasitesi ve gerçek zamanlı veri işleme hızı.

AIoT, zeka ve karar verme yeteneklerini IoT sistemlerine ve uygulamalarına dahil etmek için AI'nin kullanılmasını sağlar. AI/AIoT güdümlü sistem beş sütundan oluşmaktadır: (1) algılama, (2) algılama, (3) öğrenme, (4) görselleştirme ve (5) harekete geçme. Bu, Şekil 2'de kavramsal olarak genel bir perspektiften gösterilmiştir ve bu sistemin özelliklerine, gereksinimlerine ve hedeflerine bağlı olarak çeşitli uygulamalara uyarlanabileceğini ima etmektedir. Örneğin, Zhang ve Tao [13] AIoT araştırmasının ilerlemesini dört perspektiften sunmaktadır: (1) algılama, (2) öğrenme, (3) muhakeme ve (4) akıllı ulaşım, akıllı binalar ve akıllı şebekelerle bağlantılı olarak davranma. Bu, akıllı nesneleri insan benzeri bilişsel ve davranışsal yeteneklerle güçlendirerek onları gerçekliğe yaklaştırmayı gerektirir ki bu da sistemin çalışması için gereklidir.

AI/AIoT güdümlü bir sistem, daha iyi kararlar alınmasını ve/veya eyleme geçilmesini sağlamak üzere faydalı içgörüler elde etmek için ham verileri işleme becerisiyle karakterize edilir. Bu, birbiriyle ilişkili farklı hesaplama yeteneklerini ve süreçlerini içerir. Makine algısı, sistemin sensörlerden (örn. görme, ses, yakınlık, konum, dokunma, fotoelektrik, kızılötesi, ışık ve ultrasonik) gelen giriş verilerini kullanarak dünyanın farklı yönlerini çıkarma yeteneğidir; örn. nesne algılama/takip etme, eylem tanıma, görüntü sınıflandırma, anlamsal segmentasyon, dil tanıma ve poz tahmini. Sisteme algı oluşturma için kalıplar sağlayan farklı duyuşsal bilgiler vardır. Genel olarak makine algısı, bu verileri anlamlı bilgilere dönüştürmeyi, böylece gerçek dünyayla ilişki kurmak için duyuşsal bilgileri yakalayarak bu verileri tanımayı ve yorumlamayı amaçlamaktadır. Çevredeki ortamdan duyuşsal verilerin elde edilmesi ve bunların doğru bir şekilde yorumlanması, öğrenme sürecinin temel girdileridir. Öğrenme için yaygın olarak kullanılan son teknoloji yöntem, sistemin açıkça programlanmadan deneyimlerden öğrenmesini sağlayan makine öğrenmesine dayanmaktadır. Öğrenme, eğitim verisi olarak kullanılacak verilerin (örneğin, duyuşsal, sayılar, insan resimleri, nesne görüntüleri, kayıtlar, metinler) toplanması ve önceden ayrıştırılması, bu veriler üzerinde eğitilecek makine öğrenimi modelinin oluşturulması, verilerin sağlanması ve sistemin örneklere bulmak veya tahminlerde bulunmak için kendini eğitmesine izin verilmesi ile başlar. Sonuç, farklı veri kümeleriyle kullanılabilen ve verileri tahmin edici, açıklayıcı, prognostik ve kurallı işlevler için kullanabilen bir makine öğrenimi modelidir. Örneğin, ikinci işlev hangi eylemlerin gerçekleştirileceğini önermeyi içerir.

Ayrıca, makine öğrenmesinin üç alt kategorisi vardır: (1) denetimli öğrenme (nesneleri veya şeyleri tanımlamak için insanlar tarafından etiketlenmiş veri setleriyle eğitilir), (2) denetimsiz/yarı denetimsiz öğrenme (davranışlar veya eğilimler gibi etiketsiz verilerdeki kalıpları bulur) ve (3) pekiştirmeli öğrenme (deneme yanılma yoluyla



Şekil 2. AI/AIoT güdümlü bir sistemin beş ayağı: 1-ham verilerin toplanmasından sorumlu algılama, 2-ham verilerden anlamsal olarak anlamlı bilgilerin çıkarılmasından sorumlu algılama, 3-örüntüleri tahmin etmeyi öğrenmekten sorumlu öğrenme, 4-temel içgörülerin iletilmesinden sorumlu görselleştirme ve 5-belirli bir hedefe ulaşmak için harekete geçmekten sorumlu eylem.

Otonom sürüş veya rutin işlevlerin otomatikleştirilmesi gibi doğru karara dayalı en iyi eylem). Ullah ve diğerleri [72] farklı denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme algoritmalarını göstermektedir. Bunlar arasında transdüksiyon öğrenmesi, çoklu görev öğrenmesi [73], federasyon öğrenmesi [74], transfer öğrenmesi [75] ve az atışlı öğrenme [76] sayılabilir. Ayrıca, sistemin yorumlanan verilerden ve gerçekleştirilen hesaplamalardan öğrenerek tekrarlanabilir çıktılar ve güvenilir kararlar üretmesini sağlamak, genellikle makine öğrenimi modellerini eğitmek için büyük veri kümelerinin kullanılmasını gerektirir, böylece sistemin öğrenmesini iyileştirmek ve performansını artırmak için çeşitli durumlara uyum sağlamasına olanak tanıyan DL'nin serbest bırakılması sağlanabilir. DL, artan bir ilgi görmüş ve AIoT uygulamalarının zekasını, denetimsiz ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleri bağlamında dinamik ve karmaşık ortamlarla başa çıkacak şekilde geliştirmek için yararlı olduğu kanıtlanmıştır [13].

ML, karar verme modelleri oluşturarak karmaşık görevlerde performansı artırmak için verilerden yararlanmakla ilgilidir (örneğin, Ref. [14,72,77,78]). Görevlerden bahsetmişken, Mitchell [79] ML'yi "bazı görev sınıfları 'T' ve performans ölçütü 'P' ile ilgili olarak 'E' deneyiminden öğrenen bir bilgisayar programı, 'P' ile ölçülen 'T'deki görevlerdeki performansı 'E' deneyimi ile gelişirse" olarak düşünmektedir. Karar verme sürecinin iş atları, karar vermeyi destekleyebilecek verilerden (örüntüler, korelasyonlar, tahminler, öngörüler, vb.) yararlı bilgileri sistematik olarak çıkarmadaki rolleri göz önüne alındığında, makine öğrenimi modelleri ve algoritmalarıdır. Örneğin, DL algoritmalarını kullanarak, sistem video akışlarının gerçek zamanlı analizini yapabilir, nesneleri tanımlayabilir ve gerçek zamanlı trafik izleme veya trafik koşullarının analizi için CV modellerini kullanarak olayları mutlak hassasiyetle tespit edebilir. Makine öğrenmesinin son zamanlardaki gelişimi, karmaşık matematiksel hesaplamaları devasa miktardaki verilere tekrarlayan ve daha hızlı bir şekilde uygulama kabiliyetiyle ilişkilidir. Buna göre sistem, makine öğrenimi sayesinde karar verme sürecini daha veri odaklı, doğru, daha net ve daha hızlı hale getirmektedir. Aldığı verilerdeki algılanan örüntülere dayanarak kararlar verir. Bu konudaki kararlara örnek olarak bir atık yönetim sürecinin otomatikleştirilmesi, bir enerji operasyonunun geliştirilmesi, bir planlama işlevinin optimize edilmesi, bir çevre stratejisinin iyileştirilmesi, bir politikanın ayarlanması ve riskin değerlendirilmesi verilebilir.

Karar verme süreci veri odaklı içgörülere dayandığından, Veri görselleştirme, karmaşık verilerin insanların bu verileri daha iyi anlamasını ve bunlara tepki vermesini kolaylaştıracak şekilde aktarılması açısından önemli hale gelmektedir. Veri görselleştirme; grafikler, infografikler, haritalar, görünümler, animasyonlar ve diğer metaforlar gibi unsurları kullanarak verilerin grafiksel temsillerini veya görsel gösterimlerini oluşturmak için özel algoritmaların kullanılmasını gerektirir. Karar vericilerin verileri keşfederek, izleyerek ve yorumlayarak daha hızlı içgörü elde etmelerini ve bunları kullanmalarını sağlar. Veri görselleştirme örnekleri arasında şehir gösterge tabloları, cityScore, şehir metabolizması ve durum odaları yer almaktadır.

Son olarak, sistemin son süreci belirli bir hedefi maksimize etmek için hareket etmektedir. Sistemin çevre ve insanlarla etkileşime girebilmesi için akıl yürütebilmesi/çıkarım yapabilmesi ve davranabilmesi gerekir. Harekete geçme, daha akıllı bir eko-kent ortamında iletişimi sağlayan ve çıktı işlevlerini yerine getiren harekete geçirme mekanizmalarıyla ilişkilidir. Çok çeşitli aktüatörler, operasyonlar, işlevler ve hizmetler için daha akıllı eko-kentlerin alt sistemlerinin ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Aktüasyon, elektrik şebekesi, bina, ulaşım, trafik, sokak aydınlatması, atık yönetimi ve su dağıtımı gibi farklı akıllı sistemleri optimize etmek için eylemler gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Optimizasyon, kaynakların eklenmesi, en aza indirilmesi, ayarlanması ve aktarılması yoluyla gerçekleşir. Bu bağlamda harekete geçirme, nesneleri izleme, nesneleri kontrol etme, nesneleri sıralama, nesneleri çalıştırma, nesneleri onarma, nesneleri değerlendirme ve nesneleri atama gibi AIoT uygulamalarının merkezinde yer almaktadır. Akıllı şehirlerdeki işlevler "harekete geçirme mekanizmalarının doğrudan IoT üzerinde kullanılmasını sağlar-

etkinleştirilmiş akıllı cihazlar" [80]. Akıllı şehir aktüatörlerinin ayrıntılı bir incelemesi için okuyucu Ref. [81]. Bununla birlikte, YZ ve YZoT'nin mühendislik uygulamalarını iyileştirmek ve fiziksel sistemlerinin performansı ve davranışıyla ilgili olarak ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerde uygulanmalarını sağlamak için daha fazla yanıt sistemi ve aktüatör geliştirilmesi gerekmektedir.

YZ/AIoT sisteminin dayanaklarına ilişkin olarak veri bilimi türü bir döngünün benimsenmesinin mantığı, YZoT çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler arasındaki ilişkiyi raporlayan sentezlenmiş çalışmaların çoğuyla uyumlu olarak sistemin yinelemeli ve veri odaklı doğasını vurgulamaktadır. Veri bilimi ilkelerini bir araya getirerek, AIoT uygulamalarında büyük hacimli heterojen verilerden yararlanmanın önemini vurgulamaya çalışıyoruz. Bu yaklaşım, anlamlı içgörülerin çıkarılmasını ve tahmine dayalı modellerin geliştirilmesini sağlayarak gelişmiş karar verme süreçlerine ve iyileştirilmiş sistem performansına yol açmaktadır. Veri bilimi döngüsünün vurgulanması, bütünsel bir AI/AIoT ekosistemi perspektifi sağlar. Verilerin toplandığı, analiz edildiği ve işlevselliğini ve uyarlanabilirliğini optimize etmek için sisteme geri beslendiği sürekli geri bildirim döngüsünü vurgular. Bu yinelemeli süreç, çeşitli kaynaklardan gelen verilerin sürekli olarak aktığı ve genel sistemin zekasına ve etkinliğine katkıda bulunduğu AI ve AIoT uygulamalarının dinamik doğasıyla uyumludur.

3. İlgili literatür çalışmalarının gözden geçirilmesi

Bu bölümde, gelişmekte olan daha akıllı eko-kentler ve bunların uygulamalı yapay zeka ve AIoT çözümleri alanında yapılan mevcut çalışmaların bir incelemesini sunuyoruz. Bu anket, alandaki temel bulguları, katkıları ve eğilimleri vurgulayarak mevcut araştırma durumuna kapsamlı bir genel bakış sağlamayı amaçlamaktadır. Mevcut literatürü inceleyerek, daha akıllı eko-şehirlerin geliştirilmesi ve uygulanmasında daha fazla keşif için boşlukları ve fırsatları belirlemeyi amaçlıyoruz. Bu anket, bulguları yapılandırılmış ve titiz bir şekilde sentezlememizi ve analiz etmemizi sağlayarak kapsamlı sistematik incelememiz için bir temel oluşturmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği için YZ ve YZT uygulamalarına ilişkin literatürün büyümeye başlaması ve birçok alan ve disipline yayılması yakın zamana kadar gerçekleşmemiştir. Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin farklı alanlarını iyileştirmek veya ilerletmek için YZ ve YZT üzerine çeşitli incelemeler yapılmıştır (Tablo 1).

3.1. Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği için YZ

Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji üzerine yapılan inceleme çalışmaları, farklı bağlamlarda enerji verimliliğinin sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesine yönelik çeşitli yaklaşım ve stratejilerin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmalar, sürdürülebilir enerji uygulamalarına ulaşmada teknolojik gelişmelerin, politika çerçevelerinin ve davranış değişikliklerinin önemini vurgulamaktadır. Su kaynaklarının korunması alanında, inceleme çalışmaları, verimli su yönetimi uygulamaları da dahil olmak üzere, su yönetimine ilişkin bilgi birikimine katkıda bulunmaktadır.

Tablo 1

Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği için yapay zeka çözümleri üzerine bir dizi literatür taraması çalışması.

Alanlar	Referanslar
Koruma ve yenilenebilir enerji	[78,82e88]
Su kaynaklarının korunması	[89e93]
Atık yönetimi	[94e96]
Biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri	[97e99]
Sürdürülebilir ulaşım	[99e101]
İklim değişikliğine uyum ve azaltım	[18,102,103,104,105]

su kullanımı, su koruma stratejileri ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisi. Bu çalışmalar, su kıtlığını ele almak ve uzun vadeli su sürdürülebilirliğini sağlamak için entegre su kaynakları yönetimi ve sürdürülebilir su kullanımı uygulamalarına duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Atık yönetimine ilişkin araştırma incelemesi, gelişmiş atık ayrıştırma optimizasyonu edilmis toplama rotalarına, öngörücü bakıma ve Karar Destek Sistemlerine (DSS) kadar atık yönetiminde yapay zekanın önemli katkılarını ortaya koymaktadır. Bu gelişmeler kaynak verimliliğini artırabilir, çevresel etkiyi azaltabilir ve sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarını teşvik edebilir. Biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri üzerine yapılan inceleme çalışmaları, biyoçeşitliliğin korunmasının önemi ve ekosistem hizmetlerinin insan refahının sürdürülmesindeki rolü hakkında fikir vermektedir. Bu çalışmalar, sürdürülebilir kalkınma için koruma önlemlerine, habitat restorasyonuna ve ekosistem hizmetlerinin karar alma süreçlerine entegre edilmesine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Sürdürülebilir ulaşım bağlamında, çalışmalar elektrikli araçlar, akıllı ulaşım sistemleri ve çok modlu ulaşım seçenekleri de dahil olmak üzere sürdürülebilir ulaşımın çeşitli yönlerine ışık tutmaktadır. Bu çalışmalar, sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin CO₂ emisyonlarını azaltma, hava kalitesini iyileştirme ve kentsel hareketliliği geliştirme potansiyelini vurgulamaktadır. Son olarak, iklim değişikliğine uyum ve hafifletme alanında, inceleme çalışmaları iklim değişikliğinin etkilerinin ele alınmasındaki zorlukların ve fırsatların anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmalar, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğine karşı direnç oluşturmak için uyum stratejilerini, azaltma önlemlerini ve politika çerçevelerini araştırmaktadır. Toplu olarak, bu inceleme çalışmaları çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin çeşitli yönleri hakkında değerli bilgiler sağlamak ve kendi alanlarındaki bilgi tabanına katkıda bulunmaktadır. Çevresel zorlukları ele almak ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek için bütünsel yaklaşımların benimsenmesinin, birden fazla disiplinin entegre edilmesinin ve teknolojik ve politik boyutların dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadırlar.

3.2. Akıllı şehirler için yapay zeka

Akıllı şehirlerde YZ, IoT ve Büyük Veri arasındaki bağlantı üzerine daha genel bir perspektiften (örneğin, Ref. [1,106,107]), teknik ayrıntılar sunmadan çevresel sürdürülebilirliğin ötesinde farklı alanları geniş bir şekilde ele alan bazı incelemeler yapılmıştır. Allam ve Dhunny [106] temel olarak YZ'nin akıllı şehirler inşa etmedeki rolüne odaklanmakta, metabolizma, yönetim ve kültürü ele almakta ve YZ'nin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemektedir. Çalışma, Büyük Veri, YZ ve akıllı şehirler arasındaki kesişimi anlamaya katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojilerin akıllı şehirler bağlamında kullanıma potansiyelini araştırmakta ve kaynak optimizasyonu, kentsel planlama ve ulaşım gibi çeşitli yönler üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. Büyük Veri ve yapay zekanın akıllı şehir girişimlerine entegre edilmesiyle ilgili zorluklara ve fırsatlara ilişkin içgörüler sunmaktadır. Bibri ve diğerleri [1], çevresel olarak sürdürülebilir akıllı şehirlerin araştırma eğilimlerini ve itici faktörlerini ve bunların yakınsayan YZ, IoT ve Büyük Veri teknolojilerini incelemektedir. Yazarlar, çevresel açıdan sürdürülebilir akıllı şehirlerin, hem dijitalleşme ve karbonsuzlaştırma gündemi hem de veriye dayalı teknolojilerin hızla ilerlemesi nedeniyle 2016'e 2022 döneminde hızlı bir büyüme yaşadığını göstermektedir. Çalışma, bu teknolojilerle ilişkili çevresel maliyetlerin ve etik risklerin ele alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bulgular, veri odaklı teknoloji çözümleri geliştiren ve akıllı şehirler için çevre politikaları uygulayan akademisyenler, uygulayıcılar ve politika yapımcılar için içgörü sağlamaktadır. Navarathna ve Malagi [107] akıllı şehir analizinde yapay zekanın rolüne odaklanmaktadır. Çalışma, akıllı şehir sistemleri tarafından üretilen büyük miktarda verinin analizinde yapay zeka tekniklerinin uygulanmasını incelemektedir. Yapay zekanın karar verme süreçlerini nasıl geliştirebileceğini araştırmaktadır,

kaynak tahsisini optimize etmek ve akıllı şehirlerin genel verimliliğini ve sürdürülebilirliğini iyileştirmek. Akıllı şehir geliştirme zorluklarını ve karmaşıklıklarını ele almak için yapay zekadan nasıl yararlanılabileceğinin anlaşılmasına katkıda bulunur.

3.3. AIoT: teorik temeller ve pratik uygulamalar

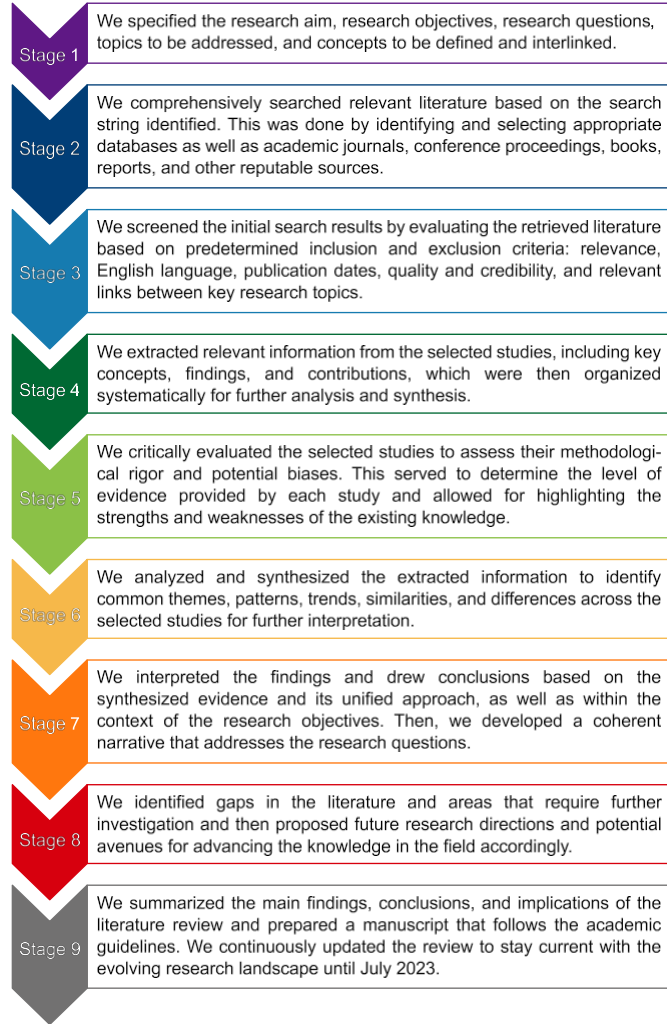
Gelişmekte olan bir teknolojik alan olarak AIoT üzerine az sayıda inceleme çalışması yapılmıştır. Mukhopadhyay ve diğerleri [108] IoT sistemlerinde sensörlerin önemini ve bunların yapay zeka ile entegrasyonunu vurgulamaktadır. Yazarlar, akıllı kararlar almak ve işbirliği içinde iletişim kurmak için verimli, akıllı ve bağlantılı sensörlere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Ayrıca, sensörlerin performans düşüşünü tespit etmesini, kalıpları tanımlamasını ve yeniliği teşvik etmesini sağlayan gelişmiş YZ teknolojilerinin ortaya çıkışından da bahsetmektedirler. Gelecekteki IoT uygulamaları için AI tabanlı sensörlerin dağıtımını sağlamak üzere sensörler, akıllı veri işleme, iletişim protokolleri ve AI üzerine odaklanılmaktadır. Shi ve diğerleri [11] IoT ve YZ'nin yakınsamasına odaklanmaktadır. Çalışma, iki YZ formunu, bilgi destekli YZ ve veri güdümlü YZ'yi karşılaştırmakta ve bunların avantajlarını ve dezavantajlarını vurgulamaktadır. Algılama, ağ ve uygulama katmanlarını kapsayan IoT mimarisi boyunca YZ'nin entegrasyonundaki son gelişmeleri incelemektedir. Zhang ve Tao [13] AIoT kavramını ve IoT'yi güçlendirme potansiyelini araştırmaktadır. Çalışma, AIoT üzerine kapsamlı bir anket sunmakta ve AI tekniklerinin, özellikle de DL'nin IoT hızını, zekasını, sürdürülebilirliğini ve güvenliğini nasıl artırabileceğini göstermektedir. AIoT mimarisini bulut bilişim, sis bilişim ve uç bilişim bağlamında ele almaktadır. Ayrıca, AIoT'nin umut verici uygulamalarını vurgulamakta ve bu alandaki zorlukları ve araştırma fırsatlarını ana hatlarıyla belirtmektedir. Her iki çalışma da IoT ve yapay zekanın yakınsamasının anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır; ilk çalışma entegrasyonun genel önemi ve ilerlemesine odaklanırken, ikinci çalışma özellikle AIoT kavramını ve IoT üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Mastorakis ve diğerleri [12], araştırma eğilimleri, sektör ihtiyaçları ve pratik uygulama dahil olmak üzere IoT'deki AI yöntemleriyle ilgili çeşitli konuları kapsayan AI ve IoT'nin yakınsamasına daha geniş bir bakış açısı getirmektedir. Çalışmaları, vaka çalışmaları ve en iyi uygulamalar aracılığıyla teorik kavramları ve gerçek dünya uygulamalarını dengelemektedir. YZ ve IoT'nin entegrasyonu ile ilgilenen araştırmacılar ve uygulayıcılar için kapsamlı bir kaynak görevi görmektedir. Her iki katkı da YZ ve IoT teknolojilerinin entegrasyonuna ve YZoT'nin anlaşılmasına ve belirli bağlamlarda ve daha geniş IoT ortamında uygulamalarına ilişkin içgörüler sağlamaktadır. Bu çalışmalar birlikte, AIoT'nin ilerlemeleri, zorlukları ve potansiyel uygulamaları hakkında değerli bilgiler sunmakta ve bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme için bir temel oluşturmaktadır.

YZ ve çevresel sürdürülebilirlik üzerine önceki inceleme çalışmaları yeteneği, YZ ve iklim değişikliği, YZ ve akıllı şehirler ve YZoT, çevresel olarak sürdürülebilir ve teknolojik olarak gelişmiş kentsel ortamlar yaratmadaki fırsatları, faydaları ve zorlukları anlamak için güçlü bir temel oluşturmuştur. Bununla birlikte, YZ ve AIoT teknolojilerinin hızla ilerlemesiyle birlikte, bu teknolojilerin ve mevcut akıllı eko-kentlerin belirli kesişimlerini ve bunların altında yatan çok yönlü boyutlarını keşfetmeye ihtiyaç vardır. Gelişmekte olan YZ ve AIoT alanı, kentsel alanlarda ekolojik bozulma ve iklim krizinin karmaşıklığıyla mücadele etmek için yeni olanaklar sunmaktadır. Ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler ve bunların öncü YZ ve AIoT çözümleri hakkında kapsamlı bir sistematik inceleme yaparak, bu çözümler ile daha akıllı eko-kentlerin tanımlayıcı bağlamında çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler üzerine mevcut araştırmalar arasındaki boşluğu doldurabiliriz. Genel olarak, bu derleme türünün ilk örneğidir ve gelişen akıllı eko-şehircilik alanına yeni anlayışlar getirmeyi ve çok sayıda kaynaktan ve disiplinden gelen çok sayıda çalışmayı sentezleyerek çeşitli alanlarına ilişkin bilgileri genişletmeyi amaçlamaktadır.

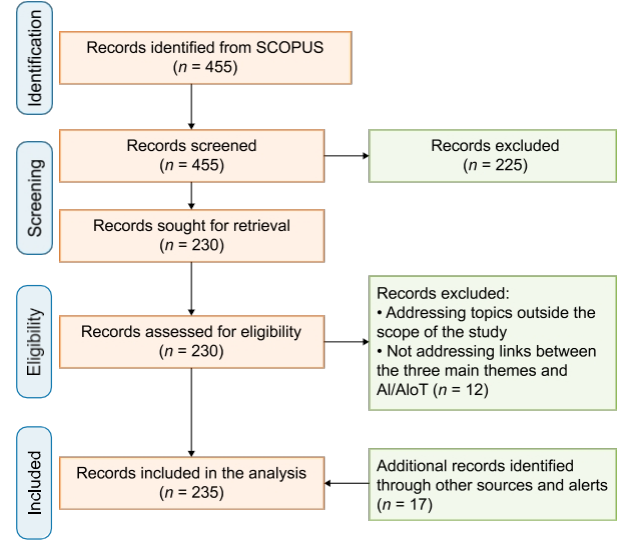
4. Materyaller ve yöntemler

Sistematiik bir literatür taraması, çalışmaya rehberlik eden üç soruyu ele almış ve böylece özel hedeflerine ulaşmıştır. Disiplinler arası bir alan olarak daha akıllı eko-kentler araştırma konusunu ele almak ve tartışmak için yayınlanan çalışmaların alınmasını, haritalanmasını, toplanmasını, yapılandırılmasını ve eleştirel olarak değerlendirilmesini içerir [109]. Sürekli genişleyen yayın külliyatından ilgili bilgilerin çıkarılmasına olanak tanır [110]. Şekil 3.'te gösterildiği gibi, çalışma dokuz temel aşamadan oluşmaktadır: (1) araştırma odağı ve kapsam tanımı, (2) literatür taraması, (3) tarama ve seçme, (4) veri çıkarma, (5) eleştirel değerlendirme, (6) sentez ve analiz, (7) yorumlama ve anlatım, (8) mevcut boşluklar ve daha fazla araştırma gerektiren alanlar ve (9) özet ve makale hazırlama

Aşama 2 ve 3 ile ilgili olarak, literatür taraması ve seçimi için Sistematiik İncelemeler ve Meta-analizler için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri (PRISMA) yaklaşımını takip ettik [111,112]. Şekil 4'te bu yaklaşımla ilgili dört aşamalı literatür tarama ve seçim süreci akış şeması gösterilmektedir. Mevcut akademik araştırma veritabanları havuzu arasından SCOPUS, titizlik konusunda katı standartları karşılayan, odaklanılan konuyla ilgili 455 yüksek kaliteli hakemli çalışmayı içeren geniş kapsamı nedeniyle seçilmiştir. Bu çevrimiçi platform, en güvenilir ve güvenilir akademik literatürlerden biridir.



Şekil 3. Sistematiik incelemenin yürütülme sürecini özetleyen akış diyagramı.



Şekil 4. Literatür taraması ve seçimi için PRISMA akış şeması. [111,112]’den uyarlanmıştır.

Kaynaklar. Bilimsel literatüre ulaşmak için, çalışmanın farklı konularını ve ilgili bağlantıları kapsayan geniş tabanlı bir arama dizisi geliştirdik. Buna göre, arama dizisi şunları içeriyordu: "akıllı eko-kentler", "akıllı şehirler VE nesnelerin interneti", "akıllı şehirler VE yapay zeka VEYA makine öğrenimi VEYA derin öğrenme", "akıllı şehirler VE çevresel sürdürülebilirlik", "çevresel sürdürülebilirlik VE yapay zeka VEYA makine öğrenimi VEYA derin öğrenme", "iklim değişikliği VE yapay zeka VEYA makine öğrenimi", "nesnelerin yapay zekası VE çevresel sürdürülebilirlik", "nesnelerin yapay zekası VE akıllı şehirler", "nesnelerin yapay zekası VE iklim değişikliği", "yapay zeka VE akıllı eko-kentler", "blok zinciri VE çevresel sürdürülebilirlik" ve "blok zinciri VE yapay zeka VE yapay zeka VE yapay zeka". Bunlar makalelerin başlık, özet ve anahtar kelimelerinde arama yaparak ilk bilgileri elde etmek için kullanıldı. Daha sonra, kesin birincil bilgi sağlayan belgelere odaklanarak okuma kapsamını daralttık. Buna göre, bu belgelerin başlıkları ve özetleri taranarak akıllı şehirler, akıllı eko-kentler, çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği, AI ve AIoT teknolojileri ile IoT ve Büyük Veri teknolojileri arasındaki ilişkilere odaklanılanlar seçilmiştir. Fazlalıklar elendikten sonra veri tabanında 230 belge kalmıştır. Bunlar kontrol edildi ve 12 makale, söz konusu ilişkiler hakkında bilgi içermediği için hariç tutuldu. Daha sonra, ek ilgili kaynakları ortaya çıkarmak için atıf izleme veya referans zincirleme tekniklerini araştırdık. Buna göre, kalan makalelerin referans bölümleri kontrol edildi ve toplam 235 belgeyi içeren nihai veri tabanına 17 ilgili makale daha eklendi. Bu, sistematiik bir inceleme yapılırken güvenilir kabul edilmiştir [113].

İncelenen makaleler önde gelen dergilerde yayımlanmış ve kentsel planlama, sürdürülebilir kentsel gelişim, bilgi işlem ve gelişmekte olan teknolojiler alanlarında konferanslar. Bu yayınlar arasında "Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum", "Uluslararası Akıllı Sürdürülebilir Şehirler Konferansı", "IEEE Transactions on Sustainable Computing", "Çevresel Modelleme ve Yazılım", "Temiz Üretim", "Çevre ve Kentsel Sistemler", "Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri", "Uygulamalı Enerji", "Sürdürülebilirlik" ve "Teknolojik Tahmin ve Sosyal Değişim" yer aldı. Bu yayınlar, araştırmanın yapay zeka ve AIoT'nin anlaşılması ve uygulanmasını ilerletmedeki alaka düzeyini ve önemini ortaya koydu

akıllı eko-kentler bağlamında çözümler.

Literatür taraması Mart 2023 sonunda yapılmış ve 2015-2023 yıllarını kapsayan 455 belgeye ulaşılmıştır. Başlangıç yılının seçilmesinin nedeni, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi'nin Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından 17 SKH için uluslararası bir politika çerçevesi olarak onaylanmasıdır. Tam dönem olan 2015-2023, çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler ile ilgili yapay zeka ve yapay zeka teknolojileri perspektifinden daha akıllı eko-kentler konusunun çok yönlü doğasını yakalamaktadır. Bu, Bibri ve diğerleri [1] tarafından yürütülen ve mevcut çalışma ile oldukça ilgili olan çeşitli kentsel eğilimleri ve olayları vurgulayan daha önceki bir bibliyometrik çalışma ile belirlenmiştir.

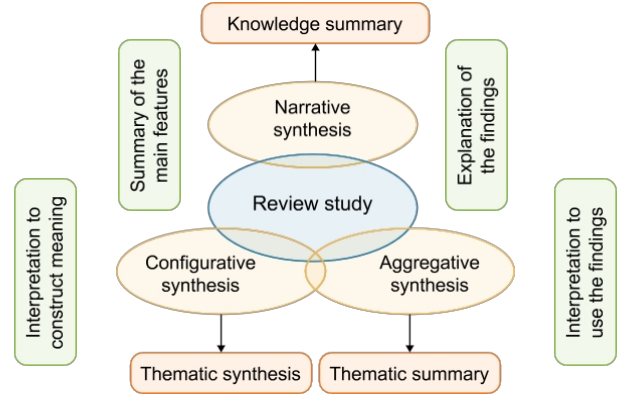
Veri çıkarma ve sentezleme, sistematik bir incelemenin yürütülmesinde çok önemli adımlardır. Bu adımlar, dahil edilen çalışmalardan ilgili bilgilerin çıkarılmasını ve tema ve örüntüleri belirlemek için verilerin sentezlenmesini içerir. Aşama 4 ile ilgili olarak, içerik analizine tımdengelim yaklaşımını izleyerek bu çalışmalardan hangi bilgilerin çıkarılması gerektiğini belirleyen yapılandırılmış bir Excel elektronik tablosu geliştirdik. Bu bilgiler arasında çalışma özellikleri, metodolojik yaklaşımlar, teknolojik ve sektörel alanlar, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinde uygulanan YZ modelleri ve teknikleri, akıllı şehirlerde uygulanan YZ ve AIoT çözümleri, akıllı şehirler ve akıllı eko-kentler arasındaki bağlantılar, kullanım durumları ve uygulamalar ve bilgi boşlukları yer almaktadır. Metodolojik yaklaşımlar açısından, örneğin, çalışmalar betimsel analiz ve literatür taramasına dayalı nitel, karma yöntemler ve YZ ve AIoT ile ilgili modelleme ve simülasyona dayalı nicel yaklaşımlardır. Ayrıca, seçilen belgelerin kalitesini ve uygunluğunu eleştirel bir değerlendirme süreciyle değerlendirdik. Bu, araştırma yaklaşımlarının güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirmek için bu belgelerde kullanılan metodolojilerin analiz edilmesini içeriyordu. Veri çıkarımı sırasında, ilgili bilgileri belirlemek ve kaydetmek için dahil edilen her bir çalışmayı dikkatlice okuduk ve analiz ettik.

Aşama 5 ve 6 ile ilgili olarak, bu çalışmanın birincil odak noktası şuydu

Sentezlenen çalışmalara dayanarak daha akıllı eko-kentlerin farklı boyutları arasındaki bağlantıları tanımlamak, kurmak ve projelendirmek. Sentezlenmiş analiz, bulgular veya sonuçlar üretmek üzere çalışmalar arasındaki örüntüleri, eğilimleri, benzerlikleri ve farklılıkları belirlemek için birden fazla çalışmadan elde edilen verilerin entegre edilmesini içermektedir. Sentez yaklaşımı, nitel analitik yaklaşımlar olarak yapılandırıcı, toplayıcı ve anlatı sentezini sorunsuz bir şekilde entegre etmiştir. Temalar, araştırma hedeflerinden ve incelenen çalışmalardan elde edilen bulgulardan türetilmiştir. Sentez, entegre bir yaklaşım kullanılarak bu temalar temelinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya özgü olarak, bu yaklaşım teorik, ampirik ve pratik konular arasında bir denge kurmaya çalışmıştır. Buna göre, vaka çalışmaları, keşif çalışmaları, gözlemsel çalışmalar, deneysel çalışmalar, teori oluşturma çalışmaları, istatistiksel modelleme çalışmaları ve inceleme çalışmalarından elde edilen kanıtlar dahil edilmiştir. Sentezlenen çalışmaların bulguları, belirlenmiş bir dizi kavramsal ve tanımlayıcı kategoriye dayalı olarak birleştirilmiştir. Bu süreç, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin farklı boyutları ve ilgili doğrudan ve dolaylı bağlantılar hakkında rapor veren çok sayıda çalışmadan elde edilen bilgilerin entegre edilmesini ve kaynaştırılmasını gerektirmiştir. Bu kategorizasyon, daha kesin temalar belirlendikçe ve revize edildikçe (birleştirildikçe, ayrıldıkça, rafine edildikçe veya atıldıkça) gelişmiştir. Belirlenen kategorilerden temalar, üç farklı ama birbirini tamamlayan sentez yaklaşımı kullanılarak sentezlenen çalışmaların bulgularının ötesinde yeni yorumlar sunmak üzere düzenlenmiştir (Şekil 5).

Konfigüratif sentez, sentez sırasında yorumlamayı içerir.

Büyük resmi tanımlamak ve genel anlamı inşa etmek için tez süreci, yani tematik sentez [114]. Çalışmalar arasındaki ortak temaları belirler ve çalışmalarda gözlemlenen bağlantıları ve farklılıkları açıklamak için kavramsal bir çerçeve geliştirir.



Şekil 5. Birleşik kanıt sentezi için bir çerçeve ve özellikleri.

Bulgular. Bulguların ortaya çıktığı ilişkileri ve bağlamı keşfederek araştırma kanıtlarının daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamayı amaçlar. Öte yandan, toplayıcı sentez, bulguların genel bir özetini üretmek için birden fazla araştırma çalışmasının özetlenmesini ve birleştirilmesini içerir [115], burada yorumlama, bulguları çerçevelemek için sentez sürecinden sonra gerçekleştirilir, yani tematik özet. Araştırma kanıtlarına kapsamlı bir genel bakış ve değerlendirme sağlamayı amaçlamaktadır. Başka bir deyişle, belirli kavramsal pozisyonlara dayalı açıklamalar yapmak için kanıtları ekler ve bunlardan yararlanır [114]. Genel olarak, konfigüratif sentez araştırma bulgularının bir araya getirilmesinin ötesine geçer ve araştırma bulguları arasında altta yatan kalıpları, düzenlemeleri veya ilişkileri anlamaya odaklanır [116]. Bir hikaye anlatma biçimi olarak anlatı sentezi, bireysel çalışmalardan elde edilen araştırma bulgularının bir anlatı yaklaşımı aracılığıyla özetlenmesini, açıklanmasını ve bütünleştirilmesini içerir. Genellikle metinsel açıklamalar kullanarak araştırma kanıtlarının açıklayıcı ve yorumlayıcı bir anlatımını sağlamaya odaklanır [117]. Birden fazla çalışma arasındaki benzerlik ve farklılıkların araştırılmasına ve aralarındaki ilişkilerin incelenmesine olanak tanır [118]. Araştırmadan ortaya çıkan temel kavramları, temaları ve çıkarımları vurgulayan tutarlı bir anlatı oluşturmak için birden fazla çalışmadan elde edilen farklı bakış açılarını ve bulguları birleştirmeyi amaçlar. Bu bağlamda, çalışmalar arasında ortak temaların veya kalıpların belirlenmesi ve bulguların genel bir anlatımının sağlanması da söz konusu olabilir.

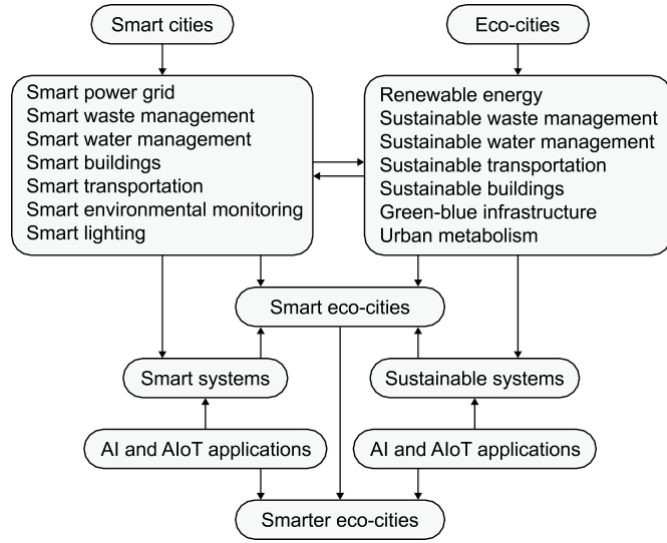
5. Sonuçlar

Sonuçları sunmak için, disiplinler arası bir alan olarak ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlere ilişkin tüm ilgili bilgileri bir araya getiriyoruz. Bu konsolidasyon, geniş bir teorik, ampirik ve pratik kanıt yelpazesini kapsamakta ve daha akıllı eko-kentlerin çeşitli boyutlarıyla ilgili olup, çevresel sürdürülebilirlik faydalarının üretilmesi ve geliştirilmesindeki sinerjilerini vurgulamaktadır. Şekil 6, sonuçların yapılandırılmış ve gezilebilir bir temsiliyi sunmaktadır.

5.1. Veriye dayalı teknolojiler, çevresel sürdürülebilirlik, akıllı şehirler ve akıllı eko-kentler arasındaki ilişki

5.1.1. Çevresel sürdürülebilirlik alanında akıllı şehirlerde IoT ve Büyük Veri Teknolojilerinin erken benimsenmesi üzerine

Çevresel açıdan daha akıllı ve sürdürülebilir olmak için hem akıllı şehirler hem de eko-kentler IoT, Büyük Veri ve yapay zeka teknolojilerinin yakınsaması sayesinde büyük ölçekli dijital dönüşüm geçirmiştir. Bu iki paradigmanın spesifik odak noktası göz önüne alındığında, bu durum farklı derecelerde ve farklı dönemlerde gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Belirlenen ana kavramsal kategorilere ve aralarındaki ilişkilere genel bir bakış.

stratejiler, çözümler ve politikalar açısından şehircilik. Bu doğrultuda, 2010'lu yılların başında çok sayıda çalışma BİT'in akıllı şehirler alanındaki çevresel sürdürülebilirlik zorluklarının üstesinden gelmedeki rolünü çeşitli alanlarda ele almıştır:

- Enerji şebekeleri: maliyetleri düşürmek ve enerji arzının güvenilirliğini artırmak için enerji sağlamak ve üretimini, tüketimini ve dağıtımını yönetmek (örneğin, Ref. [119,120]).
- Çevre yönetimi: çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek için doğal kaynakları ve ilgili altyapıyı yönetmek (örneğin, Ref. [119,121,122]).
- Ulaşım yönetimi: trafik koşullarını ve enerji kullanımını dikkate alarak ulaşım verimliliğini optimize etmek ve hareketliliği yönetmek (örneğin, Ref. [121,123e125]).
- Atık yönetimi: farklı atık türlerinin toplanması, geri dönüştürülmesi, yeniden kullanılması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesi (örn. Ref. [126,127]).

BİT, enerji üretimini, tüketimini ve dağıtımını optimize etmek için gelişmiş sensörler, iletişim ağları ve veri analitiği kullanan akıllı şebekelerin uygulanmasını sağlar. Bu da maliyetleri düşürmeye, enerji verimliliğini artırmaya, yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmeye ve elektrik şebekesinin güvenilirliğini ve esnekliğini artırmaya yardımcı olur. Ayrıca, BİT araçları ve sistemleri doğal kaynakların ve ilgili altyapının izlenmesini, analiz edilmesini ve yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Sensörler, uzaktan algılama teknolojileri ve veri analitiği sayesinde hava kalitesi, su kalitesi ve atık yönetimi gibi çevresel parametreler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve kontrol edilebilmekte, böylece daha etkili çevresel sürdürülebilirlik uygulamaları mümkün olabilmektedir. Ayrıca, BİT uygulamaları akıllı şehirlerde ulaşım verimliliğinin optimize edilmesine ve hareketliliğin yönetilmesine katkıda bulunmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri, trafik yönetim sistemleri ve gerçek zamanlı veri analizi trafik koşullarının izlenmesine, rotaların optimize edilmesine ve enerji kullanımının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu da trafik sıkışıklığının azalmasına, daha iyi ulaşım planlamasına, enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca, atık yönetimi süreçlerini iyileştirmek için BİT çözümlerinden yararlanılmaktadır. Bunlar arasında atık toplama, geri dönüşüm ve bertaraf sistemleri ile atık izleme, ayrıştırma ve takip teknolojileri yer almaktadır. BİT, atık yönetimi operasyonlarını optimize ederek ve geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımını teşvik ederek daha sürdürülebilir ve verimli atık yönetimi uygulamalarına olanak sağlamaktadır. BİT, şehirlerin daha sürdürülebilir ve verimli atık yönetimi uygulamalarına dönüştürülmesinde hayati bir rol oynamıştır.

Kentsel alanlarda daha fazla çevresel sürdürülebilirlik ve dayanıklılık elde etmek için önemli ilerlemeler sağlayarak akıllı ve sürdürülebilir ortamlar.

Eş zamanlı olarak akıllı şehirler, IoT'nin ilk uygulamalarının bir parçası olarak yeni nesil ICT'yi günlük nesnelere ve şehir yapılarına ve sistemlerine yerleştirmeye odaklanmaya başlamış (örneğin, Ref. [128,129]), dijital teknolojileri kentsel altyapılarla birleştirmenin ve bunları dijital enstrümantasyon ve hiper bağlanabilirlik yoluyla koordine ve entegre etmenin yolunu açmıştır. Akıllı şehirler, IoT ve Büyük Veri üzerine Batty ve arkadaşları [128] tarafından yürütülen kapsamlı teorik ve ampirik çalışmalardan biri, çevresel konulara ilişkin yeni bir anlayışın geliştirilmesi ve ulaşım, enerji, hareketlilik, riskler ve tehlikelerle ilgili kritik sorunların tanımlanmasına ilişkin bazı hedefler belirlemiştir. Araştırmacılar ayrıca akıllı şehir altyapılarını operasyonel işleyişlerine ve planlamalarına bağlamak için yönetim, kontrol ve optimizasyon süreçlerini kullanmada bazı zorluklar tespit etmiştir.

2012-2015 döneminde akıllı şehirler, IoT ve Büyük Veri Teknolojilerine dayalı olarak çevresel sürdürülebilirliği iyileştirme konusunda büyük bir potansiyele sahip sürdürülebilir kentsel kalkınma için bir model olarak ilgi görmüştür (örneğin, Ref. [130e136]). Bu ilgi, kentleşmenin hızlı temposuna ve akıllı şehirlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atma potansiyel etkilerine yanıt olarak yenilikçi veri güdümlü IoT teknolojilerinin doğal kaynakları nasıl etkin bir şekilde yönetebileceği ve çevresel etkileri nasıl azaltılabileceği konusunda bir tartışma başlatmıştır. Sonuç olarak, IoT ve Büyük Veri teknolojileri akıllı şehirlerin farklı alanlarında, özellikle de ulaşım, hareketlilik, enerji, atık, kirlilik kontrolü, hava kalitesi ve planlama alanlarında çevresel sürdürülebilirlik arayışında daha fazla ivme kazanmıştır (örneğin, Ref. [137e140]). Daha sonra, akıllı şehirlerin işleyişi için gerekli hale gelmişlerdir (örneğin, Ref. [40,141e145]). Bu durum, akıllı şehirlerin süreç ve uygulamalarının "veri güdümlü şehircilik biçimine son derece duyarlı" hale gelmesiyle kendini göstermiştir [146]. IoT ve Büyük Veri teknolojileri, çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek için tasarım ve planlamaya yönelik kentsel zeka işlevlerinde gelişmiş karar verme biçimlerini kullanarak kentsel operasyonları, işlevleri ve yapıları izleme yeteneği sağlar.

5.1.2 Akıllı şehirlerin IoT ve Büyük Veri Teknolojilerinin akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesi üzerindeki etkisi

Akıllı şehirlerin çevresel sürdürülebilirlik için eko-kentler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaya başlaması 2014 yılına kadar sürmüştür (örneğin, BİT'in gelişmiş biçimleri olarak IoT ve Büyük Veri teknolojilerinin benimsenmesi sayesinde Ref. [54]), akıllı şehirlerin ve eko-kentlerin son yirmi yıldaki evrimini, kavramsal yörüngelerinin 2010'ların ortalarından itibaren "akıllı eko-kentler" altında nasıl birleştiğine ilişkin olarak izlemektedir. Yazar, bu yeni akıllı, sürdürülebilir şehircilik paradigmasının kentsel ve yeşil vizyonları ve politikaları entegre etmek için IoT, Büyük Veri ve dijital altyapıların potansiyelinden nasıl yararlanacağını vurgulamaktadır. Akıllı eko-kentler, "çevresel ve ekonomik reformların hem mekânsal olarak birbirine yakın alanlarda ... hem de uluslararası bağlamda ... bilgi, teknoloji ve politika transferi ve öğrenme ağları aracılığıyla test edilebileceği ve uygulanabileceği potansiyel bir alan" olarak 2016/2017 yıllarında yaygınlaşmıştır (örneğin, Ref. [35,152]) ([56], s. 1). O zamandan beri IoT ve Büyük Veri teknolojileri ve bunların uygulamalı çözümleri, ulaşım, hareketlilik, enerji, atık, kirlilik kontrolü, hava kalitesi ve planlama ile ilgili akıllı eko-kentlerin işleyişinde etkili hale gelmiştir.

Akıllı şehirler ve eko-şehirler arasındaki ilişkiyi genişletmek için Bibri ve Krogstie [53] Stockholm eko-şehri ile Barcelona akıllı şehri için ampirik bir perspektiften inceleyip karşılaştırarak IoT ve Büyük Veri teknolojilerinin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini ilerletmek için yenilikçi potansiyeline odaklanmaktadır. Yazarlar, akıllı şebekelerin, akıllı sayaçların, akıllı

binalar, akıllı çevresel izleme ve akıllı kentsel metabolizma, "çevresel veri odaklı akıllı sürdürülebilir şehirler" olarak adlandırdıkları veri odaklı akıllı şehirlerin ve akıllı eko-kentlerin performansını artırmak için benimsenen ana veri odaklı IoT çözümleridir. Ayrıca, eko-kent ve akıllı kent çözümleri arasında "enerji verimliliği ve tasarrufunun iyileştirilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması, yenilenebilir enerjinin benimsenmesi ve enerji ve malzeme akışları hakkında gerçek zamanlı geri bildirim ile ilgili ayrı etkilerinin toplamından daha büyük birleşik etkiler" üretme konusunda açık bir sinerji olduğunu göstermektedirler. Pasichnyi ve diğerleri [153], vaka çalışması araştırmasının bir parçası olarak, bütüncül bir şehir düzeyinde analize olanak tanıyan ve büyük ölçekli güçlendirmelerden kaynaklanan toplam enerji talebindeki değişimi hesaba katan, bina enerjisinin güçlendirilmesinin stratejik planlamasına yönelik yeni bir veri odaklı akıllı yaklaşım önermektedir. Stockholm Şehri'ne [53] benzer şekilde, Avrupa'nın önde gelen akıllı şehirlerinden biri olan Barcelona'nın enerji dönüşüm modeli, akıllı enerji yoluyla %100 sertifikalı yenilenebilir enerji tedarik planı üretmeyi hedeflemektedir [154]. Başta Avrupa ve Çin'den olmak üzere diğer birçok eko-kent enerji, ulaşım, atık, su ve planlama alanlarında IoT ve Büyük Veri teknolojilerini benimsemiştir (örneğin, Refs. [35,54,54e56]). Bibri [27] tarafından akıllı eko-kentler üzerine yakın zamanda yapılan kapsamlı bir son durum incelemesi, yeni planlanan ve devam eden eko-kent proje gelişmelerinin, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin çeşitli yönlerini iyileştirmek için yenilikçi akıllı teknolojileri giderek daha fazla denediğini ortaya koymaktadır. Bu, eko-kentlerin ve akıllı kentlerin avantajlarından yararlanmayı ve yaklaşımları ile çözümleri arasındaki sinerjiden yararlanmayı gerektirmekte ve sonuçta eko-kentlerin çevresel performanslarını artırmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, IoT ve Büyük Veri teknolojileri, eko-kentlerin nasıl izleneceği, anlaşılacağı, analiz edileceği, yönetileceği, planlanacağı ve yönetileceği açısından eko-şehircilik manzarasını temelden ve geri dönülmez bir şekilde dönüştürecektir.

5.1.3. Politika araçlarının ve hükümet girişimlerinin akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesi üzerindeki etkisi

Akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesi, teknolojik ilerlemeler ve çevresel kaygıların yanı sıra politika araçlarından da büyük ölçüde etkilenebilir. Teknolojik gelişmeler, bu şehirlerin sürdürülebilirlik için çeşitli kentsel sistemleri entegre ve optimize etmeleri için gerekli araçları ve kabiliyetleri sağlamaktadır. Çevresel kaygılar, bu şehirlerin akıllı ve çevre dostu önlemleri benimseme ihtiyacını artırmaktadır. Bununla birlikte, politika araçları akıllı eko-kentlerin gelişimini şekillendirmede ve yönlendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Politika çerçevesi, düzenlemeler ve teşvikler, sürdürülebilir uygulamaların ve yenilikçi teknolojilerin hayata geçirilmesi için elverişli bir ortam yaratmakta ve akıllı çözümlerin kentsel ortamlara etkili bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır. Politika araçlarının etkin kullanımı, akıllı eko-kentler vizyonunun gerçekleştirilmesi için teknolojik gelişmelerin tüm potansiyelinden yararlanılması ve çevresel zorlukların ele alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Aslında, yönetim ve akıllı eko-kentler kendi kendini besleyen bir ilişki içinde derinden iç içe geçmiştir. Başka bir deyişle, yönetim akıllı eko-kentlerin merkezinde yer alır (örneğin, Refs. [35,53,56,57,155]) ve temel işlevi politika oluşturmak ve uygulamaktır. Planlar, yasalar, kurallar, düzenlemeler ve eylemler bütünü olarak kentsel politikanın kilit rollerinden biri, akıllı eko-kentlerin yönetiminde yer alan paydaşları hizalamak ve harekete geçirmektir. Akıllı eko-kentler, çeşitli çevresel sürdürülebilirlik alanlarında ilerleme sağlamak ve yenilikçi veri odaklı çözümleri etkin bir şekilde uygulamak için hedefe yönelik politikalar gerektirir. Genel olarak politika araçları, çeşitli girişimlerin planlanması, uygulanması ve düzenlenmesi için bir çerçeve sağlayarak akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesini kolaylaştıran politika araçları arasında [35,55,56,154e156] şunlar yer almaktadır:

- **Hükümet düzenlemeleri:** Hükümet, akıllı eko-kent gelişimi için belirli sürdürülebilirlik standartlarını ve gerekliliklerini zorunlu kılan düzenlemeleri yürürlüğe koyar; örneğin binalar için enerji verimliliği hedefleri belirler, atık yönetimi uygulamalarını zorunlu kılar ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu teşvik eder.
- **Finansal teşvikler:** Hükümetler ve yerel yönetimler, akıllı teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini teşvik etmek için akıllı çözümler içeren akıllı eko-kent projeleri için vergi teşvikleri, hibeler ve sübvansiyonlar dahil olmak üzere mali teşvikler sağlar.
- **Kamu-özel sektör ortaklıkları:** Hükümetler sürdürülebilir çözümler geliştirmek ve uygulamak için teknoloji ve enerji şirketleri, araştırma kurumları ve sektör paydaşları ile ortaklık kurabilir. Bu ortaklıklar, akıllı uygulamaları başarılı bir şekilde uygulamak için uzmanlık, kaynak ve finansmandan yararlanır.
- **Açık veri girişimleri:** Hükümetler, inovasyonu teşvik etmek ve kanıta dayalı karar vermeyi kolaylaştırmak için sensörler ve IoT cihazları gibi çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin paylaşılmasını teşvik edebilir. Bu girişimler, araştırmacıların, işletmelerin ve politika yapımcıların akıllı çözümler geliştirmek ve akıllı eko-kent projelerinin performansını izlemek için bilgiye erişmelerini ve analiz etmelerini sağlar.
- **Standartlar ve sertifikasyon programları:** Bu programların oluşturulması, akıllı eko-kentlerde akıllı çözümlerin birlikte çalışabilirliğini, güvenilirliğini ve güvenliğini sağlar. Standart kuruluşları ve sertifikasyon kurumları, güveni teşvik etmek ve akıllı eko-kentlerde gelişmiş teknolojilerin benimsenmesini kolaylaştırmak için teknik gereksinimleri, veri gizliliği kılavuzlarını ve siber güvenlik protokollerini tanımlayabilir.

Bu politika araçları, akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesi için destekleyici bir ortam yaratır. Sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden, teknolojik inovasyonu destekleyen ve kent sakinlerinin genel yaşam kalitesini artıran rehberlik, teşvik ve düzenlemeler sağlarlar. Joss ve Cowley [304] tarafından ortaya konduğu üzere, karşılaştırmalı bir vaka çalışması analizine dayanarak, politikanın şehirler için sürdürülebilir kalkınmanın ne olduğu konusunda güçlü bir şekillendirici rol oynadığı tespit edilmiştir ve bu da ülkeler arasındaki öncelikler ve yaklaşımlardaki önemli farklılıkları açıklamaya yardımcı olmaktadır.

5.2. Çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirlerde yapay zeka ve yapay zekanın yükselişi: çözümler, kullanım örnekleri ve uygulamalar

Bu alt bölüm, AI ve AIoT teknolojileri ve yenilikleri alanındaki çözümler, uygulamalar ve kullanım durumları ile ilgilidir. Bu bağlamda bir çözüm, belirli bir sorunu çözmek için yazılım, donanım, süreçler ve stratejileri kapsayan kapsamlı bir yaklaşımı temsil etmektedir. Veriye dayalı teknolojilerin nasıl çalıştığını gösteren pratik senaryoları tasvir eden gerçek dünya kullanım durumlarında uygulanır. Öte yandan, bir uygulama, genellikle hem AI hem de AIoT modellerini ve algoritmalarını kullanarak görevleri yerine getirmek için tasarlanmış belirli bir yazılımı ifade eder. Bu terimler örtüşebilirken, farklı bakış açıları sunarlar: uygulamalar yazılım işlevselliğine odaklanır, çözümler bütünsel problem çözme yaklaşımları sağlar ve kullanım senaryoları gerçek dünya uygulamalarına pratik içgörüler sunarak veri odaklı teknolojileri ve yenilikleri toplu olarak iletir.

Yapay zeka ve AIoT'nin çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirlerde kullanımı ve uygulaması 2016'dan itibaren önemli ölçüde artmıştır. Bu durum, birçok çalışma (örneğin, Ref. [137e140,143,157]) tarafından belgelendiği üzere, çevresel duyarlılığı iletirmek için akıllı şehirlerin çeşitli alanlarında IoT ve Büyük Veri teknolojilerinin ve çözümlerinin geniş çapta benimsenmesinin bir devamı olarak görülmektedir. Aşağıda sunulduğu üzere, ampirik, teo-rik, ve literatür araştırmaları AI ve AIoT çözümleri üzerine yapılmıştır,

uygulamalar ve kullanım durumları çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler gibi farklı alanları kapsamaktadır. Bu alanlar iki ana dönem halinde düzenlenmiştir: Bibri ve diğerleri [1] tarafından daha önce yapılan bibliyometrik bir çalışmaya dayanarak belirlenen 2016e2019 ve 2020e2023. Bu çalışma, çevresel açıdan sürdürülebilir akıllı şehirlerin ortaya çıkışının ardındaki temel araştırma eğilimlerini ve itici faktörleri araştırmakta ve zaman içindeki tematik gelişimlerini haritalandırmaktadır. COVID-19 nedeniyle hızlanan dijitalleşme ve karbonsuzlaştırma gündemleri ve veri güdümlü teknolojilerin hızlı ilerlemesi nedeniyle 2016e2022 döneminde belirgin bir şekilde artan bu yeni şehircilik paradigmasının hızla büyüyen eğilimini ortaya koymaktadır. Buna göre, iki dönem, 2020'nin başlarında COVID-19'un tetiklediği akıllı şehirlerin hızlandırılmış dijitalleşmesine ve bunun çevresel sorunları ele almak için dijital teknolojilerden yararlanma açısından ne anlama geldiğine (örneğin, Ref. [158e160]), dolayısıyla tüm dönemi iki farklı alt döneme ayırmanın uygunluğuna dayanarak türetilmiştir. Ayrıca, daha önce de belirtildiği gibi, 2020'nin başlarında yapılan diğer bazı çalışmalar, çevresel bozulma ve iklim değişikliği sorunlarının karmaşıklığının giderek daha fazla farkına varıldığını ve bunların üstesinden gelmek için yeni ortaya çıkan veri güdümlü teknolojilere dayalı daha yenilikçi, gelişmiş ve acil çözümlere duyulan ihtiyacın arttığını vurgulamıştır. Başlangıç yılı olan 2016 ise, Bölüm 4'te tartışıldığı üzere, akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesine işaret etmektedir (örneğin, Ref. [27,35,152]).

5.2.1. İlk dönem: 2016e2019

5.2.1.1. Çevresel sürdürülebilirlik

Ampirik YZ araştırmaları. Aşağıdaki ampirik çalışmalar, çevresel sürdürülebilirliğin çeşitli yönlerine yapay zeka ve makine öğrenimi modelleri ve teknikleri uygulayarak ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin ilerlemesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

- Su kaynaklarının korunması: YSA, DVM, FL, ANFIS (FL tabanlı bir YSA), LR ve Anahtar-En Yakın Komşular (KNN) gibi makine öğrenimi teknikleri, akarsu akışını tahmin etmek ve su kalitesi parametrelerini incelemek için uygulanmıştır (örneğin, Ref. [161,162]). Bazı çalışmalar, su kimyasını analiz etmek ve su kalitesini değerlendirmek için YSA, DT, GA, FL ve ANFIS gibi makine öğrenimi tekniklerini ve KDS'leri benimsemiştir (örn., Ref. [163,164]). Bu modeller ve teknikler ayrıca hidro-meteorolojik tahmin ve sızıntı tespitine de uygulanmıştır [165e167].
- Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji: Enerji ile ilgili çalışmalar, enerji işletimi, üretimi, dağıtımı, bakımı ve planlaması gibi görevler için YSA, FL, DVM, DT, Evrim Stratejileri (ES), Evrimsel Hesaplama (EC), BN (DNN'nin eğitimini daha hızlı ve daha kararlı hale getiren algoritmik bir yöntem) ve ANFIS gibi tekniklerle ML ve DSS'den yararlanmıştır (örneğin, Ref. [92,161,168e170]).
- Sürdürülebilir ulaşım: ML, YSA, DT ve zaman serisi modelleri kullanarak trafik tahminine uygulanmıştır [171,172]. Ayrıca, ulaşım ile ilgili çalışmalarda YSA, DT, NC, FL, DVM, LR ve zaman serisi modelleri ile ML ve DSS kullanılmıştır (örneğin, Ref. [173,174]).
- Biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistem hizmetleri: FL, GA, ARIES ve BN (ekosistemlerdeki ağları modellemek için kullanılan algoritmik bir yöntem) dahil olmak üzere ML teknikleri, biyoçeşitliliğin korunmasının farklı yönlerini ele almak ve ekosistem hizmetlerini değerlendirmek için kullanılmıştır (örneğin, Ref. [98,175e179]).

Su kaynaklarının korunması üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen içgörüler, mevcut akıllı eko-kentlerde suyun korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına yardımcı olarak etkili su kaynakları yönetim stratejilerine bilgi sağlayabilir. Yapay zeka algoritmalarını kullanarak, enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji çalışmaları, enerji tasarrufu çabalarına ve enerji verimliliğinin entegrasyonuna katkıda bulunmuştur.

Mevcut akıllı eko-kentlerde yenilenebilir enerji kaynakları. Sürdürülebilir ulaşım konusunda, ilgili çalışmalar daha iyi ulaşım planlaması ve yönetimi için değerli içgörüler sağlamış ve mevcut akıllı eko-kentlerde daha verimli ve sürdürülebilir hareketliliği kolaylaştırmıştır. Biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistem hizmetleri üzerine yapılan araştırmalar, biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetleri ve mevcut akıllı eko-kentlerin sürdürülebilirliği arasındaki ilişkilerin daha derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular ve içgörüler, kanıta dayalı karar verme sürecini bilgilendirebilir ve akıllı eko-kent gelişiminde sürdürülebilir uygulamaları teşvik edebilir. *IoT'nin AIoT çerçevesindeki rolü.* IoT, AIoT'nin temel bir bileşeni olarak, sağlam bir teknik altyapı sağlayarak yukarıdaki çevresel sürdürülebilirlik alanlarına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

veri toplama, analiz ve karar verme için çerçeve.

- Veri toplama: Sensörler ve aktüatörlerle donatılmış IoT cihazları çevresel parametreler hakkında gerçek zamanlı veri toplar. Bu kapsamlı veri toplama ağı, çevresel izleme için temel oluşturur.
- Veri iletimi: IoT, bulut bilişim gibi merkezi platformlara sorunsuz veri aktarımı sağlayarak dağıtık kaynaklardan gelen verilerin işleme ve analiz için hazır olmasını sağlar. Bağlantı protokolleri verimli ve güvenli veri aktarımı sağlar.
- Büyük veri işleme: IoT büyük miktarda veri üretir ve ML ve DL dahil olmak üzere AI algoritmaları, kalıpları, anormallikleri ve eğilimleri belirlemek için bu verileri işler ve çevresel koşullara ilişkin içgörüler sağlar.
- Tahmine dayalı analitik: YZ güdümlü tahmin modelleri, çevresel değişiklikleri tahmin etmek için geçmiş ve gerçek zamanlı IoT güdümlü verileri kullanır, bu da proaktif karar verme ve zamanında yanıt verme olanağı sağlar.
- Otomasyon ve kontrol: IoT'nin yapay zeka ile entegrasyonu, sistemlerin ve süreçlerin otonom kontrolüne olanak tanır. Örneğin, akıllı şebekeler enerji dağıtımını gerçek zamanlı talebe ve yenilenebilir enerji mevcudiyetine göre ayarlayarak enerji verimliliğini ve tasarrufunu teşvik edebilir.
- Kaynak optimizasyonu: Yapay zeka algoritmaları kaynak tahsisini ve kullanımını optimize ederek enerji tüketimi, su kullanımı ve ulaşım gibi alanlarda minimum atık ve maksimum verimlilik sağlar.
- Uzaktan izleme: IoT özellikli cihazlar uzaktan kontrol edilebilir ve izlenebilir, bu da fiziksel müdahale ihtiyacını azaltır ve hassas ekosistemler üzerindeki insan etkisini en aza indirir.

Genel olarak, IoT'nin AIoT çerçevesindeki teknik yetenekleri kapsamlı veri toplama, analiz ve otomasyon sağlayarak çevresel açıdan sürdürülebilir uygulamaları ve çeşitli alanlarda bilinçli karar vermeyi teşvik eder.

Teorik ve literatürdeki YZ araştırmaları. Benzer şekilde, bir dizi teorik ve literatür taraması çalışması, çeşitli alanlarda ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler bağlamında kayda değer katkılarda bulunmuştur:

- Su kaynaklarının korunması: Birçok çalışma, YSA, DVM, FL, GA ve ANFIS gibi teknikleri kullanarak makine öğrenimi ve KDS uygulamak suretiyle su kaynaklarının korunmasına odaklanmıştır. Bu alandaki önemli çalışmalar arasında Mehr ve diğerleri [180], Oyebody ve Stretch [90], Sahoo ve diğerleri [181] ve Valizadeh ve diğerleri [182] yer almaktadır.
- Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji: Enerjiyi koruma ve yenilenebilir kaynakları teşvik etme çabaları LR, ANN, SVM, NC ve EC gibi makine öğrenimi teknikleriyle desteklenmiştir. Akhter ve diğerleri [82], Alsadi ve Khatib [183], Das ve diğerleri [83], Dawoud, Lin ve Okba [184], Khan ve diğerleri [84], Youssef gibi araştırmacılar ve akademisyenler,

El-Telbany ve Zekry [185] ve Wang ve Srinivasan [186] bu çalışma alanına katkıda bulunmuşlardır.

- Sürdürülebilir ulaşım: İlgili girişimler, YSA, DT, NC, DVM, FL ve zaman serisi modelleri kullanılarak ML, CV ve DSS uygulanarak ilerletilmiştir. Bu alandaki kilit çalışmalar arasında Jiang ve Zhang [187] ve Liyanage ve diğerleri [101] tarafından yapılanlar yer almaktadır.
- Biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri: Biyoçeşitlilikle ilgili çalışmalar, genellikle hücresel otomasyon gibi makine öğrenimi tekniklerini kullanarak rekabet ve popülasyon dinamiklerini modellemeyi araştırmıştır [188]. Ayrıca, Salcedo-Sanz, Cuadra ve Vermeij'in [97] çalışmalarında gösterildiği gibi, tür koruma çabaları DVM, YSA, GA ve FL içeren makine öğrenimi ve KDS'den faydalanmıştır. Öte yandan, ekosistem hizmetleri değerlendirmesi, Ochoa ve Urbina-Cardona [189] tarafından yapılan araştırmada örneklendiği gibi ARIES gibi makine öğrenimi metodolojilerinden yararlanmıştır.

Su kaynaklarının korunmasına ilişkin araştırmalar, etkili su kaynakları yönetimi stratejilerine ilişkin görüşler sağlamıştır. Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji ile ilgili olarak, bu alandaki çalışmalar enerji operasyonlarının optimize edilmesine, enerji verimliliğinin teşvik edilmesine ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin benimsenmesine katkıda bulunmuştur. Sürdürülebilir ulaşım üzerine yapılan araştırmalar, trafik yönetimi, ulaşım planlaması ve ulaşım sistemlerinin genel verimliliğinin ve sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi konularında içgörüler sağlamıştır. Biyoçeşitliliğin korunmasına ilişkin çalışmalar ise biyoçeşitlilik ve ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimine ilişkin anlayışımıza katkıda bulunmaktadır. Genel olarak, bu teorik ve literatür taraması çalışmaları toplu olarak daha akıllı eko-kentlerin ilerlemesine katkıda bulunur ve sonuçları, daha sürdürülebilir ve dirençli akıllı eko-kentler inşa etmek için kanıta dayalı yaklaşımların geliştirilmesine yönelik içgörüler sağlar.

5.2.1.2. İklim değişikliği: ampirik YZ araştırması. İklim değişikliği üzerine yapılan ampirik YZ araştırmalarında, senaryo analizi, deniz kaynakları yönetimi ve afet yönetimi ve dayanıklılık gibi belirli alanlara dikkat çekilmiştir. Bu odaklanma, daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamıştır:

- Senaryo analizi: Çalışmalarda çeşitli yapay zeka ve makine öğrenimi modelleri ve teknikleri kullanılmıştır. Kayda değer çalışmalar, YSA, BN, DVM, GA ve nöro-bulanık kullanarak ML, EC ve FL'ye dayalı senaryo analizi (örneğin, Ref. [190e192]); YSA kullanarak ML'ye dayalı sürdürülebilirlik unsurları arasında analiz (örneğin, Ref. [193]); ve CO2 emisyonu [194e196] ve doğal afet (örneğin, Ref. [197,198], YSA, DVM, EC ve nöro-bulanık kullanarak ML ve FL'ye dayanmaktadır. Okyanus ve kriosfer (örneğin, Ref. [199]) ve atmosferik tahmin (örneğin, Ref. [200,201]) üzerine yapılan çalışmalarda YSA kullanılarak ML uygulanmıştır. Ayrıca senaryo analizi, çeşitli parametrelere, veri girdilerine ve varsayımlara dayalı olarak gelecekteki iklim koşullarının farklı senaryolarını geliştirmeye ve analiz etmeye odaklanmaktadır. Farklı seviyelerde sera gazı emisyonları, sıcaklık artışları, deniz seviyesinin yükselmesi ve iklimle ilgili diğer faktörler dahil olmak üzere iklim değişikliği için bir dizi potansiyel gelecek sonucu dikkate alır. Senaryo analizinde, bu senaryoları oluşturmak ve analiz etmek için Generative Adversarial Networks (GANs), DL (CNNs ve RNNs) ve NLP dahil olmak üzere çeşitli modelleme teknikleri kullanılır. Amaç, farklı iklim yollarının potansiyel sonuçları hakkında içgörü sağlamak ve karar verme ve politika geliştirme konusunda bilgilendirmeye yardımcı olmaktır. Senaryo analizi, gelecekteki olası sonuçların ve bunlarla ilişkili risk ve etkilerin anlaşılması açısından değerlidir. Paydaşların çeşitli "eğer olursa" senaryolarını göz önünde bulundurmalarına ve iklimle ilgili bir dizi potansiyel zorluk için buna göre plan yapmalarına olanak tanır.

- Afet yönetimi ve dayanıklılık: Afet dayanıklılığı alanı, tahmin ve öngörü ile dayanıklı altyapı ve ur- ban planlamasında yapay zeka odaklı önemli katkılara tanık olmuştur. Cheng ve Hoang [305], Choubin ve diğerleri [202] ve Ji ve diğerleri [203] tarafından yürütülen çalışmalar, farklı YZ modelleri ve teknikleri kullanarak bu alanı geliştirmiştir. Bunlar arasında tahminsel modelleme, görüntü tanıma ve hasar tespitinde makine öğrenimi; duygu analizi ve bilgi çıkarımında NLP; görüntü analizi ve nesne tanımda CV; mekânsal analiz, haritalama ve görselleştirmede YZ güdümlü Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); kaynak tahsisi optimizasyonunda takviyeli öğrenme ve dinamik kaynak tahsisinde KDS yer almaktadır.
- Deniz kaynakları yönetimi: YZ araştırmaları, su kirliliğinin izlenmesi, su kalitesinde kirlenme takibi, kirliliğin azaltılması ve önlenmesi stratejileri, asitleşmenin azaltılması ve habitat ve türlerin korunmasını kapsayan deniz kaynakları yönetiminde önemli bir rol oynamıştır. Bu çabalar, Lu ve diğerlerinin [204] ve Wang ve diğerlerinin [205] çalışmalarında gösterildiği gibi, deniz ekosistemlerinin sürdürülebilir kullanımı ve korunmasıyla ilgili zorlukları ele almak için çeşitli yapay zeka modellerinden ve tekniklerinden yararlanmıştır. Bu model ve tekniklerden bazıları ML, DL (örneğin CNN'ler ve RNN'ler), GA ve ML tabanlı Tür Dağılım Modelleri (SDM'ler), NLP, zaman serisi tahmini, Otonom Sualtı Araçları (AUV'ler) ve Uzaktan Kumandalı Araçlar (ROV'ler) ve DSS'dir.

Bu araştırma bütünü, yapay zekanın iklim değişikliği sorunlarının ele alınmasındaki kritik rolünün altını çizmekte, daha akıllı eko-kent girişimlerini bilgilendirme ve sürdürülebilir kentsel kalkınmayı teşvik etme potansiyelini vurgulamaktadır. Özellikle, senaryo analizi üzerine yapılan araştırmalar iklim değişikliğinin etkileri, kırılganlık ve uyum stratejileri; sürdürülebilirliğin farklı yönleri arasındaki karşılıklı bağımlılıklar ve etkileşimler; CO2 emisyonlarının anlaşılması ve yönetilmesi ve karbon ayak izlerinin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanıyan içgörüler sağlamıştır. Doğal afet analizi ile ilgili olarak, kazanılan temel bilgiler doğal afetlerin öngörülmesi ve önceden tahmin edilmesi, dirençli altyapı planlaması ve çevresel tehlike tespiti ile ilgilidir. Afet dayanıklılığı çalışmaları, afet dayanıklılığı artırarak etkili hazırlık, müdahale ve iyileştirme önlemleri alınmasını sağlamıştır. Deniz kaynakları yönetimine ilişkin çalışmalar, ilgili farklı zorlukların üstesinden gelinmesi ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin geliştirilmesi konusunda yeni perspektifler sağlamıştır. Genel olarak, bu ampirik çalışmalar, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler bağlamında iklim değişikliği zorluklarının anlaşılmasında değerli içgörüler ve ilerlemeler sağlamaktadır.

5.2.1.3. Akıllı şehirler. İlk dönemde, çevresel sürdürülebilirlik üzerine YZ araştırmaları, ML, DL, CV, NLP ve robotik dahil olmak üzere çeşitli YZ modellerine dayanan akıllı şehirleri içerecek şekilde genişliyordu (örneğin, Ref. [107,206e209]). Ayrıca ampirik çalışmalarda makine öğrenimi kullanımını da içermektedir (örn. Ref. [174,210]). Kent bağlamında iklim değişikliği ile ilgili olarak, bazı çalışmalar kentsel planlama, hareketlilik ve arazi kullanımı ile ilgili azaltımı ele almıştır (örneğin, Ref. [211,212]). Yapay zeka destekli IoT mimarisi için, araştırmalar temel olarak makine öğrenimi ve veri analizinin teorik yönlerine (örneğin, Ref. [213e215]), bilişsel yapay zekaya (örneğin, Ref. [216,217]), bilgi tabanlı KDS'ye [218] ve bilgi tabanlı yapay zekaya [174] odaklanma eğilimindedir. İkincisi ile ilgili olarak, uzman sistemler, YZ'nin karmaşık sorunları çözme, örneğin iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi ve veritabanlarından türetilen belirli bilgilere dayanarak karar vermeye yardımcı olma yeteneği ile ilişkilidir [17]. AIoT, kullanıcıların maliyeti düşürmek için enerjiyi verimli bir şekilde yönetmelerine ve enerji üreticilerinin daha iyi hizmet sunumu için ekipmanlarını optimize etmelerine yardımcı olmak için çeşitli şekillerde konuşlandırılmıştır [219]. Ayrıca araçlarda ve ulaşımında da önemli uygulamalar bulmuştur, özellikle

sürücüsüz veya otonom araçlar. Bunlar çeşitli algılama araçlarıyla (örneğin kameralar, Işık Algılama ve Mesafe Ölçme (LIDAR) ve radar) donatılmıştır ve böylece büyük miktarda veri üretirler [220]. LIDAR, mesafeleri ölçmek ve nesnelerin yanı sıra manzaraların hassas, üç boyutlu temsillerini oluşturmak için lazer ışığını kullanan bir uzaktan algılama teknolojisidir.

5.2.2. İkinci dönem: 2020e2023

İkinci dönem olan 2020-2023 yılları arasında, YZ ile ilgili ampirik, teorik ve literatür araştırmaları çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler alanlarında artmış ve genişlemiştir. Bu artış ve genişleme, enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji, su kaynaklarının korunması, sürdürülebilir ulaşım ve hareketlilik, biyoçeşitliliğin korunması, kirlilik kontrolü, iklim adaptasyonu ve azaltımı ile afet yönetimi ve dayanıklılığı ile ilgilidir. Çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı kentler alanlarında hızla büyüyen araştırmalar, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler bağlamında daha da değerli katkılar ve ilerlemeler sağlamış, çevresel zorlukların ele alınması ve üstesinden gelinmesine yönelik stratejiler ve çözümler için kazanılan bilgi birikimini artırmış ve genişletmiştir.

5.2.2.1. Çevresel sürdürülebilirlik. Çevresel sürdürülebilirlikte YZ ve YZT araştırmalarının ana alanları dikkat çekmeye devam ederken, akademik ilgi bir önceki döneme göre biraz azalmıştır. Bu durum muhtemelen COVID-19'un ikinci dönemde araştırmalarda öncelik kazanması ve akıllı şehirler ve çevresel sürdürülebilirlik alanındaki akademisyenleri COVID-19 ile CO₂ emisyonlarının azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi arasındaki bağlantıyı araştırmaya teşvik etmesiyle açıklanabilir. 2020e2021 döneminde, COVID-19 ile ilgili yayınların tüm atıfların %20'sini alması ve en çok atıf alan 100 yayından 98'inin COVID-19 ile ilişkili olması dikkat çekicidir [1]. Bu dönemde, akademik ilgide çevresel sürdürülebilirlik sorunlarına odaklanmaktan, dijital teknolojilerin ve akıllı şehirlerin sunduğu uygulamalı çözümlerin kitlesel dağıtımına ve uygulanmasına odaklanmaya doğru bir kayma olmuştur. Bununla birlikte, COVID-19 sırasında yapay zeka araştırmalarını çekmeye devam eden çevresel sürdürülebilirlik alanları şunlardır:

- Enerji tasarrufu ve hava kalitesi çabaları, kirliliğin azaltılması ve önlenmesi, kirliliğin izlenmesi, kirlletici filtreleme ve yakalama, hava kalitesi tahmini ve erken tehlike uyarısının yanı sıra temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesini (örneğin, Ref. [21,86,87,99,221e224]) ve çevresel kalite kontrolünü kapsamaktadır [225].
- Sürdürülebilir ulaşım girişimleri arasında ML modelleri [226], enerji planlaması, ulaşım bağlantısı, kentsel trafik yönetimi, ulaşım ağı kapasitesinin değerlendirilmesi, kentsel trafik gözetimi ve GA, EC, ANN, Spatial DNA ve takviyeli öğrenme gibi teknikler kullanılarak işe gidip gelme koridorlarının ve iş-konut dengesinin optimizasyonu yoluyla ev içi ulaşımında enerji tüketiminin değerlendirilmesi yer almaktadır (örneğin, Ref. [17,99,227e230]).
- Temiz su güvenliği ve su kaynaklarını koruma çabaları, su kalitesi yönetimi, su tedarik miktarı optimizasyonu, su kontrolü, su arıtma ve sanitasyon gibi çeşitli yönleri içermektedir (örneğin, Ref. [93,93,231,232]). ML, DL, ANN, CNN'ler, RNN'ler, GA, Parçacık Sürü Optimi-zasyonu (PSO), NLP ve DSS dahil olmak üzere temiz su güvenliği ve su kaynaklarının korunması ile ilgili zorlukları ele almak için çeşitli AI modelleri ve teknikleri uygulanmıştır.
- Biyoçeşitlilik ve koruma çabaları, doğal sermayenin geliştirilmesi ve korunması, ekosistem sağlığının korunması, habitatların korunması, ekosistemlerin restore edilmesi, orman peyzajının görsel kalitesinin korunması, türlerin korunması etrafında dönmektedir,

biyolojik çeşitliliğin korunması, deniz kirliliğinin önlenmesi ve deniz kaynaklarının korunmasının sağlanması (örneğin, Ref. [99,233e237,238]). Biyoçeşitlilik ve koruma çalışmalarında kullanılan YZ modelleri ve teknikleri arasında ML, DL, FL, SVM, CNNs RNNs, GA, NLP, ARIES, YZ güdümlü CBS ve YZ-güçlendirilmiş dronlar.

Daha akıllı ve sürdürülebilir kentsel ortamlar yaratma arayışında, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin karşılaştığı benzersiz zorlukları ele alan çok sayıda araştırma ortaya çıkmıştır. Farklı alanlara yayılan bu çalışmalar, bu şehirlerin yörüngesini şekillendirmeye daha fazla katkıda bulunmuştur. Enerji tasarrufu ve hava kalitesi üzerine yapılan çalışmalar, çevresel performans ve verimliliği önemli ölçüde artırmaktadır. Sürdürülebilir ulaşım araştırmaları, çevre dostu ve verimli kentsel ulaşım sistemlerinin teşvik edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Temiz su güvenliği ve kaynakların korunmasına yönelik çalışmalar, sürdürülebilir su kaynakları yönetiminin sağlanması için çok önemlidir. Biyoçeşitlilik ve koruma üzerine yapılan araştırmalar, çevre dostu ve sürdürülebilir ortamların geliştirilmesini desteklemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu ilerlemeler, büyüyen kentleşme dalgasına yanıt olarak daha akıllı eko-kentlerin ötesinde kentsel gelişim modellerinin manzarasını yeniden şekillendirebilir, kentleri daha akıllı ve çevreye duyarlı hale getirebilir.

5.2.2.2. İklim değişikliği. İkinci dönemde, iklim değişikliği ve bunun yapay zeka ve AIoT ile ilişkisine yönelik akademik ilginin arttığını gösteren çok daha fazla çalışma yapılmıştır. COVID-19 tarafından tetiklenen dijitalleştirilmiş dönüşüm, iklim eylemlerine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [158,159]. Sonuç olarak, YZ ve AIoT teknolojileri, COVID-19 tarafından tetiklenen hızlandırılmış dijitalleşme nedeniyle güçlü bir çekiş kazandı.

Azaltım ve adaptasyon. Artan çevresel zorluklar karşısında, yenilikçi teknolojilerin araştırılması, iklim değişikliğinin acil endişelerini ele almak için çok önemli hale gelmiştir. Bu anlatı, iklim değişikliğinin hafifletilmesi ve adaptasyonu alanına dalarak, yapay zeka ve yapay zekanın bu bağlamda sürdürülebilir kentsel kalkınmanın yeniden şekillendirilmesinde oynadığı önemli role ışık tutmaktadır. İklim değişikliği, özellikle yüksek enerji tüketiminin sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunduğu kentsel alanlarda proaktif önlemlere olan ihtiyacı hızlandırmıştır. İkinci dönemde yapılan kapsamlı araştırmalar, kentlerin yüksek enerji tüketimi yoluyla CO₂ emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunması nedeniyle iklim değişikliğinin ele alınmasının aciliyetini vurgulamaktadır. YZ'nin bilgi, tasarım stratejileri ve yenilikçi teknolojileri entegre ederek iklim değişikliğini azaltma potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca, ulaşım, kentsel enerji, su kullanımı ve atık yönetimindeki yapay zeka uygulamalarını tartışmakta ve bunların kentsel planlama ve tasarımı yeniden şekillendirme üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genel olarak, yapay zeka odaklı çözümlerin uygulanmasının gelecekteki şehirlerin sürdürülebilirliğini artırabileceğini ve iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Ivanova, Ivanova ve Medarov [239], YZ'nin çeşitli alanlardaki artan etkisini kabul etmekte ve önümüzdeki on yıllarda genişlemeye devam edeceğini öngörmektedir. Yazarlar, teknik alanlarda belirli sorunları çözmek için tasarlanmış özel sinir ağları olan dar YZ'nin yaygınlığını vurgulamaktadır. İklim değişikliğinin ulaşım altyapısı üzerindeki etkisini araştırmak için dar YZ'nin uygulanmasına odaklanarak veri toplama ve YZ modellemesi için kılavuzlar sunmaktadırlar. Dar YZ'nin kontrol edilebilirliğini ve yeteneklerini vurgulayarak, iklim değişikliğinin ulaşım sistemleri üzerindeki etkilerini incelemek için potansiyellerinin altını çiziyorlar.

Ayrıca, ilk dönemle bağlantılı olarak, bir İklim değişikliği için YZ uygulamaları üzerine teorik ve ampirik araştırmalarda daha fazla odaklanılan alanlar, erken uyarı sistemleri, direnç ve dayanıklılık dahil olmak üzere afet direnci ve yönetimidir.

planlama, simülasyon ve tahmin (örneğin, Ref. [19,240,241]). Bununla birlikte, Leal Filho [18], 2020e2022 yılları arasında YZ ve iklim değişikliği arasındaki ilişki ile uyum ve azaltma fırsatları üzerine yapılan tüm çalışmaları sistematik bir inceleme ve anket anketinde rapor etmiş ve YZ uygulamaları üzerine araştırmaların ilgisini çeken çeşitli alanları kapsamıştır. Yazarlar tarafından mevcut çalışma ile ilgili olarak incelenen ve ilk dönemde belirtilenleri genişleten temalar arasında şunlar yer almaktadır:

- İklim değişikliği senaryoları altında büyük ölçekli kentleşme etkileri.
- Ekosistem hizmetlerinin ölçümü için eko-hizmetler ve ödünleşim modeli değerlemesi.
- Blockchain ve yapay zekayı kullanarak ve birleştirerek su kullanım yönetimi.
- Afet müdahalesi, dijital müdahale ve afet yönetimi için yapay zeka.
- IoT Tabanlı akıllı ağaç yönetimi.
- Orman yangını tahliyeleri, orman yangını tahmini ve önlenmesi, orman yangını duyarlılık haritalaması, insan kaynaklı orman yangını oluşumu, sel ve kuraklık için risk azaltma stratejileri, iklim değişikliği paternleri altında koruma planlaması ve yeşil çatı sulama optimizasyonu için yapay zeka ve makine öğrenimi.
- Sel tahmini ve koruması için makine öğrenimi.
- Sel olaylarının etkilerine karşı dayanıklılığı ve hazırlığı artırmak için YZ.
- Kuraklık toleransının belirlenmesi için YSA.
- Karbon emisyonları, enerji talebi ve rüzgar üretimini tahmin etmek için Evrimsel Sinir Ağı (ENN).
- İklim değişikliğinin rüzgar enerjisi kaynakları üzerindeki etkisini modellemek için ANFIS.
- İklim modellerinde alt-grid süreçlerini modellemek için DL.
- Şehirlerde su güvenliğinin iyileştirilmesi ve su talebinin öngörülmesi için ML.
- Adaptasyon politikası için makine öğrenimi.
- Sürdürülebilir kalkınma için yapay zeka.

Bu temalardan bazıları SDG 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, SDG 9: Temiz ve Uygun Fiyatlı Enerji ve SDG 13: İklim Eylemi çerçevesinde yenilenebilir enerji, su, biyoçeşitlilik, iklim, planlama ve politika için akıllı şehirler ve akıllı eko-şehirlerle bağlantılıdır. Dahası, YZ kritik bir değişim ajanı olabilir çünkü enerji üretimi, dağıtımı, ulaşımı, binaları, inşaatı ve diğerlerinde karbon nötrlüğü yoluyla iklim değişikliğinin azaltılmasını sağlar [242]. Bazı çalışmalar, daha iyi iklim değişikliği tahmini için ek modelleme bileşenleri içeren kıyaslama veri kümeleri önermiştir [243]. Örneğin Samadi [20], YZ ve IoT'nin yakınsamasının selleri doğru bir şekilde tahmin etme ve sel analitiği araştırmalarını ilerletmek için YZ modellerinin ve tekniklerinin yakınsamasını hızlandırma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir. Yazar, ML, NLP, CNN'ler ve diğerlerini entegre eden Flood Analytics Information System (FAIS) adlı bir AIoT prototipinin iş akışını tartışmaktadır.

IoT'nin AIoT çerçevesindeki rolü. İklim bağlamında AIoT'nin temel bir bileşeni olarak IoT, değişimin azaltılması ve adaptasyonunda kritik teknik hususları ön plana çıkarmaktadır. Veri algılama ve toplama konusunda, sensörlerle donatılmış IoT cihazları ilgili çevresel parametreleri izlemektedir. Bu sürekli veri akışı, iklim değişikliği modellerini ve eğilimlerini anlamak için temel oluşturur. Ağ bağlantısı açısından IoT, cihazlar ve merkezi veri konumları arasında kesintisiz veri aktarımı ve iletişimi sağlar. 5G/6G gibi sağlam iletişim protokolleri ve ağlar, hızlı veri paylaşımını kolaylaştırır. Veri analizi ile ilgili olarak, AI algoritmaları IoT sensörlerinden gelen geniş veri kümelerini işleyerek iklim değişikliği modellerini ve eğilimlerini belirler. ML/DL modelleri ve algoritmaları, değişiklikleri ve bunların etkilerini öngörmek için tahmine dayalı analitik sağlar.

potansiyel etkiler. IoT bağlantılı hava ve iklim izleme istasyonları, yapay zeka odaklı tahmin modelleriyle birleştiğinde, aşırı hava olayları ve doğal afetler için erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesini sağlar. Ayrıca IoT cihazları, iklim değişikliğini azaltma yaklaşımlarının bir parçası olarak enerji tüketimini gerçek zamanlı olarak takip etmektedir. Yapay zeka algoritmaları, enerji kullanımını optimize etmek, tasarruf alanlarını belirlemek ve çevresel etkileri azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu teşvik etmek için bu verileri analiz eder. Ayrıca, akıllı binalar ve esnek şehir planlaması gibi IoT özellikli altyapı, uyum çabalarını geliştirmektedir. Bu bağlamda, sensörler yapısal bütünlüğü ve iklimle ilgili riskleri izleyerek uyarlanabilir yanıtları kolaylaştırır. Ayrıca, ekosistemlerdeki IoT sensörleri flora ve fauna davranışı ve sağlığındaki değişiklikleri takip eder. Yapay zeka algoritmaları, iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkisini değerlendirmeye ve koruma çabalarına rehberlik etmeye yardımcı olur. Ayrıca, yapay zeka destekli uzaktan algılama teknolojisiyle donatılmış IoT bağlantılı uydular ve dronlar, çeşitli çevresel değişiklikleri izlemek için kritik veriler sağlamaktadır. Son olarak, gerçek zamanlı karar desteği ile ilgili olarak: IoT sistemleri, karar vericilere gerçek zamanlı iklim verileri ve eyleme geçirilebilir içgörüler sağlayarak uyarlanabilir stratejilere ve bilinçli politika geliştirmeye olanak tanır. Özetle, IoT'nin AIoT kapsamındaki teknik yetenekleri, iklim değişikliğini hafifletme ve uyum sağlama çabalarında araçsal bir öneme sahiptir. Veriye dayalı karar verme, kaynak optimizasyonu ve direnç oluşturma gibi iklim değişikliğinin yarattığı zorlukları ele almada çok önemli bileşenler sağlarlar.

5.2.3. Akıllı şehirler: ulaşım, enerji, atık, çevre yönetimi ve SKH'ler.

İlk dönemle karşılaştırıldığında, yapay zeka, yapay zeka ve blok zinciri teknolojileri, özellikle akıllı şehirlerdeki uygulamalarıyla daha fazla araştırma ilgisi çekerek çoğalmış ve genişlemiştir. Bu aynı zamanda akıllı şehirlerin, başlangıçta çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin farklı alanları için geliştirilen YZ ve AIoT çözümlerini ayrı alanlar olarak benimsediği anlamına gelmektedir. YZ ve AIoT uygulamaları. YZ ve AIoT uygulamaları, çevresel sürdürülebilirlik alanında akıllı şehirlerin birçok alanını kapsamaktadır. Akıllı şehirler ve YZ üzerine yapılan sistematik bir literatür taramasında, Yigitcanlar ve diğerleri [244] YZ'nin çevresel sürdürülebilirliğe temel katkılarının sürdürülebilirlik alanları şunlardır:

- domotics (ev otomasyonu) aracılığıyla enerji üretim ve tüketiminin optimize edilmesi,
- makine öğrenimi algoritmaları ve iklim modelleri aracılığıyla iklim değişikliği risklerinin tahmin edilmesi,
- otonom insansız hava araçlarıyla uzaktan algılama yoluyla doğal çevredeki değişikliklerin izlenmesi ve
- Hizmet olarak mobilite (MaaS) aracılığıyla ulaşım sistemlerinin operasyonel hale getirilmesi.

İkinci temayla ilgili YZ uygulamaları arasında, talep üzerine paylaşılan otonom mobilite [245], otonom şehirler [246] ve otonom araçlar açısından şehirlerin ulaşım sistemlerinin yönetimi de yer almaktadır (örneğin, Ref. [247e249]). İkinci ile ilgili olarak, AIoT'nin ağ ucunda konuşlandırılması ve güvenli güven modelleri, engellerden kaçınma ve hız adaptasyonu gibi karmaşık senaryolara hızlı yanıt verilmesini sağlamak için sensör verilerinin gerçek zamanlı işlenmesi için potansiyel çözümler sunmaktadır [10]. Ayrıca, Zhang ve Tao [13] akıllı ulaşım (örneğin, trafik katılımcıları, trafik altyapıları, bağlantılı lojistik ve araç içi sürücü davranışı izleme) ve akıllı şebekelerde (şebeke arıza tespiti, bina yönetimi ve optimizasyonu, yük izleme ve çizelgeleme ve siber saldırı tespiti) DL kullanarak AIoT uygulamaları üzerine çeşitli çalışmaları sentezlemektedir. Han ve diğerleri [250], enerji yönetiminde yük tahmini sorununu çözmek için IoT ağının bağlı olduğu akıllı konutlarda ve endüstrilerde gelecekteki enerji tüketimini tahmin etmek için DL tabanlı bir çerçeve önermektedir.

enerji talep ve arz faaliyetlerini etkin bir şekilde sürdürmek için akıllı şebekelere uyarlanabilir. Deneysel sonuçlar, yaklaşımın enerji tüketimini yüksek doğrulukla tahmin etme yeteneğini göstermektedir. El Himer ve diğerleri [251], güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında AIoT uygulamalarına odaklanarak, AIoT'nin dağıtılmış enerji kaynaklarında (DER) yeni fırsatlar sağlamadaki rolünü ele almaktadır. Puri ve arkadaşları [16] tarafından geliştirilen bir AIoT sistemi, piezoelektrik sensörler gibi farklı sensörlerden, insan vücut ağırlığının neden olduğu stres, insan vücudunun hareketiyle oluşan ısı ve güneş ışığı da dahil olmak üzere enerji üretmektedir. Yazarlar, üretilen güç çıkışı tahmin etmek için sensörlerden toplanan verileri YSA ve ANFIS modelleri ile oluşturmuş ve doğrulamış ve sistemlerinin yenilenebilir kaynaklardan üretilen gücü tahmin etmede doğru sonuçlar üretebileceğini göstermiştir.

Genel olarak, AIoT akıllı şehirlerde, farklı tüketicilerin ve sakinlerin enerjiyi nasıl kullandıklarını analiz etmek ve izlemek için, nerede ve ne tür yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabileceğinin yanı sıra enerjinin nerede israf edildiği ve diğer kullanımlar için nasıl yönlendirilebileceği veya korunabileceği konusunda kararlar almak için kullanılabilir. Sleem ve Elhenawy [252], AIoT'nin akıllı binaların gelişimine ve işlevselliğine katkısının yanı sıra enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltma, bina sakinlerinin konforunu ve üretkenliğini artırma ve emniyet ve güvenliği artırma konusundaki faydalarını tartışmaktadır. Yazarlar ayrıca, AIoT'nin dağıtımıyla ilgili zorlukları ele almakta ve AIoT ile güçlendirilmiş akıllı binaların sürdürülebilir kentsel gelişime katkıda bulunma ve yaşam kalitesini artırma potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca, AIoT uygulamaları akıllı şehirlerde yakınsamaktadır. Seng ve diğerleri [10] AIoT uygulamalarının çeşitli boyutlarını gözden geçirmekte ve tartışmaktadır. Bunlar, enerji ve akıllı şebekeler, endüstri ve akıllı binalar, araçlar ve akıllı ulaşım ve robotik ve bilgisayar görüşü gibi bu çalışma ile daha ilgilidir.

Ayrıca, AI ve AIoT, çeşitli parametreleri optimize eden ve verimliliği en üst düzeye çıkaran gelişmiş atık toplama sistemlerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur. Fang ve diğerleri [94], atıktan enerjiye, akıllı kutular, atık ayırma robotları, atık üretim modelleri, atık izleme ve takip, atık lojistiği, atık bertarafı, atık kaynak geri kazanımı, atık proses verimliliği, atık maliyet tasarrufu ve halk sağlığının iyileştirilmesi dahil olmak üzere atık yönetiminde YZ uygulamalarının kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Yazarlar, atık lojistiğinde yapay zekanın nakliye mesafesini azaltma ve zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra atık pirolizini, karbon emisyonu tahminini ve enerji dönüşümünü iyileştirme açısından faydalarını vurgulamaktadır. Ayrıca, akıllı şehirlerde verimliliği artırmada ve atık tanımlama ve ayırma maliyetlerini azaltmada yapay zekanın rolünü vurgulamaktadırlar. Nasir ve Aziz Al-Talib [95] atık sınıflandırmadaki zorlukları ve bunları ele almak için yapay zeka ve görüntü işleme tekniklerinin potansiyelini tartışmaktadır. DL tarafından yönlendirilen mevcut atık sınıflandırma modellerinin sınırlamalarını kabul etmekte ve kesin sonuçlar elde etmek için doğruluk ve çalışma süresinde iyileştirmelere ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadırlar. Doğru atık sınıflandırmasının, geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımını mümkün kılmak, çevre ve insan sağlığını korumak ve atık yönetimi maliyetlerini en aza indirmek gibi birçok açıdan çok önemli olduğunu savunuyorlar. Çalışmadan damıtılan temel fikir, atığın evsel, tarımsal ve endüstriyel sektörleri kapsayan çeşitli insan faaliyetlerinin yan ürünü olduğudur. Biyolojik olarak parçalanamayan, tehlikeli, endüstriyel, kentsel katı ve tarımsal atıklar da dahil olmak üzere farklı atık türleri mevcuttur. Katı atıkların ayrışması yüzlerce yıl sürebilmekte ve çevresel riskler oluşturabilmektedir. Mounaded ve diğerleri [96] kentsel katı atık (MSW) yönetiminde YZ tekniklerinin uygulanmasına odaklanmaktadır. MSW ile ilgili çeşitli problemlerde YSA kullanımını vurgulamakta ve veri güvenilirliği ile ilgili zorlukları ve YZ yaklaşımlarını değerlendirmek için net performans temellerinin bulunmadığını vurgulamaktadırlar. Genel olarak, bu çalışmalar, YZ'nin atık lojistiğini, sınıflandırmasını ve yönetimini iyileştirerek atık yönetiminde nasıl devrim yaratabileceğinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır.

tedavi süreçleri. Yapay zekanın sahada uygulanmasının potansiyel faydalarını ve zorluklarını vurgulayarak gelecekteki araştırmalar ve pratik uygulamalar için değerli görüşler sunmaktadırlar.

Özellikle, geleneksel yaklaşımlarla (örn. RFID, GPS, GIS) ilişkili kısıtlamaların ve karmaşıklıkların üstesinden gelme ihtiyacı, özellikle de kutulardaki durum ve atık seviyesi, çeşitli gelişmiş tekniklerin geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlamıştır. Bunlar arasında atık toplama optimizasyonu için PSO (örn., Ref. [253]), YSA (örn., Ref. [254]) ve Geri İzleme Arama Algoritması (BSA) (örn., Ref. [255]) bulunmaktadır. GA ve en yakın komşuluk arama algoritmaları da atık araç rotalama için kullanılmıştır (örn., Ref. [256]). Ancak, bu teknikler hala hassasiyetten yoksundur ve uzun bir yürütme süresi gerektirmektedir. Bu nedenle, maliyet ve emisyon sorunlarıyla başa çıkmak ve çöp kutusu kapasitesini, çöp kutusu içindeki atık ağırlığını, toplama sıklığını, araç kapasitesini ve bakımını ve yolculuk oranını dikkate almak için yeni tekniklere ihtiyaç vardır [257]. Bununla birlikte, YZ modelleri atık yönetim tesislerindeki ekipman arızalarını tahmin etmek için uygulanabilir. YZ modelleri, veri modellerini analiz ederek potansiyel sorunları önceden belirleyebilir, zamanında bakım yapılmasına ve arıza süresinin en aza indirilmesine olanak tanır. Ayrıca, yapay zeka modelleri atık yönetimi için güçlü DSS'ler sağlayabilir. Bu sistemler hava koşulları, nüfus yoğunluğu ve atık bileşimi gibi çeşitli veri kaynaklarını entegre ederek etkili atık yönetimi stratejileri için içgörü ve tavsiyeler sunar.

Blockchain ve yapay zeka ve IoT uygulamaları. Blok zinciri teknolo-

ji, sağlam güvenlik önlemleri sağlarken veri ve süreçleri merkezsizleştirme kapasitesi sayesinde enerji, çevre koruma ve kentsel gelişim de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın bir popülerlik kazanmaktadır. Özünde Blockchain, yapay zeka, makine öğrenimi ve Büyük Veri gibi teknolojileri kullanarak merkezi olmayan, eşler arası ve açık erişilebilir bir ağ içinde birbirine bağlı bloklar zinciri içinde düzenlenen birden fazla işlemi ve bunlarla ilişkili verileri kapsayan açık kaynaklı, eşler arası, dağıtılmış bir defter sistemidir (örneğin, Ref. [258]). Bu bloklar ağı kendisi tarafından kriptografik doğrulamaya tabi tutulur. Parmentola'ya [259] göre Blockchain, farklı katılımcılardan oluşan dağıtılmış ve açık erişilebilir bir ağ içindeki birden fazla veri defteri veya veritabanı genelinde bilgi ve işlemlerin kaydedilmesini, paylaşılmasını, güncellenmesini ve senkronize edilmesini sağlayan ve hızla gelişen bir yaklaşımdır. Sonuç olarak, ağa katılan çeşitli kuruluşlar ve bireyler arasında gelişmiş işbirliği ve etkileşimi teşvik eder. Dahası, anonimlik, şeffaflık, denetlenebilirlik, kalıcılık, kalıcılık ve ademi merkeziyetçilik gibi temel nitelikleri ile ayırt edilir ve bunlar toplu olarak iyileştirilmiş operasyonel performans, verimlilik kazanımları ve maliyet düşüşlerine dönüşür [258,260].

Daha yakın yıllarda, Blockchain yenilikçi bir araç haline gelmiştir. çevresel sürdürülebilirlikte akıllı şehirler için teknoloji ve çözüm. Çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek için birçok hükümet tarafından kullanılmıştır. Blok zincirini yenilenebilir enerji kaynaklarına entegre etmek, şeffaflık, küresel ademi merkeziyetçilik ve işbirlikçi yetenekleri sayesinde iklim yönetişiminin iyileştirilmesine yardımcı olurken, merkezi olmayan ve demokratikleştirilmiş bir enerji sisteminin geliştirilmesini kolaylaştırarak enerji sürdürülebilirliğinin kilidini açabilir [261]. Çevresel olarak sürdürülebilir akıllı şehirler üzerine yakın tarihli bir bibliyometrik çalışmada gösterildiği gibi, Blockchain akıllı şehirlerin zorlukları, hizmetleri ve kaynakları ile AI, IoT ve büyük veri analitiği ile bağlantılıdır [1]. İkincisi için, geliştirilen bir "blok zinciri tabanlı karbon emisyon hakları doğrulama sistemi" kullanımı durumunda, kanıtlanmış verileri öğrenmek için AI ve Büyük Veri kullanılmaktadır [262]. Miao ve diğerleri [263] basınç, sıcaklık ve doğal gaz yükünün güvenlik sınırlarını aşmasına neden olabilecek çok sayıda talep nedeniyle mevcut merkezi enerji tedarik mimarilerinin tedarik zinciri başarısızlığını ele almak için doğal gaz akıllı IoT için blok zinciri ve yapay zeka tabanlı bir mimari önermektedir. Ayrıca,

Çoklu sensör odaklı (veya IoT tabanlı) yapay zeka araçlarına dayanan blok zinciri platformları, döngüsel ekonomi döngülerini optimize edebilir ([264, 265]), karbon ayak izinin azaltılmasına ve katı atık bertaraf kontrolüne izin verir ve böylece sürdürülebilirlik geçişlerine katkıda bulunur [266]. Xiao ve diğerleri [267] akıllı sürüş kenarı sistemleri için Blockchain kullanıldığını önmektedir. Yaklaşım, uç bilgi işlem için kullanıcıların ve hizmet sağlayıcıların memnuniyetini optimize etmek için bir çift açık artırma mekanizması kullanır ve kaynak kullanımı için daha iyi performans potansiyeli gösterir.

Blockchain teknolojisinin değeri, çevresel bozulma ve hava kirliliği ile ilgili yeşil enerji üretim faaliyetlerine ilişkin verilerin depolanmasında; yeni yeşil enerji üretimi, tedarik zinciri ve lojistik araçlarının etkinleştirilmesinde, yeşil ve düşük karbonlu süreçlerle ilgili zamanında karar verme için gerçek zamanlı veri toplama ve analizinde ve elektrikli araç şarj sistemlerinin izlenmesinde yatmaktadır [259]. Ayrıca, Blockchain tüketicileri ve kullanıcıları daha az verimli cihazların kullanımı hakkında bilgilendirir. Tüketim davranışlarını iyileştirmelerini ve böylece karbon emisyonlarını azaltmalarını sağlar [268], ayrıca farklı tedarik zinciri aşamalarında kaynak verimliliğini ve kayıplarını azaltabilecek ürün izlenebilirliğini kullanarak çevre standartlarına uyumu izler [269]. Ayrıca, Blockchain tabanlı girişimler, kirlitciler için güvenilir ticaret hizmetleri sağlamak üzere tasarlanmıştır. Ayrıca karbon kredilerini tokenize etmek [269] ve karbon emisyonlarını izlemek için de kullanılmıştır. Sürdürülebilir ve akıllı şehirlerdeki Blockchain uygulamalarının yakın tarihli bir incelemesinde Makani ve diğerleri [270], Blockchain teknolojilerinin ulaşım, akıllı şebekeler, akıllı operasyonel yönetim ve akıllı evler dahil olmak üzere çeşitli kentsel alanlara nasıl katkıda bulunduğuna dair ayrıntılı bir açıklama sunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yerel enerji üreticileri tarafından kripto para birimlerine dayalı olarak ticareti konusunda Blockchain, enerji arzının çeşitlendirilmesine, arz kesintisi riskinin azaltılmasına [269] ve mikro şebekeler ve diğer alternatif modeller aracılığıyla yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesine katkıda bulunmaktadır [259]. Bunlar, yerelleştirilmiş ve toplum odaklı yenilenebilir enerji üretimini destekleyen yenilikçi yaklaşımlar için potansiyel olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımlar, enerji arz ve talebinin uyumunu iyileştirerek enerji güvenliğini ve dayanıklılığını güçlendirebilir ve sürdürülebilir enerji beklentilerini geliştirmek için yeni yollar sunabilir. Karbon emisyonlarının izlenmesiyle ilgili olarak, Blockchain ve IoT kombinasyonu veriler için güvenilirlik sağlar ve sırasıyla kayıt sistemleri ve ölçüm araçları hakkında ölçüm kriterleri homojenliği oluşturur. Bu çözümler "kayıt hatalarını en aza indirir ve gaz emisyonlarının hesaplanması ve ölçülmesinden kaynaklanan sahtekarlıkları ortadan kaldırır" [269].

Yapay zekanın deniz kirliliğinin önlenmesi ve azaltılmasındaki rolü ile ilgili olarak

kirliliği [271], Blockchain su kirliliği değişikliklerini izler ve deniz kaynaklarını korur [259]. Ayrıca, kıyı bölgelerinde yaşayanlar için, kararların geliştirilmesine ve düzenlemelerin tasarlanmasına yardımcı olabilecek "daha sonra su kütellerinin çevresel koşullarına ilişkin verileri toplamak ve paylaşmak için kredi olarak kullanılacak" kripto para birimlerinin belirteçlerini kullanan ödül programlarında da kullanılmaktadır [269]. Benzer ödül programları, aktif kullanıcıları ödüllendirmek için modeller geliştirerek kamu bilincini artırabilir ve halkın atık yönetimi ve geri dönüşüme katılımını artırabilir. Ayrıca, Blockchain ve AI'nın akıllı şehir teknolojileri olarak uygulanmasının su yönetimi ile ilgili çeşitli ortak faydaları vardır. Bu konudaki katkılar, su sağlama verimliliği, atık su yönetimi, su güvenliğinin sağlanması, yeraltı sularının izlenmesi, çevresel farkındalık, su haklarının eşler arası ticaretinin teşvik edilmesi, su kaynaklarının korunması ve kentsel alanlarda çeşitli doğal kaynaklar arasındaki bağlantının ele alınması ile ilgilidir [259,269,271,272]. Özellikle, Blok zinciri ve yapay zeka teknolojileri, otonom su dağıtım ve yönetim sistemlerini kolaylaştırarak su sıkıntısı çeken kentsel alanlarda su yönetimini optimize edebilir Bunlar kaybı en aza indirir ve kaliteyi kontrol eder.

Genel olarak, Blockchain teknolojisi, AI ve IoT ile birlikte, çevresel sürdürülebilirliği ilerletmek için çok önemlidir. İşlemlerin, verilerin ve bilgilerin güvenli bir şekilde kaydedilmesi ve doğrulanması için merkezi olmayan ve şeffaf bir platform sağlar. Yapay zeka ve IoT'nin entegrasyonu, verimli veri toplama, analiz ve karar verme süreçleri sağlayarak gelişmiş kaynak yönetimi, azaltılmış çevresel etki ve gelişmiş sürdürülebilirlik uygulamalarına yol açar. Blockchain, AI ve IoT'nin birleşimi akıllı şebekeler, merkezi olmayan enerji sistemleri, atık yönetimi ve karbon ayak izi takibi gibi yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine olanak tanır. Blok zinciri, güven, izlenebilirlik ve hesap verebilirliği teşvik ederek sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesini kolaylaştırır ve daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğe geçişi kolaylaştırır.

sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SDGs). Potansiyel

Akıllı şehirlerin, gelişmiş teknolojiler ve veri odaklı yaklaşımlar aracılığıyla SKA 11'e geçiş katalize etmedeki faydaları açıktır. Iris-Panagiota ve Eggleton [3], kentsel planlama, yönetim ve kalkınmaya katkılarını vurgulayarak akıllı, sürdürülebilir şehirlerde yapay zekanın rolünü araştırmaktadır. Zaidi ve diğerleri [273] akıllı sürdürülebilir şehirler araştırmalarında YZ'nin yörüngesini analiz ederek, dijital inovasyon, akıllı veri sistemleri, akıllı enerji verimliliği ve YZ-IoT veri analitiği bağlantı noktası dahil olmak üzere yayın eğilimlerini ve araştırma sıcak noktalarını belirlemiştir. Yiğitcanlar ve Cugurullo [26], akıllı, sürdürülebilir şehirler bağlamında YZ'nin sürdürülebilirliğini araştırarak, ortaya çıkan kentsel YZ ve YZ ile akıllı, sürdürülebilir şehircilik arasındaki potansiyel simbiyoz hakkında içgörüler üretmektedir. Çalışma, YZ uygulamalarının kentsel hizmetlerin ayrılmaz bir parçası haline geldiğini ve ulaşım sistemleri, altyapı ve çevresel izleme gibi kentsel yaşamın çeşitli yönlerini yönettiğini ortaya koymaktadır. YZ'nin giderek daha fazla benimsenmesinin, kentsel sürdürülebilirliğin üç boyutunu da etkileyerek devam etmesi beklenmektedir. Vinuesa ve diğerleri [271], YZ'nin tüm hedefler arasında 134 hedefi ilerletme potansiyelini ortaya koyarken 59 hedefi de gizlemektedir. Bu çalışmalar toplu olarak, YZ'nin akıllı, sürdürülebilir kentlerdeki rolü, daha akıllı eko-kentler için kapsayıcı bir şemsiye terim ve kentsel planlamadaki uygulamaları, akıllı kentlerdeki YZ araştırma ortamı, kentsel bağlamlarda YZ ve IoT'nin entegrasyonu, YZ'nin SKH hedefleriyle uyumu ve daha akıllı eko-kentlerin durumu hakkındaki anlayışı zenginleştirmektedir. Bununla birlikte, akıllı şehirlerin gizlilik, siber güvenlik, dijital uçurum, teknolojinin kötüye kullanımı ve yasal çerçeveler gibi ödünleşimleri, YZ'nin kullanımı ve entegrasyonu göz önüne alındığında dikkat gerektirmektedir (örneğin, Ref. [1,3]). Akıllı eko-kentleri daha akıllı ve sürdürülebilir kılmak için akıllı şehir planlaması ve gelişiminde sosyal ve eko-nomik öncelikleri güçlendiren tedbirlerin tasarlanması bir zorunluluktur.

6. Tartışma: zorluklar, açık konular ve sınırlamalar

6.1. Mevcut akıllı eko-kentlerin dinamiklerini etkileyen temel faktörler olarak akıllı şehir Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti ve Büyük Veri Teknolojileri

Yapay zeka, Nesnelerin İnterneti ve Büyük Veri teknolojileri, süreçlerini optimize ederek, uygulamalarını geliştirerek, çözüm kabiliyetlerini artırarak ve çevresel sürdürülebilirlik performanslarını iyileştirecek akıllı şehirlerin ve dolayısıyla akıllı eko-kentlerin işleyiş biçimini dönüştürmektedir. 2010'ların ortalarından bu yana, değişen unsurlar olarak akıllı şehirlerin veri odaklı teknolojileri ve çözümleri, temel alanlarını akıllı şehir alanlarıyla entegre ederek çevresel sürdürülebilirliğe yaklaşımlarında akıllı olma yolunda eko-kentlerin dinamiklerini kademeli olarak etkilemiştir. Akıllı şehirlerin yapay zeka, IoT ve Büyük Veri teknolojileri ve çözümleri daha gelişmiş hale geldikçe ve daha karmaşık zorlukların üstesinden gelme becerisini gösterebilecek yenilikçi yaklaşımlar sağlamak için sürdürülebilir teknolojiler ve stratejilerle entegre edildikçe bu durum aynı yönde devam edecektir. Bu da akıllı eko-kentleri, çevresel sürdürülebilirliğe ulaşma arayışlarında daha akıllı hale getirmek anlamına gelmektedir.

AI ve AIoT uygulamalarının artan kullanımı. AIoT'nin özü, daha akıllı eko-kentlerin optimizasyonu, verimliliği, yönetimi ve planlama süreçleriyle ilgili işleyişlerindeki açık sinerjiler göz önüne alındığında, akıllı şehir teknolojilerinin ve çözümlerinin gücünden yararlanma ve bunlardan yararlanma ihtiyacı etrafında dönmektedir. Bu, sistemlerini entegre etmeyi, etki alanlarını koordine etmeyi ve ağlarını birleştirmeyi gerektirmekte ve çevresel sürdürülebilirlikte gerçekleştirilebilecek birçok yeni fırsat yaratmaktadır.

Teknik düzeyde yapay zeka, akıllı şehirlerdeki IoT altyapısı aracılığıyla üretilen devasa miktardaki verilerin analizini güçlendirmektedir

[14] ve dolayısıyla akıllı eko-kentler, karar verme süreçlerinde büyük ölçüde makine öğrenimini kullanmaktadır. Yapay zeka destekli sürdürülebilir akıllı şehirlerle ilgili olarak, makine öğrenimi modelleri zaman içinde büyüyebilir, görünmez anomalileri ve alterasyonları tespit edebilir, aynı girdi için farklı çalışmalarda çeşitli davranışlar sergileyebilir ve ulaşım yönetimi, kirlilik kontrolü, enerji yönetimi [2] ve su yönetimi sistemleri için gerçek zamanlı geri bildirim sağlamaya yardımcı olabilir. Akıllı makineler "deneyimlerden öğrenebilir, yeni girdilere uyum sağlayabilir ve insan benzeri görevleri yerine getirebilir" ([274], s. 63) "harici verileri doğru yorumlamak, bu verilerden öğrenmek ve esnek adaptasyon yoluyla belirli hedeflere ulaşmak için bu öğrenmeleri kullanmak" ([63], s. 17). Genel olarak, yapay zeka, daha akıllı eko-kentlerin operasyonel işleyişi ve planlamasıyla ilişkili tekrarlayan, karmaşık, bilişsel olarak zorlu ve zaman alıcı görevleri otomatikleştirmek veya özkleştirmek için eşsiz yollar sağlayabilir.

Çevresel açıdan akıllı sürdürülebilir şehirlikle ilgili olarak Akıllı eko-kentlerin altında yatan paradigma, çevresel sürdürülebilirliğe geçiş için giderek daha güçlü bir toplumsal çerçeve haline gelmektedir. Bu, büyük ölçekli veri tabanlarını analiz etmeye, iklim değişikliğinin karmaşıklığını anlamaya ve potansiyel etkilerini modellemeye ve simüle etmeye, ekosistemlerin sağlığını iyileştirmeye ve yenilenebilir enerji ile akıllı enerjinin yüksek entegrasyonunu sağlamaya [271], akıllı şehirlerde akıllı yenilenebilir enerji altyapılarını geliştirmeye [275], enerji tüketimini ve üretimini optimize etmeye, çevresel açıdan daha verimli ulaşım sistemleri geliştirmeye, çevresel izlemeyi geliştirmeye (örn. Ref. [245,276,277]) ve döngüsel ekonomileri ve akıllı eko-kentleri destekleyerek düşük karbonlu enerji sistemlerini güçlendirmek [271]. Özellikle, 2015-2019 yılları arasında 250'den fazla çalışma YZ'yi enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerjiye uygulamıştır [17]. YZ ve AIoT'nin enerji potansiyeline odaklanılması, akıllı eko-kentlere geçişteki önemli rolü ile gerekçelendirilebilir. Bu, ilave esneklik yoluyla büyük oranda yenilenebilir enerjinin akıllı enerji ile entegre edilmesi ve başta imalat, sanayi, ulaşım ve binalar olmak üzere diğer kilit emisyon sektörlerinin karbondan arındırılması yoluyla gerçekleşmektedir. Enerji krizinin ele alınması ve fosil yakıtların azaltılması iklim değişikliğinin etkilerini hafifletecek ve adaptasyonu kolaylaştıracaktır [278].

Ancak, daha akıllı eko-kentlerin dinamikleri yapay zekayı değerlendirmelidir

ve AIoT teknolojileri, farklı alanlardaki değişiklikleri başlatan temel bileşenler olarak. Dijital ekosistemler olarak büyük ölçekli YZ ve AIoT yatırımlarının, geri bildirim mekanizmalarını içerebilecek daha akıllı eko-kentleri olumlu yönde etkilemesi, bu ekosistemlerin daha fazla benimsenmesi ve gelecekteki ek yatırımlarla sonuçlanması beklenmektedir. Başka bir deyişle, YZ ve AIoT teknolojilerinin, çevresel sürdürülebilirlik zorluklarının üstesinden gelme ihtiyacına yanıt olarak yenilikçi uygulamalar sunmaktan fayda sağlaması muhtemeldir. Buna göre, çözümleri ne kadar çok uygulanırsa, ağ etkileri, öğrenme, adaptasyon ve koordinasyon sayesinde daha fazla uygulanma olasılıkları artacağından olumlu geri bildirim sergileyebilirler. Sonuçlar, yatırımlar ve uygulamalar arasındaki ilişkinin akıllı eko-kentlerin çevresel sürdürülebilirliğe geçişini ilerletmesi beklenirken, bu bağlantılardan kaynaklanan güçlü bir nedensellik ilişkisinden bahsetmek daha doğru olacaktır. Bu nedenle, iç içe geçmiş diğer karmaşık iç ve dış faktörlerle birlikte, akıllı eko-kentlerin dinamiklerini anlamak

Daha akıllı eko-kentler göz korkutucu ve belirsiz bir zorluk olmaya devam etmektedir. Bu, bu tartışmanın geri kalanında gerekçelendirilebilir ve açıklanabilir.

6.2. Yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin çevresel zorlukları ve maliyetleri

Yapay zeka, IoT ve Büyük Veri teknolojileri, akıllı eko-kentleri çevresel açıdan daha akıllı hale getirirken önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, AI ve AIoT teknolojilerinin hem fırsatlarına hem de tehditlerine dikkat etmek gereklidir. Daha akıllı eko-kentler çevre dostu olmalı, böylece YZ ve AIoT teknolojilerinin uygulanan çözümlerinin yaygın kullanımı ve artan benimsenmesinden kaynaklanan olumsuz etkileri en aza indirmelidir. Bu etkinleştirici, bütünleştirici ve oluşturuç teknolojiler, karmaşık bir dizi iç içe geçmiş ve heterojen faktör ve aktör içeren çok daha geniş bir sosyo-teknik manzaraya gömülmüştür. Daha akıllı eko-kentlerin çevresel hedefleri ile AI ve AIoT teknolojilerinin sunduğu fırsatlar arasında bir uyumsuzluk riski vardır. Bunun nedeni, geliştirme, tasarım, kullanım, uygulama ve bertaraf yoluyla ortaya çıkan dolaylı, doğrudan, geri tepme ve sistemik etkileridir (ayrıntılı bir tartışma için bkz. Ref. [279]). Özellikle, YZ ve AIoT uygulamalarına yönelik artan talep nedeniyle dolaylı etkilerin en fazla şiddetlenmesi beklenmektedir. YZ ve AIoT uygulamalarının çalışması, IoT altyapısına, veri işleme platformlarına, bulut ve uç bilişime, yüksek hızlı kablosuz ağlara ve büyük ölçekli YZ sistemlerine güç sağlamak için çok fazla enerji gerektirir. İkincisi ile ilgili olarak, YZ araştırması, tasarımı ve geliştirmesi için gereken devasa hesaplama kaynaklarını sağlayan büyük veri merkezleri, önemli miktarda enerji tüketimi ve dolayısıyla karbon ayak izi ile ilişkilidir ve enerji azaltımı ve iklim eylemini destekleyen çabaları tehlikeye atmaktadır [271]. Mevcut tahminlere göre, gelişmiş BİT için küresel elektrik talebi, bugün yaklaşık %1'e kıyasla %20'ye çıkabilir [271]. YZ, yenilikçi teknolojilerin yoğun kullanımı nedeniyle ağır enerji bağımlılığı yaratmakta, çevresel etkileri artırmakta [280,281], araba seyahat mesafesini uzatmakta ve kentsel yayılmaya neden olmaktadır [249]. Son ikisi, üst sınıf veya varlıklı sakinlerin kentsel bir yaşam sürdürmek veya ileri teknoloji veya uzun mesafeli işe gidip gelme yoluyla üst düzey konutlarda yaşamak için kentsel alanlardan kırsal alanlara taşındığı bir süreç olan kentleşme ile ilgilidir.

Bununla birlikte, yapay zeka ve AIoT uygulamaları için yüksek enerji gereksinimleri

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılması durumunda ortaya çıkan katsayılar, daha akıllı eko-kentlerin çevresel hedeflerine ulaşma çabalarını baltalayacaktır. Doğrudan etkilerle ilgili olarak, daha akıllı eko-kentler inşa etmek, kentsel işletim sistemlerinin, kentsel operasyon merkezlerinin ve kentsel gösterge tablolarının [53] ve dolayısıyla YZ ve AIoT ekosistemlerinin geliştirilmesi, kurulması ve sürdürülmesi için büyük miktarda doğal kaynağın kullanılmasını gerektirmektedir. Buna ek olarak, IoT ve YZ üretimi, dağıtımı, hizmeti ve bertarafı büyük miktarlarda e-atık, sürdürülebilir olmayan malzemeler ve toksik kirlilik üretmektedir [63,282]. Almak ve diğerleri [282], yakın tarihteki kapsamlı bir incelemede, IoT'nin akıllı şehirlerin ihtiyaçlarına cevap verme yeteneklerini ve potansiyellerini tartışırken, enerji tüketimi, toksik kirlilik, e-atık ve diğerleri açısından çevresel sürdürülebilirlik risklerine odaklanarak akıllı şehir veri odaklı IoT uygulamaları üzerine gelecekteki araştırmalar için zorlukları vurgulamaktadır. Sonuç olarak, daha akıllı eko-şehirler için uygulanan YZ ve YZoT çözümleri, yüksek enerji yoğun yapıların etkileri nedeniyle zorlanmakta ve karbon nötrlüğüne ulaşmak için birincil kaynakların aşırı kullanımını önlemek için harcanan çabaları baltalamaktadır.

YZ, IoT, Büyük Veri teknolojileri, yeşil bilişim ve çevre dostu tasarımın yeşil büyümesi, daha akıllı eko-kentlerin çevresel hedefleri ile YZ ve AIoT teknolojilerinin sunduğu fırsatlar arasındaki uyumsuzluk risklerini azaltmak için kritik öneme sahiptir. Bu durum, en yenilikçi teknolojilerin uygulanması ihtiyacının kabul edilmesi bakımından çevrenin SKA 11'e içkin olmasıyla tutarlıdır.

Enerji, iklim, ulaşım, atık ve su ile entegre politika ve planlama ile ilgili hedeflere ulaşarak kritik kentsel altyapıyı kaynak açısından verimli, düşük emisyonlu ve dirençli hale getirmek için teknolojiler. Yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin geliştirilmesi, kullanımı, uygulanması ve bertaraf edilmesine yönelik sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesinin olumlu etkileri, dijital dönüşümlerini hızlandırırken daha akıllı eko-kentlerde daha sağlıklı ve daha yaşanabilir çevre dostu ortamlar yaratılmasında yatmaktadır. Bu bağlamda, Almalki ve diğerleri [282] şehirleri daha yeşil, daha akıllı, daha güvenli ve daha sürdürülebilir hale getirerek yaşam kalitesini ve refahı artırmaya yönelik çeşitli teknik ve stratejileri analiz etmektedir. Bibri [157,279] karbon ayak izinin azaltılması ve böylece çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin ilerletilmesi için potansiyel bir çare olarak gelişmiş BİT'in yenilikçi rolüne ışık tutmakta ve akıllı şehirlerden çevresel açıdan daha akıllı şehirlere geçişi sağlamaktadır. Bu düşünce doğrultusunda, Almalki ve diğerleri [282] akıllı şehirlerde IoT tarafından etkinleştirilen akıllı şeylerin "görevlerini otonom olarak yerine getirmek için daha akıllı hale geldiğini" ve "verimli bant genişliği kullanımı, enerji verimliliği, tehlikeli emisyonların azaltılması ve şehri çevre dostu ve sürdürülebilir hale getirmek için e-atıkların azaltılması ile kendi aralarında ve insanlarla" iletişim kurduğunu belirtmektedir. İşte yapay zekanın yeşil bilişimdeki rolü, daha akıllı eko-şehir sensör entegre ulaşım sistemleri, enerji sistemleri, bina sistemleri, atık sistemleri, çevresel izleme sistemleri vb. ile ilgilidir. Yeşil bilişim, akıllı şehirlerde sürdürülebilirliğin çevresel hedeflerini yerine getirmek için karbon emisyonlarını ve enerji tüketimini azaltmanın anahtarlarıdır.

"Kirlilik tehlikelerini, trafik yoğunluğunu ve çevre kirliliğini azaltmaya" odaklanmak çok önemlidir.

Akıllı şehirleri çevre dostu hale getirmek için atık, kaynak kullanımı, enerji tüketimi, kamu güvenliğinin sağlanması, yaşam kalitesi ve çevrenin sürdürülmesi ve maliyet yönetimi" gibi konulara odaklanılmalıdır [282]. Bu da, YZ ve AIoT çözümlerinin sürdürülebilir ve çevre dostu tasarım ilkeleri, enerji verimli politika araçları ve diğer ilgili önlemlerle birlikte dikkatlice uygulanması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu, YZ ve AIoT çözümlerinin sağladığı verimlilik kazanımlarının enerji kullanımını ve karbon ayak izini azaltmasını sağlamaktadır. Almalki ve diğerleri [282], veri odaklı IoT tabanlı çevre dostu ve sürdürülebilir şehirler araştırma alanına ilişkin pratik bilgiler sunmaktadır. Wang ve Liao

[283] eko-tasarımın yapay zeka ve Büyük Veri ile kesişimini araştırmaktadır. Bunu yaparken, otomasyon ve kontrol sistemleri ile bilgisayar bilimini önde gelen uygulama disiplinleri arasında tanımlamaktadırlar. Yazarlar, "YZ ve Büyük Veri uygulamalarının eko-tasarımı kavramının, yeşil dijital dönüşüm için daha yeşil stratejiler, ürünler ve hizmetler tasarlamak için uygun ve ilgili olması beklendiğinden, araştırmacılar, finansman kuruluşları, politika yapıcılar ve endüstri profesyonelleri arasında yeni ortaya çıkan konuyla ilgili hem teorik hem de ampirik araştırmaları ilerletmek için" daha uyumlu çabaların gerekliliğini savunmaktadır. YZ'ye daha konsolide bir yeşil yaklaşım için bir gerekçe olarak, kentsel verimliliği artırmak için YZ uygulamalarını kullanma girişimlerinin çoğu, "karmaşık kentleşme sorunlarına uygulanan kısa görüşlü, teknolojik olarak kararlı ve indirgemeci YZ yaklaşımları" nedeniyle akıllı şehirlere yönelik dönüştürücü değişiklikleri gerçekleştirmekte başarısız olmasa da mücadele etmiştir [4].

6.3. YZ ve AIoT teknolojilerinin teknik ve hesaplama zorlukları

YZ modellerinin ve sistemlerinin doğasında çeşitli teknik ve analitik zorluklar vardır. Bunlar arasında, Nishant ve diğerleri [17] tarafından belirtildiği gibi, çevresel sürdürülebilirlik için YZ üzerine yapılan bir çalışmada

[17] tarafından çevresel sürdürülebilirlik için YZ üzerine yapılan bir çalışmada belirtildiği gibi, makine öğrenimi modellerinin geçmiş verilere aşırı bağımlılığı, insanların YZ tabanlı müdahalelere nasıl tepki vereceğini çevreleyen belirsizlik, ve zorluğu ölçümü etkileri

müdahale stratejileri. Yeni YZ sistemlerinin çoğu Büyük Veriye dayanmakta ve kendi kendine fikir yürütme veya kendi kendini yaratma konusunda başarısız olmaktadır. YZ, ML/DL'nin ötesinde yeni kavramlar ve zeka biliş modelleri geliştirmelidir. Bu, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği için yeni çözümler sunabilir ve gerçek zamanlı olarak toplanan ve bir araya getirilen verilerin eksikliğinden ve belirsizliğinden kaynaklanan karar önyargılarını azaltabilecek daha akıllı eko-kentlerin yeni modellerini besleyebilir. Akıllı şehirlerde Büyük (tarihsel) Verilere aşırı güvenle ilgili olarak Batty ve diğerleri (Ref. [128], s. 507), herhangi bir mekansal veya zamansal ölçekte kentsel değişikliklerle başa çıkmak için gerçek zamanlı veri toplama ve birleştirme olasılığının "uzun bir yol olduğunu ve asla ulaşılamayacağını ... ancak vaat ettiği şeyin, farklı mekansal ölçeklerde ve farklı zaman ölçeklerinde değişimin gerçek zamanlı bir görünümüne sahip olma yeteneği olduğunu belirtmektedir. Bu, hem oluşturabileceğimiz modelleri hem de bu teknolojilerin simülasyonlar ve karar desteği ile karar sürecini nasıl bilgilendirebileceğini değiştirecektir." Bu durum modelleme ve simülasyonda iklim değişikliği ile ilgili olsa da, insanla ilgili değişkenler bir dereceye kadar önceden belirlenemez ve dinamik olarak değişmektedir. Bu da daha fazla ve çeşitli veri türünün toplanması ve bir araya getirilmesi, yeni ve daha kapsamlı veri kaynaklarının keşfedilmesi ve çeşitli veri hızlarını işlemek için yeni ve daha gelişmiş araçların oluşturulması gerektiği anlamına gelmektedir. Daha da önemlisi, tarihsel veri setleri iklim dönemleri ve döngüleri hakkında sınırlı bir değere sahip olma eğilimindedir ve bu da kesin tahminlerde bulunmayı veya kararlar almayı zorlaştırmaktadır. Potansiyel sonuçları kesin olarak tahmin etmek veya belirlemek mümkün olmadığından, iklim değişikliğinde deterministik bir yaklaşımın benimsenmesi zordur. Deterministik olmayan makine öğrenimi modelleri, anomalileri ve değişiklikleri tespit edebilecekleri ve gerçek zamanlı geri bildirim sağlamaya yardımcı olabilecekleri ulaşım yönetimi, enerji yönetimi, su yönetimi, atık yönetimi ve kirlilik izleme ile daha ilgilidir. Ayrıca, ML [284] ile ilişkili varyans-yanlılık ödünleşimleri, gelecekteki iklim değişikliği senaryolarını tahmin etmenin doğasında bulunan yanlılık ve aşırı basitleştirme nedeniyle iklim değişikliği çözümleri için etkilere sahiptir.

Buna ek olarak, Kuguoglu ve diğerleri [15] iklim değişikliğinin arkasındaki nedenleri araştırmıştır.

AIoT'ye dayanan birçok akıllı şehir girişiminin ölçeklenememesi. Literatür çalışması ve uzman görüşlerinin bir kombinasyonu yoluyla, çalışma ölçeklenebilirlik eksikliğine katkıda bulunan çeşitli faktörleri tanımlamaktadır. Bu faktörler arasında kaynak ve kapasite kısıtlamaları, kapsamlı değişimin öneminin göz ardı edilmesi ve uygulamanın farklı aşamalarında farklı faktörlerin etkisi yer almaktadır. DL tabanlı AIoT ile ilgili teknik zorluklara gelince, bunlar şunları içermektedir [13]:

- Çok sayıda heterojen sensör ve bunların ürettiği farklı format, boyut ve zaman damgalarına sahip büyük veri akışlarıyla ilgili çok modlu heterojen veri işleme, iletim ve depolama.
- Gerçek zamanlı veri akışı işleme ve düşük gecikme süresi için DL modellerinin kullanılmasıyla ilgili olarak sınırlı hesaplama ve depolama kaynakları.
- AIoT mimarisinde hesaplama planlaması ve ilgili yoğun hesaplama. Bu, veri türü, hacmi, ağ bant genişliği, işlem gecikmesi, performans doğruluğu, veri güvenliği, uygulama senaryosuna özgü gizlilik ve zaman içinde dengesiz veri akışı ve kullanıcı talepleri gibi değişkenleri hesaba katarak bulut merkezleri, sis düğümleri ve uç cihazlar arasında titiz bir koordinasyon gerektirir.
- AIoT'de DL için etiketlenmemiş büyük verilerin etiketlenmesi, bu sürecin zaman alıcı ve mali açıdan zorlu doğasını yönetirken yüksek kaliteli sonuçlar elde edilmesini sağlar.
- Tescilli verilere erişimin çıkarlar nedeniyle kısıtlandığı veri tekeli, kapsamlı tescilli veri kümelerine adil erişimin sağlanmasında zorluklar yaratmaktadır.

64. Açıklanabilir yapay zeka ve yorumlanabilir makine öğrenimine ilişkin zorluklar ve hususlar

Açıklanabilir YZ (XAI) ve Yorumlanabilir ML (IML), akıllı şehirler, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği için YZ ve YZoT çözümleri bağlamında, özellikle de daha akıllı eko-kentlerin gelişen ortamında önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. XAI ve IML, daha akıllı eko-şehir gelişiminde yer alan çeşitli paydaşlar için YZ modellerinin şeffaflığını, anlaşılabilirliğini ve güvenilirliğini artırmayı amaçlayan birbirleriyle bağlantılı kavramlardır. XAI, YZ sistemlerinin karar verme sürecini açıklamaya odaklanırken, IML özellikle kolayca yorumlanabilir sonuçlar üreten ML modelleri oluşturmaya odaklanmaktadır. XAI, YZ kararlarını açıklamak için IML teknikleri de dahil olmak üzere çeşitli yaklaşımları kapsar ve YZ'de açıklanabilirliği artırmanın daha geniş amacı ile uyumludur. Hem XAI hem de IML, daha akıllı eko-kentler bağlamında bilinçli kararlar almak için hayati önem taşıyan hesap verebilirliği, güvenilirliği ve etkili insan-YZ etkileşimini teşvik eden YZ ve YZoT sistemlerinin oluşturulmasında önemli roller oynamaktadır. Bununla birlikte, bu bağlamda, bunlarla sınırlı olmamak üzere, çeşitli zorluklar ve sorunlar ortaya çıkmaktadır (örneğin, Ref. [285e291,292]):

- Karmaşıklık ve yorumlanabilirlik: Yapay zeka ve AIoT çözümlerinin daha akıllı eko-kentlerdeki karmaşık zorluklara uygulanması, karmaşık modellere yol açarak bunların yorumlanabilirliğini engelleyebilir. Bu karmaşık sistemlerin karmaşık çevre ve iklim verileri arasında şeffaf kararlar üretmesini sağlamak çok önemlidir.
- Kara kutu modelleri: Birçok gelişmiş yapay zeka modeli (örneğin DNN) kara kutu olarak kabul edilir ve karar vermede şeffaflıktan yoksundur. Bu içgörü eksikliği, özellikle kritik kararlar söz konusu olduğunda, akıllı şehir sistemlerine olan güveni ve bu sistemlerin benimsenmesini engelleyebilir.
- Önyargı ve adalet: Önyargılı eğitim verilerinden türetilen yapay zeka modellerindeki önyargı, kaynak tahsisinde mevcut eşitsizlikleri sürdürebilir ve çevresel eşitsizlikleri daha da kötüleştirebilir. Bu önyargıların üstesinden gelmek ve adil sonuçlar sağlamak göz korkutucu bir görevdir. Önyargılı karar verme, gerçek zamanlı ve tahmine dayalı analitikte belirgin hale gelir ve çevresel sürdürülebilirlik arayışını engeller.
- Doğruluk ve yorumlanabilirlik arasındaki denge: Doğru tahminler ve net açıklamalar arasında bir denge kurmak çok önemlidir, çünkü daha karmaşık modeller daha iyi ön tahminler sunabilir ancak yorumlanabilirliği feda edebilir.
- Disiplinler arası yapı: Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin ele alınması, farklı alanlardan uzmanlık gerektirmektedir. AI ve AIoT çözümlerinin çeşitli disiplinlerdeki alan uzmanları, politika yapımcılar ve vatandaşlar için yorumlanabilir olmasını sağlamak, teknik terminoloji iletişimde engeller oluşturabileceğinden bir zorluktur.
- Veri gizliliği ve güvenliği: YZ kararlarını açıklarken ve şeffaflığı teşvik ederken, bireyler hakkındaki hassas veya özel bilgileri tehlikeye atmamaya özen gösterilmeli, potansiyel olarak gizliliklerini tehlikeye atmamalıdır.
- Dinamik ve gelişen ortamlar: Akıllı şehirler ve daha akıllı eko-kentler dinamik olarak değişen ortamlardır ve YZ kararlarını yorumlamak için uyarlanabilir ve sağlam yöntemler gerektirir.
- Eğitim ve benimseme: Politika yapımcılar, şehir planlamacıları, şehir yöneticileri ve vatandaşlar da dahil olmak üzere paydaşları yapay zeka ve AIoT çözümlerinin faydaları ve sınırlamaları konusunda eğitmek, güven ve itimat oluşturmak ve benimsemeyi teşvik etmek, daha akıllı eko-kentlerin gerçekleştirilmesinde kritik faktörlerdir.

XAI'nin asıl zorluğu, daha akıllı eko-kent sistemlerine önemli bir güç verirken, aynı zamanda karmaşık karar verme süreçlerini farklı gruplara açıklamalarını sağlamakta yatmaktadır

alan uzmanları. Yapay zeka ve makine öğrenimi modelleri ve algoritmaları, üretilen verileri analiz ederek, sonuçları önceden belirleyerek ve belirli kriterlere göre değeri en üst düzeye çıkararak karar verme üzerinde kontrol sahibi olmaktadır. Bu durum, kentsel yaşamın zengin karmaşıklığını ve kentsel dinamiklerin ve sistemlerin öngörülemezliğini, kültürel, etik, sosyal ve siyasi değerlerin önemini potansiyel olarak göz ardı ederek, dar nicel ve üniter dillere indirgemektedir. Sonuç olarak, teknolojik ilerlemeler, bu karmaşık sistemlerin mekanik bir şekilde algılanması nedeniyle daha akıllı eko-kentler statüsüne ulaşmada zorluklar yaratabilir. Bu nedenle, son zamanlarda yapılan bir araştırma dalgası, yapay zekanın çeşitli alanlarda uygulanmasının ortaya çıkardığı bazı endişeleri gidermek için XAI'ye odaklanmaya başlamıştır. Mayuri, Vasile ve Indranath [290], XAI/IML'nin çeşitli uygulamalarını ve AI/ML modellerini açıklanabilir/yorumlanabilir hale getirmek için yöntemler sunmaktadır. Ghonge [287], akıllı şehir uygulamalarındaki etkileri ve zorluklarının yanı sıra XAI'nin çeşitli vaka çalışmalarını ve kullanım durumlarını ele almıştır. Javid ve diğerleri [288], mevcut ve gelecekteki gelişmelere, trendlere, etkinleştirici faktörlere, kullanım örneklerine, zorluklara ve çözümlere odaklanarak akıllı şehirlerdeki XAI ortamını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Yazarlar araştırma projelerini, standartizasyon çabalarını, çıkarılan dersleri ve teknik engelleri ana hatlarıyla belirtmektedir.

XAI ve IML yöntemleri, yapay zeka ve AIoT çözümlerinin sürdürülebilir ilerlemesi için çok önemlidir ve toplumun sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal-ekonomik yönlerine güven duymasını sağlar. Bu yöntemler, AI ve AIoT destekli karar vermede doğruluk, adalet, şeffaflık, hesap verebilirlik ve insan merkezilik sonuçlarını açıklayarak etik ve yönetim kaygılarını ele almaktadır. Bu ilkeler, daha akıllı eko-kentlerde veriye dayalı karar verme için önemli bir öneme sahiptir, bu nedenle açıklanabilir / yorumlanabilir modeller, teknikler ve araçlar oluşturma ihtiyacı vardır. Yapay zeka/AIoT uzmanları, çevre bilimciler, şehir planlamacıları ve politika yapımcılar arasındaki işbirliğine dayalı çabalar, yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin daha akıllı eko-kentlerin gelişen arazi yapısında çevresel sürdürülebilirliğe ve iklim değişikliğinin azaltılmasına etkili bir şekilde katkıda bulunmasını sağlamak için gereklidir. Ayrıca, gelecekteki araştırma çabaları, YZ ve AIoT çözümlerinde XAI ve IML yöntemlerinin şeffaf, etkili ve etik açıdan sağlam uygulamalarının gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynayacak ve tüm paydaşlar için eşit sonuçlar sağlarken daha akıllı eko-şehirlerde çevresel sürdürülebilirliği ilerletecektir.

65. Yapay Zeka ve AIoT Teknolojilerinin Etik ve Toplumsal Zorlukları

YZ teknolojisinin etik ve insani sorunları ve riskleri uzun süredir devam eden entelektüel ve felsefi tartışmalara konu olmaktadır. YZ teknolojisinin geliştirilmesi, uygulanması ve benimsenmesi, uygulama alanına bağlı olarak, uygulanan yenilikçi çözümlerin çevresel faydalarına bakılmaksızın bu endişeleri artırmaktadır. Bu çalışmanın arka planında, YZ kullanımı önyargılı kararlar vermeyi, gizlilik ve siber güvenliği daha da kötüleştirmeyi ve kamu güvenliğini sınırlamayı içermektedir [244,293,294]. Bu zorlukların çoğu AIoT için geçerlidir, örneğin akıllı şehirler için AIoT güvenliği, AIoT ve saldırı tespiti ve AIoT ve güven önerisi [10]. Koffka [9], sorumlu bir AIoT ekosisteminin önemini altını çizerek güvenlik ve gizlilik, birlikte çalışabilirlik ve etik gibi kritik endişeleri ele almaktadır. Ayrıca, YZ kullanımı insan yeteneklerini değersizleştirmeyi, bilgi asimetrisini derinleştirmeyi, eşit güç ilişkilerini baltalamayı ve sistem arızalarına neden olmayı gerektirmektedir. İkincisi ile ilgili olarak, YZ teknolojisine giderek daha fazla bağımlı hale gelen bir toplumda büyük ölçekli YZ dağıtımlarını başlatmadan önce bu tür riskler konusunda kamu bilincini artırmak çok önemlidir [271]. Bu gerçekten de gizemlidir, çünkü gerçek işlevleri ve mekanizmaları, çoğumuzun günlük yaşamının bir parçası olmasına rağmen, yalnızca bir grup insan tarafından anlaşılmamaktadır [6]. Bu nedenle, yıkıcı bir teknoloji olarak YZ'nin akıllı eko-kentleri büyük ölçüde dönüştüreceği düşünüldüğünde, insanların onu nasıl algıladıkları konusunda halkın güvenliğini kazanması gerekmektedir. Ayrıca, YZ

teknolojinin, kendisine yatırım yapan devlet kurumlarının ve kamu kuruluşlarının güvenini kazanması gerekmektedir [295]. YZ'nin ortaya çıkardığı zorluklar genellikle güvenlik, adalet, şeffaflık [293,296], sosyo-ekonomik eşitlik, kültürel çeşitlilik ve sosyal içerme dahil olmak üzere etik standartlardaki boşlukları içermektedir. Örneğin, güvenlik, otonom sistemlerle ilgili etik ve yasal tartışmalarda kilit bir konudur [297,298]. YZ ve AIoT uygulamalarının ortaya çıkardığı etik sorunların çoğu, YZ modellerini açıklamadaki veya kara kutulara benzeyen ML algoritmalarının yorumlamadaki zorluklarla ilgilidir ve bazıları insanlar için anlaşılması en zor olanlardır. İnsanların (tasarımcılar, mühendisler, araştırmacılar, şehir planlamacıları, şehir yöneticileri, düzenleyiciler ve politika yapımcıları) YZ modellerinin ve sistemlerinin potansiyel önyargıları ve beklenen etkileri açısından aldıkları kararları veya tahminleri anlamalarına ve bunlara güvenmelerine olanak tanıyan Açıklanabilir YZ (XAI) veya Inter- pretable ML (IML) için yeni yöntemler geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Ghonghe [287], XAI'nin çeşitli vaka çalışmaları ve kullanım durumlarının yanı sıra akıllı şehir uygulamalarındaki etkilerini ve açık zorluklarını ele almıştır.

YZ teknolojisinin altında yatan etik boşluklar, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerde kentsel yaşam alanlarında YZ'nin nüfuz edici modellerinden (örneğin, Ref. [63,244,299,300]) kaynaklanan ters etki yaratan sonuçları ele almak için uygun düzenleyici çerçevelerin tasarlanmasını ve uygulanmasını gerektirmektedir. Özellikle **de**, etkili girdiler ve bilinçli seçimler için fırsatın en yüksek olduğu dağıtım karar verme sürecinin başlarında. Bu, çok geç olmadan "sorumlu ve etik YZ" geliştirmekle ilgilidir [297,301,302]. YZ'nin IoT ve Büyük Veri ile entegrasyonu, hem YZ hem de AIoT sistemlerindeki ilerlemelerin ve yeniliklerin hızını artırdığından, özellikle de hesaplama güçlerinin katlanarak artması, daha akıllı eko-şehirler için derin etkileri olan akıllı şehirlerin otomasyonu ve özleştirilmesi için giderek daha fazla güç kazanmalarının önünü açtığından, bunun için bir gerekçe vardır. Çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle ilgili belirli kentsel süreç ve uygulamaları otomatikleştirmek mümkün olsa da, mekanik kararlara dayalı tam otomatik veya otonom akıllı eko-kentler oluşturmaktan kaçınmak için bunları dikkatlice planlamak ve uygulamak gerekir. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirliği ilerletmek için yapay zeka ve AIoT uygulamalarının kullanımına ilişkin düzenleyici zorlukların ele alınması ve üstesinden gelinmesi esastır. Vinuesa ve diğerleri [271], sürdürülebilir kalkınma için YZ tabanlı teknolojilerin geliştirilmesini desteklemek üzere düzenleyici anlayış ve gözetim ihtiyacını vurgulamaktadır.

YZ ve AIoT teknolojilerinin ortak yararının gerçekleştirilmesi YZ sistemleri yalnızca güç, kâr ve geniş erişim ve etki hırsıyla hareket eden güçlü şirketler tarafından tasarlanan ve uygulanan algoritmalara göre çalıştığında son derece olanaksız kalmaktadır. Bu teknoloji devlerinin çeşitli yörüngeler izlemesi ve keşfedilmemiş olasılıkları keşfetmesi, YZ ve AIoT sistemlerinin büyük ölçekli uygulamalarının potansiyel sonuçları hakkında endişeleri artırmaktadır. Akıllı eko-kentler bağlamında kamusal ve sivil değerleri korumaya öncelik veren, iyi düzenlenmiş ve sorumlu YZ ve AIoT sistemlerine acil bir talep vardır. Bu tür sistemler, topluma daha geniş fayda sağlamanın kurumsal çıkarlar ve kontrolsüz reklamlardan daha öncelikli olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Gerçekten de, sivil değerler ve kamusal değerler hem sivil toplumun hem de hükümetin işleyişinde hayati rol oynamaktadır. Bu değerler bireylere, topluluklara ve kamu kurumlarına adil, kapsayıcı ve müreffeh bir toplum arayışlarında rehberlik eden ahlaki pusuladır. Sivil bir toplumda sosyal adalet, özgürlük, hoşgörü, merhamet ve tolerans gibi sivil değerler uyumlu ve adil bir toplumun temel taşlarıdır. Bu değerler bireylere sivil faaliyetlere katılmaları, haklarını savunmaları ve toplumsal sorunları ele almak için kolektif olarak çalışmaları için ilham verir. Sivil katılım bu değerler tarafından teşvik edilir, vatandaşları kamusal söylemlere katılmaya ve toplumun iyileştirilmesine aktif olarak katkıda bulunmaya teşvik eder.

Toplum. Aynı zamanda, kamusal değerler hükümetin düzgün işleyişi için temeldir. Hesap verebilirlik, şeffaflık, dürüstlük, kapsayıcılık, halkın katılımı ve çevresel yönetim gibi bu ilkeler, kamu kurumlarının hizmet ettikleri insanların çıkarları doğrultusunda faaliyet göstermelerini sağlar. Ancak, örneğin çevre yönetimi ile ilgili olarak, düzensiz ekonomik çıkarlar kentsel gelişmeyi yönlendirdiğinde, çevrenin korunması, adalet ve koruma gibi önemli hususlar genellikle bir kenara bırakılmaktadır.

Yapay zeka ve AIoT sistemleri gibi teknolojik gelişmeler hem sivil toplumun hem de hükümetin verimliliğini ve etkinliğini artırma potansiyeline sahip olsa da, bazı temel işlevlerin bu sistemlere devredilmemesi gerektiğini kabul etmek önemlidir. Sivil ve kamusal değerler tarafından yönlendirilen karar alma süreçleri, yalnızca insanların sağlayabileceği incelikli muhakeme ve etik değerlendirmeler gerektirir. YZ ve AIOT sistemleri değerli araçlar olabilir, ancak bu temel değerlerin önemini değiştirmek veya gölgelemek yerine bireylerin ve kurumların çabalarını desteklemeli ve tamamlamalıdır. Sivil ve kamusal değerler ile gelişmekte olan teknolojiler arasındaki etkileşim, toplumumuzun ve hükümetimizin ahlaki ve etik temelleri olarak hizmet etmeye devam etmelerini sağlamak için dikkatli bir şekilde yönetilmelidir. Bununla birlikte, Kassens-Noor ve Hintze [303], YZ teknolojisinin benimsenme oranının, politika düzenlemeleri ve öngörülemez olaylarla birleştiğinde, hareketli metropoller ıssız hayalet şehirlere dönüştürme potansiyeline sahip olduğunu savunmaktadır. YZ ve AIoT'nin tamamen ilerlemesi, ahlaki ve toplumsal değerlerde bir düşüşe işaret edebilir ve insan ırkının potansiyel ölümü ile ilgili endişeleri artırabilir. Bununla birlikte, kentleri eko-kentlere dönüştürmenin cazip kavramsal ve söylemsel faydalarına (hem fikirler, teoriler ve algılarla hem de bunların tartışılma ve iletilme biçimleriyle ilgilidir) rağmen, 1990'ların başından bu yana büyük ölçekli uygulamaları engelleyen zorlu engeller, akıllı (er) eko-kentlerin geliştirilmesinden bahsetmeye bile gerek yok. Kentsel dönüşümlerin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri, yapay zeka ve yapay zekanın eko-şehirçilik alanına dahil edilmesiyle ilgili önemli maliyetler, riskler ve belirsizliklerde yatmaktadır.

6.6. Metodolojik sınırlamalar

Okuyucuların bulguların güvenilirliğini ve geçerliliğini değerlendirebilmeleri ve gelecekteki araştırma ve uygulamalar için potansiyel çıkarımları anlayabilmeleri için bu kapsamlı sistematik derlemenin metodolojik sınırlamalarını kabul etmek önemlidir. İnceleme sürecinin çeşitli yönlerinden kaynaklanan bu sınırlamalar şunlardır:

- Arama stratejisi: Kapsamlı bir literatür taraması yapma çabalarına rağmen, bazı ilgili çalışmalar gözden kaçmış olabilir. Veri tabanı seçimi, arama anahtar kelimeleri, dil kısıtlaması ve dahil etme/dışlama kriterlerindeki sınırlamalar, sentez için dahil edilen çalışmaların genişliğini ve derinliğini etkileyebilir. Dahası, çalışma ağırlıklı olarak hakemli belgelere dayandığından, gri literatürün ve paydaş girdilerinin büyük bir kısmının dışarıda bırakılması ve ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler hakkında kapsamlı içgörüler elde edilememesi riski vardır. Bu araştırma alanı hala gelişmektedir ve mevcut çalışmalarının çoğu, yapay zeka ve yapay zeka teknolojileri ve çözümleri ile ilgili olarak esasen çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirler alanlarından alınmıştır. Bu alanlar bile, bu teknolojilerin ve çözümlerin gelişmekte olan doğası nedeniyle bilgi eksikliği ve ampirik kanıtların azlığı ile ilişkilidir.
- Yayın yanlılığı: Çalışma yayınlanmış literatüre dayanmaktadır ve olumlu sonuçlara sahip çalışmaların yayınlanma olasılığının daha yüksek olduğu yayın yanlılığı riski bulunmaktadır.

olumsuz bulgular gözden kaçabilir. Bu durum, sistematik derlemenin kapsamlılığını ve temsil gücünü etkileyebilir. Araştırmacıların ve dergilerin, bulgularının yönüne veya önemine göre çalışmaları yayınlamayı tercih etmeleri yaygın bir durumdur. Bu durum, olumlu sonuçlara sahip çalışmaların aşırı temsil edilmesine yol açabilirken, olumsuz sonuçlara sahip çalışmaların yayınlanma ve dolayısıyla sistematik incelemeye dahil edilme olasılığı daha düşük olabilir. Buna ek olarak, İngilizce yayınlanan çalışmaların daha erişilebilir olması ve sistematik incelemelere yaygın olarak dahil edilmesi, değerli kanıtların potansiyel olarak hariç tutulmasına yol açan bir dil yanlılığı vardır. Özellikle İngilizce dili, çalışmada uygulanan dahil etme kriterlerinden biriydi. Finansman kaynakları, endüstri tarafından finanse edilen çalışmaların olumlu sonuçlar üretmeleri halinde yayınlanma olasılığının daha yüksek olmasıyla ilgili bir başka yanlılıktır.

• **Veri çıkarma ve sentezleme, seçilen çalışmalardan veri çıkarmanın ve bulgularını sentezlemenin karmaşıklığı ve zorluklarıyla ilgilidir.** Çalışmada ortaya çıkan başlıca sorunlardan biri, çalışmalar arasındaki heterojenliktir. Buna, bulguların sentezini zorlaştıran çalışma tasarımlarındaki farklılıklar (örn. metodolojiler) ve veri çıkarma ve sentez sürecini etkileyen raporlama biçimleri (sonuçların sunumundaki farklılıklar) dahildir. Bu farklılıklar, farklı çalışmalardan elde edilen verilerin doğrudan karşılaştırılmasını ve birleştirilmesini, böylece kanıtlara kapsamlı bir genel bakış elde edilmesini ve sistematik incelemeden sağlam sonuçlar çıkarılmasını zorlaştırabilir.

7. Gelecekteki araştırmalar için öneriler

Daha akıllı eko-kent akademisyenleri, uygulayıcıları ve politika yapımcıları, tekno-bilimsel ve sosyo-politik çözümler arasındaki etkileşimin daha derin bir anlayışına dayanan yeni bir çözüm-düşünme paradigmasına dayalı sürdürülebilir kalkınma uygulamalarını teşvik etmek için yeni bir fırsata sahiptir. Bu çok yönlü değişim sürecini geliştirmek, daha akıllı eko-kentler statüsüne ulaşmak için sürdürülebilir kentsel kalkınmanın en kritik zorluklarından biridir. Ortaya çıkmakta olan bu araştırma alanı ampirik olarak yeterince araştırılmamış, teorik olarak yeterince geliştirilmemiş ve büyük ölçekli uygulamalara izin vermek için eleştirel olarak yeterince düşünülmemiştir. Bu, daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesine ve dolayısıyla kamu yararına yönelik büyük ölçekli yapay zeka ve AIoT dağıtımlarına rehberlik etmek için çok sayıda sorunun ve sorunun ele alınması ve yanıtlanması gerektiği anlamına gelmektedir. Sonuçlarımızdan ve tartışmamızdan, gelişmekte olan daha akıllı eko-kentler hakkındaki bilgilerimizdeki bazı boşluklar ortaya çıkmaktadır. Bu boşluklar, araştırılması veya eleştirel olarak ele alınması önemli olan ve gelecekteki araştırmalar için öneriler şeklinde çeşitli perspektiflerden yaklaşılabilecek geniş bir dizi konuyu kapsamaktadır.

AI ve AIoT teknolojilerinin daha akıllı eko-kentleri yeniden şekillendirmedeki dönüştürücü potansiyeli göz önüne alındığında, ortaya çıkan bu kentsel paradigmanın doğasında bulunan boyutları, fırsatları, faydaları ve zorlukları ortaya çıkarmak için kapsamlı bir araştırma yapılması gerekmektedir. Yapay zeka ve AIoT çözümleri bağlamında çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirlerin kesişme noktadaki araştırmaların yeni ortaya çıkan aşaması göz önüne alındığında, aşağıdaki yollar çok önemlidir:

- **Temel itici güçleri belirleyin:** Akıllı eko-kentlerin gelişimini destekleyen çok yönlü itici güçleri araştırın; bu itici güçler, teknik ve çevresel unsurların ötesinde sosyal, ekonomik, kurumsal ve siyasi faktörleri de kapsamaktadır.
- **Etkinliği değerlendirin:** Daha akıllı eko-kentlerde yapay zeka ve AIoT uygulamalarının gerçek dünyadaki etkinliğini ve ölçeklenebilirliğini değerlendirmeye öncelik verin ve SKH'lere ulaşma üzerindeki gerçek etkilerini belirleyin.

- **Uzun vadeli faydaları keşfedin:** Daha akıllı eko-kentlerde sürdürülebilirlik uygulamalarını teşvik etmek için YZ ve AIoT teknolojilerinin sunduğu uzun vadeli faydaları ve fırsatları araştırın. Bu, kaynak optimizasyonu, enerji verimliliği, atık azaltma ve vatandaşlar için yaşam kalitesini artırma potansiyellerini keşfetmeyi içerir.
- **Engellerin ve risklerin üstesinden gelin:** Gizlilik endişeleri, veri güvenliği ve yönetim çerçeveleri gibi YZ ve AIoT uygulamalarıyla ilgili zorluklarla yüzleşin ve riskleri azaltın.
- **Sorumlu YZ uygulamalarını teşvik edin:** YZ ve AIoT çözümlerinin sorumlu tasarımı, dağıtımı ve yönetimi için kılavuzları ve en iyi uygulamaları araştırın. Karar alma süreçlerinde adalet, geçişkenlik ve hesap verebilirliğin sağlanması esastır.
- **Disiplinleri entegre edin:** Çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve akıllı şehirleri yapay zeka ve AIoT ile birleştiren disiplinler arası araştırmaları teşvik etmek. Bu yaklaşım, karmaşık ilişkileri ortaya çıkarır ve bu alanlar arasındaki karmaşık etkileşimlerin ve karşılıklı bağımlılıkların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırır ve entegre ve bütünsel çözümlerin geliştirilmesini sağlar.
- **Politikaları ve çerçeveleri formüle edin:** Yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin etik ve ebeveynler arası kullanımını kolaylaştıran ve sürdürülebilir kentsel kalkınmada benimsenmelerini ve uygulamalarını destekleyen sağlam politika ve yönetim çerçeveleri geliştirin. Bu, bu teknolojilerin şeffaflığını, hesap verebilirliğini ve etik kullanımını sağlamak için düzenleyici mekanizmaların, standartların ve kılavuzların incelenmesini içerir.
- **XAI ve IML yöntemlerini ilerletmek:** Karmaşık modellerde uygulanabilirlik, kullanıcı merkezli model eğitimi, daha akıllı eko-kentler için özel çözümler, esneklik ve uyum kabiliyetinin artırılması ve etik çıkarımlar için çözümler geliştirin. Bu, AIoT sistemlerindeki karmaşık AI modellerini aydınlatmak için XAI tekniklerinin geliştirilmesini, kullanıcıları modellerin iyileştirilmesine dahil etmek için IML entegrasyonunu keşfetmeyi, farklı çevresel zorlukların üstesinden gelmek için XAI ve IML'i kullanmayı, AIoT sistemlerinin dinamik kentsel senaryolara karşı direncini güçlendirmeyi ve eşitlik ve şeffaflığı sağlamak için AIoT çözümlerinde XAI ve IML'i kullanmanın etik ve toplumsal sonuçlarını incelemeyi gerektirir.
- **Topluluk katılımını teşvik etmek:** Yerel toplulukları, paydaşları ve vatandaşları daha akıllı eko-kentler için AI ve AIoT çözümlerinin tasarımına, uygulanmasına ve izlenmesine dahil etmenin yollarını araştırın. Aktif katılımları daha kapsayıcı ve etkili sonuçlara yol açabilir.
- **Çevresel etkiyi ölçün:** Daha akıllı eko-kentlerde YZ ve AIoT çözümlerinin çevresel etkisini ölçmek için metodolojiler geliştirin. Bu, genel sürdürülebilirlik kazanımlarını anlamak için enerji tüketimi, karbon ayak izi ve kaynak kullanımı gibi faktörlerin değerlendirilmesini içerir.
- **Yaşam döngüsü analizi yapın:** YZ ve AIoT teknolojilerinin sürdürülebilirliğini, üretimden bertarafı kadar tüm yaşam döngüleri boyunca değerlendirin. Bu bütünsel yaklaşım, potansiyel çevresel noktaları ortaya çıkarabilir ve iyileştirmelere rehberlik edebilir.
- **Vatandaş katılımını teşvik edin:** Vatandaşları, çevrenin korunması ve sürdürülebilir davranışlara aktif olarak katılmalarını sağlayan yapay zeka ile güçlendirilmiş bilgi ve araçlarla güçlendirmenin yollarını keşfedin.
- **Davranışsal içgörülerini geliştirin:** YZ'nin vatandaşlar arasında enerji tasarrufu ve atık azaltma gibi çevre dostu davranışları teşvik etmek için davranışsal içgörülerden nasıl yararlanabileceğini araştırın.
- **Vaka çalışmaları gerçekleştirin:** Gerçek akıllı eko-şehir projelerinde derinlemesine ampirik araştırmalar ve AI ve AIoT pratik uygulamaları gerçekleştirin. Bu gerçek dünya içgörülerini, etkili entegrasyon için zorlukları, en iyi uygulamaları ve değerli dersleri aydınlatır.

Bu bilgi boşluklarını ele alarak ve bu araştırma yollarını takip ederek, daha akıllı eko-kentler alanı anlayışını, uygulamasını ve etkisini ilerletebilir. Bu, topluma ve çevreye fayda sağlayan daha sürdürülebilir ve teknolojik açıdan gelişmiş kentsel çevrelerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

8. Sonuç

Yükücü teknolojiler olarak AI ve AIoT, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkılarını artırmak ve sürdürmek için ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin dijital ekosistemini inşa etmek için gerekli olan temel teknolojik altyapıyı oluşturmaktadır. Bu arayış, SDG 11'in çevresel hedefleriyle uyumlu olarak operasyonlarının, işlevlerinin, stratejilerinin ve politikalarının verimliliğini ve etkinliğini artırmayı içerir. Bu bağlamda, karar alma süreçleri için derin içgörüler üreten sağlam akıllı sistemler geliştirmek için yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin muazzam potansiyelini kabul etmek önemlidir. Ancak bu teknolojiler, daha akıllı eko-kentleri karmaşık sistemler olarak nitelendiren köktücl sorunlar için evrensel bir çare veya her derde deva olarak hizmet edemez. Bu çalışmada, kanıt sentezi için birleşik bir yaklaşım kullanarak, çevresel sürdürülebilirlik için ortaya çıkan daha akıllı eko-kentler ve bunların önde gelen yapay zeka ve yapay zeka çözümleri hakkında kapsamlı bir sistematik inceleme sağlamayı amaçladık. Çalışmanın beş araştırma sorusuyla ilgili temel bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Daha akıllı eko-kentlerin birbiriyle bağlantılı temel dayanakları: Çalışma, daha akıllı eko-kentlerin altında yatan temel kavramların karmaşık bir şekilde birbirine bağlı olduğunu ve çeşitli ölçeklerde birbiri üzerine inşa edildiğini göstermiştir. Akıllı şehirler ve eko-kentler olarak adlandırılan temel şehircilik paradigmaları, veriye dayalı teknolojilerin ve çevresel çözümlerin entegrasyonu için temel teşkil etmektedir. Veriye dayalı teknolojiler gerçek zamanlı izleme, analiz ve karar alma süreçlerini mümkün kılarken, çevresel çözümler kaynak verimliliğini optimize etmeye ve ekolojik ayak izini en aza indirmeye odaklanmaktadır. Veriye dayalı içgörüler, çevresel stratejilerin etkinliğini artırarak daha dayanıklı, yaşanabilir ve çevre dostu kentsel ortamlar yaratılmasına katkıda bulunur.

Daha akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesi: Çalışma, sürdürülebilir kalkınmaya yönelik artan ihtiyaç, teknolojiye dayalı ilerlemeler, çevresel hususlar, politika araçları ve hükümet girişimleri ve karmaşık çevresel zorlukların ele alınmasında veriye dayalı teknolojilerin potansiyelinin tanınması da dahil olmak üzere, daha akıllı eko-kentlerin ortaya çıkan bir şehircilik paradigması olarak gerçekleştirilmesine katkıda bulunan iç içe geçmiş birkaç faktör tespit etmiştir.

Ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesinde kullanılan başlıca YZ ve YZoT çözümleri: Çalışma, YZ ve AIoT teknolojilerinin kentsel planlama, yönetim ve kalkınmadaki rollerini gösteren birçok uygulamalı çözüm tespit etmiştir. Bu çözümler, enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji, sürdürülebilir ulaşım yönetimi, trafik kontrolü, su kaynaklarının korunması, verimli kaynak kullanımı için atık yönetimi, biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri, çevresel izleme ve kontrol, iklim değişikliğine uyum ve azaltma ve afet direnci ve yönetimini kapsamaktadır.

Yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin, gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerde sürdürülebilirlik uygulamalarını teşvik etmedeki faydaları ve fırsatları: Çalışma, çevresel sürdürülebilirlik bağlamında yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin sunduğu fırsatları ve faydaları belirlemiştir. Bu fırsatlar ve faydalar, optimize edilmiş kaynak yönetimi, artan enerji verimliliği, gelişmiş atık yönetimi, gelişmiş ulaşım ve hareketlilik yönetimi, azaltılmış çevresel etkiler, çevresel zorluklara karşı artan direnç, kentsel yönetim ve planlamada gelişmiş karar verme ve yaratma potansiyelini içermektedir.

daha sürdürülebilir ve teknolojik olarak gelişmiş kentsel ortamlar. Fırsatların ve elverişli koşulların ve olasılıkların belirlenmesi, yapay zeka ve AIoT çözümlerinin olumlu değişiklikler yaratabileceği ve daha akıllı eko-kentlerin genel gelişimine katkıda bulunabileceği potansiyel alanların anlaşılmasına yardımcı olur. Faydalar d olumlu sonuçlar ve avantajlar d yapay zeka ve AIoT çözümlerinin benimsenmesiyle elde edilebilecek somut ve soyut kazanımları vurgulamaktadır.

Gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerin geliştirilmesi için YZ ve AIoT çözümlerinin uygulanmasında ortaya çıkan zorluklar ve engeller: Çalışma, çevresel maliyetler, veri toplama ve kullanımıyla ilgili gizlilik endişeleri, birbirine bağlı sistemlerle ilgili siber güvenlik riskleri, kamu güveni ve sosyal kabul, sınırlı teknik uzmanlık ve bilgi, etik ve sorumlu YZ ve AIoT dağıtımını sağlamak için sağlam düzenleyici çerçevelerin eksikliği ve YZ ve AIoT teknolojilerinin adil ve şeffaf kullanımını sağlamak için sosyal sorunların ele alınması gerekliliği ile ilgili temel zorlukları tanımlamış ve değerlendirmiştir.

Genel olarak çalışma, daha akıllı eko-kentlerde çevresel sürdürülebilirliğe geçişi ilerletmede YZ ve AIoT teknolojilerinin önemini vurgulamıştır. Bu teknolojiler, çevre sorunlarını daha iyi anlamak ve önlemek için yeni ve büyük ölçüde genişletilmiş fırsatlar sunarken, daha akıllı eko-kentleri başarılı bir şekilde uygulamak için ele alınması ve üstesinden gelinmesi gereken önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, bu zorlukların üstesinden gelmek ve bu teknolojilerin faydalarını en üst düzeye çıkarmak için disiplinler arası araştırma, politika desteği ve farklı paydaşlar arasında işbirliği ihtiyacını vurgulamak önemlidir.

Bu çalışmada sunulan sentezlenmiş kanıtlar, daha akıllı eko-kentlerin tasarlanması, yönetilmesi ve planlanmasında yer alan araştırmacılar, uygulayıcılar ve politika yapımcıları için önemli çıkarımlara sahiptir. Ortaya çıkmakta olan daha akıllı eko-kentlerin çeşitli boyutlarına ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve karar alma süreçlerini bilgilendirebilecek en iyi uygulamaları tanımlamaktadır. Sistematik inceleme, araştırmanın mevcut durumunu anlamada, boşlukları belirlemede ve sürdürülebilir kentsel kalkınma için gelecek stratejilerini şekillendirmede paydaşlara rehberlik eden bir bilgi havuzu görevi görmektedir. İlk olarak, ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin temel kavramsal dayanaklarını ve aralarındaki karmaşık bağlantıları (RQ1) ve daha akıllı eko-kentlerin hayata geçirilmesini teşvik eden iç içe geçmiş faktörleri (RQ2) belirleyerek, çalışma çeşitli alanlardan araştırmacılar ve uygulayıcılar arasında disiplinler arası işbirliğini teşvik etmekte ve yeni araştırma yollarını ve uygulama yollarını teşvik ederek ortaya çıkan daha akıllı eko-kentlerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına ve odaklanış bir şekilde geliştirilmesine yol açmaktadır. İkinci olarak, yapay zeka ve AIoT teknolojilerinin temel uygulamalı çözümlerini (RQ3) tanımlayarak, çalışma araştırmacıları, uygulayıcıları ve politika yapımcıları sürdürülebilir kentsel gelişim uygulamalarını teşvik etmek için kullanılan teknolojik gelişmeler ve yenilikçi yaklaşımlar hakkında bilgilendirebilir. Ayrıca, YZ ve AIoT teknolojilerinin bu bağlamda sunduğu potansiyel fırsatların ve faydaların araştırılması (RQ4), SKH'lere, özellikle de SKH 11'e ulaşmak için bu teknolojilerden yararlanmak isteyen karar vericiler ve şehir planlamacıları için değerli bilgiler sağlayabilir. Son olarak, gelişmekte olan daha akıllı eko-kentlerde yapay zeka ve AIoT çözümlerinin uygulanmasındaki zorlukların ve engellerin belirlenmesi (RQ5), politika yapımcıları ve paydaşları, bu teknolojileri kentsel kalkınma stratejilerine entegre ederken ele alınması gereken potansiyel engeller ve açık konular hakkında bilgilendirebilir. Genel olarak, bu çalışmanın araştırma, uygulama ve politika oluşturma sonuçları, kentsel planlama, teknoloji uygulama, sürdürülebilirlik uygulamaları ve politika geliştirme, bilinçli karar vermeyi kolaylaştırma ve daha akıllı eko-kentlerin ilerlemesini teşvik etme dahil olmak üzere çok çeşitli alanları kapsamaktadır.

Sonuç olarak, sistematik derlemenin bulguları aşağıdakilere katkıda bulunmaktadır

çevresel sürdürülebilirliğe, kaynak verimliliğine ve insan refahına öncelik veren daha akıllı eko-kentler yaratmaya yönelik daha geniş bir hedef

olmak. Bu doğrultuda elde edilen paha biçilmez içgörüler, paydaşları stratejik seçimler yapma, yenilikçi önlemler uygulama ve kentsel planlama ve yönetimde olumlu değişim sağlama konusunda güçlendirecektir. Politika yapıcılar, şehir planlamacıları, araştırmacılar ve uygulayıcılar, yapay zeka ve AIoT'nin potansiyelinden yararlanarak, mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayan daha akıllı, daha esnek, daha yaşanabilir ve çevreye duyarlı şehirler yaratmak için birlikte çalışabilirler. Özetle, AI ve AIoT teknolojileri, büyük çevresel zorlukların çoğunu aşmak için benzeri görülmemiş yetenekler sunacaktır, ancak bu teknolojilerin nasıl kullanılacağı ve bu kullanımın başka hangi olası yönleri görebileceği, başta araştırma topluluğu olmak üzere hepimize bağlıdır ve bunu zaman gösterecektir.

CRedit Yazarlık katkı beyanı

Simon Elias Bibri: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Biçimsel Analiz, Araştırma, Veri Kurationı, Görselleştirme, Yazılım, Yazım - Orijinal Taslak, Yazım - İnceleme ve Düzenleme. John Krogstie: Kavramsallaştırma, Yazım - İnceleme ve Düzenleme. Alexandre Alahi ve Amin Kaboli: Yazım - İnceleme ve Düzenleme. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve onaylamıştır.

Rekabetçi çıkar beyanı

Yazarlar, bu makalede rapor edilen çalışmayı etkileyebilecek bilinen herhangi bir rakip finansal çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler.

Teşekkür

Bu proje, Marie Skłodowska-Curie hibe anlaşması No. 101034260 kapsamında Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 araştırma ve yenilik programından fon almıştır.

Kısaltmalar

YAPAY ZEKA	Yapay Zeka
AIoT	Nesnelerin Yapay Zekası
ANFIS	Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi
YSA	Yapay Sinir Ağı
KOÇ	Ekosistemler için Yapay Zeka AUV'ler
	Otonom Sualtı Araçları BC Bayesian
Sınıflandırıcı	
BN	Toplu-Normalleştirme
CNN'ler	Evrimsel Sinir Ağları CO ₂ Karbondioksit
COVID-19	Korona Virüs Hastalığı 2019
CV	Bilgisayarla Görme
DL	Derin Öğrenme
DNN	Derin Sinir Ağları DSS Karar Destek Sistemleri DT Karar Ağaçları
EC	Evrimsel Hesaplama ENN Evrimsel Sinir Ağı ES Evrimsel Stratejiler
FAIS	Taşkın Analitiği Bilgi Sistemi FL Bulanık Mantık
GA	Genetik Algoritma
GAN'lar	Generative Adversarial Networks
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
BİT	Bilgi ve İletişim Teknolojisi IML Yorumlanabilir Makine Öğrenimi
IoT	Nesnelerin İnterneti
KNN	K-En Yakın Komşu
LIDAR	Işık Algılama ve Uzaklık Ölçümü

Maas	Hizmet olarak mobilite
ML	Makine Öğrenimi
NC	Doğal Hesaplama
NLP	Doğal Dil İşleme RNN'ler Tekrarlayan Sinir Ağları ROV'lar Uzaktan Kumandalı Araçlar
SKH'ler	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
SDM'ler	Tür Dağılım Modelleri SVM Destek Vektör Makinesi
XAI	Açıklanabilir Yapay Zeka

Referanslar

- [1] S.E. Bibri, A. Alahi, A. Sharifi, J. Krogstie, Çevresel olarak sürdürülebilir akıllı şehirler ve bunların yakınsayan yapay zeka, IoT ve büyük veri teknolojileri ve çözümleri: kapsamlı bir literatür taramasına entegre bir yaklaşım, *Energy Inform* 6 (2023) 9, <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00259-2>, 2023.
- [2] M.K. Gourisaria, G. Jee, G.M. Harshvardhan, D. Konar, P.K. Singh, Yapay olarak akıllı ve sürdürülebilir akıllı şehirler, in: P.K. Singh, M. Paprzycki, M. Essaïdi, S. Rahimi (der.), *Sustainable Smart Cities. Studies in Computational Intelligence*, vol. 942, Springer, Cham, 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-08815-5_14.
- [3] E. Iris-Panagiota, T.E. Eggleton, Sürdürülebilir akıllı şehirler için yapay zeka, in: Brojo Kishore Mishra (Ed.), *Handbook of Research on Applications of AI, Digital Twin, and Internet of Things for Sustainable Development*, IGI Global, 2023, pp. 1e11, <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6821-0.ch001>.
- [4] T. Yiğitcanlar, R. Mehmood, J.M. Corchado, Green artificial intelligence: toward an efficient, sustain. *Equit. Technol. Smart Cities Futures* 13 (16) (2021) 8952. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/8952>.
- [5] A. Ab-Rahman, U.Z. Hamid, T.A. Chin, Yıkıcı olan yeni teknolojiler etkileri : bir inceleme, *Perintis e-J.* 7 (2017) 111e128.
- [6] A. Greenfield, *Radical Technologies: the Design of Everyday Life*, Verso Books, 2018.
- [7] H. Lu, Y. Li, M. Chen, H. Kim, S.J.M.N. Serikawa, Applications, *Brain intelligence: go beyond artificial intelligence*, *Mobile Network. Appl.* 23 (2) (2018) 368e375.
- [8] M. Batty, Artificial intelligence and smart cities, *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 45 (1) (2018) 3e6, <https://doi.org/10.1177/2399808317751169>.
- [9] K. Koffka, *Akıllı Şeyler: Exploring AIoT Technologies and Applications*, Kindle Edition, 2023.
- [10] K.P. Seng, L.M. Ang, E. Ngharamike, Yapay zeka Nesnelerin İnterneti: dağıtık sensör ağlarının yeni bir paradigması, *Int. J. Distributed Sens. Netw.* 18 (3) (2022), <https://doi.org/10.1177/15501477211062835>.
- [11] F. Shi, H. Ning, W. Huangfu diğerleri, yakınsaması konusundaki son gelişmeler, ve Nesnelerin İnterneti ve yapay zekanın *IEEE Network* 34 (5) (2020) 8e15.
- [12] G. Mastorakis, C.X. Mavromoustakis, J.M. Batalla diğerleri (Eds.), *Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things*, Springer, Berlin, 2020.
- [13] J. Zhang, D. Tao, Empowering things with intelligence: a survey of the progress, challenges, and opportunities in artificial intelligence of things, *IEEE Internet Things J.* 8 (10) (2021) 7789e7817, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3039359>, 15 Mayıs15.
- [14] D. Alahakoon, R. Nawaratne, Y. Xu, D. De Silva, U. Sivarajah, B. Gupta, Self-building artificial intelligence and machine learning to empower big data analytics in smart cities, *Inf. Syst. Front* (2020) 1e20.
- [15] B.K. Kuguoglu, H. van der Voort, M. Janssen, The giant leap for smart cities: scaling up smart city artificial intelligence of things (AIoT) initiatives, *Sustainability* 13 (21) (2021) 12295, <https://doi.org/10.3390/su132112295>.
- [16] V. Puri, S. Jha, R. Kumar ve diğerleri, hibrit bir yapay zeka ve interneti Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi için nesnelerin modeli, *IEEE Access* 7 (2019) 111181e111191.
- [17] R. Nishant, M. Kennedy, J. Corbett, Artificial intelligence for sustainability: challenges, opportunities, and a research agenda, *Int. J. Inf. Manag.* 53 (2020) 102104.
- [18] W. Leal Filho, T. Wall, S.A.R. Mucova, G.J. Nagy, A.-L. Balogun, J.M. Luetz, A.W. Ng, M. Kovaleva, F.M.S. Azam, F. Alves, Deploying artificial intelligence for climate change adaptation, *Technol. Tahmin. Soc. Change* 180 (2022) 121662.
- [19] M. Raza, M. Awais, K. Ali, N. Aslam, V.V. Paranthaman, M. Imran, F. Ali, Establishing effective communications in disaster affected areas and artificial intelligence based detection using social media platform, *Future Generat. Bilgisayar. Syst.* 112 (2020) 1057e1069.
- [20] S. Samadi, The convergence of AI, IoT, and big data for advancing flood analytics research, *Front. Water* 4 (2022) 786040, <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.786040>.
- [21] W. Sun, P. Bocchini, B.D. Davison, Afet yönetimi için yapay zeka uygulamaları, *Nat. Hazards* 103 (3) (2020) 2631e2689, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04124-3S>.
- [22] D. Kamrowska-Zaluska, Yapay zeka tabanlı araçların ve kentsel büyük veri analitiğinin şehirlerin tasarımı ve planlaması üzerindeki etkisi, *Land* 10 (2021) 1209, <https://doi.org/10.3390/land10111209>, 2021.

- [23] S.C. Koumetio Tekouabou, E.B. Diop, R. Azmi, et al., Akıllı ve sürdürülebilir kentsel planlama için yapay zeka tabanlı yöntemler: sistematik bir araştırma, *Arch. Comput. Methods Eng.* 30 (2023) 1421e1438, <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09844-2>.
- [24] T.W. Sanchez, Planning on the verge of AI, or AI on the verge of planning, *Urban Sci.* 7 (2023) 70, <https://doi.org/10.3390/urbansci7030070>.
- [25] T.H. Son, Z. Weedon, T. Yigitcanlar, T. Sanchez, J.M. Corchado, R. Mehmood, Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: systematic review of the literature, *Sustain. Cities Soc.* 94 (2023) 104562.
- [26] T. Yigitcanlar, F. Cugurullo, The sustainability of artificial intelligence: an urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities, *Sustainability* 12 (20) (2020) 8548, <https://doi.org/10.3390/su12208548>.
- [27] S.E. Bibri, Veri güdümlü akıllı eko-kentler ve sürdürülebilir entegre bölgeler: kapsamlı bir literatür taramasına en iyi kanıt sentezi yaklaşımı, *Eur. J. For. Res.* 9 (1) (2021) 16, <https://doi.org/10.1186/s40309-021-00181-4>.
- [28] Z. Cai, Y. Tang, Toward a sustainable city: a scoping review of eco-cities development and practices in China, in: L. Bian, Y. Tang, Z. Shen (Eds.), *Chinese Urban Planning and Construction. Strategies for Sustainability*, Springer, Cham, 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-65562-4_9.
- [29] J.R. Kenworthy, The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development, *Environ. Urbanization* 18 (1) (2006) 67e85, <https://doi.org/10.1177/0956247806063947>.
- [30] M. Mostafavi, G. Doherty, *Eco-urbanism*, Lars Muller, Baden, İsviçre, 2010.
- [31] E. Rapoport, Utopian visions and real estate dreams: the ecocity past, present and future, *Geogr. Compass* 8 (2014) 137e149.
- [32] Mark Roseland, Dimensions of the eco-city, *Cities* 14 (4) (1997) 197e202.
- [33] R. Register, *Ecocities: Doğayla Denge İçinde Kentleri Yeniden İnşa Etmek*, New Society Publishers, 2006.
- [34] H. Bulkeley V. Cast, an Broto, Deneye göre hükümet? Küresel şehirler ve iklim değişikliğinin yönetilmesi, *Trans. Inst. Br. Geogr.* 38 (3) (2013) 361e375.
- [35] F. Caprotti, R. Cowley, I. Bailey, S. Joss, F. Sengers, R. Raven, P. Spaeth, E. Jolivet, M. Tan-Mullins, A. Cheshmehzangi, 'de Akıllı Eko-Kent Gelişimi Avrupa ve Çin: Policy Directions, University of Exeter (SMART-ECO Project), 2017.
- [36] J. Evans, A. Karvonen, R. Raven, *The Experimental City*, Routledge, 2016.
- [37] K.C. Clarke, Neden şehirleri simüle edelim? *Geojournal* 79 (2013) 129e136, <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9499-5>.
- [38] J.R. Kenworthy, Urban transport and eco-urbanism: a global comparative study of cities with a special focus on five larger Swedish urban regions, *Urban Sci.* 3 (1) (2019) 25, <https://doi.org/10.3390/urbansci3010025>.
- [39] Jonas Torrens, Philip Johnstone, Schot Johan, Unpacking the formation of favourable environments for urban experimentation: the case of the Bristol Energy Scene, *Sustainability* 10 (3) (2018) 1e28, <https://doi.org/10.3390/su10030879>.
- [40] S.E. Bibri, Akıllı ve daha akıllı sürdürülebilirliği sürdürülemezliği üzerine şehirçiliğin ve ve ilgili büyük veri teknolojisi, analitiği ve uygulaması, in: *Büyük Akıllı Sürdürülebilir Şehirçilik için Veri Bilimi ve Analitiği. Advances in Science, Technology & Innovation*, Springer, Cham, 2019.
- [41] A. Singh, A.R. Singla, Constructing definition of smart cities from systems thinking view, *Kybernetes* 50 (6) (2021) 1919e1950, <https://doi.org/10.1108/K-05-2020-0276>.
- [42] A.M. Toli, N. Murtagh, Akıllı şehir tanımlarında sürdürülebilirlik kavramı, *Frontiers in built environment*, 6(77), <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077>, 2020.
- [43] M. Dornhoff, C. Weber, J. Zenkert, M. Fathi, Veri odaklı akıllı şehir yeşil bilgi yönetimi küpünü kullanan dönüşüm modeli, içinde: 2019 IEEE Uluslararası Akıllı Şehirler Konferansı (ISC2), 2019.
- [44] Sürdürülebilir kalkınma için akıllı şehirler, in: R.K. Mishra, C.L. Kumari, S. Chachra, P.S.J. Krishna, A. Dubey, R.B. Singh (Eds.), *Advances in Geographical and Environmental Sciences*, Springer, Singapore, 2022, https://doi.org/10.1007/978-981-16-7410-5_1.
- [45] M.K. Sutherland, M.E. Cook, Veri güdümlü akıllı şehirler: organizasyonel, teknik ve veri karmaşıklıklarına daha yakından bir bakış, in: *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Digital Government Research*, 2017, <https://doi.org/10.1145/3085228.3085239>.
- [46] Anna Visvizi, Raquel Perez del Hoyo, Smart Cities and the UN SDGs, Elsevier, 2021, <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01556-2>.
- [47] A.B. Haque, B. Bhushan, G. Dhiman, Conceptualizing smart city applications: requirements, architecture, security issues, and emerging trends, *Expert Syst.* 39 (5) (2022) e12753.
- [48] C. Manchanda, N. Sharma, R. Rathi, B. Bhushan, M. Grover, Neoteric security and privacy sanctuary technologies in smart cities, in: 2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CSNT, Gwalior, India, 2020, pp. 236e241, <https://doi.org/10.1109/CSNT48778.2020.9115780>.
- [49] R. Register, *Ecocity Berkeley: Building Cities for a Healthy Future*, North Atlantic Books, 1987.
- [50] S.E. Bibri, Data-driven smart sustainable cities of the future: new conceptions of and approaches to the spatial scaling of urban form, *Future Cities Environ.* 7 (1) (2021) 4, <https://doi.org/10.5334/fce.120>.
- [51] M. De Jong, S. Joss, D. Schraven, C. Zhan, M. Weijnen, Sustainable-smart-resilient low carbon-eco-knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization, *J. Clean. Prod.* 109 (2015) 25e38.
- [52] E. Rapoport, A.-L. Vernay, Defining the eco-city: a discursive approach, in: *Management and Innovation for a Sustainable Built Environment Conference, International Eco-Cities Initiative*, Amsterdam, Holland, 2011.
- [53] S.E. Bibri, J. Krogstie, Environmentally data-driven smart sustainable cities: applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism, *Energy Informat.* 3 (1) (2020) 29, <https://doi.org/10.1186/s42162-020-00130-8>.
- [54] F. Caprotti, Smart to green: smart eco-cities in the green economy, in: *The Routledge Companion to Smart Cities*, Routledge, 2020, s. 200e209.
- [55] M. Tan Mullins, A. Cheshmehzangi, S. Chien, L. Xie, Smart-eco Cities in China: Trends and City Profiles 2016, Exeter Üniversitesi, 2017.
- [56] P. Speth, T. Hawxwell, R. John, S. Li, E. Loefler, V. Riemer, S. Utkarsh, Smart-eco Almanya'daki Şehirler: Trends and City Profiles, University of Exeter Press, 2017.
- [57] S.E. Bibri, J. Krogstie, Sürdürülebilirlik için akıllı eko-şehir stratejileri ve çözümleri: Kraliyet Limanı, Stockholm ve Batı Limanı, Malmö, İsveç örnekleri, *Urban Sci.* 4 (2020) 11, <https://doi.org/10.3390/urbansci4010011>, 2020.
- [58] R. Ghosh, D. Sengupta, Akıllı kentsel metabolizma: büyük veri ve makine öğrenimi perspektifi, in: R. Bhadouria, S. Tripathi, P. Singh, P.K. Joshi, R. Singh (Eds.), *Urban Metabolism and Climate Change*, Springer, Cham, 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-29422-8_16.
- [59] S.E. Bibri, Akıllı sürdürülebilir şehirler için IoT ve büyük veri analitiği: etkinleştirici teknolojiler ve pratik uygulamalar, in: *Advances in the Leading Paradigms of Urbanism and Their Amalgamation: Compact Cities, EcoCities, and DataDriven Smart Cities*, 2020, pp. 191e226.
- [60] D. Poole, A. Macworth, R. Goebel, *Computational Intelligence: A Logical Approach*, Oxford University Press, New York, 1998.
- [61] S.J. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Pearson Education Limited, 2016.
- [62] A. Brabazon, M. O'Neill, S. McGarraghy, *Natural Computing Algorithms*, vol. 554, Springer, Berlin, 2015.
- [63] A. Kaplan, M. Haenlein, Siri, Siri, in my hand: who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence, *Bus. Horiz.* 62 (1) (2019) 15e25, <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.004>.
- [64] A. Martinez-Miranda, Aldea Emotions in human and artificial intelligence *Computers in Human Behavior* 21 (2) (2005) 323e341S.
- [65] M. Ghallab, D. Nau, P. Traverso, *Automated Planning and Acting*, Cambridge University Press, 2016.
- [66] S.M. Omohundro, *The Nature of Self-Improving Artificial Intelligence*, Singularity Summit, 2007, 2008.
- [67] Al-Sahaf, Y. Bi, Q. Chen, A. Lensen, Y. Mei, Y. Sun ve diğerleri, A survey on evolutionary machine learning, *J. Royal Soc. New Zealand* 49 (2) (2019) 205e228, <https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3256323>.
- [68] S.C. Pandey, G.C. Nandi, Convergence of knowledge, nature and computations: Bir inceleme, *Soft Comput.* 20 (1) (2016) 319e342.
- [69] N. Tyagi, B. Bhushan, Akıllı şehir uygulamalarında Doğal Dil İşlemenin (NLP) rolünün aydınlatılması: arka plan, motivasyon, son gelişmeler ve gelecekteki araştırma yönleri, *Wireless Pers. İletişim.* 130 (2023) 857e908, <https://doi.org/10.1007/s11277-023-10312-8>.
- [70] S. Baker, W. Xiang, Artificial intelligence of things for smarter healthcare: a survey of advancements, challenges, and opportunities, *IEEE Commun. Surv. Tutorials* (2023), <https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3256323>.
- [71] S.E. Bibri, Platform şehirçiliğinin sanal bir modeli olarak metaverse: AIoT, XReality, neurotech ve nanobiotech'i bir araya getirmesi ve bunların uygulamaları, zorlukları ve riskleri, *Smart Cities* 6 (3) (2023) 1345e1384, <https://doi.org/10.3390/smartcities6030065>.
- [72] Z. Ullah, F. Al-Turjman, L. Mostarda, R. Gagliardi, Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities, *Comput. Commun.* 154 (2020) 313e323.
- [73] C.G. Garcia, E.R. Nün' ez Valde' z, V. Garcia Diaz, B.C. Pelayo Garcia-Bustelo, J.M. Cueva Lovelle, Nesnelerin internetinde yapay zeka üzerine bir inceleme, *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.* 5 (2019).
- [74] T.S. Brisimi, T. Mela Chen, A. Olshevsky, I.C. Paschalidis, W. Shi, Federated learning of predictive models from federated electronic health records, *Int. J. Med. Informat.* 112 (Nisan 2018) 59e67.
- [75] F. Zhuang ve diğerleri, Transfer öğrenimi üzerine kapsamlı bir araştırma, *Proc. IEEE*, erken erişim, 7 Temmuz (2020) 2020, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3004555>.
- [76] Y.Q. Yao Wang, J.T. Kwok, L.M. Ni, Generalizing from a examples: a few-shot survey on few-shot learning, *ACM Comput. Surv.* 53 (3) (2020) 1e34.
- [77] I.U. Din, M. Guizani, J.J.P.C. Rodrigues, S. Hassan, V.V. Korotaev, Machine learning in the internet of things: designed techniques for smart cities, *Future Generat. Hesaplama. Syst.* 100 (2019) 826e843.
- [78] A. Mosavi, M. Salimi, S. Faizollahzadeh Ardabili, T. Rabczuk, S. Shamsirband, A.R. Varkonyi-Koczy, State of the art of machine learning models in energy systems, *Syst. Rev.* 12 (7) (2019) 1301, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/7/1301>.
- [79] T.M. Mitchell, *Machine Learning*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997.
- [80] U. Khalil, O.A. Malik, M. Uddin, C.-L. Chen, Akıllı şehirlerdeki IoT özellikli akıllı cihazlar için blok zincirine karşı merkezi kimlik doğrulama mimarileri üzerine karşılaştırmalı bir analiz: kapsamlı bir inceleme, son gelişmeler ve gelecekteki araştırma yönleri, *Sensors* 22 (2022) 5168, <https://doi.org/10.3390/s22145168>.

- [81] Sita Rani, Raman Kumar, Aktüatörlerin bibliyometrik incelemesi: akıllı şehir çerçevesinde anahtar otomasyon teknolojisi, *Mater. Bugün: Proc.* 60 (3) (2022), <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.469>.
- [82] M.N. Akhter, S. Mekhilef, H. Mokhlis, N. Mohamed Shah, Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques, 13(7), 1009-1023, <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5649>, 2019.
- [83] U.K. Das, K.S. Tey, M. Seyedmahmoudian, S. Mekhilef, M.Y.I. Idris, W. Van Deventer, B. Horan, A. Stojcevski, Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: a review, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 81 (2018) 912e928, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.017>.
- [84] S. Khan, D. Paul, P. Momtahan, M. Aloqaily, Artificial intelligence framework for smart city microgrids: state of the art, challenges, and opportunities, in: 2018 Üçüncü Uluslararası Sis ve Mobil Uç Bilişim Konferansı (FMEC), 2018.
- [85] S.K. Jha, J. Bilalovic, A. Jha, N. Patel, H. Zhang, Renewable energy: present research and future scope of Artificial Intelligence, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 77 (2017) 297e317, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.018>.
- [86] D. Mhlanga, Artificial intelligence and machine learning for energy consumption and production in emerging markets: a review, *Energies* 16 (2023) 745, <https://doi.org/10.3390/en16020745>.
- [87] S. Su, X. Yan, K. Agbossou, R. Chahine, Y. Zong, Artificial intelligence for hydrogen-based hybrid renewable energy systems: a review with case study, *J. Phys. Conf.* 2208 (2022) 012013.
- [88] Alsadi, T. Khatib Fotovoltaik güç sistemleri optimizasyonu araştırma durumu: Kriterler, kısıtlar, modeller, teknikler ve yazılım araçları üzerine bir inceleme. *Appl. Sci.*, 8 (10) (2018), s. 1761.
- [89] E. Bertone, M.A. Burford, D.P. Hamilton, Fluorescence probes for real-time remote cyanobacteria monitoring: a review of challenges and opportunities, *Water Res.* 141 (2018) 152e162, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.001>.
- [90] O. Oyeboode, D. Stretch, Neural network modeling of hydrological systems: bir Uygulama teknikleri üzerine inceleme, *Nat. Res. Model.* 32 (1) (2019) e12189.
- [91] C. Shen, A transdisciplinary review of deep learning research and its relevance for water resources scientists, *Water Resour. Res.* 54 (11) (2018) 8558e8593, <https://doi.org/10.1029/2018WR022643>.
- [92] H. Tyralis, G. Papacharalampous, A. Langousis, A brief review of random forests for water scientists and practitioners and their recent history in water resources, 11(5), 910, <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/5/910>, 2019.
- [93] Sakti Prajna Mahardhika, Okkie Putriani, konuşlandırılması ve kullanımı Su kaynakları ve su yönetiminde Zekanın (AI) , IOP Conf. Ser.Yapay Earth Environ. Sci. 1195 (2023) 012056.
- [94] B. Fang, J. Yu, Z. Chen, A.I. Osman, M. Farhali, I. Ihara, et al., Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review, *Environ. Chem. Lett.* (2023), <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>.
- [95] I. Nasir, G.A. Aziz Al-Talib, Yapay zeka teknikleri kullanılarak atık sınıflandırması: literatür taraması, *Technium: Roman. J. Appl. Sci. Technol.* 5 (2023) 49e59, <https://doi.org/10.47577/technium.v5i.8345>.
- [96] Adnane Mounadel, Hamid Ech-Cheikh, Saa'd Lissane Elhaq, Rachid, Ahmed, Sadik Mohamed, Abdellouai Bilal, Application of artificial intelligence techniques in municipal solid waste management: a systematic literature review, *Environ. Technol. Rev.* 12 (1) (2023) 316e336, <https://doi.org/10.1080/21622515.2023.2205027>.
- [97] S. Salcedo-Sanz, L. Cuadra, M.J.A. Vermeij, Mercan resifleriyle ilgili uygulamalarda Hesaplama Intel- ligenç tekniklerinin gözden geçirilmesi, *Ecol. Inf.* 32 (2016) 107e123, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.01.008>.
- [98] T. Toivonen, V. Heikinheimo, C. Fink, A. Hausmann, T. Hiipala, O., rv, et al, Jæ Koruma bilimi için sosyal medya verileri: metodolojik bir genel bakış, *Biol. Conserv.* 233 (2019) 298e315.
- [99] E.K. Nti, S.J. Cobbina, E.E. Attafuah, E. Opoku, M.A. Gyan, çevresel Yapay zeka kullanarak yönetiminde : sistematik bir inceleme, *Sust. Fut. 4* biyoçeşitlilik, enerji, ulaşım ve su sürdürülebilirlik teknolojileri(2022) 100068.
- [100] R.L. Abduljabbar, H. Dia, S. Liyanage, S.A. Bagloee, Ulaşımdaya yapay zeka uygulamaları: genel bir bakış, *Sustainability* 11 (1) (2019) 189, <https://doi.org/10.3390/su11010189>.
- [101] S. Liyanage, H. Dia, R. Abduljabbar, S.A. Bagloee, Flexible mobility on-demand: an environmental scan, *Sustainability* 11 (5) (2019) 1262.
- [102] W.J. Raseman, J.R. Kasprzyk, F.L. Rosario-Ortiz, J.R. Stewart, B. Livneh, Emerging investigators series: a critical review of decision support systems for water treatment: making the case for incorporating climate change and climate extremes, *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 3 (1) (2017) 18e36.
- [103] T.-H. Yang, W.-C. Liu, Su kirliliği için risk azaltma stratejilerine genel bir bakış. floods and droughts, *Sustainability* 12 (7) (2020) 2687.
- [104] L. Chen, Z. Chen, Y. Zhang, vd., İklim değişikliği için yapay zeka tabanlı çözümler: bir inceleme, *Environ. Chem. Lett.* (2023), <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01617-y>.
- [105] L. Chen, Z. Chen, Y. Zhang, et al., İklim değişikliği için yapay zeka tabanlı çözümler: bir inceleme, *Environ. Chem. Lett.* (2023), <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01617-y>.
- [106] Z. Allam, A.Z. Dhunny, On big data, artificial intelligence and smart cities, *Cities* 89 (2019) 80e91.
- [107] P.J. Navarathna, V.P. Malagi, Artificial Intelligence in Smart City Analysis International Conference on Smart Systems Inventive Technology, ICSSIT, 2018, pp. 44e47, 2018, <https://doi.org/10.1109/ICSSIT.2018.8748476>.
- [108] S.C. Mukhopadhyay, S.K.S. Tyagi, N.K. Suryadevara ve diğerleri, Yeni nesil IoT uygulamaları için zeka tabanlı sensörler: bir inceleme,yapay IEEE Sensor. J. 21 (2021) 24920e24932.
- [109] A. Dresch, D.P. Lacerda, J.A.V. Antunes Jr., Tasarım Bilimi Araştırması: A Method for Science and Technology Advancement, Springer International Publishing, Heidelberg, 2015.
- [110] S. Seuring, S. Gold, Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management, *Supply Chain Manag.* 17 (5) (2012) 544e555, <https://doi.org/10.1108/13598541211258609>.
- [111] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D.G. Altman, P.G. The, Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement, *PLoS Med.* 6 (7) (2009) e1000097, <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- [112] Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M., Akl E.A., Brennan S.E., Chou R., Glanville J., Grimshaw J.M., Hro bjartsson A., Lalu M.M., Li T., Loder E.W., Mayo-Wilson E., McDonald S. ve diğerleri (2021) PRISMA 2020 bildirimi: sistematik incelemelerin raporlanması için güncellenmiş bir kılavuz. *BMJ* 372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- [113] G. Talan, G.D. Sharma, Doing well by doing good: a systematic review and research agenda for sustainable investment, *Sustainability* 11 (2) (2019).
- [114] D. Gough, S. Oliver, J. Thomas, An Introduction to Systematic Reviews, SAGE Publications, 2017.
- [115] H.M. Cooper, Research Synthesis and Meta-Analysis: A Step-by-step Approach, Sage Publications, 2017.
- [116] M. Dixon-Woods, S. Agarwal, D. Jones, B. Young, A. Sutton, sentezlenmesiNitel ve nicel kanıtların : Olası yöntemler üzerine bir inceleme, *J. Health Serv. Res. Policy* 10 (1) (2005) 45e53.
- [117] J. Popay, H. Roberts, A. Sowden, M. Petticrew, L. Arai, M. Rodgers ve diğerleri, Sistematik İncelemelerde Anlatı Sentezinin Yürütülmesine İlişkin Kılavuz. A Product from the ESRC Methods Programme, Lancaster University, 2006.
- [118] Karolina Lisy, Kylie Porritt, Narrative synthesis: considerations and challenges, *Int. J. Evid. Base. Healthc.* 14 (4) (Aralık 2016) 201, <https://doi.org/10.1097/01.XEB.0000511348.97198.8c>.
- [119] H. Chourabi, T. Nam, S. Walker, J.R. Gil-Garcia, S. Mellouli, K. Nahon, T.A. Pardo, H.J. Scholl, Understanding smart cities: an integrative framework, in: 45th Hawaii International Conference on System Sciences, 2012, <https://doi.org/10.1109/hicss.2012.615>.
- [120] L.M. Correia, K. WuenstelSmart Cities Applications and Requirements, [White Paper] (Beyaz Kitap, Sayı. Net/Works, 2011.
- [121] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, The internet of things: a survey, *Comput. Network.* 54 (15) (2010) 2787e2805, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- [122] R. Tiwari, R. Cervero, L. Schipper, Driving CO2 reduction by integrating transport and urban design strategies, *Cities* 28 (5) (2011) 394e405, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.05.005>.
- [123] A. Caragliu, Smart Cities in Europe 3 Rd Central European Conference in Regional Science-CERS, 7-9 October, 2009, Ko'sice, Slovak Republic, 2009.
- [124] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanovic, E. Meijers, Akıllı Şehirler: Ranking of European Medium-Sized Cities, Centre of Regional Science, Viyana Teknoloji Üniversitesi, Viyana, Avusturya, 2007. Çevrimiçi olarak mevcuttur: http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf.
- [125] D. Toppeta, Akıllı Şehir Vizyonu: How Innovation and ICT Can Build Smart, "livable", Sustainable Cities, vol. 5, The innovation knowledge foundation, 2010, pp. 1e9.
- [126] M. Fujii, T. Fujita, X. Chen ve diğerleri, Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society, *Resour. Conserv. Recycl.* 63 (2012) 1e8.
- [127] V. Sempere-Paya , S. Santonja-Climent, Entegre sensör ve yönetim kentsel atık su şebekeleri için sistem ve kritik durumların önlenmesi, *Comput. Çevre. Urban Syst.* 36 (2012) 65e80.
- [128] M. Batty, K.W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis, Y. Portugali, Geleceğin akıllı şehirleri, *Eur. Phys. J. Spec. Top.* 214 (1) (2012) 481e518, <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>.
- [129] K. Su, J. Li, H. Fu, Akıllı şehir ve uygulamaları, in: Uluslararası Konferansı Elektronik, İletişim ve Kontrol (ICECC), IEEE (2011), 2011, pp. 1028e1031.
- [130] E. Al Nuaimi, H. Al Neyadi, N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, Applications of big data to smart cities, *J. Internet Services Appl.* 6 (1) (2015) 25, <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>.
- [131] L.M.A. Bettencourt, Şehirlerde Büyük Verinin Kullanım Alanları, Santa Fe Enstitüsü, 2014.
- [132] L. Deren, C. Jianjun, Y. Yao, Big data in smart cities, *Sci. China Inf. Sci.* 58 (2015) 1e12.
- [133] H.M. Kim, S.S. Han, Şehir profili: Seoul, *Cities* 29 (2) (2012) 142e154.
- [134] Z. Ji, I. Ganchev, M. O'Droma, L. Zhao, X. Zhang, tabanlı bulut tabanlı bir otopark IoT akıllı şehirler için ara yazılımı: tasarım ve uygulama, *Sensors* 14 (12) (2014) 2237e22393.
- [135] D. Kyriazis, T. Varvarigou, D. White, A. Rossi, J. Cooper, Sustainable smart city IoT applications: heat and electricity management & Eco-conscious cruise control for public transportation, in: 2013 IEEE 14th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoW-MoM), IEEE, 2013, pp. 1e5.
- [136] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, Internet of things for smart cities, *IEEE Internet Things J.* 1 (1) (2014) 22e32.
- [137] I.A.T. Hashem, V. Chang, N.B. Anuar, K. Adewole, I. Yaqoob, A. Gani, E. Ahmed,

- H. Chiroma, Akıllı şehirde büyük verinin rolü, *Int. J. Inf. Manag.* 36 (5) (2016) 748e758.
- [138] K. Nikitin, N. Lantsev, A. Nugaev, A. Yakavleva, Data-driven cities: from concept to applied solutions, PricewaterhouseCoopers (PWC) (2016).
- [139] M.M. Rathore, A. Ahmad, A. Paul, S. Rho, kentsel planlama ve akıllı kurma, Büyük Veri analitiği kullanarak Nesnelerin İnternetine dayalı şehirler *Comput. Network.* 101 (2016) 63e80.
- [140] A.J. Sinaeapourfard, X.M.-B. Garcia, E. Marín-Tordera, J. Cirera, G. Grau, F. Casausakıllı şehir sensörleri veri mevcut ve gelecekteki tahmin , Barcelona şehrinde üretimin verilerinin edilmesi, in: *Proceedings of Conference: the 15th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop*, 2016.
- [141] S. Ameer, M.A. Shah, Akıllı şehir planlaması için büyük veri analitiğinden yararlanma, in: 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), IEEE, 2018, Ağustos, s. 1e5.
- [142] B. Cheng, G. Solmaz, F. Cirillo, E. Kovacs, K. Terasawa, A. Kitazawa, FogFlow: akıllı şehirler için bulut ve kenarlar üzerindeki IoT hizmetlerinin kolay programlanması, *IEEE Internet Things J.* 5 (2) (2018) 696e707.
- [143] C. Perera, Y. Qin, J.C. Estrella, S. Reiff-Marganiec, A.V. Vasilakos, Fog computing for sustainable smart cities: a survey, *ACM Comput. Surv.* 50 (3) (2017) 1e43.
- [144] M.M. Rathore, A. Paul, W.H. Hong, H. Seo, I. Awan, S. Saeed, Exploiting IoT and big data analytics: defining smart digital city using real-time urban data, *Sustain. Cities Soc.* 40 (2018) 600e610.
- [145] B.N. Silva, M. Khan, K. Han, Toward sustainable smart cities: a review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities, *Sustain. Cities Soc.* 38 (2018) 697e713, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>.
- [146] R. Kitchin, The ethics of smart cities and urban science, *Phil. Trans. Math. Phys. Eng. Sci.* 374 (2083) (2016) 1e15, <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115>.
- [147] M. Hoşjer, J. Wangel, Akıllı sürdürülebilir şehirler: tanım ve zorluklar, *ICT sürdürülebilirlik için yenilikler, Adv. Intell. Syst. Comput.* (2015) 333e349.
- [148] A. Kramers, M. Hoşjer, N. Loévehagen, J. Wangel, Smart sustainable cities e exploring ICT solutions for reduced energy use in cities, *Environ. Model. Software* 56 (2014) 52e62, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.019>.
- [149] H. Shahrokni, F. Levihn, N. Brandt, Stockholm'un bina stokundaki enerji verimliliği potansiyelinin büyük sayıç veri analizi, *Energy Build.* 78 (2014) 153e164, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.017>.
- [150] S. Shahrokni, H. Bram Van der, L. David, B. Nils, Stockholm'de verimli atık yönetimine yönelik büyük veri CBS analitiği, in: *Proceedings of the 2014 Conference ICT for Sustainability*, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.jinfomgt.2016.05.002>.
- [151] H. Shahrokni, D. Iazarevic, N. brandt, Akıllı kentsel metabolizma: bir şehrin ve akışlarının vatandaşlarının , *J. Urban Technol.* 22 (1) (2015) enerji malzeme gerçek zamanlı olarak anlaşılmasına doğru65e86.
- [152] F. Caprotti, R. Cowley, A. Flynn, S. Joss, L. Yu, Birleşik Krallık'ta Akıllı-Eko Şehirler: Trends and CityProfiles 2016, Exeter: Exeter Üniversitesi (SMART-ECO Projesi), 2016.
- [153] O. Pasichnyi, F. Levihn, H. Shahrokni, J. Wallin, O. Kordasveriye dayalı stra-, Bina enerji iyileştirmelerinin tejk planlaması: Stockholm örneği, *J. Clean. Prod.* 233 (2019) 546e560.
- [154] N. Noori, T. Hoppe, M. de JongClassifying pathways for smart city devel-, , Barcelona, Dubai, and Abu Dhabi, *Sustainability* 12 (10) (2020) 4030opment: comparing design, governance and implementation in Amsterdam.
- [155] A. Kramers, J. WangelM., , jer, Governing the smart sustainable city: theHoş Stockholm Kraliyet Limanı örneği, *ICT Sustain.* 46 (2016) 99e108, 2016.
- [156] O. Pasichnyi, J. Wallin, F. Levihn, H. Shahrokni, O. Kordas, Energy perfor- mance certificatesdnew opportunities for data-enabled urban energy policy instruments? *Energy Pol.* 127 (2019) 486e499.
- [157] S.E. Bibri, Sürdürülebilir kentsel planlamada benzeri görülmemiş yenilikler: yeni analitik çözümler ve veriyeye dayalı karar verme süreçleri, in: *Smart Sustainable Cities of the Future. The Urban Book Series*, Springer, Cham, 2018, https://doi.org/10.1007/978-3-319-73981-6_5.
- [158] A.L. Balogun, D. Marks, R. Sharma, H. Shekhar, C. Balmes, D. Maheng, A. Arshad, P. Salehi, için bir araç olarak potansiyellerinin değerlendirilmesiKent merkezlerinde iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir kalkınma dijitalleşmenin , *Sustain. Cities Soc.* 53 (2020) 101888.
- [159] Y.K. Dwivedi, L. Hughes, A.K. Kar, A.M. Baabdullah, P. Grover, R. Abbas, ve diğerleri, Climate change and COP26: are digital technologies and information man- agement part of the problem or the solution? Bir editöryal yansıma ve çağrı, *Int. J. Inf. Manag.* 63 (2022) 102456.
- [160] J. Falk, O. Gaffney, A.K. Bhowmik, P. Bergmark, . Galaz, N. Gaskell ve diğerleri,V Exponential Roadmap V 1.5. 1, Future Earth, Stockholm, İsveç, 2020.
- [161] M. Demirci, F. Ünec, , S. Koç rü, Yeraltı suyu seviyesinin yapay yeraltı suyu kullanılarak modellenmesi intelligence techniques: a case study of Reyhanlı region in Turkey, *Appl. Ecol. Environ. Res.* 17 (2019) 2651e2663, https://doi.org/10.15666/aeer/1702_26512663.
- [162] A.K. Poul, M. Shourian, H. Ebrahimi, A Comparative Study of MLR, KNN, ANN, , and ANFIS Models with Wavelet Transform in Monthly Stream Flow Pre- dictionWater Resources Management, 2019, pp. 1e17.
- [163] M. Al-Mukhtar, F. Al-Yaseen, Veriye dayalı modeller kullanarak su kalitesi parametrelerinin modellenmesi, Irak'ın güneyindeki Abu-Ziriq Bataklığı örneği, *Hydrology* 6 (1) (2019) 24, <https://doi.org/10.3390/hydrology6010024>.
- [164] M. Najafzadeh, A. Ghaemi, Doğal akarsularda beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve kimyasal oksijen ihtiyacının makine kullanılarak tahmin edilmesi öğrenme yöntemleri, *Environ. Monit. Assess.* 191 (6) (2019) 380, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7446-8>.
- [165] M.H. Calp, hibrit bir Bölgesel yağış tahmini için anfis-ga yaklaşımının , *J. Sci.* 32 (2019) 145e162.
- [166] L. Ferreira, A. Duarte, F. Cunha, E. Fernandes-Filho, Sınırlı hava durumu verileriyle günlük referans evapotranspirasyon modellemesine uygulanan çok değişkenli uyarlanabilir regresyon spline'ları (MARS), *Acta Sci. Agron.* 41 (2019), <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39880>.
- [167] I. Rojek, J. Studzinski, Detection and localization of water leaks in water nets supported by an ICT system with artificial intelligence methods as a way forward for smart cities, *Sustainability* vol. 11 (2019) 518, 2.
- [168] J.A. Gonz´alez Ordiano, S. Waczowicz, V. Hagenmeyer, R. Mikut, Energy tahmin araçları ve hizmetleri, *WIREs Data Min. Knowledge Discovery* 8 (2) (2018) e1235, <https://doi.org/10.1002/widm.1235>.
- [169] Y.L. Merizalde, O. Hem´andez-Callejo, V. Duque-Perez, Alonso-Go´mez main- tenance models applied to wind turbines A comprehensive overview, *En- ergies* 12 (2) (2019) 225.
- [170] H. Sellak, B. Ouhbi, B. Frikh, I. Palomares, Toward next-generation energy planning decision-making: an expert-based framework for intelligent deci- sion support, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 80 (2017) 1544e1577, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.013>.
- [171] F. Alrukaibi, R. Alsaleh, T. Sayed, Applying machine learning and statistical approaches for travel time estimation in partial network coverage, 11(14), 3822, <https://doi.org/10.3390/su11143822>, 2019.
- [172] T. Zhou, G. Han, X. Xu, C. Han, Y. Huang, J. Qin, A learning-based multimodel integrated framework for dynamic traffic flow forecasting, *Neural Process. Lett.* 49 (1) (2019) 407e430, <https://doi.org/10.1007/s11063-018-9804-x>.
- [173] N. Abdelkafi, K. Tçauscher, Bir sistemden sürdürülebilirlik için iş modelleri dinamikleri perspektifi, *Organ. Environ.* 29 (1) (2016) 74e96.
- [174] Flah Aymen, Mahmoudi Chokri, Sbta Lassaad, A novel energy optimization approach for electrical vehicles in a smart city, *Energies* 12 (5) (2019) 929, <https://doi.org/10.20944/preprints201901.0214.v1>.
- [175] K.J. Bagstad, J.M. Reed, D.J. Semmens, B.C. Sherrouse, A. Troy, Ekosistem hizmeti değerlendirmeleri için biyo-fiziksel modeller ve kamu tercihleri arasında bağlantı kurma: Güney Rocky Dağları için bir vaka çalışması, *Reg. Environ. Change* 16 (7) (2016) 2005e2018, <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0756-7>.
- [176] C. Rodríguez-Soto, A. Velazquez, O. Monroy-Vilchis, P. Lemes, R. Loyola, Joint ecological, geographical and cultural approach to identify territories of op- portunity for large vertebrates conservation in Mexico, *Biodivers. Conserv.* 26 (8) (2017) 1899e1918.
- [177] K. Sharps, D. Masante, A. Thomas, B. Jackson, J. Redhead, L. May, H. Prosser, B. Cosby, B. Emmett, L. Jones, Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment, *Sci. Total Environ.* 584e585 (2017) 118e130, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.160>.
- [178] S. Willcock, J. Martinez-Lo´pez, D.A.P. Hoofman, K.J. Bagstad, S. Balbi, A. Marzo, et al., Machine learning for ecosystem services, *Ecosyst. Serv.* 33 (2018) 165e174, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.004>.
- [179] A.-b. Zhang, M.-d. Hao, C.-q. Yang, Z.-y. Shi, BarcodingR: an integrated r package for species identification using DNA barcodes, 8(5), 627-634, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12682>, 2017.
- [180] A.D. Mehr, V. Nourani, E. Kahya, B. Hrnjica, A.M. Sattar, Z.M. Yaseen, Genetic programming in water resources engineering: a state-of-the-art review, *J. Hydrol.* 566 (2018) 643e667.
- [181] B.B. Sahoo, R. Jha, A. Singh, D. Kumar, destek vektör uygulaması, Düşük modellenmesi için regresyonu akış zaman serilerinin KSCJE J. Civ. Eng. 23 (2) (2019) 923e934.
- [182] N. Valizadeh, M. Mirzaei, M.F. Allawi, H.A. Afan, N.S. Mohd, A. Hussain, A. El- Shafie, Ölçülmemiş istasyonlarda akış tahmini için yapay zeka ve jeo-istatistiksel modeller: son teknoloji, *Nat. Hazards* 86 (3) (2017) 1377e1392, <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2740-7>.
- [183] S. Alsadi, T. Khatib, Photovoltaic power systems optimization research sta- tus: a review of criteria, *Constr. Models Techn. Software Tools* 8 (10) (2018) 1761, <https://doi.org/10.3390/app8101761>.
- [184] S.M. Dawoud, X. Lin, M.I. Okba, Hibrit yenilenebilir mikro şebeke optimizasyon teknikleri: bir inceleme, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 82 (2018) 2039e2052, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.007>.
- [185] A. Youssef, M. El-Telbany, A. Zekry, Foto voltaik sistem tasarımı ve kontrolünde yapay zekanın rolü: bir inceleme, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78 (2017) 72e79, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.046>.
- [186] Z. Wang, R.S. Srinivasan, Yapay zeka tabanlı bina enerji kullanımı tahmini üzerine bir inceleme: tekli ve toplu tahmin modellerinin yeteneklerinin karşılaştırılması, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 75 (2017) 796e808, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.079>.
- [187] W. Jiang, L. Zhang, Geospatial data to images: a deep-learning framework for traffic forecasting, *Tsinghua Sci. Technol.* 24 (1) (2019) 52e64, <https://doi.org/10.26599/TST.2018.9010033>.
- [188] L.V. Kalmykov, V.L. Kalmykov, Biyoçeşitlilik paradoksuna mantıksal deterministik hücresel otomatlarla bir çözüm, *Acta Biotheor.* 63 (2) (2015) 203e221, <https://doi.org/10.1007/s10441-015-9257-9>.
- [189] V. Ochoa, N. Urbina-Cardona, Ekosistem mekânsal olarak modellenmesi için araçlarhizmetlerinin : yayın eğilimleri, kavramsal , yansımalar ve gelecekteki zorluklarEcosyst. Serv. 26 (2017) 155e169.
- [190] B.D. Bowes, J.M. Sadler, M.M. Morsy, M. Behl, J.L. Goodall, Sele eğilimli bir kıyı kentinde yeraltı suyu tablasının uzun ve kısa vadeli

- memory and recurrent neural networks, 11(5), 1098, <https://doi.org/10.3390/w11051098>, 2019.
- [191] D.J. Jeon, S.J. Ki, Y. Cha, Y. Park, J.H. Kim, İklim değişikliği senaryolarına göre bir tarımsal su havzası için en iyi yönetim uygulamalarının performanslarının değerlendirilmesinde yeni bir metodoloji: deterministik ve karar destek modellerinin hibrit kullanımı, *Ecol. Eng.* 119 (2018) 73e83, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.006>.
- [192] A. Ullah, N. Salehnia, S. Kolsoumi, A. Ahmad, T. Khaliq, İstatistiksel ölçek küçültme yaklaşımı kullanılarak etkili iklim değişikliği göstergelerinin tahmini ve Pakistan, Pencap'ta Genetik Algoritma yoluyla inci darı (*Pennisetum glaucum* L.) verimi üzerindeki etki değerlendirmesi, *Ecol. Indic.* 90 (2018) 569e576, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.053>.
- [193] M. Skiba, M. Mroczynska, A. Bazań-Krzywoszan, Modeling the eco-sinir ağırları ile şehir kalkınma politikası ve artan enerji etkinliği arasındaki nomik bağımlılık. Vaka çalışması: Zielona Gó kasabası'na, *Appl. Energy* 188 (2017) 356e366, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.006>.
- [194] G.S. Atsalakis, Using intelligence to forecast carbon prices, *computational Appl. Soft Comput.* 43 (2016) 107e116.
- [195] M. Raji, A. Dashti, P. Amani, A.H. Mohammadi, Efficient estimation of CO₂ solubility in aqueous salt solutions, *J. Mol. Liq.* 283 (2019) 804e815.
- [196] T.H. Woo, Nöro-bulanık algoritma kullanarak karbonsuz nükleer enerjiye kıyasla sera gazı etkileri için küresel ısınma analizi, 17(2), 219- 233, <https://doi.org/10.1504/ijgw.2019.097862>, 2019.
- [197] M. Mokhtarzad, F. Eskandari, N. Jamshidi Vanjani, A. Arabasadi, YSA, ANFIS ve SVM ile kuraklık tahmini ve modellerin karşılaştırılması, *Environ. Earth Sci.* 76 (21) (2017) 729, <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7064-0>.
- [198] R. Shen, A. Huang, B. Li, J. Guo, Construction of a drought monitoring model using deep learning based on multi-source remote sensing data, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 79 (2019) 48e57, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.006>.
- [199] A. Piasecki, J. Jurasz, J.F. Adamowski, Forecasting surface water-level fluctuations of a small glacial lake in Poland using a wavelet-based artificial intelligence method, *Acta Geophys.* 66 (5) (2018) 1093e1107.
- [200] T. Ise, Y. Oba, Forecasting climatic trends using neural networks: an experimental study using global historical data [original research], 6, 32, <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00032>, 2019.
- [201] Z. Yin, Q. Feng, L. Yang, R.C. Deo, X. Wen, J. Si, S. Xiao, Kuzey-Batı'daki dağlık bir iç su havzasında referans evapotranspirasyonu aşırı öğrenme makinesi ve destek vektör regresyonu ile gelecek projeksiyonu China, 9(11), 880, <https://doi.org/10.3390/w9110880>, 2017.
- [202] B. Choubin, M. Borji, A. Mosavi, F. Sajedi-Hosseini, V.P. Singh, S. Shamsirband, Snow avalanche hazard prediction using machine learning methods, *J. Hydrol.* 577 (2019) 123929, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123929>.
- [203] L. Ji, Z. Wang, M. Chen, S. Fan, Y. Wang, Z. Shen, AI teknikleri yüzey hava sıcaklığı tahminini ne kadar iyileştirebilir? AI challenger 2018 küresel hava tahmini yarışmasından da rapor, *J. Meteorol. Res.* 33 (5) (2019) 989e992, <https://doi.org/10.1007/s13351-019-9601-0>.
- [204] H. Lu, H. Li, T. Liu, Y. Fan, Y. Yuan, M. Xie, X. Qian, Yapay zeka modelleri ve fizikokimyasal indeksler kullanarak sucul ortamdaki ağır metal konsantrasyonlarının simülasyonu, *Sci. Total Environ.* 694 (2019) 133591, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133591>.
- [205] P. Wang, J. Yao, G. Wang, F. Hao, S. Shrestha, B. Xue, et al., Su kirliliği özelliklerinin belirlenmesi ve su kalitesi kirlenmelerinin kaynağının izlenmesi için yapay zeka teknolojisinin uygulanmasının araştırılması, *Sci. Total Environ.* 693 (2019) 133440, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.246>.
- [206] Y. Ampatzidis, L. De Bellis, A. Luvisi, iPathology: robotik uygulamalar ve bitki ve bitki hastalıklarının yönetimi, 9(6), 1010, <https://doi.org/10.3390/su9061010>, 2017.
- [207] J.F. De Paz, J. Bajo, S. Rodríguez, G. Villarrubia, J.M. Corchado, Intelligent system for lighting control in smart cities, *Inf. Sci.* 372 (2016) 241e255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.045>.
- [208] S. Mathur, U.S. Modani, Akıllı Şehir - Hindistan'da yapay zeka için bir geçit, 5-6 Mart 2016, in: 2016 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCECS), 2016, 2016, pp. 1e3, <https://doi.org/10.1109/SCECS.2016.7509291>.
- [209] G. Sonetti, E. Naboni, M. Brown, Exploring the potentials of ICT tools for human-centric regenerative design, *Sustainability* 10 (4) (2018) 1217, <https://doi.org/10.3390/su10041217>.
- [210] J. Vázquez-Canteli, S. Ulyanin, J. Kéampf, Z. Nagy, Fusing TensorFlow with akıllı şehirlerde akıllı enerji yönetimi için bina enerji simülasyonu, *Sustain. Cities Soc.* 45 (2018) 243e257, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.021>.
- [211] E.A. Barnes, J.W. Hurrell, I. Ebert-Uphoff, C. Anderson, D. Anderson, Zorlanmış iklim modellerini yapay zeka merceğinden görüntüleme, *Geophys. Res. Lett.* 46 (22) (2019) 13389e13398, <https://doi.org/10.1029/2019GL084944>.
- [212] C. Huntingford, E.S. Jeffers, M.B. Bonsall, H.M. Christensen, T. Lees, H. Yang, Machine learning and artificial intelligence to help climate change research and preparedness, *Environ. Res. Lett.* 14 (12) (2019) 124007.
- [213] P. Chamoso, J.F. De Paz, S. Rodríguez, J. Bajo, in: H. Lindgren, J.F. De Paz, P. Novais, A. Fernánde z-Caballero, H (Eds.), *Smart Cities Simulation Environment for Intelligent Algorithms Evaluation*, 2016.
- [214] K. Muhammad, J. Lloret, S.W. Baik, Akıllı ve enerji verimli veri yeşil akıllı şehirlerde önceliklendirme: mevcut zorluklar ve gelecekteki yöner, *IEEE Commun. Mag.* 57 (2) (2019) 60e65, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1800371>.
- [215] H. Yu, Z. Yang, R. Sinnott, Blockchain teknolojilerinden yararlanan akıllı şehir ortamları için merkezi olmayan büyük veri denetimi, *IEEE Access* 7 (2018) 6288e6296, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2888940>.
- [216] K. Guo, Y. Lu, H. Gao, R. Cao, Artificial intelligence-based semantic internet of things in a user-centric smart city, *Sensors* 18 (5) (2018), <https://doi.org/10.3390/s18051341>.
- [217] J.-h. Park, M. Salim, J. Jo, J. Sicato, S. Rathore, J. Park, CIoT-Net: a scalable cognitive IoT based smart city network architecture, *Human-centric Comput. Info. Sci.* 9 (2019) 29.
- [218] S. Belkhala, S. Benhadou, K. Boukhdar, H. Medromi, Smart parking architecture based on multi agent system, *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* 10 (2019) 378e382, <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100349>.
- [219] I. Antonopoulos, V. Robu, B. Couraud, et al., Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: a systematic review, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 130 (2020) 109899.
- [220] J. Zhang, K.B. Letaief, Mobile edge intelligence and computing for the internet of vehicles, *Proc. IEEE* 108 (2019) 246e261.
- [221] M.K. AlOmar, M.M. Hameed, M.A. AlSaadi, Yüzey ozon gazı konsantrasyonunun çok saat önceden tahmini: sağlam yapay zeka yaklaşımı, *Atmos. Pollut. Res.* 11 (9) (2020) 1572e1587, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.06.024>.
- [222] M. Schultz, Artificial intelligence qualityintelligence-for-air-quality/18384for air , Project Repository J. 12 (2022) 70e73. <https://www.europeandisemination.eu/article/artificial->
- [223] D. Schürholz, S. Kubler, A. Zaslavsky, Artificial intelligence-enabled context-aware air quality prediction for smart cities, *J. Clean. Prod.* 271 (2020) 121941, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121941>.
- [224] V. Sowmya, S. Raghipani, Yapay zekaya dayalı hava kalitesi izleme sistemi, in: P. Kumar Jain, Y. Nath Singh, R.P. Gollapalli, S.P. Singh (Eds.), *Advances in Signal Processing and Communication Engineering*, Springer, Singapore, 2022, s. 26, https://doi.org/10.1007/978-981-19-5550-1_26.
- [225] Z. Liu, Z. Yang, M. Osmani, Sağlık ve refahın geliştirilmesinde sürdürülebilir yapı çevre, sanat terapisi ve terapötik tasarım arasındaki ilişki, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 18 (20) (2021) 10906. adresinden alındı, <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/20/10906>.
- [226] S.S. Amiri, S. Mottahedi, E.R. Lee, S. Hoque, Peeking inside the black-box: explainable machine learning applied to household transportation energy consumption, *Comput. Çevre. Urban Syst.* 88 (2021) 101647.
- [227] G. Aschwanden, J.S. Wijnands, J. Thompson, K.A. Nice, H.F. Zhao, M. Stevenson, Learning to walk: modeling transportation mode choice distribution through neural networks, *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 48 (2021) 186e199.
- [228] X.M. Cheng, J.Y. Wang, H.F. Li, Y. Zhang, L. Wu, Y. Liu, A method to evaluate task-specific importance of spatio-temporal units based on explainable artificial intelligence, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 35 (2020) 10.
- [229] S. Fathi, R.S. Srinivasan, C.J. Kibert, R.L. Steiner, E. Demirezen, AI-based campus energy use prediction for assessing the effects of climate change, *Sustainability* 12 (2020) 3223.
- [230] Z.J. Yan, B. Li, Q.Q. Li, M. Yang, bir Yönlü yoğun kentsel için trafik gözetim sistemi , *J. Intell. Transp. Syst. verimlilikli erişim kontrol protokolu* 24 (2020) 237e253.
- [231] F.-J. Chang, L.-C. Chang, J.-F. Chen, Artificial intelligence techniques in hydrology and water resources management, *Water* 15 (10) (2023) 1846, <https://doi.org/10.3390/w15101846>.
- [232] P. Martínez-Santos, P. Renard, Mapping groundwater potential through an ensemble of big data, *Methods* 58 (4) (2020) 583e597, <https://doi.org/10.1111/gwat.12939>.
- [233] S.Y. Chen, H.Y. Kuo, C. Lee, Toplumu otomatik araçlara hazırlamak: ortaya çıkan yönetişimöneyi ve aciliyetine ilişkin algılar , düzenlemeler ve daha geniş etkilerin Sürdürülebilirlik 12 (2020) 7844, 2020.
- [234] F. Granata, R. Gargano, G. de Marinis, Sulak alanlardaki gerçek evapotranspirasyonu değerlendirmek için yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, *Sci. Total Environ.* 703 (2020) 135653, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135653>.
- [235] A. Jahani, B. Rayegani, Forest landscape visual quality evaluation using artificial intelligence techniques as a decision support system, *Stoch. Environ. Res. Risk Değerlendirmesi.* 34 (10) (2020) 1473e1486, <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01832-x>.
- [236] J.A.C. Nunes, I. Cruz, A. Nunes, H.T. Pinheiro, Speeding up coral reef conservation with AI-aided automated image analysis, *Nat. Mach. Intell.* 2 (6) (2020), 292-292.
- [237] A. Santangeli, Y. Chen, E. Kluen, R. Chirumamilla, J. Tiainen, J. Loehr, Tarım arazilerindeki kuş yuvalarını bulmak için yapay zeka ile drone kaynaklı termal görüntüleme, *Sci. Rep.* 10 (1) (2020) 10993, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67898-3>.
- [238] D. Silvestro, S. Goria, T. Sterner, vd., Yapay zeka yoluyla biyoçeşitliliğin korunmasını iyileştirmek, *Nat. Sustain.* 5 (2022) 415e424, <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00851-6>.
- [239] Ivanova, Stoyanka M. Ivanova, Evelina Medarov, Martin, için kılavuz, İklim etkisinin değişikliğinin ulaşım altyapısı üzerindeki in: Konferans: VIII International Sci- araştırılmasında yapay zeka uygulamaları entite Conference "Industry 4.0", Summer Session, 28 June - 01 July 2023, vol. 1, 2023, pp. 29e33. At: Varna.

- [240] S. Khalilpourazari, S.H.R. Pasandideh, Designing emergency flood evacuation plans using robust optimization and artificial intelligence, *J. Combin. Optim.* 41 (3) (2021) 640e677, <https://doi.org/10.1007/s10878-021-00699-0>.
- [241] D. Rolnick, P.L. Donti, L.H. Kaack, K. Kochanski, A. Lacoste, K. Sankaran, A.S. Ross, N. Milojevic-Dupont, N. Jaques, A. Waldman-Brown, Tackling climate change with machine learning, *ACM Comput. Surv.* 55 (2) (2022) 1e96.
- [242] A.L. Stein, Artificial intelligence and climate change, *Yale J. Regul.* 37 (2020) 890.
- [243] A. Buis, Study confirms climate models are getting future warming climate-models-are-getting-future-warming-projections-right/Google. pro- jections right, 2020, <https://climate.nasa.gov/news/2943/study-confirms- Scholar>, 2020. (Erişim tarihi 20 Ocak 2020).
- [244] T. Yiğitcanlar, K.C. Desouza, L. Butler, F. Roorkhosh, Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: insights from a sys- tematic review of the literature, *Energies* 13 (6) (2020) 1473.
- [245] M. Gueriau, F. Cugurullo, R. A. Acheampong ve I. Dusparic, "Shared Autonomous Mobility on Demand: A Learning-Based Approach and Its Performance in the Presence of Traffic Congestion," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 208-218, kış 2020, doi: 10.1109/ITS.2020.3014417.J.
- [246] F. Cugurullo, Urban artificial intelligence: from automation to autonomy in the smart city, *Front. Sürdürülebilir. Cities* 2 (2020) 38, <https://doi.org/10.3389/fcsc.2020.00038>.
- [247] R.A. Acheampong, F. Cugurullo Capturing behavioural determinants the measurement models to predict public transport, sharing and ownership the behind adoption autonomous vehicles: conceptual frameworks and of trends of self-driving cars, *Transport. Res. F Trafik Psikolojisi. Behav.* 62 (2019) 349e375.
- [248] F. Cugurullo, R.A. Acheampong, M. Gueriau, I. Dusparic, geçiş Otonom araçlara , şehirlerin yeniden tasarımı ve kentsel sürdürülebilirliğin geleceği- ability, *Urban Geogr.* 42 (6) (2021) 833e859.
- [249] J. Hawkins, K. Nurul Habib, Integrated models of land use and transportation for the autonomous vehicle revolution, *Transport Rev.* 39 (1) (2019) 66e83, <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1449033>.
- [250] T. Han, K. Muhammad, T. Hussain ve diğerleri, An efficient deep learning frame- work for intelligent energy management in IoT networks, *IEEE IoT J* 8 (2020) 3170e3179.
- [251] S. El Himer, M. Ouaisa, M. Ouaisa, Z. Boulouard, Artificial intelligence of things (AloT) for renewable energies systems, in: S. El Himer, M. Ouaisa, A.A.A. Emhemed, M. Ouaisa, Z. Boulouard (Eds.), Akıllı Yeşil Enerji Yönetimi için Nesnelerin Yapay Zekası. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 446, Springer, Cham, 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-031-04851-7_1.
- [252] A. Sleem, I. Elhenawy, Survey of artificial intelligence of things for smart buildings: a closer outlook, *J. Intell. Syst. Internet Things* 8 (2) (2023) 63e71, <https://doi.org/10.54216/JISIoT.080206>.
- [253] Q. Qiao, F. Tao, H. Wu, X. Yu, M. Zhang, Optimization of a capacitated vehicle routing problem for sustainable municipal solid waste collection management- ment using the PSO-TS algorithm, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 17 (6) (2020) 2163.
- [254] H.L. Vu, D. Bolingbroke, K.T.W. Ng, B. Fallah, Atık değerlendirilmesi özelliklerinin ve bunların kullanılarak CBS araç toplama rotası optimizasyonu üzerindeki etkileri, YSA atık tahminleri Waste Manag. 88 (2019) 118e130.
- [255] M. Akhtar, M.A. Hannan, R.A. Begum, H. Basri, E. Scavino, Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization, *Waste Manag.* 61 (2017) 117e128.
- [256] M. Mi, A. Dordevic A.K. Arsi , ç, Araç rotalama optimizasyonu en yakın komşu kullanarak kentsel bir ortamda algoritması ve genetik algoritma ortak atık: ortak atık araç rotalama optimizasyonukentsel alanlarda , in: 2017 Ninth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), IEEE, 2017, pp. 264e271.
- [257] M.A. Hannan, R.A. Begum, A.Q. Al-Shetwi, P.J. Ker, M.A. Al Mamun, A. Hussain, H. Basri, T.M.I. Mahlia, Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için maliyet tasarrufu ve emisyon azaltımını ilişkilendirmek için atık toplama rotası optimizasyon modeli, *Sustain. Cities Soc.* 62 (2020) 102393, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102393>.
- [258] G. Lampropoulos, K. Siakas, J. Viana, O. Reinhold, Artificial intelligence, blockchain, big data analytics, machine learning and data mining in tradi- tional CRM and Social CRM: a critical review, in: The 21st IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2022, pp. 504e510, <https://doi.org/10.1109/WI-IAT55865.2022.00080>. Niagara Şelalesi, Kanada.
- [259] A. Parmentola, A. Petrillo, I. Tutore, F. De Felice, Blok zinciri artırabilir çevresel sürdürülebilirliği mi? sistematik bir inceleme ve araştırma gündemiSürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDGs) perspektifinden , *Bus. Strat. Environ.* 31 (1) (2022) 194e217.
- [260] Z. Zheng, S. Xie, H.N. Dai, X. Chen, H. Wang, Blockchain challenges and op- portunities: a survey, *Int. J. Web Grid Serv.* 14 (4) (2018) 352, <https://doi.org/10.1504/ijwgs.2018.095647>.
- [261] D. Siakas, G. Lampropoulos, H. Rahanu, E. Georgiadou, K. Siakas, Sürdürülebilir ve döngüsel bir ekonomiye geçişi sağlayan yeni teknolojiler: 4R sürdürülebilirlik çerçevesi, içinde: M. Yılmaz, P. Clarke, A. Riel, R. Messnarz (Eds.), Sistem, Yazılım ve Hizmet Süreç İyileştirme. EuroSPI 2023. Communications in Computer and Information Science, vol. 1891, Springer, Cham, 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-42310-9_12.
- [262] S.-K. Kim, J.-H. Huh, BM sürdürülebilir kalkınma hedefleri için karbon ticareti blok zinciri, *Sürdürülebilirlik* 12 (10) (2020) 4021, <https://doi.org/10.3390/su12104021>.
- [263] Y. Miao, M. Zhou, A. Ghoneim, Blockchain ve AI tabanlı doğal gaz endüstriyel IoT sistemi: mimari ve tasarım sorunları, *IEEE Netw* 34 (5) (2020) 84e90.
- [264] M. Kouhizadeh, J. Sarkis, Blockchain practices, potentials, and perspectives in, *greening supply chainsSustainability* 10 (10) (2018) 3652.
- [265] S. Wang, X. Qu, Blockchain applications in shipping, transportation, logistics, , and supply chainin: *Smart Transportation Systems* 2019, Springer, Singapore, 2019, pp. 225e231.
- [266] K. Sankaran, Karbon emisyonu ve plastik kirliliği: döngüsel ekonomi, nasıl blok zinciri ve yapay zekâ enerji dönüşümünü destekler? *J. Innovat. Manage.* 7 (4) (2019) 7e13.
- [267] K. Xiao, W. Shi, Z. Gao ve diğerleri, DAER: işlem bir kaynak ön tahsis algoritmakıllı sürüş blok zinciri kullanarak uç bilgi sunucusunun , *IEEE IoT J* 7 (10) (2020) 9291e9302.
- [268] R. Liaqat, I.A. Sajjad, M. Waseem, H.H. Alhelou, Konut elektrik talebinin cihaz düzeyinde enerji karakterizasyonu: beklentiler, zorluklar ve öneriler, *IEEE Access* 9 (2021) 148676e148697, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3123196>.
- [269] H. Mora, J.C. Mendoza-Tello, E.G. Varela-Guzma , n, J. Szymanski, Blockchain technologies to address smart city and society challenges, *Comput. Hum. Behav.* 122 (2021) 106854, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106854>.
- [270] S. Makani, R. Pittala, E. Alsayed, vd., Sürdürülebilir ve akıllı şehirlerde blok zinciri uygulamaları üzerine bir araştırma, *Cluster Comput.* 25 (2022) 3915e3936, <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03625-z>.
- [271] R. Vinuesa, H. Azizpour, I. Leite, M. Balaam, V. Dignum, S. Domisch ve diğerleri, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmada yapay zekanın rolü, *Nat. Commun.* 11 (1) (2020) 233, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>.
- [272] S. Blasi, A. Ganzaroli, I. De Noni, Smartening sustainable development in cities: strengthening theoretical linkage between smart cities and SDGs, *Sustain. Cities Soc.* 80 (2022) 103793, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103793>.
- [273] A. Zaidi, S.-S.M. Ajibade, M. Musa, F.V. Bekun, Sürdürülebilir akıllı şehirlerde yapay zekanın uygulanmasına ilişkin araştırma ortamına yeni bakış açıları: bibliyometrik haritalama ve ağ analizi yaklaşımı, *Int. J. Energy Econ. Pol.* 13 (4) (2023) 287e299, <https://doi.org/10.32479/ijeep.14683>.
- [274] Y. Duan, J.S. Edwards, Y.K. Dwivedi, evolution, challenges and research agenda, *Int. J. Inf. Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data e Manag.* 48 (2019) 63e71.
- [275] A.C. S. erban, M.D. Lytras, Artificial intelligence for renewable smart sector in energy Europedsmart energy infrastructures for the next generation s m a r t cities, *IEEE Access* 8 (2020) 77364e77737.
- [276] L. Bottarelli, M. Bicego, J. Blum, A. Farinelli, Orienteering-based informative path planning for environmental monitoring, *Eng. Appl. Artif. Intell.* 77 (2019) 46e58, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.09.015>.
- [277] J. Lu, L. Feng, J. Yang, M.M. Hassan, A. Alelaiwi, I. Humar, Artificial agent: the fusion of artificial intelligence and a mobile agent for energy-efficient traffic control in wireless sensor networks, *Future Generat. Bilgisayar. Syst.* 95 (2019) 45e51, <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.024>.
- [278] T. Walsh, A. Evatt, C.S. de Witt, Yapay Zeka ve İklim Değişikliği: Ek Etki Raporu. Oxford, cilt 1, 2020, s. 1e15.
- [279] S.E. Bibri, Transitioning from smart cities to smarter cities: the future po- tential of ICT of pervasive computing for advancing environmental sustain- ability, in: *Smart Sustainable Cities of the Future*, Springer, 2018, pp. 535e599.
- [280] B. Brevini, Black boxes, not green: mythologizing artificial intelligence and omitting the environment, *Big Data Soc.* 7 (2) (2020) 2053951720935141, <https://doi.org/10.1177/2053951720935141>.
- [281] P. Dauvergne, The globalization of artificial intelligence: consequences for the politics of environmentalism, *Globalizations* 18 (2) (2021) 285e299, <https://doi.org/10.1080/14747731.2020.1785670>.
- [282] F.A. Almalki, S.H. Alsamhi, R. Sahal, J. Hassan, A. Hawbani, N.S. Rajput, A. Saif, J. Morgan, J. Breslin, Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities, *Mobile Network. Appl.* (2021), <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01790-w>.
- [283] Z. Wang, H.-T. Liao, Towards the eco-design of Artificial Intelligence and Big Data applications: a bibliometric analysis of related research, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 806 (1) (2020) 5. Makale Kimliği 012039.
- [284] M.D. Belkin, S. Hsu, S. Ma, Mandal Reconciling Modern Machine-Learning Practice and Classical the BiaseVariance Trade-Off Proceedings of the Na- tional Academy of Sciences of the United States of America, vol. 116, 2019, pp. 15849e15854, 32.
- [285] I. Ahmed, G. Jeon, F. Piccialli, Endüstri 4.0'da yapay zekaya: ne, nasıl ve nerede üzerine bir anket, *IEEE yapay zekadan anlaşılabılır Trans. Ind. Inf.* 18 (2022) 5031e5042.
- [286] I. Garcia-Magarin o, R. Muttukrishnan, J. Lloret, Güven için insan merkezli yapay zeka Açıklanabilir çok katmanlı algılayıcılar ile değerli IoT sistemleri, *IEEE Access* 7 (2019) 125562e125574.
- [287] Akıllı şehirlerin için açıklanabilir yapay zeka uygulamalarındaki gelişmeler, in: M.M. Ghonge, N. Pradeep, N. Jhanjhi, P. Kulkarni (Eds.), IGI Global (2023), <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6361-1>.
- [288] A.R. Javed, W. Ahmed, S. Pandya, P.K.R. Maddikunta, M. Alazab,

- T.R. Gadekallu, Akıllı şehirler için açıklanabilir yapay zeka üzerine bir araştırma, *Electronics* 12 (4) (2023) 1020, <https://doi.org/10.3390/electronics12041020>.
- [289] P. Linardatos, V. Papastefanopoulos, S. Kotsiantis, A.I. Explainable, A review of machine learning interpretability methods, *Entropy* 23 (2021) 18.
- [290] M. Mayuri, P. Vasile, C. Indranath, Explainable AI: Foundations, Methodologies and Applications, Springer, 2023, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12807-3>.
- [291] D. Thakker, B.K. Mishra, A. Abdullatif, S. Mazumdar, S. Simpson, Explainable artificial intelligence for developing smart cities solutions, *Smart Cities* 3 (2020) 1353e1382.
- [292] Kabir, M.H.; Hasan, K.F.; Hasan, M.K.; Ansari, K. Explainable Artificial Intelligence for Smart City Application: A Secure and Trusted Platform. arXiv 2021, arXiv:2111.00601.
- [293] A.L. Hoffmann, Where fairness fails: data, algorithms, and the limits of antidiscrimination discourse, *Inf. Commun. Soc.* 22 (7) (2019) 900e915, <https://doi.org/10.1080/1369118X.2019.1573912>.
- [294] C. O'Neil, *Matematik Yıkım Silahları: How Big Data Increase Inequality and Threatens Democracy*, Penguin, 2016.
- [295] S. Larsson, F. Heintz, Transparency in artificial intelligence, *Internet Pol. Rev* 9 (2020) 1e12.
- [296] M.A. Ahmad, A. Teredesai, C. Eckert, Fairness, accountability, transparency in AI at scale: lessons from national programs, in: *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, Barcelona, İspanya, 27-30 Ocak 2020, s. 690e699.
- [297] S. Burton, I. Habli, T. Lawton, J. McDermid, P. Morgan, Z. Porter, Mind the gaps: assuring the safety of autonomous systems from an engineering, ethical, and legal perspective, *Artif. Intell.* 279 (2020) 103201, <https://doi.org/10.1016/j.artint.2019.103201>.
- [298] A. Taeihagh, H.S. Lim, Otonom araçların yönetimi: ortaya çıkan yanıtargüvenlik, sorumluluk, gizlilik, siber güvenlik ve endüstri riskleri için , *Transport Rev.* 39 (2019) 103e128. Ş.
- [299] L. Floridi, J. Cows, TC King, M. Taddeo, Sosyal fayda için yapay zeka nasıl tasarlanır: yedi Temel faktör, *Sci. Eng. Ethics* 26 (2020) 1771e1796.
- [300] M. Petit, Algoritmik aklın bir eleştirisine doğru. son ürün bir incelemeYapay zeka, siyaset üzerindeki etkisi ve düzenlenmesi üzerine teknoloji, *Quaders del CAC* 44 (2018).
- [301] A. Matthias, The responsibility gap: ascribing responsibility for the actions of learning automata, *Ethics Inf. Technol.* 6 (3) (2004) 175e183, <https://doi.org/10.1007/s10676-004-3422-1>.
- [302] A. Barredo Arrieta, N. Díaz-Rodríguez, J. Del Ser, A. Bannetot, S. Tabik, A. Barbado, S. Garcia, S. Gil-Lopez, D. Molina, R. Benjamins, R. Chatila, F. Herrera, Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI): kavramlar, taksonomiler, sorumlu yapay zekaya yönelik fırsatlar ve zorluklar, *Inf. Fusion* 58 (2020) 82e115, <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>.
- [303] E. Kassens-Noor, A. Hintze, Geleceğin şehirleri? Yapay zekanın potansiyel etkisi, *AI* 1 (2020) 192e197, <https://doi.org/10.3390/ai1020012>.
- [304] S. Joss, R. Cowley, Yerel kentsel sürdürülebilirlik için ulusal politikalar: yeni bir yönetim yaklaşımı? in: M. Eames, T. Dixon, M. Hunt, S. Lannon (Eds.), *Retrofitting Cities for Tomorrow's World* Wiley-Blackwell, Oxford, 2017.
- [305] W. Sun, P. Bocchini, B.D. Davison, Afet yönetimi için yapay zeka uygulamaları, *Nat Hazards* 103 (2020) 2631e2689, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04124-3>.