



Gözden geçirmek

Sürdürülebilir Kentsel Gelişim için Tahmini Modellemede Yapay Zekanın Rolü: Zorluklar ve Fırsatlar

Elda Cina*, Ersin Elbasi, Gremina Elmazi ve Zakwan AlArnaout



Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Amerikan Orta Doğu Üniversitesi, Egaila 54200, Kuveyt;
ersin.elbasi@aum.edu.kw (EE); gremina.elmazi@aum.edu.kw (GE); zakwan.alarnaout@aum.edu.kw (ZA)

* Yazışma: elda.cina@aum.edu.kw

Soyut: Kentsel nüfus artmaya devam ettikçe, şehirler altyapı zorlanması, kaynak yönetimi ve çevresel bozulma ile ilgili artan zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Sürdürülebilir kentsel gelişim, ekonomik büyüme, sosyal eşitlik ve çevre koruma arasında denge kurmak için önemli bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, yapay zeka, özellikle daha verimli ve dayanıklı kentsel planlama için veri odaklı karar almaya olanak tanıyan öngörücü modelleme yoluyla dönüştürücü bir potansiyel sunmaktadır. Bu makale, altyapı optimizasyonu, enerji yönetimi, çevresel izleme ve iklim adaptasyonu gibi temel uygulamalara odaklanarak sürdürülebilir kentsel gelişimi desteklemede yapay zeka destekli öngörücü modellerin rolünü araştırmaktadır. Çalışma, mevcut uygulamaları ve gerçek dünya örneklerini gözden geçirerek, kentsel ihtiyaçları öngörme ve gelecekteki riskleri azaltmada öngörücü analitiğin faydalarını vurgulamaktadır. Ayrıca, veri sınırlamaları, algoritmik önyargı, etik endişeler ve yönetim sorunları gibi önemli zorlukları da ele almaktadır. Tartışma, adil sonuçları garantilemek için şeffaf, kapsayıcı ve hesap verebilir yapay zeka çerçevelerinin önemini vurgulamaktadır. Ek olarak, makale, yapay zeka ve IoT tabanlı stratejilerin çeşitli kentsel bağlamlarda nasıl uygulandığını gösteren küresel akıllı şehir girişimlerinden karşılaştırmalı içgörüler sunmaktadır. Bu alandaki AI'nın hem fırsatlarını hem de sınırlamalarını inceleyen makale, şehirlerin sürdürülebilirlik hedeflerini ilerletmek için AI'yı sorumlu bir şekilde nasıl kullanabileceğine dair içgörüler sunuyor. Bulgular, AI'nın sürdürülebilir, akıllı şehirleri şekillendirmedeki tam potansiyelini ortaya çıkarmak için disiplinler arası iş birliğine, etik güvencelere ve politika desteğine olan ihtiyacın altını çiziyor.



Akademik Editörler: Ebrahim Ghaderpour, Silvio José Gumiere ve Hossein Bonakdari

Alındı: 27 Nisan 2025 Gözden

geçirildi: 27 Mayıs 2025 Kabul

edildi: 2 Haziran 2025

Yayımlandı: 3 Haziran 2025

Alıntı: Cina, E.; Elbasi, E.; Elmazi, G.; AlArnaout, Z. Sürdürülebilir Kentsel Gelişim için Tahmini Modellemede Yapay Zekanın Rolü: Zorluklar ve Fırsatlar. *Sürdürülebilirlik* **2025**, *17*, 5148. <https://doi.org/10.3390/su17115148>

Telif Hakkı: © 2025 yazarlara aittir.

Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre.

Bu makale, Creative Commons

Attribution (CC BY) lisansının

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hüküm ve

koşulları altında dağıtılan açık

erişimli bir makedir.

Anahtar kelimeler: sürdürülebilir kentsel gelişim; yapay zeka; öngörücü modelleme; akıllı şehirler; veri odaklı planlama

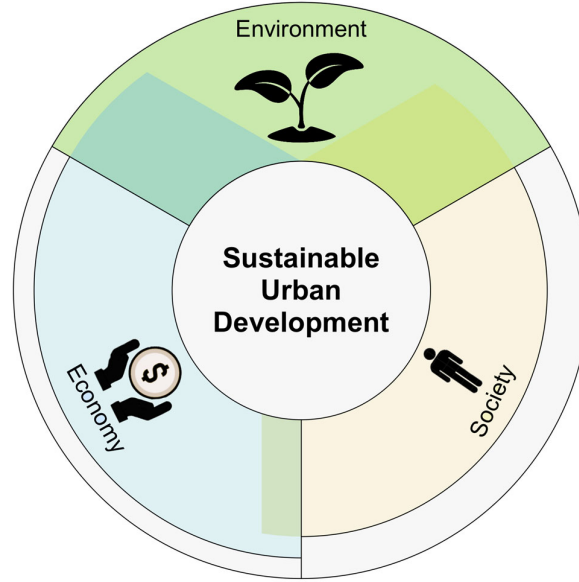
1. Giriş

Kentleşme, 21. yüzyılın en önemli eğilimlerinden biridir; dünya nüfusunun yarısından fazlası şu anda şehirlerde ikamet etmektedir ve bu rakamın 2080'lerin ortalarında yaklaşık 10,3 milyar kişiye ulaşması beklenmektedir [1]. Kentsel alanlar genişledikçe, sınırlı kaynakları yönetmede artan zorluklarla, artan enerji talepleriyle, yükselen kirlilik seviyeleriyle ve hızlı nüfus artışının sosyal etkileriyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu zorluklar, şehirlerin küresel karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %70'ini oluşturması ve dünyanın enerjisinin yaklaşık %75'ini tüketmesi nedeniyle sürdürülebilir kalkınma için önemli tehditler oluşturmaktadır [2]. Bu zorlukların üstesinden gelmek için sürdürülebilir kentsel kalkınma kavramı ön plana çıkmış ve kentlerin ekonomik büyüme, sosyal kapsayıcılık ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurması gerekliliğini vurgulamıştır [3–6].

Sürdürülebilir kentsel kalkınma, dayanıklı, kaynak açısından verimli ve mevcut ve gelecekteki sakinlerin yaşam kalitesini iyileştirme yeteneğine sahip şehirler yaratmayı amaçlamaktadır [7]. Gerekirir

Kentsel genişlemenin çevreye zarar vermeden veya savunmasız nüfusları dezavantajlı duruma düşürmeden sürdürülebilirliği desteklemesini sağlamak için ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri birleştiren bütünsel bir strateji [8]. Kentsel nüfus genişledikçe, planlamacıların ve politika yapıcıların sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir şekilde şehir alanlarını tasarlama ve yönetmelerine ve geliştirmelerine olanak tanıyan yenilikçi stratejiler oluşturmak giderek daha da önemli hale geliyor [9].

Figür1 Sürdürülebilir kentsel kalkınmanın üç temel ayağını göstermektedir: Çevre, Ekonomi ve Toplum.

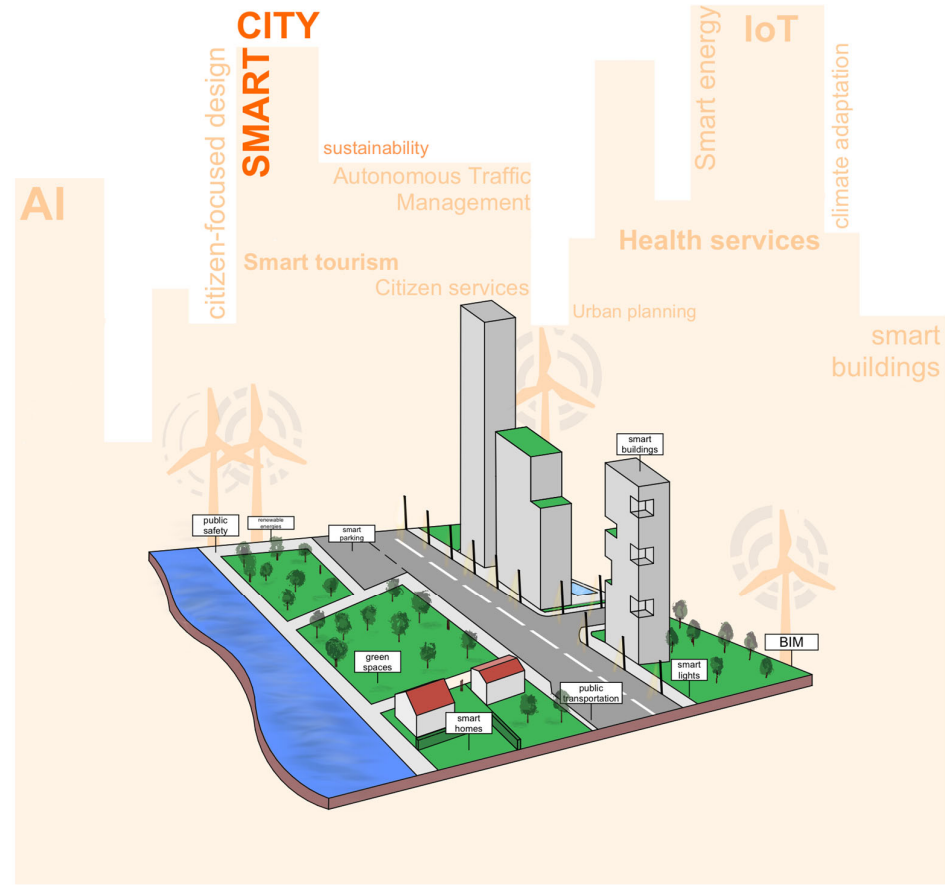


Şekil 1.Sürdürülebilir kentsel kalkınmanın üç temel ayağı.

Yapay zeka (YZ), sürdürülebilir kentsel gelişimin karmaşıklıklarını ele almak için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Yapay zekanın büyük veri kümelerini analiz etme, kalıpları belirleme ve doğru tahminler yapma kapasitesinden yararlanarak şehirler planlama süreçlerini iyileştirebilir, kaynak tahsisini optimize edebilir ve gelecekteki zorluklara uyum sağlama yeteneklerini geliştirebilirler [10]. Tahmini modelleme, bu alanda yapay zekanın en umut verici kullanımlarından biri olarak öne çıkıyor ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek, potansiyel riskleri değerlendirmek ve bilinçli karar vermeyi desteklemek için geçmiş verilerden ve makine öğrenimi (ML) tekniklerinden yararlanıyor [11–14].

Figür2Güneş panellerine sahip akıllı binalar, temiz enerji kaynakları (örneğin rüzgar türbinleri), elektrikli toplu taşıma, yeşil alanlar ve yaya dostu altyapı gibi temel yapay zeka entegreli bileşenlere sahip sürdürülebilir bir kentsel manzara modelini göstererek kentsel gelişim ile sürdürülebilirlik ilkeleri arasındaki sinerjiyi ortaya koymaktadır.

Tahmini modelleme, altyapı stresi, enerji kıtlığı veya çevresel bozulma gibi potansiyel sorunları öngörerek şehirlerin reaktif planlamadan proaktif planlamaya geçmesini sağlar. Örneğin, AI destekli modeller trafik akışını optimize edebilir, enerji tüketimini tahmin edebilir ve hava kalitesi seviyelerini öngörebilir, daha verimli ve sürdürülebilir kentsel yönetime katkıda bulunabilir [15]. Ayrıca, tahmini modeller, yükselen deniz seviyelerinin, aşırı hava olaylarının ve değişen sıcaklık modellerinin kentsel altyapı üzerindeki etkilerini simüle ederek şehirlerin iklim değişikliğinin etkilerine hazırlanmasına yardımcı olabilir [16].



Şekil 2.Yapay zeka destekli temel bileşenlere sahip sürdürülebilir kentsel gelişim.

Potansiyeline rağmen, AI'nın kentsel planlamada kullanımı kendi zorluklarıyla birlikte gelir. AI odaklı modellerin etkinliği büyük ölçüde veri kalitesine, kullanılabilirliğine ve şehirlerin teknolojiyi etkili bir şekilde kullanma kapasitesine bağlıdır [17,18]. Ayrıca, yapay zekanın kentsel sürdürülebilirliğe olumlu katkıda bulunmasını sağlamak için veri gizliliği, algoritmik önyargı ve yapay zeka karar alma süreçlerinin şeffaflığıyla ilgili etik endişeler de ele alınmalıdır [19]. Bu konular dikkatlice ele alınmadığında, yapay zeka uygulamaları mevcut eşitsizlikleri daha da kötüleştirme ve beklenmeyen sosyal ve çevresel sonuçlar yaratma riskiyle karşı karşıyadır [20].

Bu makale, kritik kentsel zorlukları ele almak için öngörücü modellemenin kullanımına odaklanarak, sürdürülebilir kentsel gelişimi ilerletmede AI'nın rolünü araştırmaktadır. Altyapıyı optimize etme, kaynakları yönetme ve kentsel dayanıklılığı artırmada AI'nın uygulamalarını incelemektedir. AI odaklı kentsel planlamanın fırsatlarını, zorluklarını ve gelecekteki beklentilerini tartışarak, bu makale, şehirlerin hızlı kentleşme ve iklim değişikliği karşısında sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için AI'yı nasıl kullanabileceğine dair içgörüler sağlamayı amaçlamaktadır. Bunu yaparken, yarının şehirlerini şekillendirmede AI'nın hem teknolojik potansiyelini hem de etik etkilerini dikkate alan dengeli bir yaklaşıma olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu makalenin geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm2sürdürülebilir kentsel gelişimin genel bir görünümünü sunar. Bölümler3ve4Yapay zekanın öngörücü modellemedeki rolünü inceleyin ve sürdürülebilir kentsel gelişimi ilerletmede yapay zekanın temel uygulamalarını keşfedin. Bölümler5ve6Kentsel ortamlar için tahmini modellemede AI kullanımına ilişkin temel zorlukların ve ortaya çıkan fırsatların kapsamlı bir incelemesini sağlayın. Bölüm7küresel akıllı şehir girişimlerinden seçilmiş vaka çalışmalarını tartışır. Bölüm8belirlenen zorlukların üstesinden gelmek ve en üst düzeye çıkarmak için stratejiler hakkında ayrıntılı bir tartışma sunar

AI destekli öngörücü modellemenin yeni çağının sunduğu fırsatlar. Son olarak, Bölüm9 Sonuç olarak gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için öneriler ve değerlendirmeler sunulmaktadır.

2. Sürdürülebilir Kentsel Gelişimin Genel Görünümü

Sürdürülebilir kentsel kalkınma kavramı, son on yıllarda önemli ölçüde evrim geçirerek modern şehirlerin karşı karşıya olduğu karmaşık zorlukları ele almak için kritik bir çerçeve olarak ortaya çıkmıştır [21,22]. Özünde, sürdürülebilir kentsel kalkınma, ekonomik refah, çevresel yöneticilik ve sosyal eşitlik arasında denge kurmayı amaçlayan, şehir planlama ve yönetimine yönelik bütünsel bir yaklaşımı temsil eder [23]. Bu boyutlar birbirine bağımlıdır ve dayanıklı, eşitlikçi ve yaşanabilir kentsel alanlar yaratmanın temelini oluşturur. Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı [1] sürdürülebilir kentleşmenin, gelecek nesillerin çevresel bütünlüğü tehlikeye atmadan kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmelerini sağlarken, mevcut kentsel nüfusun ihtiyaçlarını karşılaması gerektiğini vurgular. Bu kapsamlı yaklaşım, "şehirleri ve insan yerleşimlerini kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılmayı" amaçlayan Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 11'de özetlenmiştir. [1]. Bu hedefe ulaşmak, nüfus artışı, iklim değişikliği, israf edilen kaynaklar ve altyapı talepleri gibi çeşitli güncel zorlukların ele alınmasını gerektirir [22].

Üç ayaklı çerçeveye dayanan sürdürülebilir kentsel kalkınma, bunları ayrı varlıklar olarak ele almak yerine tüm boyutları uyumlu hale getirmeyi amaçlamaktadır [24]. Ekonomik olarak, yalnızca uzun vadeli değer üretmekle kalmayıp aynı zamanda kaynak verimliliği ve ekolojik korumayı da önceliklendiren uyulanabilir kentsel ekonomileri desteklemeyi içerir. Sosyal katılımı ve çevresel sorumluluğu ekonomik sistemlere yerleştirerek, sürdürülebilir kentsel kalkınma geleneksel büyüme modellerini aşar ve dayanıklı ve yenileyici kentsel ekosistemlere giden bir yol sunar [24]. Satterthwaite'e göre, kentsel ekonomiler, ekolojik zararı en aza indiren ve iklim değişikliğini azaltan yollarla ekonomik faaliyetlerin çevresel bütünlüğü tehlikeye atmamasını sağlarken, yoksulluk ve eşitsizliği ele alan kapsayıcı büyümeye öncelik vermelidir. Kentsel ekonomik politikaları bu ilkelerle uyumlu hale getirerek, şehirler ekonomik genişlemenin uzun vadeli sosyal ve çevresel refaha katkıda bulunduğu dinamik bir çerçeve yaratabilir [25].

Öte yandan, çevre koruma, doğal kaynakları koruyan ve ekolojik ayak izlerini azaltan politikalar ve uygulamalar gerektiren sürdürülebilir kentsel kalkınmanın kritik bir ayağıdır. Kentsel alanlar, Dünya'nın kara yüzeyinin yalnızca %2-3'ünü kaplamasına rağmen, doğal kaynak tüketiminin yaklaşık %75'inden ve enerji tüketiminin %80'ine kadarından sorumludur. Ayrıca küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %70'ini ve atık üretiminin %50'sini oluştururlar [26]. Bu istatistikler şehirlerin önemli çevresel etkilerinin altını çiziyor ve iklim değişikliğini ele almada sürdürülebilir kentsel gelişimin önemini vurguluyor. Şehirler bu etkileri azaltmak için yeşil altyapı, yenilenebilir enerji çözümleri, su kullanımı, arazi kullanımı ve sürdürülebilir ulaşımı entegre etmelidir [27].

Kentsel alanlar genellikle toplumsal eşitsizlikleri yansıtır ve konut, eğitim ve sağlık hizmetlerindeki eşitsizlikler kentsel yoksulluğa ve dışlanmaya katkıda bulunur. Toplulukları karar alma sürecine aktif olarak dahil eden katılımcı planlama süreçleri bu boşlukları kapatabilir, daha fazla eşitlik ve uyumu teşvik edebilir. Fainstein tarafından yapılan bir çalışma, kapsayıcılığı ve demokrasiyi teşvik eden kentsel politikaları savunarak "adil şehir" kavramının önemini vurgular [28]. Benzer şekilde, sürdürülebilir kentsel gelişimde sosyal uyumun rolü, kapsayıcı kamusal alanların ve aktif topluluk katılımının sosyal katılımı teşvik etmek için ne kadar hayati önem taşıdığını vurgulayan araştırmalar tarafından vurgulanmaktadır [29]. Bu ilkelere öncelik vererek şehirler, tüm bireylerin değerli, güçlendirilmiş ve kolektif ilerlemeye katkıda bulunabileceklerini hissettikleri ortamlar yaratabilirler.

Ancak sürdürülebilir kentsel kalkınmayı başarmak, mevcut kaynak kısıtlamalarını ve çevresel baskıları daha da kötüleştiren hızlı kentleşme, nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bunlar, sınırlı finansal kaynaklar, siyasi direniş ve çeşitli paydaş ihtiyaçlarını tutarlı kentsel stratejilere entegre etmenin karmaşıklıkları ile daha da karmaşık hale gelir. Hızlı kentleşme, kentsel nüfusun 2050 yılına kadar 2,5 milyar artması beklenen birincil itici güçlerden biridir [30]. Bu büyüme, ekonomik fırsatlar, sanayileşme ve kent merkezlerindeki hizmetlere daha iyi erişimin sağladığı doğal nüfus artışı ve kırsaldan kente göçün birleşimini yansıtmaktadır [31,32]. Şehirlerde insanların yoğunlaşması, artan atık üretimi, daha yüksek enerji talebi ve sera gazı emisyonlarına önemli katkılar da dahil olmak üzere çevresel zorlukları da kötüleştiriyor [33]. Kaynak yönetiminde toplum katılımını teşvik etmek, sakinler arasında bir sahiplik ve sorumluluk duygusunu teşvik ederek daha sürdürülebilir tüketim kalıplarına ve çevresel girişimlere destek sağlar [34]. Entegre kaynak planlamasını uygulamak, su, enerji ve malzeme kullanımını optimize edebilir, böylece atığı azaltabilir ve verimliliği artırabilir. Örneğin, teknolojik entegrasyonu, kentsel odaklanmayı ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumu inceleyen entegre bir kentsel su yönetimi stratejisi, büyüyen şehirlerdeki su talebini etkili bir şekilde karşılayabilir [35].

Bu birbirine bağlı zorluklar göz önüne alındığında, öngörücü araçlar kentsel planlamada vazgeçilmez hale gelmiştir. Genellikle tarihsel verilere ve reaktif planlamaya dayanan geleneksel yaklaşımlar, modern kentsel sistemlerin karmaşıklıklarını ele almak için yetersizdir. Yapay zeka ve büyük veri analitiğiyle desteklenen öngörücü araçlar, şehirlerin yenilikçi planlama yaklaşımlarına odaklanarak zorlukları ve karmaşıklıkları öngörmesini sağlar. Bu araçlar, karar destek süreçlerini bilgilendiren kavramları ve eğilimleri ortaya çıkararak geniş veri kümelerinin analizini kolaylaştırır [36].

Tahmin edici araçlar özellikle uzun vadeli planlama için değerlidir. Gelecek senaryolarını modelleyerek, planlamacıların politikaların konut talebi, ulaşım sistemleri ve kaynak tüketimi üzerindeki etkilerini on yıllar boyunca değerlendirmelerine olanak tanır. ML algoritmalarının kentsel veri altyapısıyla bütünleştirilmesi, kentsel gelişim modellerini, kentsel hareketliliği ve çevresel değişiklikleri benzeri görülmemiş bir doğrulukla tahmin etme kapasitesinde devrim yarattı [37,38]. Bu gelişmiş analitik yetenekler, şehir planlamacılarının birden fazla geliştirme senaryosunu simüle etmelerine olanak tanır ve farklı modellerin ve tahminlerin sonuçlarına ilişkin önemli içgörüler sağlar [39]. Ayrıca, katılımcı algılama ve vatandaş tarafından oluşturulan veriler planlama sürecini demokratikleştirerek, çeşitli topluluk ihtiyaçlarını ve isteklerini yansıtan daha kapsayıcı kentsel gelişim stratejilerinin geliştirilmesini teşvik etti [40].

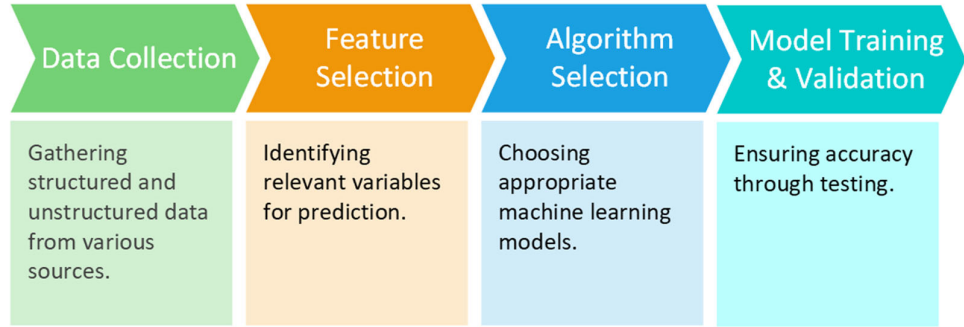
Bu araçların sürekli evrimi, veri kalitesindeki ve hesaplama yeteneklerindeki iyileştirmelerle bir araya gelerek, şehir planlamasını 21. yüzyıl kentleşmesinin karmaşıklıklarını ele alabilen proaktif, kanıta dayalı bir uygulamaya dönüştürüyor.

3. Tahmini Modellemede Yapay Zeka

Kentsel gelişim, yapay zeka ve öngörücü modellemedeki ilerlemeler nedeniyle bir dönüşüm geçiriyor. Şehirler, yapay zeka destekli çözümlerle daha akıllı, daha verimli ve sürdürülebilir hale geliyor. Öngörücü modelleme, gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için geçmiş ve gerçek zamanlı verileri kullanır ve kentsel planlama, trafik yönetimi, enerji tüketimi ve kamu güvenliğinde daha iyi karar alma olanağı sağlar. Bu bölüm öngörücü modelleme tekniklerini, IoT ve bilgisayar görüşü gibi yapay zeka alt alanlarını ve kentsel gelişimdeki uygulamalarını inceler.

3.1. Tahmini Modelleme Nedir?

Tahmini modelleme, geçmiş ve gerçek zamanlı verileri analiz ederek gelecekteki olayları veya davranışları tahmin etmek için ML, veri madenciliği ve yapay zekayı kullanan gelişmiş bir istatistiksel ve hesaplamalı yaklaşımdır [41]. Bu teknik, finans, sağlık ve kentsel gelişim dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde yaygın olarak uygulanarak veri odaklı karar almayı kolaylaştırır. Şekil3 Aşağıda kentsel gelişimde tahmini modellemenin aşamaları özetlenmiştir.



Şekil 3. Kentsel gelişimde öngörülü modelleme iş akışı.

Süreç şu aşamalardan oluşmaktadır:

Veri Toplama: Veritabanlarından sayısal kayıtlar gibi yapılandırılmış veriler ve sosyal medya ve IoT sensörlerinden metin veya görüntü gibi yapılandırılmamış veriler toplanır. Örneğin, akıllı şehirler gerçek zamanlı araç hareket verilerini toplamak için trafik kameralarını ve GPS cihazlarını kullanır ve bu daha sonra sıklıkla modellerini tahmin etmek için kullanılır.

Özellik Seçimi: Bu aşama, konut fiyat modelleri için konum ve suç oranları gibi tahmini etkileyen en alakalı değişkenleri belirlemeyi ve ham verileri anlamlı girdilere dönüştürmeyi içerir. Temel Bileşen Analizi (PCA) gibi teknikler genellikle boyutluluğu azaltmak ve gürültüyü ortadan kaldırmak için kullanılır, böylece model verimliliği artırılır.

Algoritma Seçimi: Uygun bir algoritma seçmek, farklı tahmin görevleri için uygun farklı modellerle bir diğer önemli husustur. Doğrusal regresyon ve karar ağaçları gibi regresyon modelleri, enerji talebi tahmini gibi sürekli sonuçlar için kullanılırken, lojistik regresyon ve rastgele ormanlar gibi sınıflandırma modelleri, yüksek suç oranına sahip bölgelerin belirlenmesi gibi kategorik sonuçlar için uygulanır. Zamansal veriler için, ARIMA ve LSTM ağları gibi zaman serisi tahmin yöntemleri kullanılırken, CNN'ler ve RNN'ler gibi derin öğrenme teknikleri, sokak kamerası yayınlarından çukur tespiti gibi görevleri etkinleştiren, görüntüler gibi karmaşık veriler için kullanılır.

Model Eğitimi ve Doğrulaması: Bu aşama, tahminlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlar. Eğitim sırasında, model gelecekteki tıkanıklığı tahmin etmek için geçmiş trafik kayıtları gibi tarihsel verilerden kalıplar öğrenir. Verileri eğitim ve test kümelerine ayıran çapraz doğrulama gibi doğrulama teknikleri, aşırı uyumu önlemeye yardımcı olur. Doğruluk, kesinlik, geri çağırma, F1 puanı ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi performans ölçütleri, modelin etkinliğini değerlendirmek için kullanılır. Doğrulandıktan sonra, model karar alma sistemlerine dağıtılır ve dinamik trafik sinyali ayarlamaları gibi gerçek zamanlı uygulamalara olanak tanır. Bu kapsamlı süreç, trafik sıklığı, enerji verimsizliği ve kamu güvenliği gibi karmaşık zorlukları ele almak için giderek daha fazla kullanıldığı kentsel gelişimde tahmini modellemenin dönüştürücü potansiyelini vurgular.

3.2. Kentsel Gelişimdeki Önemi

Öngörücü modelleme, proaktif kentsel planlama, kaynak optimizasyonu ve risk azaltmayı mümkün kılarak akıllı şehirlerin evriminde önemli bir rol oynar. Kentsel planlama ve geliştirmede öngörücü modellemenin en önemli uygulamaları şunlardır.

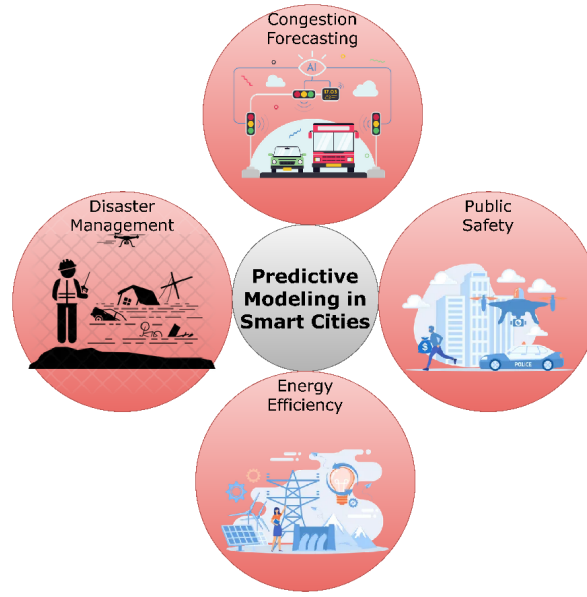
Trafik yönetimi ve sıklık tahmini en önemli uygulamalardan biridir. Kentsel trafik sıklığı yalnızca ekonomik kayıplara yol açmakla kalmaz, aynı zamanda çevre kirliliğine de katkıda bulunur. Tahmini modeller, gerçek zamanlı GPS verilerini, trafik kamerası yayınlarını ve geçmiş kalıpları analiz ederek sıklık noktalarını tahmin ederek bu sorunu ele alır [42,43]. Örneğin, Singapur'un Akıllı Ulaşım Sistemi (ITS), trafik sıklıklarını tahmin etmek ve sinyal zamanlamalarını dinamik olarak ayarlamak için AI'dan yararlanırken, Google Haritalar'ın Canlı Trafik'i, tahmine dayalı analizlere dayalı olarak en uygun rotaları önermek için ML'yi kullanır. Bu uygulamalar, tahmine dayalı modellemenin kentsel hareketliliği nasıl artırabileceğini ve işe gidip gelme sürelerini nasıl azaltabileceğini göstermektedir.

Enerji verimliliği tahminsel modellemenin önemli bir etki yarattığı bir diğer kritik alandır. Şehirler, dünyanın enerjisinin yaklaşık %75'ini tüketiyor ve bu da verimli dağıtım için yenilikçi çözümler gerektiriyor [44]. Yapay zeka modelleri, hava durumu verilerini, geçmiş kullanım modellerini ve IoT sensörlerinden gelen girdileri entegre ederek en yüksek enerji talebini tahmin eder [45]. Örneğin Tesla'nın Autobidder'i, elektrik şebekelerinde enerji depolamayı optimize etmek için öngörücü analizleri kullanırken, Barselona'nın Akıllı Aydınlatma Sistemi, yaya hareketinin tahminlerine göre sokak lambası yoğunluğunu ayarlıyor. Bu uygulamalar yalnızca enerji israfını azaltmakla kalmıyor, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunarak, daha yeşil kentsel ortamlar yaratmada öngörücü modellemenin potansiyelini sergiliyor.

Kamu güvenliği ve suç tahmini kentsel gelişimde öngörücü modellemenin bir diğer hayati uygulamasını temsil eder. Şehirlerdeki artan suç oranları önleyici tedbirleri gerektirir ve öngörücü polislik modelleri, yüksek riskli alanları belirlemek için suç kayıtlarını, hava durumu verilerini ve sosyoekonomik göstergeleri analiz ederek bir çözüm sunar [41]. Chicago'nun Stratejik Konu Listesi (SSL), şiddet suçlarına karışma riski yüksek kişileri belirlemek için ML kullanırken, öngörücü bir polislik yazılımı olan PredPol, kolluk kuvvetlerinin devriyeleri verimli bir şekilde tahsis etmesine yardımcı olur. Bu araçlar, yetkililerin proaktif bir şekilde müdahale etmesini sağlayarak kentsel güvenliği artırır.

Afet yönetimi ve risk değerlendirmesi Ayrıca, özellikle artan iklimle ilgili riskler karşısında, öngörücü modellemeden önemli ölçüde yararlanır. Yapay zeka modelleri, sel, deprem ve yangın gibi olayları tahmin etmek için uydu görüntülerini, hava durumu verilerini ve tarihi afet kayıtlarını analiz eder. Örneğin IBM'in PAIRS Geoscope'u, yapay zeka ve coğrafi verileri kullanarak sel risklerini tahmin ederken, Japonya'nın Deprem Erken Uyarı Sistemi, öngörücü algoritmalarla yararlanarak sarsıntılardan saniyeler önce uyarılar verir. Bu gelişmeler, kentsel nüfus üzerindeki doğal afetlerin etkisini azaltmada öngörücü modellemenin hayat kurtarıcı potansiyelini vurgular. Şekil 4 Kentsel gelişimde tahmini modellemenin farklı uygulamalarını göstermektedir.

Sonuç olarak, öngörücü modelleme, şehirlerin daha akıllı, daha güvenli ve daha sürdürülebilir olmasını sağlayarak kentsel gelişimi dönüştüren güçlü bir araçtır. Yapay zeka, IoT ve büyük veri analitiğinin yeteneklerinden yararlanarak, şehir planlamacıları zorlukları önceden tahmin edebilir ve altyapıyı proaktif bir şekilde optimize edebilir. Uç AI, 5G ve kuantum bilişimindeki gelecekteki gelişmelerin öngörücü yetenekleri daha da geliştirmesi ve tamamen otonom akıllı şehirlerin önünü açması bekleniyor. Bu teknolojilerin entegrasyonu yalnızca mevcut kentsel zorlukları ele almakla kalmayacak, aynı zamanda verimli ve dayanıklı kentsel yaşam için yeni olasılıkların kilidini açacaktır.



Şekil 4. Akıllı şehirlerde yapay zeka uygulamaları (trafik, enerji, güvenlik, afet).

3.3. Tahmini Modellemede Kullanılan AI Teknikleri

Tahmini modelleme, kentsel gelişim için doğru tahminler sağlayan tarihsel ve gerçek zamanlı verileri analiz etmek için çeşitli AI tekniklerinden yararlanır. En belirgin AI yöntemleri arasında makine öğrenimi (ML), derin öğrenme (DL) ve takviyeli öğrenme (RL) bulunur ve her biri uygulamaya bağlı olarak benzersiz avantajlar sunar.

3.3.1. Tahmini Modellemede Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi, denetlenen ve denetlenmeyen öğrenme tekniklerini kapsayan öngörücü modellemenin omurgasıdır. Denetlenen öğrenme, gelecekteki sonuçları tahmin etmek için etiketli veri kümeleri üzerinde eğitim modellerini içerir. Örneğin, regresyon modelleri, konut fiyatları gibi sürekli değişkenleri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır [46], sınıflandırma modelleri verileri kategorize etmeye yardımcı olurken (örneğin kentsel su baskınları için yüksek riskli bölgeleri belirleme). Öte yandan gözetimsiz öğrenme, kümeleme algoritmalarının benzer veri noktalarını grupladığı (örneğin suç veya trafik sıklığı için kentsel sıcak noktaları belirleme) ve boyut azaltma tekniklerinin (örneğin Temel Bileşen Analizi) daha iyi yorumlanabilirlik için karmaşık veri kümelerini basitleştirmeye yardımcı olduğu etiketlenmemiş verilerle ilgilenir. ML modelleri, ölçeklenebilirlikleri, yorumlanabilirlikleri ve farklı veri kümelerine uyarlanabilirlikleri nedeniyle kentsel planlamada özellikle değerlidir.

3.3.2. Karmaşık Kentsel Veriler için Derin Öğrenme (DL)

ML'nin bir alt kümesi olan derin öğrenme, görüntüler, videolar ve sensör okumaları gibi büyük ölçekli, yapılandırılmamış verileri işlemek için çok katmanlı sinir ağlarını kullanır. Evrişimli Sinir Ağları (CNN'ler), kentsel gözetim sistemlerinin anormallikleri tespit etmesini, trafik akışını izlemesini ve yaya hareketini analiz etmesini sağlayarak bilgisayarlı görüş uygulamalarında mükemmeldir [47,48]. Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN'ler), özellikle Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağları, akıllı şebekelerdeki elektrik talebini veya hava kirliliği eğilimlerini tahmin etmek gibi zaman serisi tahminlerinde etkilidir. DL modelleri karmaşık veri kümelerini işlemede daha yüksek doğruluk elde ederken, önemli miktarda hesaplama gücü ve büyük eğitim veri kümeleri gerektirir ve bu da onları geleneksel ML yaklaşımlarından daha fazla kaynak yoğun hale getirir.

3.3.3. Dinamik Kentsel Sistemler için Güçlendirmeli Öğrenme (RL)

Takviyeli öğrenme, ödülleri en üst düzeye çıkarmak için bir çevreyle deneme-yanılma etkileşimlerine güvenerek denetlenen ve denetlenmeyen öğrenmeden farklıdır. Kentsel

geliştirme, RL özellikle otonom trafik kontrol sistemlerinde faydalıdır [49], AI ajanlarının tıkanıklığı azaltmak için gerçek zamanlı olarak trafik sinyali zamanlamalarını optimize etmeyi öğrendikleri yer. Bir diğer uygulama ise enerji yönetimidir; burada RL algoritmaları, talep dalgalanmalarına göre akıllı şebekelerdeki güç dağıtımını dinamik olarak ayarlar. RL'nin temel gücü, açık bir yeniden programlama olmadan değişen ortamlara uyum sağlama yeteneğidir ve bu da onu dinamik kentsel sistemler için ideal hale getirir. Ancak, RL modelleri dağıtımdan önce kapsamlı simülasyon eğitimi gerektirir ve hesaplama açısından pahalı olabilir.

3.3.4. Kentsel Tahmin Modellemede Yapay Zeka Tekniklerinin Karşılaştırmalı Analizi

Her yapay zeka tekniğinin kentsel gelişime uygulandığında farklı güçlü ve zayıf yönleri vardır:

- ML, yorumlanabilirliği ve verimliliği nedeniyle gayrimenkul eğilimlerini tahmin etmek veya kentsel bölgeleri sınıflandırmak gibi yapılandırılmış veri analizleri için en uygundur.
- DL, yapılandırılmamış verileri (görüntüler, videolar, sensör akışları) işlemede geleneksel ML'den daha iyi performans gösterir ve bu da onu akıllı gözetim ve çevresel izleme için ideal hale getirir.
- RL, trafik optimizasyonu gibi dinamik ortamlarda gerçek zamanlı karar alma için idealdir, ancak önemli miktarda hesaplama kaynağı gerektirir.

Teknik seçimi, belirli kentsel zorluğa, veri kullanılabilirliğine ve hesaplama kısıtlamalarına bağlıdır. İlk veri işleme için ML'yi ve görüntü tabanlı içgörüler için DL'yi birleştirmek gibi birden fazla AI yaklaşımını entegre etmek, akıllı şehir uygulamalarında tahmini doğruluğu artırabilir.

3.3.5. Kentsel Gelişimde Büyük Dil Modellemesi

Son yıllarda, özellikle büyük dil modelleri (LLM'ler) olmak üzere üretken AI'nın hızlı gelişimi, kentsel gelişimi yeniden şekillendirmeye başladı. Geniş ve çeşitli veri kümeleri üzerinde eğitilen bu gelişmiş modeller, artık kentsel planlamayı, politika tasarımı, veri yorumlamasını ve topluluk katılımını desteklemek için çeşitli şekillerde kullanılıyor [50].

Uygulamanın en umut verici alanlarından biri şehir planlama ve tasarımıdır. LLM'ler planlama raporları, imar yönetmelikleri, çevresel yönergeler ve kamuoyunun geri bildirimleri gibi kapsamlı materyalleri hızla analiz edebilir. Bu, planlamacıların teklifleri daha verimli bir şekilde taslak haline getirmelerini, olası yasal veya düzenleyici çatışmaları belirlemelerini ve geliştirme projelerinin sonuçlarını tahmin etmelerini sağlar. Daha da önemlisi, bu modeller teknik belgeleri halkın anlayabileceği daha kolay bir dile çevirerek katılımcı planlamada da rol oynar ve böylece karar alma sürecinde daha fazla şeffaflık ve kapsayıcılık teşvik edilir [51,52].

Aynı zamanda, günümüzün şehirleri IoT sensörlerinden sosyal medyaya ve vatandaş hizmet taleplerine kadar muazzam miktarda yapılandırılmamış veri üretiyor. Hukuk alanında lisans dereceleri bu verileri anlamlandırabilir, kamuoyundaki duygu durumlarındaki kalıpları belirleyebilir, belediye yanıtları için şikayetleri kategorilere ayırabilir ve çeşitli veri akışlarını kentsel politika ve operasyonları bilgilendirebilecek tutarlı bilgi sistemlerine entegre edebilir. Yönetişim açısından, Hukuk alanında lisans dereceleri kamu kurumlarının daha kapsayıcı ve veriye dayalı politikalar tasarlamasına yardımcı oluyor. Kamu istişarelerinden gelen geri bildirimleri özetleyebilir, çok dilli belgeler üretebilir ve politika açıklamalarını sade bir dille sunabilir, böylece hükümet kararlarını daha geniş bir kitleye daha erişilebilir hale getirebilirler [53].

Ancak, bu faydalara rağmen, LLM'lerin kentsel ortamlarda kullanımı ciddi etik soruları gündeme getirir. Önyargı ve adalet sorunları özellikle önemlidir, çünkü bu modeller eğitim aldıkları verilerde bulunan mevcut sosyal veya mekansal eşitsizlikleri istemeden de olsa güçlendirebilir. Ayrıca, LLM'lerin iç işleyişinin yorumlanması genellikle zor olduğundan ve bu da kamu sektörü kullanımında hesap verebilirliği zorlaştırdığından şeffaflık konusunda endişeler vardır. Dahası, bu modeller aşağıdakileri içeren veri kümelerine uygulandığında

hassas vatandaş bilgileri, gizlilik, onay ve veri yönetimi konusunda önemli sorular ortaya çıkarıyor [54].

Gelecekte, büyük dil modelleri (LLM'ler) şehirlerin nasıl büyüdüğünü ve işlediğini şekillendirmede önemli bir rol oynayacaktır. Trafik düzenleri, konut eğilimleri veya çevresel raporlar gibi karmaşık kentsel verileri anlamlandırmaya yardımcı olabilir ve bunları şehir plancıları ve karar vericiler için yararlı içgörülere dönüştürebilirler. LLM'ler ayrıca, teknik bilgileri daha anlaşılır bir dile bölerek hükümetlerin sakinlerle iletişim kurma biçimini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Şehirler iklim değişikliği, nüfus artışı ve kaynak yönetimi gibi zorluklarla karşı karşıya kaldıkça, bu modeller daha akıllı, daha esnek planlamayı destekleyebilir [55].

Öte yandan, dikkate alınması gereken birkaç konu var. LLM'leri yönetmek ve eğitmek çok fazla bilgi işlem gücü gerektirir, bu da çok fazla enerji demektir, bazen desteklemeleri gereken sürdürülebilirlik hedeflerini baltalamaya yeter. Ayrıca, özellikle teknolojiden eşit şekilde faydalanmayabilecek topluluklardan büyük miktarda kentsel veri toplandığında, veri gizliliği ve adaleti konusunda da sorunlar vardır. Ve bu modeller giderek daha fazla içerik ürettikçe, sistemleri tekrarlayan veya düşük değerli bilgilerle doldurma riski vardır ve bu da dikkatli bir şekilde yönetilmezse yarardan çok zarar verebilir [56].

3.4. Kentsel Gelişimde Yapay Zeka Alt Alanları

Nesnelerin İnterneti (IoT):Nesnelerin İnterneti (IoT), akıllı sensörleri ve bağlı cihazları şehir altyapısına entegre ederek modern kentsel gelişimde önemli bir rol oynar. Bu sensörler, hava kalitesi, trafik akışı, enerji tüketimi ve atık yönetimi gibi çeşitli çevresel ve operasyonel parametreler hakkında gerçek zamanlı veri toplar. Örneğin, IoT özellikli hava kalitesi monitörleri kirlilik seviyelerini tespit edebilir ve politika yapıcıların düzeltici önlemleri uygulamaları için içgörüler sağlayabilir [57]. Benzer şekilde, akıllı trafik sensörleri araç hareket modellerini analiz ederek sinyal zamanlamalarını optimize etmeye ve tıkanıklığı azaltmaya yardımcı olur. Ek olarak, enerji yönetimindeki IoT uygulamaları şehirlerin elektrik kullanımını gerçek zamanlı olarak izlemesine olanak tanır ve enerji verimliliğini artıran talep-tepki stratejilerini kolaylaştırır. IoT cihazlarının sorunsuz bağlantısı, şehir planlamacılarının eyleme geçirilebilir verilere erişmesini sağlayarak daha akıllı karar alma ve sürdürülebilir şehir büyümesi sağlar.

Bilgisayar Görüntüsü:Yapay zekanın bir alt kümesi olan bilgisayar görüşü, trafik izleme, yaya tespiti ve altyapı denetimi gibi görevler için kentsel gelişimde giderek daha fazla kullanılıyor. Gelişmiş görüntü tanıma algoritmaları, trafik ihlallerini tespit etmek, kalabalık hareketlerini yönetmek ve kamu güvenliğini artırmak için gözetim kameralarından gelen video akışlarını analiz eder. Örneğin, yapay zeka destekli trafik kameraları, tıkanıklık noktalarını belirleyebilir ve akışı iyileştirmek için sinyal zamanlamalarını otomatik olarak ayarlayabilir [58]. Altyapı yönetiminde, bilgisayarlı görüş sistemleri, drone ile yakalanan görüntüleri kullanarak köprüleri, yolları ve binaları yapısal kusurlar açısından inceler ve manuel incelemelere olan ihtiyacı azaltır. Ayrıca, yaya algılama sistemleri yetkilileri gerçek zamanlı olarak olası kazalara karşı uyararak kentsel güvenliğini artırır. Bilgisayarlı görüşün büyük miktarda görsel veriyi işleme yeteneği, onu modern akıllı şehirler için vazgeçilmez kılar.

Doğal Dil İşleme (NLP):Doğal Dil İşleme (NLP), sosyal medya gönderileri, kamuoyundan gelen geri bildirimler ve hükümet raporları gibi metinsel verilerden anlamlı içgörüler çıkararak kentsel gelişime katkıda bulunur. Önemli bir NLP uygulaması olan duygu analizi, şehir plancılarının kentsel politikalar, altyapı projeleri ve toplum hizmetleri hakkındaki kamuoyunu ölçmelerine yardımcı olur. Örneğin, tweet'leri ve çevrimiçi forumları analiz etmek, sakinlerin ulaşım, konut veya çevre sorunları hakkındaki endişelerini ortaya çıkarabilir ve yetkililerin bunları proaktif bir şekilde ele almasına olanak tanır [59]. Ayrıca, NLP destekli sohbet robotları ve sanal asistanlar, sorulara anında yanıtlar sağlayarak vatandaş katılımını iyileştirir.

belediye hizmetleri hakkında. Yapılandırılmamış metin verilerini işleyerek NLP, kentsel yönetime daha veri odaklı ve vatandaş merkezli bir yaklaşım sağlar.

Büyük Veri Analitiği:Büyük veri analitiği, IoT cihazları, sosyal medya ve belediye kayıtları tarafından oluşturulan geniş veri kümelerini işleyerek eğilimleri belirlemek ve şehir operasyonlarını optimize etmek için kentsel gelişim için temeldir. Kent planlamacıları, nüfus artışını, trafik düzenlerini ve enerji taleplerini tahmin etmek için öngörücü analitiklerden yararlanır ve böylece verimli kaynak tahsisi sağlar. Örneğin, geçmiş trafik verilerinin analiz edilmesi daha iyi yol ağları tasarlamaya yardımcı olurken, gerçek zamanlı veri akışları toplu taşıma programlarında dinamik ayarlamalar yapılmasını sağlar [60]. Ayrıca, büyük veri teknikleri, coğrafi ve iklimsel verilere dayalı olarak sel risklerini veya deprem etkilerini modelleyerek afet yönetimini kolaylaştırır. Büyük ölçekli kentsel verileri sentezleme ve yorumlama yeteneği, büyük veri analitiğini akıllı şehir girişimlerinin temel taşı haline getirerek sürdürülebilirlik ve yaşanabilirlik konusunda yeniliği teşvik eder. Tablo 1Aşağıda kentsel uygulamalarda farklı yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırması sunulmaktadır.

Tablo 1.Kentsel uygulamalarda yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırılması.

Yapay Zeka Tekniği	Başvuru	Avantajları	Sınırlamalar
Makine Öğrenmesi	Konut fiyatı tahmin	Yüksek doğruluk, yorumlanabilirlik	Büyük gerektirir veri kümeleri
Derin Öğrenme	Trafik gözetimi	Kollar yapılandırılmamış veri (görüntüler)	Hesaplamalı olarak masraflı
Takviye Öğrenme	Akıllı trafik ışıkları	Gerçek zamanlı olarak uyarlanır	Karmaşık uygulama
Nesnelerin İnterneti	Hava kalitesi izleme	Gerçek zamanlı veriler koleksiyon	Güvenlik güvenlik açıkları
Bilgisayar Görüntüsü	Yaya tespiti	Kentsel ortamı iyileştirir emniyet	Yüksek donanım maliyetler

3.5. Vaka Çalışmaları ve Gerçek Dünya Uygulamaları

3.5.1. Singapur'un Akıllı Ulus Girişimi

Singapur, trafik yönetimini, enerji verimliliğini ve kamu hizmetlerini geliştirmek için IoT ve AI'yı kapsamlı bir şekilde entegre eden Akıllı Ulus Girişimi aracılığıyla akıllı kentsel gelişimde küresel bir lider olarak ortaya çıktı. Bu girişimin temel bileşenlerinden biri, trafik akışını optimize etmek ve tıkanıklığı azaltmak için sensörlerden, GPS cihazlarından ve gözetleme kameralarından gelen gerçek zamanlı verileri analiz eden AI destekli trafik tahmin sistemlerinin kullanılmasıdır [61]. Örneğin, Yeşil Bağlantı Belirleme (GLIDE) sistemi, kavşaklardaki bekleme sürelerini azaltmak için trafik sinyali zamanlamasını dinamik olarak ayarlamak amacıyla ML algoritmalarını kullanır.

Ek olarak, Singapur, geçmiş tüketim kalıplarını ve hava tahminlerini kullanarak elektrik talebini tahmin eden akıllı şebekeler aracılığıyla enerji yönetimi için AI'dan yararlanıyor. Açık Elektrik Piyasası (OEM) girişimi, AI algoritmalarının enerji dağıtımını optimize etmesine, israfı azaltmasına ve tüketiciler için maliyetleri düşürmesine olanak tanır. Dahası, AI destekli tahmini bakım, MRT (Mass Rapid Transit) sistemlerindeki arızaları oluşmadan önce tahmin etmek gibi kamusal altyapıya uygulanır ve minimum hizmet kesintileri sağlanır. Bu yenilikler, tahmini modellemenin ve AI'nın kentsel hareketliliği ve sürdürülebilirliği nasıl dönüştürebileceğini vurgular.

3.5.2. Barselona'nın IoT Odaklı Kentsel Planlaması

Barselona, özellikle atık yönetimi ve su tasarrufunda kentsel verimliliği artırmak için IoT ve büyük veri analitiğinin kullanımına öncülük etti. Şehir, gerçek zamanlı veri ileten dolum seviyesi sensörleriyle donatılmış akıllı atık kutuları ağı konuşturdu

belediye yetkililerine veri [62]. Yapay zeka algoritmaları, atık toplama rotalarını optimize etmek, yakıt tüketimini ve operasyonel maliyetleri azaltmak için bu verileri analiz eder. Bu sistem yalnızca verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda gereksiz kamyon emisyonlarını azaltarak çevresel etkiyi de en aza indirir.

Bir diğer önemli uygulama ise IoT sensörlerinin şehir genelinde su kullanımını izleyerek sızıntıları tespit ettiği ve talep artışlarını tahmin ettiği akıllı su yönetimidir. Açık kaynaklı bir IoT sensör ağı olan Sentilo platformu, halka açık parklarda sulama işlemlerini optimize etmek ve su dağıtımını gerçek zamanlı olarak yönetmek için binlerce sensörden veri toplar. Bu, su israfında önemli bir azalmaya yol açmış ve öngörücü analitiğin sürdürülebilir kentsel gelişime nasıl katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

3.5.3. Karşılaştırmalı Görüşler

Hem Singapur hem de Barselona, AI ve IoT'nin kentsel planlamadaki dönüştürücü potansiyelini göstermektedir, ancak yaklaşımları şehre özgü ihtiyaçlara göre farklılık göstermektedir. Singapur, ulaşım ve enerjide büyük ölçekli AI entegrasyonuna odaklanırken, Barselona atık ve su yönetiminde IoT odaklı sürdürülebilirliği vurgulamaktadır. Bu vaka çalışmaları, öngörücü modellemenin tek tip bir çözüm olmadığını göstermektedir; bunun yerine başarısı, benzersiz kentsel zorlukları ele alan özel uygulamalara bağlıdır. Politika yapımcılar ve şehir planlamacıları, bu gerçek dünya uygulamalarını inceleyerek, AI odaklı öngörücü modellemenin farklı şehir ortamlarına nasıl uyarlanabileceği ve daha akıllı, daha verimli ve sürdürülebilir kentsel geleceklerin nasıl sağlanabileceği konusunda değerli içgörüler elde edebilirler. Aşağıdaki karşılaştırmalı çerçeve, Singapur ve Barselona'dan içgörülerini sentezleyerek, AI yaklaşımlarını temel kentsel gelişim ölçütleri arasında değerlendirmektedir.

1. Yapay Zeka Teknikleri için Karşılaştırmalı Çerçeve

Çerçeve, Tablo'da gösterilen aşağıdaki boyutlara göre AI tekniklerini (ML, DL, RL, IoT, Bilgisayar Görüntüsü, NLP) değerlendirir.²

Tablo 2. Vaka çalışmalarından çıkarılacak önemli dersler.

Boyut	Değerlendirme Ölçütleri	Yapay Zeka Teknikleri
Kesinlik	Tahmini performans (örneğin, MAE, F1 puanı, kesinlik)	- Karmaşık veriler için DL > ML > RL (örneğin, görüntüler, zaman serileri).
Ölçeklenebilirlik	Büyük veri kümelerini veya şehir çapında veriyi işleme yeteneği dağıtımlar	- IoT ve büyük veri analitiği ölçeklenebilirlik açısından öne çıkıyor.
Yorumlanabilirlik	Model kararlarının anlaşılmasının kolaylığı (politika yapımında kritik)	- ML modelleri (örneğin regresyon) daha fazladır DL'den daha yorumlanabilir.
Kaynak Yoğunluğu	Hesaplama gücü, eğitim verileri ve altyapı gereksinimleri	- DL ve RL kaynak yoğun; IoT donanım gerektirir ancak daha az hesaplama ağırlıklı.
Uyum sağlama yeteneği	Dinamik kentsel ortamlara esneklik (örneğin, gerçek zamanlı trafik değişiklikleri)	- RL mükemmeldir (örneğin, trafik ışıkları); IoT, Gerçek zamanlı veri akışları.
Maliyet Etkinliği	Uygulama ve bakım maliyetleri	- ML maliyet etkindir; DL ve IoT daha yüksek ön maliyetler.

DL yapılandırılmamış verileri işlemede mükemmellik gösterirken ve yüksek tahmin doğruluğu sunarken, genellikle yorumlanabilirlik eksikliğinden muzdariptir. Buna karşılık, RL sürekli adaptasyon gerektiren dinamik ortamlar için oldukça uygundur ancak genellikle etkili eğitim için karmaşık simülasyonlara bağlıdır. Her yaklaşımın uygunluğu uygulama bağlamına göre değişir:

- Yapılandırılmış veriler: Geleneksel ML yöntemleri en etkili olanlardır (örneğin, konut fiyatı tahmini).

- Yapılandırılmamış veriler: DL modelleri idealdir (örneğin, trafik video gözetimi).
- Gerçek zamanlı kontrol ve karar verme: Gerçek zamanlı yönetim en iyi performansı gösterir (örneğin akıllı enerji yönetim sistemleri).

2. Vaka Çalışmaları İçin Değerlendirme Ölçütleri

Vaka çalışmaları (Singapur ve Barselona), Tablo'da gösterildiği gibi kentsel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir.³.

Tablo 3. Akıllı şehir çözümleri ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum.

Metrik	Singapur	Barselona
Trafik Verimliliği	Gecikmelerde %25 azalma (AI destekli GLIDE sistemi).	Yok (atık/su odaklı).
Enerji Tasarrufu	Optimize edilmiş şebeke dağıtımı (Açık Elektrik Piyasası).	Yok
Atık Yönetimi	Yok	%30 maliyet tasarrufu (akıllı çöp kutuları).
Su Tasarrufu	Yok	İsrafta %25 azalma (IoT sensörleri).
Kamu Güvenliği	Öngörücü polislik (örneğin, suç merkezleri için SSL).	Yok
Uygulama Maliyeti	Yüksek (geniş ölçekli AI entegrasyonu).	Orta (IoT odaklı).
Ölçeklenebilirlik	Yüksek (megakentlerde tekrarlanabilir).	Orta (sensör altyapısı gerektirir).

Singapur, özellikle trafik optimizasyonu ve enerji yönetimi gibi alanlarda büyük ölçekli AI odaklı verimliliğe vurgu yaparken, şehir uzun vadeli operasyonel tasarruf beklentisiyle yüksek ilk yatırım maliyetlerini kabul ediyor. Buna karşılık, Barselona atık toplama ve su yönetimi gibi hizmetler için IoT teknolojilerinden yararlanarak sürdürülebilirliğe odaklandı. Bu yaklaşım, özellikle halihazırda kurulu sensör ağlarına sahip şehirler için uygun olan ölçeklenebilir ve uygun maliyetli çözümlerle sonuçlandı.

4. Sürdürülebilir Kentsel Gelişimde Yapay Zekanın Temel Uygulamaları

Yapay zeka, daha akıllı ve daha sürdürülebilir şehirler sağlayarak kentsel gelişimi devrim niteliğinde değiştiriyor. Kentleşme hızlandıkça, şehirler enerji tüketimi, kirlilik, atık yönetimi ve altyapı zorlanması gibi zorluklarla karşı karşıya kalıyor. Yapay zeka, kaynak kullanımını optimize etmek, verimliliği artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için veri odaklı çözümler sunuyor. Bu bölüm, sürdürülebilir kentsel gelişimde yapay zekanın dört temel uygulamasını ele alıyor: akıllı altyapı planlaması, enerji verimliliği ve yönetimi, çevresel izleme ve iklim adaptasyonu ve atık ve kaynak yönetimi.

4.1. Akıllı Altyapı Planlaması

Kentsel Tasarım ve Ulaşımda Yapay Zeka:Yapay zeka, kentsel düzenleri, ulaşım ağlarını ve kamu hizmetleri sistemlerini optimize etmek için geniş veri kümelerini analiz ederek altyapı planlamasını geliştirir. ML modelleri, nüfus artışını, trafik düzenlerini ve altyapı taleplerini tahmin ederek proaktif planlamaya olanak tanır [63].

Otonom Trafik Yönetimi: Pittsburgh'un Surtrac'ı gibi AI destekli trafik sinyal sistemleri, kentsel trafik verimliliği ve çevresel etki açısından önemli iyileştirmeler göstermiştir. Carnegie Mellon Üniversitesi Robotik Enstitüsü tarafından geliştirilen Surtrac, gerçek zamanlı verileri ve AI'ı kullanarak trafik ışığı zamanlamalarını gerçek trafik koşullarına göre uyarlar. Bu merkezi olmayan yaklaşım, her kavşağın komşu kavşaklarla koordinasyon sağlarken sinyallerini bağımsız olarak optimize etmesine olanak tanır ve daha duyarlı ve verimli bir trafik akışına yol açar [64]. Pittsburgh'da Surtrac'ın uygulanması

ortalama seyahat sürelerinde %25,79'luk bir azalmaya ve araç emisyonlarında %21,48'lik bir düşüşe yol açtı. Ek olarak, sistem kavşaklardaki bekleme sürelerinde %40,64'lük bir azalma ve araçların yaptığı durak sayısında %31,34'lük bir azalma elde etti. Bu iyileştirmeler yalnızca işe gidip gelme deneyimini iyileştirmekle kalmıyor, aynı zamanda yakıt tüketimini ve ilişkili emisyonları azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunuyor [65].

Öngörülü Bakım: Yapay zeka ve IoT teknolojileriyle desteklenen bu sistem, köprüler ve yollar gibi kritik altyapıları izleme ve bakımını yapma şeklimizde devrim yaratıyor. Gömülü sensörlerden gelen verileri sürekli olarak analiz eden yapay zeka sistemleri, yapısal zayıflıkların erken belirtilerini tespit ederek arızaları önleyen ve güvenliği artıran zamanında müdahaleler sağlayabilir. Son çalışmalar, yapay zeka destekli öngörücü bakımın etkinliğini göstermiştir.

Hasar Tespitinde Yüksek Doğruluk: ML algoritmaları, köprü yapılarındaki çatlakları ve yorgunluğu tespit etmede %90'ın üzerinde doğruluk elde ederek geleneksel muayene yöntemlerini geride bıraktı [66].

Maliyet Azaltma:Öngörücü bakım modellerinin uygulanması, onarım programlarının optimize edilmesi ve acil müdahalelerin en aza indirilmesiyle bakım maliyetlerinde %30-50 oranında bir azalmaya yol açmıştır [66].

Gelişmiş İzleme Yetenekleri: IoT özellikli kablosuz sensör ağlarının ve fiber optik sensörlerin entegrasyonu, gerçek zamanlı izlemeyi iyileştirdi, veri toplama süresini %65 oranında azalttı ve operasyonları aksatmadan sürekli yapısal değerlendirmelere olanak sağladı [66].

Bu gelişmeler yalnızca altyapının ömrünü uzatmakla kalmıyor, aynı zamanda kamu güvenliğine ve ekonomik verimliliğe de katkıda bulunuyor. Yapay zeka ve sensör teknolojileri gelişmeye devam ettikçe, altyapı bakımındaki rollerinin giderek daha önemli hale gelmesi bekleniyor.

4.2. Enerji Verimliliği ve Yönetimi

Akıllı Şebekeler ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu için Yapay Zeka:Yapay zeka teknolojileri, verimliliği artırarak, atığı azaltarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllı şebekelere entegrasyonunu kolaylaştırarak enerji sistemlerini dönüştürmede önemli bir rol oynuyor. Gelişmiş ML algoritmaları aracılığıyla, yapay zeka daha doğru talep tahmini, dinamik fiyatlandırma modelleri ve optimize edilmiş enerji dağıtımı sağlayarak daha sürdürülebilir ve dayanıklı bir enerji altyapısına katkıda bulunuyor.

Talep Tahmini:ML modelleri, enerji tüketim modellerini yüksek hassasiyetle tahmin etmede etkilidir. Bu modeller, büyük miktarda geçmiş ve gerçek zamanlı veriyi analiz ederek enerji talebindeki dalgalanmaları öngörebilir ve şebeke operatörlerinin şebeke istikrarını ve verimliliğini artıran bilinçli kararlar almasını sağlayabilir. Bu öngörücü yetenek, özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek daha fazla dahil edilmesiyle arz ve talebi dengelemek için çok önemlidir. Örneğin, bir çalışma, Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağlarını kullanan bir DL modelinin kısa vadeli enerji talebi tahmininde yalnızca %1,4'lük ortalama mutlak hata elde ettiğini ve geleneksel yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir [67].

Dinamik Fiyatlandırma:Yapay zeka ayrıca, mevcut talep ve arz koşullarına göre elektrik fiyatlarını gerçek zamanlı olarak ayarlayarak dinamik fiyatlandırma stratejilerini kolaylaştırır. Bu yaklaşım, yalnızca tüketicileri enerji kullanımlarını düşük yoğunluklu zamanlara kaydırmaya teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda yoğun talep eğrilerinin düzleştirilmesine yardımcı olarak ek güç üretim kapasitesine olan ihtiyacı azaltır. Dikkat çekici bir örnek, Google'ın DeepMind'in yapay zekasını uygulamasıdır; bu, veri merkezlerini soğutmak için kullanılan enerjide %40'lık bir azalmaya yol açar ve bu da güç kullanım etkinliğinde (PUE) genel giderde %15'lik bir azalmaya karşılık gelir [68].

Ev Sürdürülebilirliği için Yapay Zeka Destekli Davranışsal İçgörüler:Avrupa'da yapılan bir araştırma [69] 809 hanede cihaz bakım davranışlarını analiz ederek, reaktif bakım, maliyet odaklı değiştirme ile ilgili farkındalık ve eylem arasındaki kritik boşlukları ortaya çıkardı.

ve enerji israfı. Çalışma, AI destekli dürtmelerin (örneğin, bakım uyarıları, verimlilik ipuçları) pilot programlarda israfı %12 oranında azalttığını gösterdi.

Özetle, AI'nın akıllı şebekelere ve yenilenebilir enerji sistemlerine entegrasyonu, iyileştirilmiş talep tahmini, verimli enerji dağıtımı ve dinamik fiyatlandırma yoluyla maliyet tasarrufları gibi önemli faydalar sunar. Bu gelişmeler, daha sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji geleceğine geçiş için olmazsa olmazdır.

4.3. Çevresel İzleme ve İklim Uyumunun Sağlanması

Kirlilik Kontrolü ve Afet Tahmini için Yapay Zeka: Çevresel izleme ve afet tahmininde giderek daha etkili hale geliyor ve uydulardan, sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen geniş veri kümelerini analiz etmek için gelişmiş yetenekler sunuyor. Bu teknoloji, hava kalitesini izleme, ormansızlaşmayı takip etme ve aşırı hava olaylarını daha yüksek doğruluk ve ön hazırlık süresiyle tahmin etme yeteneğimizi geliştiriyor.

Hava Kalitesi Tahmini:IBM'in Yeşil Ufuk Girişimi: IBM'in Yeşil Ufuk projesi, Pekin belediye yönetimiyle işbirliği yaparak hava kirliliği seviyelerini tahmin etmek için yapay zekayı kullanır. Sistem, kirlilik dağılımını ve yoğunluğunu tahmin etmek için optik sensörlerden, hava kalitesi monitörlerinden ve uydulardan gelen verileri kullanır. Bu girişim, Pekin'deki ultra ince partikül madde (PM2.5) seviyelerinde yılın ilk üç çeyreğinde %20'lik bir azalmaya katkıda bulunarak şehrin 2017'ye kadar %25'lik bir azalma hedefine yaklaştırmıştır [70,71].

Taşkın Modellemesi:Google'ın Yapay Zeka Destekli Taşkın Tahmini: Google'ın Taşkın Merkezi, 80'den fazla ülkede yaklaşık 460 milyon insanı kapsayan nehir taşkın tahminlerini yedi güne kadar önceden sağlamak için yapay zekayı kullanır. Sistem, çeşitli veri kaynaklarını ve ML tekniklerini entegre ederek, özellikle veri kıtlığı olan bölgelerde, geleneksel modellere kıyasla daha iyi doğruluk göstermiştir [72].

Yapay zeka destekli çevresel izleme ve afet tahmini alanındaki bu gelişmeler, zamanında müdahaleler ve bilinçli karar alma açısından büyük önem taşıyor ve sonuç olarak kamu güvenliğini ve çevresel zorluklara karşı dayanıklılığı artırıyor.

4.4. Atık ve Kaynak Yönetimi

Geri Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi için Yapay Zeka: Yapay zeka, sıralama süreçlerini iyileştirerek, depolama bağımlılığını azaltarak ve geri dönüşüm verimliliğini teşvik ederek atık yönetimde devrim yaratıyor. Akıllı kutular ve yapay zeka destekli robotik gibi yenilikçi teknolojiler bu dönüşümün merkezinde yer alıyor.

Akıllı Çöp Kutuları Atık Toplamayı Optimize Ediyor:Dolum seviyesi sensörleriyle donatılmış akıllı kutular atık birikiminin gerçek zamanlı izlenmesini sağlar. Örneğin, tekstil atığı toplama şirketi olan Ekocharita, Sensoneo'nun akıllı sensörlerini 600 konteynere uyguladı. Bu girişim, atık toplama maliyetlerinde %20'lik bir azalmaya ve bir ton tekstil atığını toplamak için gereken sürede %30'luk bir azalmaya yol açtı. Sensörler daha verimli rota planlamasına olanak tanıdı ve gereksiz toplamaları azalttı [73].

Yapay Zeka Destekli Geri Dönüşüm:Sıralama Doğruluğunun Artırılması: AMP Robotics, geri dönüştürülebilir maddeleri olağanüstü bir hassasiyetle tanımlamak ve ayırmak için bilgisayar görüşü ve makine öğrenimini kullanan bir yapay zeka platformu olan AMP Neuron™'u geliştirdi. Robotik sistemleri AMP Cortex™, dakikada 80 adede kadar ürünü %99'a varan bir doğruluk oranıyla işleyebilir. Bu teknoloji yalnızca geri dönüştürülen malzemelerin hacmini artırmakla kalmaz, aynı zamanda sıralanan emtiaların saflığını da iyileştirerek geri dönüşüm süreçlerini ekonomik olarak daha uygulanabilir hale getirir [74-76].

Akıllı çöp kutuları ve gelişmiş robotik gibi yapay zeka teknolojilerini entegre ederek atık yönetim sistemleri daha verimli, uygun maliyetli ve çevre dostu hale gelir. Bu yenilikler daha sürdürülebilir ve dairesel bir ekonomiye doğru ilerlemede önemli bir rol oynar.

5. Yapay Zeka Destekli Tahmin Modellerinin Uygulanmasındaki Zorluklar

Hızlı kentleşme, artan enerji talepleri, altyapı zorluğu ve çevresel bozulma gibi çeşitli zorlukları beraberinde getirmiştir. Sürdürülebilir kentsel gelişim, verimli kaynak kullanımını, adil büyümeyi ve çevresel yöneticiliği teşvik ederek bu sorunları ele almak için kritik bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Veri odaklı karar alma ve öngörücü analiz kapasitesine sahip olan yapay zeka, bu bağlamda dönüştürücü bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Yapay zeka tarafından desteklenen öngörücü modeller, kent planlamacılarının eğilimleri tahmin etmelerini, kaynak tahsisini optimize etmelerini ve kentsel zorluklara dinamik olarak uyum sağlayan sistemler tasarlamalarını sağlar [77]. Yapay zekanın uygulaması, trafik yönetimi, afet azaltma, enerji optimizasyonu ve atık yönetimi gibi kentsel gelişimin çeşitli alanlarını kapsar. Örneğin, öngörücü modeller kentsel büyüme modellerini tahmin edebilir ve bu da politika yapıcıların çevresel etkiyi en aza indirirken altyapı genişlemesini planlamasını sağlar. Benzer şekilde, yapay zeka destekli sistemler, sel ve sıcak hava dalgaları gibi kentsel ekosistemler üzerindeki iklim değişikliğinin etkilerini tahmin etmek ve azaltmak için kullanılmış ve böylece kentsel dayanıklılık iyileştirilmiştir [78]. Yapay zeka destekli tahmini modellerin sürdürülebilir kentsel gelişime entegrasyonu, etkili bir şekilde uygulanmasını ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak için ele alınması gereken çeşitli zorluklar sunar. Tablo4 Sürdürülebilir kentsel gelişimde yapay zeka destekli modellerdeki zorlukları göstermektedir.

Tablo 4. Sürdürülebilir kentsel gelişimde yapay zeka destekli modellerin zorlukları ve açıklamaları.

Meydan okumak	Tanım	Referanslar
Veri Kalitesi	Yapay zeka modelleri, doğru tahminler için büyük miktarda yüksek kaliteli veri gerektirir. Ancak, kentsel planlama bağlamında, veri kümeleri genellikle eksiklik, tutarsızlık ve zamansal boşluklar gibi sorunlardan muzdariptir.	Yang ve diğerleri [79]
Güvenlik ve Gizlilik	Kentsel ortamlarda kullanılan AI sistemleri genellikle sensörlerden, gözetim sistemlerinden ve IoT cihazlarından toplanan verilere bağlıdır. Bu teknolojiler, bireylerin verilerinin nasıl kullanıldığına her zaman onay vermeyebileceği veya bunun farkında olmayabileceği için önemli etik ve gizlilik endişeleri doğurur.	Cui ve diğerleri [80]
Psikolojik Etki	Akıllı binalardaki AI sistemleri, çevresel kontrolleri dinamik olarak ayarlamak için giyilebilir sensörler veya davranış analizleri aracılığıyla gerçek zamanlı ruh hali değerlendirmelerini dahil etmekten faydalanabilir. Ancak, bu tür sistemlerin uygulanması, sakinlerin güvenliğini ve refahını sağlamak için gizlilik, onay ve etik veri kullanımının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir.	Turhan ve diğerleri [81] İbrahim ve diğerleri. [82]
Metodoloji Önyargısı	Önyargılı veri kümeleri üzerinde eğitilen modeller, konut tahsisi, trafik yönetimi ve kaynak dağıtımı gibi kentsel sistemlerdeki eşitsizlikleri sürdürebilir veya daha da kötüleştirebilir.	Chen ve diğerleri, [78] Ashokkumar ve diğerleri. [83]
Miras Sistem	Çoğu şehir planlama departmanı, gelişmiş AI araçlarıyla uyumlu olmayan eski sistemlere güvenir ve bu da entegrasyonu zorlu bir görev haline getirir. Ek olarak, paydaşların AI teknolojilerini etkili bir şekilde kullanmak için genellikle eğitime ihtiyacı vardır ve bu da zaten sınırlı olan kaynakları zorlayabilir.	Allam ve diğerleri [77]
Şeffaflık	Birçok AI sisteminde, özellikle DL modellerinde şeffaflığın olmaması, paydaşlar arasında kabul görmelerini ve güvenlerini zayıflatır. Bu "kara kutu" modelleri genellikle karar alma süreçlerine ilişkin yorumlanabilir içgörüler sağlamada başarısız olur ve bu da katılımcı kentsel planlamadaki yararlılıklarını sınırlar.	Samek ve diğerleri [84]
Kaynaklar	Yapay zeka sistemlerinin şehir planlamasında uygulanması finansal yatırım, teknik altyapı ve kalifiye personel gibi önemli kaynaklar gerektirir.	Chen ve diğerleri [78]

Yapay zekanın bina ortamlarına entegrasyonu, hem fizyolojik hem de psikolojik faktörleri göz önünde bulundurarak kullanıcı konforunu artırma fırsatları sunar.

Fanger'in Tahmin Edilen Ortalama Oyu (PMV) gibi geleneksel termal konfor modelleri, öncelikle çevresel ve fizyolojik parametrelere odaklanır. Ancak, son çalışmalar ruh hali durumlarının termal algı üzerindeki etkisini vurgulayarak, AI sistemlerinin konforu optimize etmek için psikolojik verileri dahil etmesi gerektiğini öne sürmektedir [81]. Isıl konforun psikolojik boyutlarının kabul edilmesiyle, yapay zeka destekli çevresel kontroller daha bütünsel ve kişiselleştirilmiş yaklaşımlara doğru ilerleyebilir, böylece kullanıcı memnuniyeti ve genel bina performansı artırılabilir.

Günümüzde yeşil akıllı şehirlerin gelişimi kaynak verimliliği, enerji kaynakları, maliyet ve gizlilik ve güvenlik endişeleri gibi çevresel, sosyal, ekonomik ve teknolojik zorluklarla da karşı karşıyadır. Napisa ve diğerleri enerji optimizasyonu, trafik ve atık yönetimi, su kaynakları ve yeşil bina geliştirme gibi alanlarda Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) ve Yorumlanabilir Yapay Zeka (IAI) çözümleri önermiştir. Ancak, yeni senaryolara uyum sağlama, algoritma opaklığı nedeniyle kullanıcı tereddüdü ve yapay zeka geliştirme ve hesap verebilirliğiyle ilgili etik endişeler dahil olmak üzere yapay zekanın kullanımında bazı sınırlamalar vardır [85]. Le ve diğerleri, özellikle RemoteCLIP olmak üzere, kentsel yönetim uygulamalarını ilerletmede vizyon-dil modellerinin dönüştürücü rolü üzerinde çalıştı. Uydu görüntülerine dayalı araştırma, kentsel büyümenin izlenmesi, altyapı geliştirme ve çevresel etki konusunda potansiyeli göstermektedir. Öte yandan, gizlilik, sistemin uyarlanması ve veri karmaşıklığı gibi bazı zorluklar da vardır [86].

Yao ve diğerleri, AI tabanlı şehir çapında veri odaklı analiz ve kişiselleştirilmiş çözümler kullanarak kentsel turizmin zorluklarını önerdi. Şanghay Şehri bir vaka çalışması olarak kullanıldı ve web kazıma ve GIS analizi, turistik cazibe merkezlerinin düzenlerini ve ulaşım sistemlerini optimize etmek için kullanıldı. Şanghay vakasında olduğu gibi, AI tabanlı turizm çözümlerinde birkaç zorluk vardır [87], hassas kullanıcılar için gizlilik ve veri depolama; ulaşım, ilgi çekici yerler ve yorumlar gibi çeşitli kaynaklardan doğru, gerçek zamanlı ve kapsamlı turizm verilerinin toplanması; ve coğrafi ve trafik verilerinin işlenmesinin karmaşıklığı dahil olmak üzere.

Veri kalitesi ve kullanılabilirliği, sürdürülebilir kentsel gelişim için yapay zeka destekli tahmin modellerinin uygulanmasındaki en önemli zorluklar arasındadır. Bu, kentsel veri kümelerinin genellikle eksiklik, tutarsızlık, parçalanma ve zamansal boşluklar gibi doğrudan tahmin analitiğinin güvenilirliğini ve doğruluğunu etkileyen sorunlardan muzdarip olduğunu göstermektedir. ML'deki özellik seçimi ve çıkarma yöntemleri, tahmin modellerinin doğruluğunu, verimliliğini ve yorumlanabilirliğini artırır. Aşağıdaki yöntemler ayrıca yapay zeka tabanlı kentsel gelişimde veri kalitesini de iyileştirir [70–75].

- Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörlerine, akıllı sayaçlara ve uydu izleme sistemlerine yapılan yatırımlar, gerçek zamanlı ve yüksek çözünürlüklü veri toplamayı iyileştiriyor.
- Paydaşlar arasında birlikte çalışabilirliği geliştirmek ve iş birliğini teşvik etmek için standartlaştırılmış veri protokolleri ve açık veri politikalarının uygulanması.
- Yapay zeka modellerine girilen verilerin doğru ve güvenilir olmasını sağlamak için veri doğrulama ve temizleme süreçlerine vurgu yapılmaktadır.

Tahmini modellerde önyargıyı en aza indirmek için, bir şehrin sosyal, ekonomik ve coğrafi çeşitliliğinin tüm aralığını yakalayan eğitim veri kümelerini kullanmak esastır. Bu tür bir temsil olmadan, modeller önyargılı veya düzensiz sonuçlar üretme riski taşır. Ayrıca, eğitim sırasında verileri yeniden ağırlıklandırma veya adalet kısıtlamalarını dahil etme gibi önyargıyı azaltmak için özel olarak tasarlanmış ML tekniklerini uygulamak da önemlidir. Ek olarak, açıklanabilir AI araçlarının kullanılması, model kararlarını daha şeffaf hale getirebilir ve paydaşların anlamasını ve güvenmesini kolaylaştırabilir. Son olarak, veri bilimi, etik, şehir planlama ve yerel topluluklar gibi çeşitli alanlardan uzmanları bir araya getirmek, teknolojinin geniş bir bakış açısı yelpazesini yansıtmayı ve eşitlikçi sonuçları teşvik etmesini sağlamaya yardımcı olabilir.

6. Yapay Zeka Destekli Kentsel Gelişimde Gelecekteki Gelişim Fırsatları

Yapay zeka destekli kentsel gelişimde çeşitli fırsatlar vardır. IoT ve ML tabanlı metodolojiler sorunları çözer ve üretkenliği artırır. Literatürdeki araştırma çalışmaları, emisyonları azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için trafiği yönetmede kentsel alanların karşılaştığı zorlukları ele almaktadır. Bu çalışmada, bekleme süresini azaltmak ve trafik sıkışıklığını azaltmak için yapay zeka tabanlı bir trafik sinyal sistemi önerilmektedir [83,88,89]. [Yazarları90] kentsel yol ağları içindeki sokak parklarının etkisi ve trafik sıkışıklığı üzerindeki etkisi üzerinde çalıştı, [91], dinamik trafik sinyalizasyon ayarlamalarına olanak tanıyan, deterministik ve stokastik ML algoritmaları kullanan, trafiğe duyarlı bir kontrol modeli sunar. [yazarları92] trafik verimliliğini artırmak için sinyal kontrol stratejileriyle bölgesel talep yönetimini geliştirdi. Rauniyar ve diğerleri.[93] sürdürülebilirliği vurgulamak için gerçek zamanlı gürültü ve egzoz emisyonu izleme sistemi olan yapay zeka tabanlı metodolojiyi sunar. Thangavel ve diğerleri.[94] gerçek zamanlı orman yangını yönetimi için dağıtılmış bir uydu sistemini tartıştı. Deneysel sonuçlar önerilen modellerin kentsel gelişim için çok umut verici olduğunu gösteriyor. Tablo5Sürdürülebilir kentsel gelişimde yapay zeka destekli modellerin sunduğu fırsatların bir özetini sunmaktadır.

Tablo 5.Yapay zeka tabanlı kentsel gelişim fırsatları ve referansları.

Fırsatlar	Alan	Referanslar
Toplu taşıma	Trafik yönetimi	Ashokkumar ve diğerleri [83] Makanadar ve diğerleri. [88] Sultana ve diğerleri [89] Chen ve diğerleri [78]
	Optimizasyon	Wang ve diğerleri [90] Febbraro ve diğerleri. [91] Zhou ve diğerleri [92]
Planlama	İzleme	Rauniyar ve diğerleri [93] Berkani ve diğerleri. [95] Thangavel ve diğerleri. [94]
	Enerji	Liu ve diğerleri [96] Mohanty ve diğerleri. [97] Velayudhan ve diğerleri. [98]
Kişiselleştirilmiş Hizmetler	Akıllı turizm	Alcaraz ve diğerleri [99] Kumi ve diğerleri. [100]
	Vatandaş hizmetleri	Ghosh ve diğerleri [101] Al-Mushayt ve diğerleri. [102]
Güvenlik ve Emniyet	Afet yönetimi	Talley ve diğerleri [103] Yang ve diğerleri [79]
	Suç yönetimi	Sultana ve diğerleri [104] Basthikodi ve diğerleri. [105]
Sağlık	Sağlık hizmetleri	Taimoor ve diğerleri [106] Kumar ve diğerleri. [107] Ahmed ve diğerleri. [108]
	Hastane yönetimi	Alsinglawi ve diğerleri [109] Liu ve diğerleri [110] Hattak ve diğerleri. [111]

Velayudhan ve diğerleri [98] IoT özellikli su dağıtım sistemlerinin kapsamlı bir incelemesini sunar. Liu [96] ve Mohanty [97] şehir yönetimi için önerilen DL tabanlı algoritmalar

enerji sistemleri. Her iki algoritma da kentsel alanlarda enerji tüketiminde verimliliği ve sürdürülebilirliği artırır. Alcaraz ve diğerleri [99] turizm destinasyonu tahmini için AI tabanlı bir model geliştirdi. Tahmin edilen modeller stratejik turizm planlaması ve yönetimi için değerlidir. Ghosh ve diğerleri [101] iletim gecikmelerini ve enerji tüketimini azaltan bir ML modeli önerdi. Al-Mushayt ve diğerleri [102] AI tabanlı e-devlet hizmetlerini tartıştılar. Yazarlar maliyetleri azaltabilen ve vatandaş memnuniyetini artırabilen sinir ağı algoritması tabanlı modeller önerdiler. Talley ve diğerleri [103] artan doğal afetleri ve izleme ve erken tespit sistemlerinin önemini tartıştılar. Bu afetlerin zararını azaltmak için AI, IoT ve robotik tabanlı sistemlere dayalı modeller önerdiler. Bu metodolojiler arasında sensörlerle veri toplama, görüntü ve video işleme ve ML tabanlı sınıflandırma ve tahmin yer almaktadır. Bu alanda, şehir gelişimi ve sürdürülebilirlik üzerinde yüksek etkiye sahip birkaç çalışma ve uygulama tamamlanmıştır. Sultana ve diğerleri [104] akıllı ev ortamlarında suç önleme ve suç faaliyetlerini tahmin etmede yardımcı olmak için gözetleme sistemleri için önerilen metodolojiler. Bilgisayarlar ve sensör sistemleri gibi donanımlara sahip akıllı sistemler tüm şehri izleyebilir ve anormal faaliyetleri kolayca tahmin edebilir. Basthikodi ve diğerleri [105] CCTV'de entegre AI ve ML teknolojilerine odaklanarak gerçek zamanlı şehir aktivitelerini analiz etti. Ayrıca, hasta ve yaşlı vatandaş ev izleme, uzaktan teşhis ve tedavi, hastane yönetimi vb. gibi AI tabanlı sağlık hizmetlerinde de çeşitli çalışmalar yürütülüyor. Özellikle, bilgisayar tabanlı teşhis ve tedavi, ML algoritmaları ve görüntü teknolojileri aracılığıyla çeşitli uygulamalara sahiptir [106,107]. Şehir gelişiminde yapay zekanın geleceği potansiyel dolu olup daha güvenli, daha sürdürülebilir ve daha verimli kentsel yaşam için fırsatlar yaratmaktadır. Teknoloji ilerledikçe yapay zeka, yarının şehirlerini şekillendirmede önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

7. Küresel Akıllı Şehir Girişimlerinin Kapsamlı Vaka Çalışmaları

21. yüzyıldaki hızlı kentleşme, şehir plancıları, çevreciler ve politika yapımcılar için büyük bir zorluk teşkil ediyor. Dünyanın birçok yerinde kentsel nüfus arttıkça, geleneksel kentsel planlama yaklaşımları daha az etkili hale geldi. Yapay zeka, çok yönlü şehir zorlukları için yenilikçi çözümler öneren, şehirlerin kentsel ekosistemleri nasıl tasarladığı, kavramsallaştırdığı ve ele aldığı konusunda bir paradigma değişimini temsil eden değişen bir teknoloji olarak gelişti [112]. Diğer teknolojik müdahalelerden farklı olarak, yapay zeka, kentsel gelişime daha önce hiç görülmemiş bir şekilde dinamizm, öngörü ve uyarlanabilirlik getiriyor ve şehirleri reaktif stratejilerin ötesine, proaktif, veri odaklı kentsel yönetime taşıyor.

Bu teknolojik değişim yaşanırken, temel zorluklardan biri de yapay zekanın dönüştürücü potansiyelinin mevcut kentsel çerçevelere aktarılmasıdır. Burada, öngörücü modellemenin soyut olarak değil, gerçek dünya altyapı sistemlerinin kısıtlamaları ve karmaşıklıkları dahilinde bütünleştirilmesi gerekmektedir.

Yapay zeka destekli öngörücü modellemeyi mevcut kentsel altyapı sistemlerine entegre etmek, şehir operasyonlarını iyileştirmek için önemli bir potansiyel sunarken, aynı zamanda önemli zorluklar da sunar. Yapay zeka, tahmin doğruluğunu, operasyonel verimliliği ve sistem yanıt verme yeteneğini artırabilirken, eski altyapıya uygulanması genellikle sınırlıdır. Özellikle eski veya kaynak sınırlı şehirlerdeki birçok kentsel sistem, başlangıçta dijital birlikte çalışabilirlik için tasarlanmamıştır ve bu da sistem uyumsuzluğu, parçalanmış veriler ve kurumsal atalet gibi sorunlara yol açmıştır.

Bu zorlukları daha da kötüleştiren, birçok akıllı şehir geliştirme projesinin, modernist "Yeni Şehir" modelini izleyerek mevcut kentsel alanların dışında uygulanmaya devam etmesi [113]. Bu strateji, teknolojik olarak iddialı olsa da sıklıkla kentsel yayılmaya, artan araç bağımlılığına ve ekolojik olarak sürdürülemez arazi kullanım kalıplarına yol açar. Bu nedenle, yapay zekanın halihazırda gelişmiş kent merkezlerine entegrasyonu daha ayrıntılı ve bağlam duyarlı bir yaklaşım gerektirir.

Bununla birlikte, bu engeller aşamalı, stratejik uygulama yoluyla ele alınabilir. Yapay zeka ve gelişmiş veri işleme, kentsel gerilemeyle mücadelede ve sürdürülebilir dönüşümü teşvik etmede kritik araçlar olarak ortaya çıkmıştır. Bu süreçte temel bir adım, yaşam kalitesiyle ilişkili temel stratejik boyutları ve ölçülebilir göstergeleri belirlemeyi içerir, böylece planlamacıların her kentsel ortamın belirli eksikliklerine göre uyarlanmış kanıta dayalı iyileştirmeler önermelerini sağlar [114]. Yapay zekanın bu şekilde uygulanması, kirliliği azaltarak, enerji tüketimini en aza indirerek ve arazi ve altyapı dahil kaynakların optimum şekilde tahsis edilmesini sağlayarak kentsel sürdürülebilirliği önemli ölçüde iyileştirebilir [114]. Masa6Mevcut akıllı şehir girişimleri için hangi yapay zeka yaklaşımlarının ve uygulamalarının benimsendiğini açıklar.

Tablo 6. Akıllı şehir AI modelleri ve uygulamaları.

Şehir	Yapay Zeka Modelleri	Uygulama Özeti
Singapur	Makine Öğrenmesi Algoritmaları Dijital İkizler Tahmini Modelleme Coğrafi Uzaysal Analitik	Kentsel hareketlilik tahmini, gerçek zamanlı trafik simülasyonu, dijital ikiz tabanlı kentsel planlama ve akıllı kamu hizmeti yönetimi
Kopenhag	Tahmini Modeller Gerçek Zamanlı Sensörler AI Enerji Optimizasyon Araçları (Balmorel) Kopenhag Çözüm Laboratuvarı	İklim riski ve sel tahmini, belediye enerji optimizasyonu ve entegre kentsel analizler
Yeni Nesil	Sensörlü Uyarlanabilir Planlama Algoritmaları AI İHA'ları Dijital İkizler Tahmini Bakım AI	Yapay zeka destekli inşaat yönetimi, gerçek zamanlı izleme, kaynak optimizasyonu ve sürdürülebilir ulaşım planlaması
Barselona	ARIMA XGBoost Rastgele orman Hayatta Kalma Analizi (Makine Öğrenmesi)	Trafik tahmini, bisikletler için tahmini bakım, doluluk tahmini ve su borusu arızalarının önlenmesi

Entegrasyon sırasında asgari düzeyde kesinti sağlamak için, şehir plancıları öncelikle teknolojik hazırlığı değerlendirmek ve tahmini modelleme araçları için uygun entegrasyon noktalarını belirlemek amacıyla mevcut sistemlerin kapsamlı denetimlerini gerçekleştirmelidir [115]. Eski altyapıyla arayüz oluşturabilen modüler AI sistemleri, kontrollü dijital ortamlarda AI odaklı müdahalelerin simülasyonunu ve testini sağlayan sanal kopyalar olan dijital ikizlerin kullanımıyla birlikte önceliklendirilmelidir. Bu araçlar, altyapı yönetiminde özellikle etkili olduğunu kanıtlamış olup, planlamacıların 3B modelleme, AI ve IoT teknolojilerinin entegrasyonu yoluyla kentsel sistemleri görselleştirmesine ve fiziksel dağıtımdan önce potansiyel riskleri ve verimsizlikleri belirlemesine olanak tanımıştır [116].

7.1. Singapur

Singapur şehrinin akıllı bir şehre dönüşümü, etkili stratejik planlamanın, teknolojik yeniliğin ve ileri görüşlü kentsel yönetimin nasıl entegre edildiğini mükemmel bir şekilde özetliyor. 2014'te Akıllı Ulus girişiminin başlangıcından bu yana Singapur, şehir yaşamının her alanına nüfuz eden sofistike AI uygulamaları aracılığıyla kentsel altyapısını sistematik olarak dönüştürmeye başladı. Bu yaklaşım, salt teknolojik uygulamayı aşarak, veri odaklı karar almanın mevcut şehir ortamı için kentsel yönetimin temeli olarak yardımcı olduğu birleşik bir ekosistem geliştiriyor [117]. Akıllı Ulus girişiminin hedefleri, günlük yaşamı ve uyarlanabilir inovasyonu iyileştirmek için teknolojiyi kullanmaktır; bu hedefler arasında gelişmiş bağlantı, vatandaş katılımı,

ve sürdürülebilirlik [117]. Yapay zeka destekli planlar, sürdürülebilir, akıllı kentsel ortamlar oluşturmada ve şehir planlarını ve operasyonlarını etkilemede etkilidir.

Ulaştırma, Singapur'un AI entegrasyonunun en gelişmiş alanlarından birini temsil ediyor. Kara Taşımacılığı Kurumu (LTA), kentsel hareketliliği son teknoloji ML algoritmaları aracılığıyla dönüştüren gelişmiş bir tahmin modelleme sistemi geliştirdi [118]. Geniş bir IoT sensör ağından ve kapsamlı önceki trafik kayıtlarından gerçek zamanlı verileri bir araya getirerek, bu sistemler tıkanıklık modellerinin ve trafik akış dinamiklerinin hassas tahminlerini mümkün kılıyor [119]. Özellikle, LTA'nın Aimsun ile iş birliği içinde geliştirdiği yapay zeka destekli trafik tahmin sistemi, gerçek zamanlı trafik simülasyonu ve talep tahmini sağlıyor. Bu sistem, sinyal zamanlamalarının ve tıkanıklık azaltma stratejilerinin dinamik olarak ayarlanmasına olanak sağlıyor ve böylece hem yakıt verimliliği hem de işe gidip gelme süreleri iyileşiyor [120]. Veri odaklı bu yaklaşım yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmıyor, aynı zamanda olası sorunları da öngörüyor ve trafikle ilgili zorlukları hafifletmek için proaktif önlemler alınmasına olanak sağlıyor.

Tahmini güçler, yalnızca trafik yönetiminin çok ötesine geçerek gerçek zamanlı rota optimizasyonuna, dinamik sinyal ayarlamalarına ve bireysel yolcuya kadar kişiselleştirilmiş mobilite önerilerine kadar uzanır. Singapur sisteminin en ünlü özelliklerinden biri, günün farklı saatlerinde yolları kullanma ücretlerini değiştiren bir tıkanıklık yönetim aracı olan elektronik yol fiyatlandırmasıdır (ERP). Düşük yoğunluklu seyahatleri teşvik ederek ve yüksek talep aşamalarında araç hacmini azaltarak ERP, daha düz bir trafik akışını sürdürmede ve emisyonları düşürmede hayati bir rol oynar [121]. Bu sistem, yapay zeka destekli politikaların kentsel hareketlilik zorluklarını ele alırken sürdürülebilirliği nasıl teşvik edebileceğinin iyi bir örneğidir.

Tahmini modelleme ve sıkışıklık yönetiminin yanı sıra Singapur, ulaşım stratejisine hem otonom hem de elektrikli araçları dahil etmede öncü olmuştur. Otonom araçlar (AV), toplu ve özel ulaşım için sürdürülebilir bir çözüm, daha az kaza, yolların ideal kullanımı ve yeni iş rolleri sunar [118]. Elektrikli araçların benimsenmesi, Singapur'un karbon ayak izini azaltma taahhüdüyle örtüşmektedir. Bu, hükümetin hem EV şarj altyapısına yatırım yaparak hem de yaygın olarak benimsenmesini teşvik ederek desteklediği bir geçiştir.

Buna karşılık, Singapur Kentsel Yeniden Geliştirme Kurumu, akıllı planlama sürecini göstermek için bir dizi şirket içi dijital araç ve yapay zeka geliştirdi [122]. Dijital ikizler ve coğrafi analizler gibi sofistike teknolojilerin uygulanmasını vurgulayarak, bu araçlar planlamacıların kentsel eğilimlerin gerçek zamanlı veri analizini birleştirmelerine ve kalkınma gerekliliklerini sürdürülebilirlikle dengeleyecek bilinçli kararlar almalarına olanak tanıyacaktır. Ana girişimler arasında, uzun vadeli ulusal planlarla paralel olarak ortaya çıkan dayanıklı ve yaşanabilir kentsel alanlarda netliği ve kamu katılımını artıran "Sanal Singapur" platformu ve ePlanner araçları yer almaktadır. Bu teknolojiler, hükümet kurumları ve diğer paydaşlar arasında veri odaklı ve Singapur'un sürdürülebilir inovasyon ve büyüme vizyonu ile uyumlu kentsel stratejiler formüle etmede ilişkiyi daha da geliştirmek için entegre ediliyor. Bunlar ayrıca, planlamacıların nüfus artışı, sıkışıklık ve iklimle ilgili riskler gibi kentleşmedeki gelecekteki zorlukları tahmin etmelerine olanak tanıyan öngörücü modellemeye de yardımcı olur. Yapay zeka odaklı içgörülerini entegre ederek, URA'nın yaklaşımı yalnızca kentsel planlama sürecinin daha etkili hale getirilmesini değil, aynı zamanda şehrin altyapısının ve kaynaklarının gelişen talepleri ve şüpheleri karşılamak için iyi donanımlı olmasını da sağlıyor [122].

Sürdürülebilirlikte yapay zeka dağıtımının açıklayıcı bir örneği, şehir planlamacılarının uygulama öncesinde çeşitli planlama kararlarını simüle etmelerine ve değerlendirmelerine olanak tanıyan 3 boyutlu bir dijital ikiz olan Sanal Singapur platformudur [123]. Örneğin, bu platformdaki tahmini modelleme, yetkililerin yeni bina geliştirmelerinin rüzgar akışını, güneş ışığına maruz kalmayı ve kentsel ısı dağılımını nasıl etkileyebileceğini değerlendirmesini sağlayarak iklime dayanıklı

ve enerji açısından verimli kentsel planlama [123]. Bu yetenekler, Marina Körfezi ve Downtown Core gibi yoğun yapılaşmış alanlarda imar, yeşil örtü ve havalandırma koridorları ile ilgili politika kararlarına rehberlik etmede çok önemli olmuştur. Bu projelerden öğrenilen dersler, birkaç kritik başarı faktörünü vurgulamaktadır. Birincisi, AI modellerinin entegrasyonu yalnızca güçlü kurumlar arası iş birliği ve paylaşılan veri altyapısı aracılığıyla mümkün olmuştur. İkincisi, hükümetin veri yönetimi ve dijital altyapı için ulusal standartlar belirlemedeki proaktif rolü, kurumsal direnci teknoloji benimsemesine karşı önemli ölçüde azaltmıştır. Üçüncüsü, Singapur'un özellikle Living Lab çerçevesi aracılığıyla pilot test ve geri bildirim döngülerine odaklanması, AI uygulamalarının gerçek zamanlı performansla dayalı olarak sürekli olarak iyileştirilmesine olanak sağlamıştır. Son olarak, vatandaş katılımının ve şeffaflığın önemi ortaya çıkmıştır çünkü AI araçlarına, özellikle gözetim veya davranışsal dürtme içerenlere duyulan güven, doğrudan bunların tasarımına ve dağıtımına halkın katılım derecesiyle bağlantılıydı [124].

Bu stratejik ve dijital gelişmelere paralel olarak Singapur, hedefli kurumsal reformlar ve teknoloji odaklı sürdürülebilirlik programları aracılığıyla acil çevresel zorlukları da ele aldı. Şehir devleti, sınırlı kara kütlesi, artan nüfusu ve yüksek sıcaklıkları nedeniyle ciddi çevresel baskılarla karşı karşıyadır. Bu tür sorunlara yanıt vermek için hükümet, Sürdürülebilirlik ve Çevre Bakanlığı (MSE) altında iki büyük kurum oluşturdu: Ulusal Çevre Ajansı (NEA) ve Kamu Hizmetleri Kurulu (PUB) [61]. NEA, akıllı atık yönetim sistemleri gibi girişimlerin uygulanması da dahil olmak üzere temiz ve yeşil bir çevre sağlamakla görevlidir. Örneğin, vatandaşları iyi geri dönüşüm yapmaya teşvik etmek için akıllı geri dönüşüm kutuları ve dolapları sunulmuştur. Bu sistemler, teknoloji kullanımı yoluyla atık seviyelerini izler ve vatandaşları doğru geri dönüşüm için ödüllendirir, böylece kontaminasyon oranlarını azaltır.

PUB, ülkedeki su temininin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini vurgular. Akıllı PUB Yol Haritası kapsamında, kurum gerçek zamanlı tüketimi gösteren, sızıntıları tespit etmeye ve vatandaşlar arasında su tasarrufu alışkanlıklarını teşvik etmeye yarayan akıllı su sayaçlarını devreye sokmaya başladı [125]. Aynı zamanda, Singapore Power gibi kurumlar vatandaşlara su ve elektrik kullanımını izleme, faturalama bilgilerini görüntüleme ve sayaç okumalarını gönderme konusunda mobil uygulamalar sunarak kaynakların verimli kullanımına doğru bir adım atıyor [126].

Bu süreçteki çeşitli zorluklar, Singapur'un akıllı bir şehre dönüşümünde karşımıza çıkıyor. Sorunsuz bağlantının sürekliliği ve heterojen veri biçimlerinin yönetimi önemli sorunlar ortaya koyuyor. Verilerin güvenli bir şekilde toplanması, depolanması ve gerçek zamanlı işlenmesi, özellikle güvenilirliğin çok kritik hale geldiği sağlık hizmetleri gibi kritik sektörlerde karmaşık olduğunu kanıtlıyor. Bu zorlukların ele alınması, artan talepleri karşılamak için ölçeklenebilir sistemlerle hem ülke hem de üretici düzeylerinde iyi tanımlanmış standartlar gerektirecektir [127]. Başarılarına rağmen, evrensel bağlantı vizyonu karşılanmamış durumda ve eleştirmenler kamuya çekici gelmemesi ve özel sektör katılımını bir kenara iten hükümet merkezli yaklaşım eksikliğine işaret ediyor. Veri gizliliği, hükümet veri korumasına duyulan güvensizlik ve paydaşlara sınırlı ilgi konusunda daha fazla ilerleme gerekiyor. Kapsayıcılıktaki eşitsizlikler, özellikle yaşlı bireyler ve ekonomik olarak dezavantajlı nüfuslar akıllı teknolojilerin ve internet bağlantısının erişilebilirliğiyle ilgili zorluklarla karşı karşıya kaldıkça var olmaya devam ediyor. Uzmanlar, katılım eşitsizliklerini ele alan, işbirliklerini artıran ve hiçbir bireyin dışlanmamasını garanti eden daha vatandaş merkezli bir strateji benimsemenin önemini vurguluyor [61]. Singapur ilerleme kaydetmiş olsa da, Akıllı Millet hedeflerine ulaşma konusunda ne kadar başarılı olduğu belirsizliğini koruyor.

7.2. Kopenhag

Kopenhag'daki kentsel planlama, inovasyon, vatandaş odaklı tasarım ve sürdürülebilirliği entegre etmede bir rol model olarak gelişmiştir. İklim adaptasyonunda küresel olarak lider olan şehir, iklim risklerini denetlemek için tahmini modeller ve yapay zeka kullanarak ekolojik zorluklara dinamik olarak yanıt veren uyarlanabilir sistemler üretmektedir. Kopenhag, yeşil çatılar ve sulak alanlar dahil olmak üzere mavi-yeşil altyapı aracılığıyla ısı adaları, su baskınları ve biyolojik çeşitliliği ele almaktadır. Vatandaş katılımının odak noktası, iklim çözümlerinin sürdürülebilirlik ve dayanıklılık için topluluk gerekliliklerini takip ettiğini doğrulamaktadır. Bu teknik, doğal sistemleri kentsel büyümeyle organize etmenin işlevsel ve sürdürülebilir şehirlere nasıl yardımcı olduğunu vurgulamaktadır [128].

Kopenhag, tehlikeleri önceden tahmin etmek ve taşkınları önlemeye yardımcı olabilecek çözümler önermek için gerçek zamanlı sensörler, uydu görüntüleri, geçmiş deniz seviyesi verileri ve arazi haritalarıyla desteklenen yapay zekayı kullanıyor [129]. İkinci olarak, şehrin Bulut Patlaması Yönetim Planı, yağmur suyunu yöneten ve şehrin fırtına yönetimi kapasitesini artıran mavi-yeşil sistemleri entegre ediyor [130,131]. Bunlar Kopenhag'ın su yönetimi ve iklim değişikliğine uyum konusunda ne kadar aktif bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Kopenhag'daki enerji yönetim şeması, yapay zekanın şehirlerin daha sürdürülebilir olmasına nasıl yardımcı olabileceğini gösteriyor. Enerji ihtiyaçlarını tahmin eden gelişmiş modeller kullanarak şehir, enerjinin paylaşılma biçimini geliştirdi ve yenilenebilir kaynakları kolaylıkla dahil etti. Bu yapay zeka araçları, enerji kullanımının gerçek zamanlı tahminlerini verir, şebeke yüklerini istenildiği gibi düzenler ve sorunlar ortaya çıkmadan önce altyapının korunmasına yardımcı olur. Örneğin, Greater Copenhagen için Balmorel gibi enerji şeması modellerinin kullanılması, düşük karbonlu enerji seçimlerinin CO ile birlikte ısı ve elektrik maliyetlerini kontrol etmeye yardımcı olduğunu gösteriyor. Bu teknik, Kopenhag'ın gerçek, temiz enerji sonuçlarına adanmış olduğunu gösteriyor [132].

Ek olarak, faaliyetler arasında Kopenhag Çözüm Laboratuvarı ile belediyeler arasında yapay zeka geliştirme yoluyla şehir binalarındaki enerji tüketimini azaltma planı kapsamında ekip çalışması da yer alıyor [133].

Kentsel akıllı mobilite, Kopenhag'ın akıllı tasarım kurallarının önemli girişimlerinden biridir ve müşteriye kolaylık, verimlilik ve sürdürülebilirlik getiren çözümler sunar. Şehirde, otobüslerin, metro hatlarının ve trenlerin seyahat için tek bir biletleme yapısına birleştirildiği birleşik bir toplu taşıma şeması vardır. Duraklardaki gerçek zamanlı bilgi panelleri, gerçek varış saatlerini görüntüler ve yolcular için kolaylığı artırır [134]. Kopenhag bisikletçilerin güvenliğini sağlamak için bisiklet yolları ve altyapı ayırmıştır. Şehir, ekonomik kiralamarlar sunan ve hem turistlere hem de sakinlere karşı koymak için temel, çevre dostu bir yöntem olarak bisiklete binmeyi teşvik eden bir bisiklet paylaşım planına sahiptir [135].

Kopenhag'ın daha geniş sürdürülebilirlik çabaları içinde yapay zeka entegrasyonunun özellikle güçlü bir örneği, şehrin özel akıllı şehir kuluçka merkezi olan Kopenhag Çözüm Laboratuvarı'dır [133]. Akademik ve özel sektör ortaklarıyla iş birliği içinde, Laboratuvar belediye binalarında AI tabanlı enerji optimizasyon araçlarını uygulayarak tahmini bakım, sıcaklık düzenlemesi ve doluluk ve hava durumu verilerine dayalı gerçek zamanlı ayarlamalar sağladı. Sistem, hava durumu kalıpları ve bina kullanımı gibi verileri analiz ederek enerji talebini tahmin edecek ve ısıtma ve elektrik tüketimini ayarlayarak en yüksek yük zamanlarından kaçınacak ve kullanımı yenilenebilir enerjinin daha kolay bulunabildiği ve maliyet açısından daha uygun olduğu dönemlere kaydıracaktır. Bu esnek yaklaşım, kullanıcı konforunu veya operasyonel güvenliğini etkilemeden havalandırmayı önceden ısıtarak veya yeniden planlayarak şehrin yüksek talep dönemlerinde fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmasına yardımcı olur. Sıcaklık, nem ve CO gibi iç mekan iklim ölçümleri standartların korunduğundan emin olmak için seviyeler sürekli olarak izlenir. Ulusal olarak tanınan bir imza projesi olarak, bu çaba yalnızca yapay zekayı gerçek zamanlı enerji sistemlerinde uygulama konusunda pratik deneyim sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda Ulusal Birlik ile iş birliği yoluyla diğer belediyeler için en iyi uygulama önerileri de üretecektir.

Belediyelerin [133]. Benzer şekilde, Hitachi ile ortaklaşa geliştirilen şehrin Şehir Veri Değişim platformu, trafik, hava durumu ve enerji tüketimiyle ilgili özel ve kamu veri kümelerini entegre ederek öngörücü modellemeye olanak tanır. Bu, hem kentsel dayanıklılık planlamasını hem de ticari inovasyonu destekler [133]. Bu projelerden, temel başarı faktörleri arasında Kopenhag'ın açık veri yönetimine, sektörler arası iş birliğine ve vatandaş mahremiyetini korurken deney yapmayı teşvik eden düzenleyici bir ortama vurgu yapması yer alıyor. Şehrin yapay zeka destekli içgörülerini doğrudan altyapı sonuçlarına, örneğin azaltılmış enerji tüketimi veya daha hızlı sel müdahale süreleri gibi, bağlama becerisi, öngörücü modellemenin kentsel sürdürülebilirlikte nasıl ölçülebilir faydalar sağlayabileceğini gösteriyor.

İlham verici teknolojik genişlemesine rağmen, Kopenhag'ın akıllı şehir geliştirme örneği, yapay zeka destekli yanıtların uygulanmasının zorluğunu vurgulayan önemli zorluklar sunmaktadır. Veri gizliliği ve güvenliği, akıllı sistemlerin veri paylaşımı ve işlemeye giderek artan bağımlılığı bağlamında giderek daha önemli endişeler haline gelmiştir [136].

7.3. NEOM Suudi Arabistan

Singapur ve Barselona, yapay zeka öngörücü modellemesinin mevcut kentsel çevrelere pratik entegrasyonunu gösterirken, NEOM, temelinde yapay zeka olan bir şehir tasarlamının olanaklarına dair içgörüler sunuyor.

Suudi Arabistan'daki NEOM, yapay zeka şehir planlama modellerine sahip dünyadaki ilk şehir olacak. Teknoloji, yeni düşünce ve sürdürülebilirliğin merkezi olması ve dünyanın geleceğindeki şehirler için bir örnek teşkil etmesi bekleniyor. Suudi Arabistan'ın, ülkenin 2030 yılına kadar petrol bağımlılığının azalacağı bir 'Vizyon 2030'u var ve yapay zeka bu hedefe ulaşılmasını destekliyor. Uzun vadede, NEOM doğrusal megakentinin inşası, Suudi Arabistan'ı enerji, su, ulaşım ve biyoteknolojide giderek daha sürdürülebilir hale getirmek için bir strateji olarak kabul ediliyor [137]. "Vizyon 2030"un temel noktalarından biri de yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmesi ve aynı zamanda kişi başına düşen enerji tüketiminin düşürülmeye çalışılmasıdır [138].

NEOM, çevresel iyileştirme ve gelişmiş kentsel yönetim için AI, ML, DL, NLP, entegre bilgi kontrol sistemleri, IoT ve ağa bağlı robotlar gibi çeşitli teknolojilere güveniyor [139].

Pratik uygulamalar arasında, inşaat bölgelerini otonom olarak izlemek için akıllı hava sistemleri konuşlandırılmıştır. Yüksek çözünürlüklü sensörlerle donatılmış dronlar, görsel verileri gerçek zamanlı olarak toplar ve analiz eder, böylece manuel saha denetimlerine olan ihtiyacı azaltır, güvenliği artırır ve inşaat sorunlarının erken tespitini destekler [140]. Aynı zamanda proje, otomatik üretim sistemlerinin yapısal elemanları hassas bir şekilde ürettiği saha dışı üretimde yapay zekayı uygular. Bu yaklaşım, malzeme kullanımını düşürerek, insan emeği gereksinimlerini azaltarak ve inşaat verimliliğini artırarak NEOM'un çevresel önceliklerini destekler. Bu yapay zeka uygulamaları halihazırda ölçülebilir sonuçlar sunmaktadır. Örneğin, uyarlanabilir planlama algoritmaları, planları hava tahminlerine, kaynak kullanılabilirliğine ve trafik verilerine yanıt olarak ayarlayarak proje zaman çizelgelerini %15 oranında azaltmıştır. İnşaat robotları, kaza oranlarını ve fiziksel emek gereksinimlerini azaltırken proje yürütmeyi %25 oranında hızlandırmıştır. Sıcaklık ve titreşim gibi sensör verilerinden yararlanan tahmini bakım araçları, ekipman arıza süresini kısaltmış, operasyonel kullanım ömrünü uzatmış ve bakım maliyetlerini düşürmüştür. Ek olarak, yapay zeka destekli dijital ikizler ve malzeme yönetim sistemleri, saha operasyonlarının gerçek zamanlı denetimini sağlayarak kaynak tahsisini iyileştirir ve NEOM'un büyük ölçekli altyapı projelerinde çevresel etkiyi en aza indirir [140].

Yapay zeka teknolojileri NEOM'un ulaşım ve çevre sistemlerini yeniden şekillendirmek için de uygulanıyor. Tahmini algoritmalar trafik koşullarını izleyerek dinamik

rota optimizasyonu ve azaltılmış tıkanıklık, aynı zamanda daha düşük karbon emisyonlarına da katkıda bulunur [141]. Otonom elektrikli araçlar ve akıllı toplu taşıma ağları, verimliliği artırmak ve şehrin düşük emisyon hedeflerini desteklemek için tasarlanan bu sistemin temel unsurlarıdır [142]. Aynı zamanda, kentsel hareketlilik ve sürdürülebilirlik çabalarının yakın bir şekilde uyumlu kalmasını sağlamak amacıyla, çevresel koşulların gerçek zamanlı olarak denetlenmesi için gelişmiş izleme araçları devreye alınıyor.

7.4. Barcelona

Barcelona, kentsel sektörlerde yapay zeka ve öngörücü modelleme yoluyla akıllı şehir programlarında öncü olmuştur. Örneğin, trafiği yönetirken şehir, trafik eğilimlerini değerlendirmek ve tahmin etmek için ARIMA ve XGBoost gibi gelişmiş modelleme tekniklerini kullanır. Geleneksel modellerin aksine, XGBoost doğrusal olmayan değişkenleri etkili bir şekilde yönetebilir ve karmaşık trafik davranışına dair daha derin bir anlayış sağlayabilir. Bu tür bilgilerle, şehir planlamacıları tıkanıklığı etkin bir şekilde önleyebilir, trafik akışını düzene sokabilir ve kentsel hareketlilikte genel verimliliği en üst düzeye çıkarabilir. Bu tür teknolojik atılımlar, yapay zekanın geleneksel trafik ağlarını veri odaklı, uyarlanabilir ağlara dönüştürme potansiyeline dair bir bakış açısı sunar [143].

Trafik yönetiminin yanı sıra, Barcelona'nın bisiklet paylaşım planı Bicing, ML aracılığıyla öngörücü bakımdan yararlanır. Kullanımın analiz edilmesi ve hayatta kalma istatistiklerinin kullanılmasıyla sistem hem mekanik hem de elektrikli bisikletler için bakımı tahmin edebilir. Bu tür bir sistem, durma süresini en aza indirirken bisiklet bileşenlerinin işlevsel ömrünü uzatabilir ve böylece bisikletçiler için daha sorunsuz bir deneyimin önünü açabilir. Yapay zeka destekli bakım tekniklerinin benimsenmesi, boşa harcanan kaynaklar açısından daha düşük bir maliyetle kentsel hareketliliği iyileştirmeye yönelik daha büyük bir çabayı yansıtır. Dahası, bu tür öngörücü araçlar şehrin operasyonlarını değişen talebe göre uyarlamasına olanak tanır; bu da ulaşımda verimlilik ve inovasyona yönelik çabasının bir yansımasıdır [144]. Yapay zeka ayrıca, Rastgele Orman gibi algoritmalar kullanarak bisikletler için servis istasyonlarındaki doluluk tahminleri yapmak için de kullanılır ve servis istasyonlarının ne zaman tam kapasiteye ulaşacağını veya hiç bisiklet olmayacağını belirlemek için kullanılır. Böyle bir özellik sayesinde, şehir planlaması artan servis güvenilirliği ve kullanılabilirliği yoluyla kullanıcı mutluluğunu en üst düzeye çıkarabilir [145].

Barcelona'da öngörücü analizin kullanımı, içme suyu boru sistemindeki gelecekteki arızaları tahmin etmek için ML'deki hayatta kalma analizi ve algoritmaları kullanarak su altyapısına kadar uzanır. Bu tür arızalar için en fazla risk altında olan alanları belirleyerek, kamu hizmeti operatörleri bakım çalışmalarını proaktif bir şekilde planlayabilir, kesintileri en aza indirebilir ve vatandaşları için güvenilir bir su kaynağı sağlayabilir. Bu tür öngörücü modellemenin örnekleri, Barcelona'nın modern görünümünü gösterir ve altyapı endişelerini gidermek ve sürdürülebilirliği ve genel yaşam kalitesini teşvik etmek için AI kullanan kentsel alanları sergiler [146].

8. Tartışma

Sürdürülebilir kentsel gelişim için öngörücü modellemeye AI'nın entegre edilmesinin dönüştürücü bir potansiyel sunduğu ve karmaşık zorluklara yenilikçi çözümler sunduğu konusunda hiçbir tartışma yoktur. Şehirler hızlı kentleşme, iklim değişikliği ve kaynak tükenmesiyle boğuşurken, AI kentsel sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı optimize etmek için önemli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Bölümlerde belirtilen çalışmalar5Ve6öngörücü modellemede AI'nın zorluklarını ve fırsatlarını araştırdık, kapsamlı bir analiz sağlamak için çeşitli araştırma makalelerinden içgörüler çıkardık. Bu bölümde, AI öngörücü modellerinin karşılaştığı temel zorlukların üstesinden gelmek için stratejileri inceliyoruz ve günümüzün kentsel manzarasında potansiyellerini tam olarak kullanmanın yollarını vurguluyoruz.

8.1. Sürdürülebilir Kentsel Gelişimde Yapay Zekanın Ölçeklenebilirliği ve Bağlamsal Uyarlaması

Bu çalışmada ele alınan AI çözümleri, modüler tasarım ve bulut tabanlı mimari tarafından desteklenen yüksek düzeyde teorik ölçeklenebilirlik göstermektedir. Ancak, pratik uyarlanabilirlikleri büyük ölçüde yerel altyapı kapasitesine, yönetim modellerine ve kaynak kullanılabilirliğine bağlıdır. Etkili ölçekleme, daha geniş kentsel gelişim hedefleri, sağlam veri yönetimi çerçeveleri ve yetenekli personel ve esnek operasyonel iş akışları dahil olmak üzere kurumsal hazır olma ile uyum gerektirir [147]. Uygulamanın her aşaması, başlatmadan dağıtıma kadar, paydaş koordinasyonu, uyarlanabilir tedarik mekanizmaları ve güvenilir dijital altyapı gibi belirli gereksinimleri ortaya koyar. Önemlisi, başarılı AI entegrasyonunun ölçeklenebilir kamu değeri sunmak için teknik uygulanabilirliğin ötesine geçmesi ve böylece uzun vadeli destek, entegrasyon ve sistemsel etkiler sağlaması gerekir [147].

Uygulamada, sınırlı dijital altyapıya, yeterince gelişmemiş IoT ağlarına, kısıtlı finansal kaynaklara, siber güvenlik açıklarına ve standartlaştırma eksikliğine sahip şehirler, gerçek zamanlı, veri yoğun yapay zeka sistemlerini devreye sokmakta sıklıkla zorluk çekiyor [147,148]. Örneğin, Singapur'un akıllı ulaşım sistemleri ve NEOM'un otonom elektrikli araçları gibi gelişmiş girişimler, evrensel olarak mevcut olmayan kapsamlı bağlantı ve sağlam dijital omurga yeteneklerine bağlıdır [149]. Ayrıca, bu tür sistemlerin işletilmesi yalnızca finansal yatırımı değil, aynı zamanda yüksek vasıflı bir iş gücünü, kapsamlı veri yönetimini ve birlikte çalışabilen teknolojik protokolleri de gerektirir [150].

Yönetim yapıları ayrıca AI odaklı kentsel çözümlerin uyarlanabilirliğini de şekillendirir. Singapur'un Akıllı Ulus stratejisi gibi merkezi, yukarıdan aşağıya çerçevelerin, ulusal ve belediye politikalarının uyumlu olmadığı veya yönetimin merkezden uzaklaştırıldığı bölgelerde kopyalanması zor olabilir [151]. Finansal kısıtlamalar, altyapı, yazılım geliştirme ve devam eden sistem bakımının yüksek ön maliyetleri genellikle kaynak kısıtlı belediyelerin bütçelerini aştığı için bu zorlukları daha da karmaşık hale getirir. Bu gibi durumlarda, stratejik planlama ve maliyet etkin AI uygulamalarıyla desteklenen aşamalı uygulama stratejileri daha yönetilebilir ve ölçeklenebilir bir benimsemeyi kolaylaştırabilir [152].

Kamu-özel sektör ortaklıkları (PPP'ler), ölçeklenebilirlik ve bağlamsal alaka için ek yollar sunar. Örneğin, Kopenhag Çözüm Laboratuvarı, özel sektör ortaklarıyla işbirliği içinde akıllı çözümlerin geliştirildiği bir belediye inovasyon kuluçka merkezi olarak hizmet verirken, Barselona'nın Bicing sistemi, dijital altyapıyı ve kamu hizmeti sunumunu entegre eden hareketliliğe odaklı bir PPP'ye örnek teşkil eder [133,144].

Bu gelişmelere rağmen, birçok akıllı şehir projesi, modernist "Yeni Şehir" planlama modelini izleyerek mevcut kent merkezlerinin çevrelerinde geliştirilmeye devam ediyor [113]. Bu yaklaşım genellikle kentsel yayılma, artan araç bağımlılığı ve sürdürülemez arazi kullanım kalıplarıyla sonuçlanır. Dahası, mevcut literatürün çoğu, yeni inşa edilen kentsel ortamlar için tasarlanmış standartlaştırılmış, hazır teknolojik çözümlere vurgu yaparken, akıllı teknolojilerin mevcut şehirlerin karmaşık yapısına nasıl etkili bir şekilde entegre edilebileceğine dair sınırlı bir içgörü sunar [113].

8.2. Sürdürülebilir Kentsel Gelişim için Yapay Zeka Destekli Tahmin Modellerinin Uygulanmasındaki Zorlukların Ele Alınması

Sürdürülebilir kentsel gelişimde yapay zeka destekli öngörücü modellerin başarılı bir şekilde uygulanması, iyi belgelenmiş çeşitli zorlukların üstesinden gelinmesine bağlıdır. Bunlar arasında veri kalitesi, etik kaygılar, güvenlik ve gizlilik sorunları, metodolojik önyargı, eski altyapı sınırlamaları, şeffaflık ve kaynak kısıtlamaları yer alır. Aşağıda, kentsel ortamlarda yapay zeka destekli çözümlerin etkinliğini ve güvenilirliğini artırmak için bu engellerin nasıl ele alınabileceğine dair bir tartışma yer almaktadır.

Veri Kalitesi ve Kullanılabilirliğini İyileştirme—AI modelleri büyük ölçüde yüksek kaliteli, zamanında ve temsili verilere dayanır. Birçok şehirde, özellikle gelişmekte olan bölgelerde, veriler

genellikle parçalanmış, güncelliğini yitirmiş veya eksiktir. Bunu ele almak için hükümetler ve kentsel kurumlar, IoT sensörleri, akıllı sayaçlar ve uydu izleme gibi modern veri toplama altyapılarına yatırım yapmalıdır [153,154]. Sistemler arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak ve veri paylaşımını teşvik etmek için standartlaştırılmış veri protokolleri ve açık veri politikaları benimsenmelidir [155, 156]. Veri doğrulama mekanizmaları ve temizleme süreçleri, doğruluğu ve güvenilirliği sağlamak için kurumsallaştırılmalıdır [157,158].

Etik Endişelerin ve Önyargının Ele Alınması—AI sistemleri, dikkatli bir şekilde tasarlanmadıkları takdirde mevcut toplumsal eşitsizlikleri pekiştirme riski taşır. Geliştirme ve dağıtımına rehberlik etmek için AB'nin Güvenilir AI Kılavuzları gibi etik çerçeveler benimsenmelidir. Çeşitli popülasyonları temsil eden kapsayıcı veri kümeleri, model önyargısını azaltabilir [159]. Yapay zeka uygulamalarını değerlendirmek ve adaleti, hesap verebilirliği ve sosyal sorumluluğu sağlamak için disiplinler arası etik komiteleri kurulabilir [160–162].

Güvenlik ve Gizliliğin Güçlendirilmesi—Tahmin edici modeller genellikle mobilite, sağlık veya tüketim kalıpları gibi hassas verileri içerir. Tüm yapay zeka ile ilgili veri süreçleri için veri şifreleme, anonimleştirme ve güvenli bulut altyapısı zorunlu olmalıdır [163]. Genel Veri Koruma Yönetmeliği (GDPR) gibi düzenlemeler, sıkı veri gizliliği kontrollerini uygulamak için kıstas olarak kullanılmalıdır [164,165]. Vatandaşlar, şeffaf politikalar ve katılım modelleri aracılığıyla verilerinin nasıl kullanıldığı konusunda bilgilendirilmelidir.

Metodolojik Önyargıyı Azaltma—Algoritmalarındaki önyargılar, hatalı eğitim verilerinden veya temsili olmayan örneklemekten kaynaklanabilir. AI modellerinin adalet-farkında ML teknikleri kullanılarak düzenli olarak denetlenmesi, önyargıları belirlemeye ve düzeltmeye yardımcı olabilir. Geliştiricilerden ve şehir planlamacılarından oluşan çeşitli ekipler, modellerin bütünsel bakış açılarıyla oluşturulmasını sağlamak için iş birliği içinde çalışmalıdır. Açıklanabilir AI'nın (XAI) kullanımı, karar alma sürecini daha şeffaf hale getirebilir ve önyargıları belirlemeye yardımcı olabilir [166,167].

Eski Sistemlerle Entegrasyon—Birçok şehir, modern AI teknolojileriyle uyumlu olmayabilecek eski altyapılarla faaliyet göstermektedir. Pilot projelerle başlayan kademeli entegrasyon stratejileri, sistemleri büyük bir kesintiye uğramadan kademeli olarak modernize edebilir. API'ler ve ara yazılım çözümleri, eski sistemleri AI platformlarıyla bağlamak için kullanılabilir. Hükümet teşvikleri ve özel sektörle ortaklıklar, kamusal altyapının dijital dönüşümünü hızlandırabilir [168,169].

Şeffaflık ve Açıklanabilirliğin Sağlanması—Şeffaflık eksikliği kamu güvenini ve bilinçli karar almayı engelleyebilir. AI modelleri, özellikle yüksek riskli kararlar için kullanıldığında yorumlanabilir ve açıklanabilir olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kamu gösterge panelleri ve raporlama araçları, model çıktılarını ve içgörülerini kullanıcı dostu bir şekilde görselleştirmek için kullanılabilir. Tasarım ve inceleme süreçlerine vatandaş katılımı da dahil olmak üzere paydaş katılımı, hesap verebilirliği teşvik eder [170–172].

Kaynak Kısıtlamalarını Ele Alma—Kaynak kısıtlamaları, özellikle finansal ve insan sermayesinde, gelişmekte olan şehirlerde yaygın engellerdir. Kamu-özel sektör ortaklıkları, AI uygulaması için fon ve uzmanlık seferber edebilir [173,174]. Uluslararası kalkınma ajansları, kaynakları yetersiz şehirlerde kapasite oluşturma ve altyapı yatırımlarını destekleyebilir. Kamu görevlileri ve şehir planlamacıları için yapay zeka okuryazarlığı konusunda eğitim programları, beceri boşluklarını kapatabilir ve sürdürülebilir benimsemeyi teşvik edebilir [175].

8.3. Yapay Zeka Destekli Kentsel Karar Alma Sürecinde Hesap Verebilirliğin Sağlanması

Şehirler karar vermeyi desteklemek için giderek daha fazla yapay zeka benimsedikçe, özellikle şeffaflığın önceliklendirildiği yerlerde hesap verebilirliğin sağlanması önemli hale geliyor. Etkili yönetim, kötüye kullanımı, önyargıyı veya veri manipülasyonunu önlemek için etik, yasal ve operasyonel standartlarla uyumlu çerçeveler gerektirir.

Bu mekanizmalardan biri, yapay zeka sistemlerini konuşlandırmadan önce riskleri ve adaleti değerlendirmek için yapılandırılmış bir araç olan Algoritmik Etki Değerlendirmesi'dir (AIA) [176]. Amsterdam gibi şehirler

ve Helsinki, belediye AI projeleri için veri kaynaklarını, amaçlanan kullanımı ve karar mantığını kamuya açık bir şekilde belgelemek için AIA'ları kullanır. Benzer şekilde, İnsan-Döngüde (HITL) denetimi, refah, kentsel polislik veya imar gibi kritik kararların insan yargısına tabi kalmasını sağlayarak kontrolsüz otomasyon riskini azaltır [177,178].

Açık veri ve model şeffaflığı, hassas olmayan veri kümelerini, model belgelerini ve tahminlerin arkasındaki gerekçeleri ifşa ederek kamu denetimini daha da mümkün kılar [179,180]. Model kartları ve veri seti veri sayfaları gibi araçlar açıklanabilirliği ve güveni artırır. Ayrıca, New York gibi şehirler, belediye algoritmalarını değerlendirmek ve toplumsal değerlerle uyumlu olmalarını sağlamak için yapay zeka etiği ve hesap verebilirlik kurulları kurmuştur [181].

Yerel veri tüzükleri ve kentsel veri vakıfları gibi GDPR ilkelerine dayalı çerçeveler, gizlilik haklarını ve onaya dayalı veri kullanımını güçlendirir [182]. Buna ek olarak, denetim izleri ve kayıt mekanizmaları AI eylemlerinin izlenebilir kayıtlarını oluşturarak dağıtım sonrası analize yardımcı olur. Son olarak, kamuoyu danışması ve katılımcı tasarım AI uygulamasına vatandaş girdisi sunarak meşruiyeti ve kapsayıcılığı artırır.

Bu zorlukları stratejik planlama, politika geliştirme, etik tasarım ve kapsayıcı yönetim yoluyla proaktif bir şekilde ele alarak şehirler, yapay zeka destekli tahmin modellerinin tüm potansiyelini açığa çıkarabilir. Bu önlemler yalnızca model performansını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda kamu güvenini oluşturur ve teknolojik ilerlemelerin sürdürülebilir kentsel gelişim hedeflerine eşit şekilde katkıda bulunmasını sağlar.

8.4. Yapay Zeka Teknolojilerinin Çevresel Ayak İzini En Aza İndirmek

Yapay zeka, enerji kullanımını optimize etme ve kentsel emisyonları azaltma konusunda önemli bir potansiyel göstermiş olsa da, yapay zeka teknolojilerinin çevresel etkilerinin ele alınması kritik öneme sahiptir [183]. Büyük ölçekli AI modellerinin eğitimi ve dağıtımı genellikle önemli miktarda hesaplama kaynağı gerektirir ve bu da önemli miktarda enerji tüketimine ve karbon emisyonuna neden olur. AI'nın sürdürülebilirlik hedeflerine olumlu katkıda bulunmasını sağlamak için, kendi gelişiminin çevresel açıdan sorumlu uygulamalara uyması gerekir [184].

Yeşil AI kavramı, hesaplama verimliliğinin önemini ve AI araştırmalarıyla ilişkili çevresel maliyetleri vurgular [184]. Modeller yalnızca performans ölçütlerine göre değil, aynı zamanda enerji tüketimleri ve karbon ayak izlerine göre de değerlendirilmelidir [185]. Kamu kurumları ve yapay zeka geliştiricileri, hafif modeller benimseyebilir, model budama, transfer öğrenmesi ve niceleme gibi teknikleri kullanabilir ve veri merkezlerine olan bağımlılığı azaltmak için modelleri enerji açısından verimli donanım veya uç aygıtlara dağıtabilir.

Ayrıca, Carbon Tracker veya Hugging Face gibi araçların sağladığı karbon muhasebesi araçlarının yapay zeka geliştirme döngüsüne entegre edilmesi, karbon farkındalığına sahip karar almayı kolaylaştırabilir [186,187]. Şehirler, yapay zeka tedarik politikalarına sürdürülebilirlik kriterlerini dahil ederek örnek teşkil edebilir ve tedarikçilerin uyumluluğun bir parçası olarak enerji kullanımını ve çevresel etkiyi açıklayabilir.

Sonuç olarak, yapay zekanın çevresel bozulmaya net bir katkıda bulunmasını önlemek için enerji açısından bilinçli tasarıma, yaşam döngüsü izleme sistemine ve sürdürülebilir yapay zeka altyapısına geçiş şarttır.

8.5. Daha İyi Kentsel Performans İçin Yapay Zeka Destekli Tahmin Modellerindeki Fırsatlardan Yararlanma

Yapay zeka destekli öngörücü modellerin uygulanması, kentsel sistemlerin performansını, verimliliğini ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırabilecek çok çeşitli fırsatlar sunar. Bu fırsatlar, ulaşım, kentsel planlama, vatandaş hizmetleri, emniyet ve güvenlik ve sağlık hizmetleri dahil olmak üzere çeşitli alanları kapsar. Bu fırsatların tam olarak gerçekleştirilebilmesi için stratejik entegrasyon, altyapı hazırlığı ve insan merkezli tasarım önceliklendirilmelidir. Aşağıda, bu potansiyel faydaların daha iyi kentsel performans için nasıl etkili bir şekilde ele alınabileceği ve en üst düzeye çıkarılabileceği hakkında bir tartışma bulunmaktadır.

Ulaşım: Trafik Yönetimi ve Optimizasyonu—Yapay zeka modelleri, trafik akışının optimize edilmesi, sıkışıklığın azaltılması ve toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilmesi konusunda önemli bir potansiyel sunuyor.

Gerçek Zamanlı Veri Entegrasyonu:Trafik yönetimini iyileştirmek için şehirlerin yapay zekayı GPS, trafik sensörleri ve gözetleme kameraları gibi gerçek zamanlı veri kaynaklarıyla entegre etmesi gerekiyor [188,189].

Dinamik Trafik Tahmini:Tahmin algoritmaları, şehir yetkililerinin trafik sinyallerini ayarlamasına, alternatif rotalar önermesine ve acil durum araçlarının müdahale sürelerini iyileştirmesine yardımcı olabilir [190,191].

Kullanıcı Merkezli Uygulamalar:Yapay zeka destekli rota önerileri ve seyahat süresi tahminleri içeren mobil uygulamalar, işe gidip gelme rahatlığını artırıyor ve emisyonları azaltıyor [192,193].

Şehir Planlaması: İzleme ve Enerji Optimizasyonu—Yapay zeka, altyapı taleplerini tahmin ederek, arazi kullanımını optimize ederek ve enerji tüketimini yöneterek kentsel planlamayı destekleyebilir.

Kentsel Büyüme Modellemesi:Tahmini modeller, kentsel yayılmayı simüle edebilir ve imar düzenlemelerine rehberlik ederek plansız genişlemeyi ve kaynak yanlış dağıtımını önlemeye yardımcı olabilir [194–196].

Akıllı Enerji Şebekeleri:Yapay zeka, enerji talebi modellerini tahmin ederek daha akıllı enerji dağıtımına ve yenilenebilir kaynakların entegrasyonuna olanak tanıyabilir [197–199].

Bina Verimliliği:Yapay zeka, enerji kullanımını izlemek, iklim kontrolünü otomatikleştirmek ve karbon ayak izlerini azaltmak için akıllı binalara da yerleştirilebilir [200].

Kişiselleştirilmiş Hizmetler: Akıllı Turizm ve Vatandaş Hizmetleri—Yapay zeka, hem sakinler hem de ziyaretçiler için hizmetlerin kişiselleştirilmesini artırarak katılımı ve memnuniyeti artırır.

Akıllı Turizm:Yapay zeka destekli sistemler, ziyaretçilerin tercihlerine ve davranış kalıplarına dayalı kişiselleştirilmiş seyahat önerileri, kalabalık kontrol stratejileri ve etkileşimli rehberler sağlayabilir [201,202].

Vatandaş Katılım Platformları:Sohbet robotları, öneri motorları ve duygu analizi araçları, hizmetleri bireysel ihtiyaçlara göre uyarlayabilir ve belediye sistemlerinin yanıt verme hızını artırabilir [203,204].

Çok Dilli ve Kapsayıcı Arayüzler:Hizmetlerin dilsel ve kültürel açıdan kapsayıcı olacak şekilde tasarlanması daha geniş erişilebilirlik ve vatandaş güvenini sağlar [205,206].

Güvenlik ve Emniyet: Afet ve Suç Yönetimi—Öngörücü analizler, riskleri önceden tahmin ederek ve zamanında yanıt vermeyi sağlayarak kentsel güvenliği önemli ölçüde iyileştirebilir.

Afetlere Hazırlık:Yapay zeka, iklim verilerini analiz ederek sel veya sıcak hava dalgaları gibi doğal afetleri tahmin edebilir, erken uyarı sistemleri ve acil durum planlaması sağlayabilir [207,208].

Suç Önleme:Öngörücü polislik araçları, gizliliğe saygı göstererek ve önyargıdan kaçınarak yüksek riskli alanları belirleyebilir ve kaynak tahsisini bilgilendirebilir [209–211].

Etikle Kamu Gözetimi:Yapay zeka destekli video analitiği, kötüye kullanımı önlemek ve toplum desteğini sağlamak için etik denetimle birleştirilmelidir [212,213].

Sağlık: Sağlık Hizmetleri ve Hastane Yönetimi—Yapay zeka, kentsel ortamlarda halk sağlığının izlenmesi ve sağlık hizmeti sunumu açısından dönüştürücü bir potansiyele sahiptir.

Öngörücü Sağlık:Yapay zeka hastalık salgınlarını tahmin edebilir, halk sağlığı eğilimlerini izleyebilir ve politika kararlarını bilgilendirebilir [214,215].

Akıllı Hastane Sistemleri:Tahmin araçları, hastanelerin hasta akışlarını yönetmesine, kaynak tahsisini optimize etmesine ve ilaç tedarik ihtiyaçlarını tahmin etmesine yardımcı olabilir [216,217].

Telemedikal Entegrasyonu:Yapay zekanın tele sağlık hizmetleriyle birleştirilmesi, özellikle uzak veya yeterince hizmet alamayan nüfuslar için sağlık hizmetlerine erişimi genişletiyor [218–220].

Kentsel gelişimde AI destekli öngörücü modellerin sunduğu fırsatlardan tam olarak yararlanmak için şehirler stratejik ve kapsayıcı bir yaklaşım benimsemelidir. Bu, sağlam veri altyapısına yatırım yapmayı, sektörler arası iş birliğini teşvik etmeyi ve etik AI kullanımını sağlamayı içerir. Ek olarak, kentsel yönetimler vatandaşları tasarım ve dağıtıma dahil etmelidir

AI sistemlerinin hizmetlerin erişilebilir, adil ve gerçek ihtiyaçlara duyarlı olmasını sağlaması. Düşünceli bir şekilde uygulandığında, bu fırsatlar modern şehirlerin sürdürülebilirliğini, yaşanabilirliğini ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırabilir.

9. Sonuçlar

Hızlı kentleşme hızı, şehirlerin sürdürülebilir bir şekilde gelişmesini sağlamak için yenilikçi, veriye dayalı yaklaşımlar gerektiren karmaşık bir dizi zorluk sunar. Bu makale, özellikle öngörücü modelleme yoluyla, sürdürülebilir kentsel gelişim için stratejik bir kolaylaştırıcı olarak yapay zekanın dönüştürücü potansiyelini incelemiştir. Yapay zeka odaklı modeller, altyapı taleplerini tahmin etmede, kaynak tüketimini optimize etmede ve çevresel ve sosyal stres faktörlerine karşı dayanıklılığı artırmada önemli faydalar sunar.

Gerçek dünya vaka senaryolarının analizi yoluyla, dünya çapındaki şehirlerin ulaşım sistemlerini yönetmek, çevre koşullarını izlemek, enerji ihtiyaçlarını tahmin etmek ve kamu hizmeti sunumunu iyileştirmek için giderek daha fazla AI'dan yararlandığı ortaya çıkıyor. Bu pratik uygulamalar, AI'nın kentsel performansı geliştirme ve veri odaklı karar almayı destekleme kapasitesinin altını çiziyor. Aynı zamanda, literatürün kapsamlı bir incelemesi, veri kalitesi endişeleri, etik sorunlar, algoritmik önyargı, gizlilik riskleri ve şeffaflık ve düzenleyici çerçevelere duyulan ihtiyaç gibi önemli engellerin devam ettiğini ortaya koyuyor.

Zorlukların ötesinde, bu çalışma ayrıca iyileştirilmiş trafik optimizasyonundan ve afet tahmininden kişiselleştirilmiş vatandaş hizmetlerine ve daha akıllı sağlık sistemlerine kadar çok sayıda fırsatı da vurguladı. Bu fırsatlardan yararlanmak yalnızca teknolojik entegrasyonu değil, aynı zamanda disiplinler arası iş birliğini, kapsayıcı yönetimi ve güçlü etik güvenceleri de gerektirir.

Sürdürülebilir kentsel planlamada yapay zeka destekli öngörücü modellerin faydalarını tam olarak gerçekleştirmek için bütünsel ve sorumlu bir uygulama stratejisi benimsemek esastır. Bu, sağlam veri altyapısına yatırım yapmayı, kamu-özel sektör ortaklıklarını teşvik etmeyi, kurumsal kapasite oluşturmaya ve aktif vatandaş katılımını sağlamayı içerir. Düşünceli araştırma, kapsayıcı politika yapımı ve etik inovasyon tarafından yönlendirildiğinde, yapay zeka dünya çapında daha akıllı, daha eşitlikçi ve sürdürülebilir şehirlere geçişi yönlendirmek için güçlü bir araç haline gelebilir.

Finansman:Bu araştırma için herhangi bir dış finansman sağlanmamıştır.

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Referanslar

1. Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Beklentileri 2024: Sonuçların Özeti. 2024. Çevrimiçi olarak mevcuttur:<https://desapublications.un.org/publications/world-population-prospects-2024-summary-results>(1 Ocak 2025'te erişildi).
2. Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2024—Analiz. Çevrimiçi olarak mevcuttur:<https://www.iea.org/reports/energy-technologyperspectives-2024>(5 Aralık 2024'te erişildi).
3. Dempsey, N.; Bramley, G.; Power, S.; Brown, C. Sürdürülebilir Kalkınmanın Sosyal Boyutu: Kentsel Sosyal Sürdürülebilirliğin Tanımı.*Sürdür.Gel.***2011**, *19*, 289–300. [[ÇaprazRef](#)]
4. Faruque Hüseyin, M.*Kitlesel Kentleşme İçin Sürdürülebilir Kalkınma*; Elsevier: Amsterdam, Hollanda, 2019; s. 382.
5. Gakaev, R.*Kentsel Çevrenin Ekolojisi ve Güvenliği Sorunları*; AIP Yayıncılık: Melville, NY, ABD, 2022; Cilt 2657.
6. Mutambik, I. Sürdürülebilir Akıllı Şehirlerin Potansiyelinin Kilidini Açmak: Engeller ve Stratejiler.*Sürdürülebilirlik***2024**, *16*, 5061. [[ÇaprazRef](#)]
7. Williams, K. Sürdürülebilir Şehirler: Araştırma ve Uygulama Zorlukları.*Uluslararası Kentsel Sürdürülebilirlik Dergisi*.**2009**, *1*, 128–132. [[ÇaprazRef](#)]
8. Haas, J.; Furberg, D.; Ban, Y. Kentleşme ve Çevresel Etkilerin Uydudan İzlenmesi - Stockholm ve Şanghay'ın Karşılaştırılması.*Uluslararası J. Uygulamalı Dünya Gözlemleri Geoinf.***2015**, *38*, 138–149. [[ÇaprazRef](#)]
9. Bibri, SE; Krogtstie, J. Geleceğin Akıllı Sürdürülebilir Şehirleri: Kapsamlı Bir Disiplinlerarası Literatür İncelemesi.*Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu***2017**, *31*, 183–212. [[ÇaprazRef](#)]
10. Angelidou, M. On Beş Şehrin Planlarında Akıllı Şehir Özelliklerinin Rolü.*J. Kentsel Teknoloji*.**2017**, *24*, 3–28. [[ÇaprazRef](#)]

11. Ranapurwala, SI; Cavanaugh, JE; Young, T.; Wu, H.; Peek-Asa, C.; Ramirez, MR Tahmini Modellemenin Halk Sağlığı Uygulaması: Çiftlik Aracı Kazalarından Bir Örnek. *Enj. Epidemiyoloji*.**2019**, *6*, 31. [ÇaprazRef]
12. McMahon, JE; Craig, A.; Cameron, I. Sağlık İşinde Dönüştürücü Tahmini Modelleme: Stratejik İlgörüler ve Gelişmiş Operasyonel Verimlilik için Karar Ağaçlarından Yararlanma. *Hizmet Odaklı Bilgi İşlem—ICSOC 2023 Çalıştayları: AI-PA, ASOCA, SAPD, SQS, SSCOPE, WESOACS ve Uydu Etkinlikleri, Roma, İtalya, 28 Kasım–1 Aralık 2023, Gözden Geçirilmiş Seçilmiş Makaleler*; Monti, F., Plebani, P., Moha, N., Paik, H., Barzen, J., Ramachandran, G., Bianchini, D., Tamburri, DA, Mecella, M., Eds.; Springer Nature: Singapur, 2024; s. 49–61.
13. Ravi, VK; Tahmine Dayalı Veri Mimarisinde Cheruku, SR Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi. *Uluslararası Araştırma Dergisi Mod. Müh. Tekn. Bilim*.**2022**, *10*, 95–116.
14. Xie, S.; Lawniczak, AT Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller Kullanılarak Oran Dosyalarında Önemli Risk Faktör Göreliliklerinin Tahmini. *Uluslararası Finans Dergisi*.**2018**, *6*, 84. [ÇaprazRef]
15. Revathy, G.; Thangavel, M.; Senthilvadivu, S.; Savithri, MC Akıllı Şehirleri Etkinleştirme: Kentsel Trafik Optimizasyonu için Yapay Zeka Destekli Tahmin Modelleri. 2025 4. Uluslararası Duygu Analizi ve Derin Öğrenme Konferansı (ICSADL) Bildirilerinde, Nashville, TN, ABD, 18-20 Şubat 2025; s. 904-908.
16. Balakrishnan, TS; Krishnan, P.; Ebenezar, ABD; Mohammed Nizarudeen, M.; Kamal, N. İklim Değişikliği Etki Değerlendirmesi ve Uyum Planlaması için Makine Öğrenimi. 2024 Kuantum Bilgisayar ve Ortaya Çıkan İş Teknolojilerindeki Trendler Uluslararası Konferansı Bildirilerinde, Pune, Hindistan, 22-23 Mart 2024; s. 1-6.
17. Schneider, T.; Dorst, T.; Schnur, C.; Goodarzi, P.; Schütze, A. Akıllı Sensör Sistemlerinin Tahmin Kalitesi Üzerindeki Veri Kalitesi, Alan Kayması ve Ölçüm Belirsizliğinin Etkisi. *Teknoloji. Karmaşa*.**2023**, *90*, 33–36. [ÇaprazRef]
18. Huang, A.; Liu, Y.; Chen, T.; Zhou, Y.; Sun, Q.; Chai, H.; Yang, Q. StarFL: Akıllı Kentsel Bilişim için Hibrit Federatif Öğrenme Mimarisi. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.***2021**, *12*, 43. [ÇaprazRef]
19. Sanchez, TW; Brenman, M.; Ye, X. Kentsel Planlamada Yapay Zekanın Etik Endişeleri. *J. Am. Plan. Derneği***2025**, *91*, 294–307. [ÇaprazRef]
20. Goodman, B.; Flaxman, S. Algoritmik Karar Alma Konusundaki Avrupa Birliği Mevzuatı ve “Açıklama Hakkı”. *Yapay Zeka Dergisi* **2017**, *38*, 50–57. [ÇaprazRef]
21. Turvey, RA Şehir Planlama ve Sürdürülebilir Şehirler. *Uluslararası Sürdürülebilirlik Dergisi*.**2019**, *11*, 139–161. [ÇaprazRef]
22. Bera, S. Sürdürülebilir Kentsel Kalkınma: Anlam ve Önemi. *Galore Uluslararası J. Uygulamalı Bilimler ve İnsan Bilimleri*.**2020**, *4*, 29–33.
23. Roggema, R. Sürdürülebilir Kentselliğin Geleceği: Toplum Tabanlı, Karmaşıklık Odaklı ve Manzara Odaklı. *Sürdürülebilirlik***2017**, *9*, 1442. [ÇaprazRef]
24. Purvis, B.; Mao, Y.; Robinson, D. Sürdürülebilirliğin Üç Sütunu: Kavramsal Kökenlerin Arayışı. *Sürdürülebilir Bilim***2019**, *14*, 681–695. [ÇaprazRef]
25. Satterthwaite, D. Yeni Bir Kentsel Gündem mi? *Çevre. Kentsel*.**2016**, *28*, 3–12. [ÇaprazRef]
26. Deviney, AV; Bhadha, JH; Vinç, L.; Cuchiara, M.; Delanthamajalu, S.; Gatiboni, L.; Guzman, SM; Hendren, CO; Marshall, A.M.; Morrison, E. *Kentsel Doğa Endeksleri*; Uluslararası Doğa Koruma Birliği: Gland, İsviçre, 2023; ISBN 978-2-8317-2237-5.
27. Rosenzweig, C.; Solecki, W.; Romero-Lankao, P.; Mehrotra, S.; Dhakal, S.; Bowman, T.; Ibrahim, SA İklim Değişikliği ve Şehirler: Kentsel İklim Değişikliği Araştırma Ağı'nın İkinci Değerlendirme Raporu: Şehir Liderleri için Özet. *İklim Değişikliği ve Şehirler: Kentsel İklim Değişikliği Araştırma Ağı'nın İkinci Değerlendirme Raporu*; Rosenzweig, C., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., Ali Ibrahim, S., Solecki, WD, Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, Birleşik Krallık, 2018; s. xvii–xlii. ISBN 978-1-316-60333-8.
28. Fainstein, SS *Adil Şehir*; Cornell University Press: Ithaca, NY, ABD, 2010; ISBN 978-0-8014-4655-9.
29. Qi, J.; Mazumdar, S.; Vasconcelos, AC Kentsel Kamusal Alan ile Sosyal Uyum Arasındaki İlişkinin Anlaşılması: Sistemik Bir İnceleme. *Uluslararası J. Com. WB***2024**, *7*, 155–212. [ÇaprazRef]
30. Dünya Kentleşme Beklentileri: 2018 Revizyonu. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Raporu.pdf> (19 Şubat 2025'te erişildi).
31. Kentsel Genişleme Atlası. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.lincolnst.edu/publications/books/atlas-urban-expansion/> (20 Şubat 2025'te erişildi).
32. Angel, S. Kentsel Genişleme: Teori, Kanıt ve Uygulama. *İnşa Et. Şehirler***2023**, *4*, 124–138. [ÇaprazRef]
33. *Dünya Şehirleri Raporu 2024 Şehirler ve İklim Eylemi*; BM-Habitat, Ed.; Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı (BM-Habitat); BM-Habitat: Nairobi, Kenya, 2024; ISBN 978-92-1-133395-4.
34. Ali, MA; Kamraju, M. Sürdürülebilir Entegre Su Kaynakları Yönetiminde Topluluk Katılımının Rolü: Zorluklar, Fırsatlar ve Güncel Perspektifler. *Hindistan'da Su Kaynaklarının Entegre Yönetimi: Hesaplamalı Bir Yaklaşım: Sürdürülebilirlik ve Planlama İçin Optimizasyon*; Yadav, AK, Yadav, K., Singh, VP, Editörler; Springer: Cham, İsviçre, 2024; s. 325–344. ISBN 978-3-031-62079-9.

35. Aivazidou, E.; Banias, G.; Lampridi, M.; Vasileiadis, G.; Anagnostis, A.; Papageorgiou, E.; Bochtis, D. Sürdürülebilir Su Yönetimi için Akıllı Teknolojiler: Bir Kentsel Analiz. *Sürdürülebilirlik* **2021**, *13*, 13940. [ÇaprazRef]
36. Bibri, SE Geleceğin Veri Odaklı Akıllı Sürdürülebilir Şehirleri: Stratejik, Kısa Vadeli ve Bütünleşik Planlama için Kentsel Bilişim ve Zeka. *Bilgisayar. Kent Bilimi* **2021**, *1*, 8. [ÇaprazRef]
37. Abid, MT; Aljarrah, N.; Shraa, T.; Alghananim, HM Kentsel Geleceklerin Tahmini ve Yönetimi: Makine Öğrenmesi Modelleri ve Kentsel Genişlemenin Optimizasyonu. *Asya İnşaat Müh. Dergisi* **2024**, *25*, 4673–4682. [ÇaprazRef]
38. Cheng, J.; Li, K.; Liang, Y.; Sun, L.; Yan, J.; Wu, Y. Kentsel Hareketlilik Tahminini Yeniden Düşünmek: Çok Değişkenli Zaman Serisi Tahmin Yaklaşımı. *IEEE Çev. Intel. Transp. Sistem* **2025**, *26*, 2543–2557. [ÇaprazRef]
39. Kumar, V.; Agrawal, S. SLEUTH Modeli Kullanılarak Kentsel Modelleme ve Arazi Kullanımının Tahmini. *Uluslararası Çevre Bilimi ve Teknolojisi Dergisi* **2023**, *20*, 6499–6518. [ÇaprazRef]
40. Bastos, D.; Fernández-Caballero, A.; Pereira, A.; Rocha, NP Akıllı Şehir Uygulamaları ile Kent Yönetimi ve Yönetişimine Vatandaş Katılımını Teşvik Etmek: Sistematik Bir İnceleme. *Bilişim* **2022**, *9*, 89. [ÇaprazRef]
41. Mohammadi, M.; Al-Fuqaha, A. Büyük Veri ve Makine Öğrenimini Kullanarak Bilişsel Akıllı Şehirlerin Etkinleştirilmesi: Yaklaşımlar ve Zorluklar. *IEEE İletişim Mag.* **2018**, *56*, 94–101. [ÇaprazRef]
42. Tsalikidis, N.; Mystakidis, A.; Koukaras, P.; Ivaškevičius, M.; Morkūnaitė, L.; Ioannidis, D.; Fokaides, Pensilvanya; Tjortjis, C.; Tzovaras, D. Kentsel Trafik Sıklığı Tahmini: Sensör Verilerini ve Hava Durumu Bilgilerini Kullanan Çok Adımlı Bir Yaklaşım. *Akıllı Şehirler* **2024**, *7*, 233–253. [ÇaprazRef]
43. Zhang, M.; Tian, D.; Liu, J.; Li, X. Veri Alanı Teorisi ve GWR Modeline Dayalı Kentsel Çekirdek Alanında Taksit Talebi ve Trafik Etkileyen Faktörlerin Analizi: Pekin'de Bir Vaka Çalışması. *Sürdürülebilirlik* **2024**, *16*, 7386. [ÇaprazRef]
44. Yönetici Özeti—Kentsel Enerji Geçişlerini Güçlendirme—Analiz. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.iea.org/reports/powering-urban-energy-transitions/executive-summary> (12 Nisan 2025'te erişildi).
45. Biswal, B.; Deb, S.; Datta, S.; Ustun, TS; Cali, U. Makine Öğrenimi ve Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akıllı Enerji Yönetimi için Akıllı Şebeke Yük Tahmini Üzerine İnceleme. *Enerji Temsilcisi* **2024**, *12*, 3654–3670. [ÇaprazRef]
46. Zhang, Q. Çoklu Doğrusal Regresyona Dayalı Konut Fiyatı Tahmini. *Bilim. Programı* **2021**, *2021*, 1–9. [ÇaprazRef]
47. Yang, D.; Zhao, J.; Xu, P. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Kentsel Ticari Alan Genişlemesinin Optimize Edilmesine Yönelik Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşım. *Uygulamalı Bilimler* **2024**, *14*, 3845. [ÇaprazRef]
48. Li, Z.; Chen, B.; Wu, S.; Su, M.; Chen, JM; Xu, B. Kentsel Arazi Kullanım Kategorisi Sınıflandırması için Derin Öğrenme: Bir İnceleme ve Deneyisel Değerlendirme. *Uzaktan Algılama Çevre* **2024**, *311*, 114290. [ÇaprazRef]
49. Skoropad, VN; Dedanski, S.; Pantović, V.; Injac, Z.; Vujičić, S.; Jovanović-Milenković, M.; Jevtic, B.; Lukić-Vujadinović, V.; Vidojević, D.; Bodolo, I. Takviyeli Öğrenme ve Tahmine Dayalı Analitik Kullanarak Dinamik Trafik Akışı Optimizasyonu: Belgrad Şehrinde Kentsel Hareketliliği İyileştirmeye Sürdürülebilir Bir Yaklaşım. *Sürdürülebilirlik* **2025**, *17*, 3383. [ÇaprazRef]
50. Ge, S.; Ye, P.; Zhang, R.; Zhou, M.; Dong, H.; Wang, F.-Y. Kişiselleştirilmiş Seyahat Üretimi için LLM Odaklı Bilişsel Modelleme. *IEEE Trans. Bilgisayar Sos. Sis.* **2025**, 1–10. [ÇaprazRef]
51. Movahedi, M.; Choi, J. LLM ve Trafik Kontrolünün Kavşağı: Uyarlanabilir Trafik Sinyal Kontrolünde Büyük Dil Modelleri Üzerine Bir Çalışma. *IEEE Çev. Intel. Transp. Sistem* **2025**, *26*, 1701–1716. [ÇaprazRef]
52. Xu, Y.; Wang, T.; Yuan, Y.; Huang, Z.; Chen, X.; Zhang, B.; Zhang, X.; Wang, Z. Kentsel Güç Şebekesi Tasarımı için Alana Özel Sözlük Oluşturmaya Yönelik LLM Geliştirilmiş Çerçeve. *Uygulamalı Bilimler* **2025**, *15*, 4134. [ÇaprazRef]
53. Salierno, G.; Leonardi, L.; Cabri, G. Endüstri 5.0'da Üretken Yapay Zeka ve Büyük Dil Modelleri: Daha Akıllı Sürdürülebilir Şehirler Şekillendirmek. *Ansiklopedi* **2025**, *5*, 30. [ÇaprazRef]
54. Kalyuzhnaya, A.; Mityagin, S.; Lutsenko, E.; Getmanov, A.; Aksenkin, Y.; Fatkhiev, K.; Fedorin, K.; Nikitin, NO; Chichkova, N.; Vorona, V.; ve ark. Akıllı Şehir Yönetimi için LLM Temsilcileri: Çok Aracılı Yapay Zeka Sistemleri Yoluyla Karar Desteğinin Geliştirilmesi. *Akıllı Şehirler* **2025**, *8*, 19. [ÇaprazRef]
55. Moraga, Á.; de CurtO, J.; de Zarza, I.; Calafate, CT Yapay Zeka Destekli İHA ve Nesnelerin İnterneti Trafik Optimizasyonu: Akıllı Şehirlerde Sıklık ve Emisyon Azaltımı için Büyük Dil Modelleri. *İnsansız hava araçları* **2025**, *9*, 248. [ÇaprazRef]
56. Yuan, X.; Li, H.; Ota, K.; Dong, M. Kenar Bilişimde Büyük Dil Modellerinin Üretken Çıkarımı: Enerji Verimli Bir Yaklaşım. 2024 Uluslararası Kablosuz İletişim ve Mobil Bilişim (IWCMC) Bildirilerinde, Ayia Napa, Kıbrıs, 27–31 Mayıs 2024; s. 244–249.
57. Rana, A.; Chauhan, R.; Sajwan, VS; Devliyal, S.; Gupta, S. Akıllı Şehirler İnşasında Nesnelerin İnternetinin Uygulanması. 2024 Bilgi İşlem, Elektrik ve Elektronikte Akıllı ve Yenilikçi Teknolojiler Uluslararası Konferansı (IITCEE) Bildirilerinde, Bangalore, Hindistan, 24 Ocak 2024; s. 1–8.
58. Marasinghe, R.; Yigitcanlar, T.; Mayere, S.; Washington, T.; Limb, M. Kentsel Planlama İçin Bilgisayar Görüntüleme Uygulamaları: Fırsatlar ve Kısıtlamaların Sistematik Bir İncelemesi. *Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu* **2024**, *100*, 105047. [ÇaprazRef]
59. Cai, M. Kentsel Araştırmalar İçin Doğal Dil İşleme: Sistematik Bir İnceleme. *Heliyon* **2021**, *7*, e06322. [ÇaprazRef] [PubMed]
60. Ogunkan, DV; Ogunkan, SK Sürdürülebilir Kentsel Altyapıda Büyük Veri Uygulamalarının Araştırılması: Bir İnceleme. *Şehir Valisi* **2025**, *5*, 54–68. [ÇaprazRef]

61. Sipahi, EB; Saayi, Z. Dünyanın İlk "Akıllı Millet" Vizyonu: Singapur Örneği. *Akıllı Şehirler Reg. Dev. (SCRD)*. **2024**, *8*, 41–58. [[ÇaprazRef](#)]
62. Veloso, Á.; Fonseca, F.; Ramos, R. Kentsel Sürdürülebilirlik ve Çağdaş Kentselcilik için Akıllı Şehir Girişimlerinden Görüşler. *Akıllı Şehirler* **2024**, *7*, 3188–3209. [[ÇaprazRef](#)]
63. Ferreira Dos Santos, JP; De Matos, CA; Groznik, A. Akıllı Şehir Sistemleri Kullanımında Yapay Zekanın Rolü: Sürücüler, Engeller ve Davranışsal Sonuçlar. *Teknoloji Sos.* **2025**, *81*, 102867. [[ÇaprazRef](#)]
64. Harry, R. Portland Şehri, Maine'in En Yoğun Kavşağında Seyahat Sürelerini %20 Azaltıyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.traffictechnologytoday.com/news/congestion-reduction/the-city-of-portland-reduces-travel-times-at-maines-busiest-intersection-by-20.html> (12 Nisan 2025'te erişildi).
65. Hızlı Akış Teknolojileri: A. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.pghtech.org/news-and-publications/rapid-flow-technologies-asurtrac-to-smart-cities> (12 Nisan 2025'te erişildi).
66. Hosen, MM; Sabbir, MMU; Hossain, MI; Sunny, MAU Hizmetteki Köprülerin Gerçek Zamanlı Yapısal Sağlık İzlemesi İçin Yapay Zeka ve Sensör Teknolojilerinden Yararlanma. *FAE* **2025**, *2*, 135–163. [[ÇaprazRef](#)]
67. Miah, MSU; Sulaiman, J.; Islam, MI; Masuduzzaman, M.; Lipu, MSH; Nugraha, R. Akıllı Şebekede Kısa Vadeli Enerji Talebinin Tahmini: SDG 7, 9 ve 13 ile Uyumlu Olarak Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegre Edilmesine Yönelik Derin Öğrenme Yaklaşımı. *arXiv* **2023**, arXiv:2304.03997.
68. DeepMind AI, Google Veri Merkezi Soğutma Faturasını %40 Azaltıyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-google-data-centre-soğutma-faturasını-40-kadar-azaltıyor/> (12 Nisan 2025'te erişildi).
69. Dimara, A.; Tzitzidou, G.; Papaioannou, A.; Krinidis, S.; Anagnostopoulos, C.-N.; Ioannidis, D.; Tzovaras, D. Cihaz Bakım Davranışları ve Sürdürülebilirlik: Avrupa Hanehalkı Perspektif Analizi. *Kaynak. Koru. Geri dönüştür.* **2024**, *210*, 107835. [[ÇaprazRef](#)]
70. IBM Research, Çin'in İddialı Enerji ve Çevre Hedeflerine Ulaşmasına Yardımcı Olmak İçin "Green Horizon" Projesini Başlattı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.pollutiononline.com/doc/ibm-research-launches-china-deliver-on-ambitious-energy-and-environmentalgoals-0001> (12 Nisan 2025'te erişildi).
71. IBM, Acil Çevre ve Kirlilik Sorunlarını Ele Almak İçin Green Horizons Girişimini Küresel Olarak Genişletiyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://uk.newsroom.ibm.com/2015-Dec-09-IBM-Expands-Green-Horizons-Initiative-Globally-To-Address-Pressing-Environmental-and-Pollution-Challenges> (10 Nisan 2025'te erişildi).
72. Küresel Ölçekte Güvenilir Taşkın Tahmini İçin Yapay Zekayı Nasıl Kullanıyoruz. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://blog.google/teknoloji/ai/google-ai-küresel-sel-tahmini/> (12 Nisan 2025'te erişildi).
73. Brunn, M. Akıllı Sensörler Atık Toplama Maliyetlerini %20 Azaltır. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.recycling-magazine.com/2021/08/09/akilli-sensörler-atık-toplama-maliyetlerini-20-yılına-kadar-azaltıyor/> (12 Nisan 2025'te erişildi).
74. Fang, B.; Yu, J.; Chen, Z.; Osman, AI; Farghali, M.; Ihara, I.; Hamza, EH; Rooney, DW; Yap, P.-S. Akıllı Şehirlerde Atık Yönetimi İçin Yapay Zeka: Bir İnceleme. *Çevre Kimya Lett.* **2023**, *21*, 1959–1989. [[ÇaprazRef](#)]
75. AMP Robotics, Geri Dönüşüm Endüstrisi için Yapay Zeka Rehberli Robotların En Büyük Dağıtımını Duyurdu | AMP. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ampsortation.com/articles/denver-september-29-2019amp-robotics-corp-amp-a-pi?utm_source=chatgpt.com (12 Nisan 2025'te erişildi).
76. Geri Dönüşüm İçin Yapay Zeka: AMP Robotics. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circularexamples/artificial-intelligence-for-recycling-amp-robotics> (12 Nisan 2025'te erişildi).
77. Allam, Z.; Dhunny, ZA Büyük Veri, Yapay Zeka ve Akıllı Şehirler Üzerine. *Şehirler* **2019**, *89*, 80–91. [[ÇaprazRef](#)]
78. Chen, Z.; Jiang, Y.; Sun, D. Kentsel Yol Ağı Trafik Sıkışıklığı Durumlarının Mekansal-Zamansal Korelasyona Dayalı Ayrımı ve Tahmini. *IEEE Erişim* **2020**, *8*, 3330–3342. [[ÇaprazRef](#)]
79. Yang, Y.; Zhang, C.; Fan, C.; Mostafavi, A.; Hu, X. Adalet Bilincine Sahip Afet Bilişimine Doğru: Disiplinlerarası Bir Bakış Açısı. *IEEE Erişim* **2020**, *8*, 201040–201054. [[ÇaprazRef](#)]
80. Cui, L.; Xie, G.; Qu, Y.; Gao, L.; Yang, Y. Akıllı Şehirlerde Güvenlik ve Gizlilik: Zorluklar ve Fırsatlar. *IEEE Erişim* **2018**, *6*, 46134–46145. [[ÇaprazRef](#)]
81. Turhan, C.; Alkan, N.; Çeter, AE; Özbey, MF İşgalcinin Ruh Hali ve Isıl Algı Arasındaki İlişki. CLIMA 2022 Konferansı Bildirilerinde, Rotterdam, Hollanda, 22-25 Mayıs 2022. [[ÇaprazRef](#)]
82. İbrahim, A.; Ali, H.; Zghoul, A.; Jaradat, S. Ruh Hali ve Sanal Ayarlar Kullanılarak Isıl Çevrenin İnsan Tarafından Değerlendirilmesi. *Kapalı Alan Yapılı Çevre*. **2021**, *30*, 70–86. [[ÇaprazRef](#)]
83. Ashokkumar, C.; Kumari, DA; Gopikumar, S.; Anuradha, N.; Krishnan, RS; Sakthidevi, I. Azaltılmış Emisyonlar için Kentsel Trafik Yönetimi: Yapay Zeka Tabanlı Uyarlanabilir Trafik Sinyal Kontrolü. 2024 2. Sürdürülebilir Bilgi İşlem ve Akıllı Sistemler Uluslararası Konferansı (ICSCSS) Bildirilerinde, Coimbatore, Hindistan, 10-12 Temmuz 2024; s. 1609-1615.
84. Samek, W.; Wiegand, T.; Müller, K.-R. Açıklanabilir yapay zeka: Derin öğrenme modellerini anlamak, görselleştirmek ve yorumlamak. *İTÜ Bilişim Teknolojileri Araştırma Dergisi* **2017**, *1*, 39–48.

85. Napisa, K.; Mababangloob, GR; Lubag, M.; Concepcion II, R.; Redillas, MM Yeşil Akıllı Şehirler ve Topluluklar için Hizmet Olarak Açıklanabilir ve Yorumlanabilir Yapay Zeka. 2023 IEEE 15. Uluslararası İnsansı, Nanoteknoloji, Bilgi Teknolojisi, İletişim ve Kontrol, Çevre ve Yönetim Konferansı (HNICEM) Bildirilerinde, Palawan, Filipinler, 19-23 Kasım 2023; s. 1-5.
86. Le, N.-T.; Thai, N.-T.; Bui, CV Vizyon-Dil Modelleriyle Kentsel Gelişimi İlerletmek: Uydu Görüntü Analizinin Uygulamaları ve Zorlukları. Yeşil Binalarda Yeni Teknolojilerin Uygulanması Konusunda 2024 9. Uluslararası Konferans Bildirileri (ATiGB), Danang, Vietnam, 30-31 Ağustos 2024; s. 184-188.
87. Yao, J. Kentsel Turizmi Yükseltme: Büyük Dil Modelleri Parlaklığıyla Veriye Dayalı İlgörüler ve Yapay Zeka Destekli Kişiselleştirme. 2023 IEEE 3. Uluslararası Sosyal Bilimler ve Zeka Yönetimi Konferansı (SSIM) Bildirilerinde, Taichung, Tayvan, 15-17 Aralık 2023; s. 138-143.
88. Mekanadar, A.; Shahane, S. Kentsel Hareketlilik: Akıllı Ulaşım Planlaması için Yapay Zeka, Makine Öğrenimi ve Veri Analitiğinden Yararlanma - New York Şehri Üzerine Bir Vaka Çalışması. 2023 14. Uluslararası Bilgi İşlem İletişim ve Ağ Teknolojileri Konferansı (ICCCNT) Bildirilerinde, Delhi, Hindistan, 6-8 Temmuz 2023; s. 1-6.
89. Sultana, F.; Bhardwaj, R.; Kumar, RN; Gaur, R.; Shankar, SP; Bharadwaj, A. Verimli Hareketlilik ve Acil Durum Müdahalesi için Akıllı Trafik Yönetim Sistemi. 2024 Bilgi Mühendisliği ve İletişim Sistemleri Uluslararası Konferansı (ICKECS) Bildirilerinde, Chikkaballapur, Hindistan, 18-19 Nisan 2024; 1. Cilt, s. 1-5.
90. Wang, H.; Saito, M.; Liu, J.; Shimamoto, S. Kentsel Yol Ağına Dayalı Sokak Üstü Park Yeri Trafik İşlemlerinin Kapsamlı Analizi. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 125643–125653. [[ÇaprazRef](#)]
91. Di Febbraro, A.; Giglio, D.; Sacco, N. Kentsel Alanlarda Trafığe Duyarlı Sinyalizasyon Kontrolü için Deterministik ve Stokastik Bir Petri Ağı Modeli. *IEEE Çev. Intel. Transp. Sistem* **2016**, *17*, 510–524. [[ÇaprazRef](#)]
92. Zhou, Z.; Lin, S.; Du, W.; Liang, H. Kentsel Trafik Ağları için Bölgesel Talep Yönetimi ve Sinyal Kontrolünün Entegrasyonu. *IEEE Erişim* **2019**, *7*, 20235–20248. [[ÇaprazRef](#)]
93. Rauniyar, A.; Berge, T.; Kuijpers, A.; Litzinger, P.; Peeters, B.; Gils, EV; Kirchhoff, N.; Håkegård, JE NEMO: Sürdürülebilir ve Akıllı Ulaşım Sistemleri için Gerçek Zamanlı Gürültü ve Egzoz Emisyonlarının İzlenmesi. *IEEE Senatörleri J.* **2023**, *23*, 25497–25517. [[ÇaprazRef](#)]
94. Thangavel, K.; Spiller, D.; Sabatini, R.; Marzocca, P.; Esposito, M. Dağıtılmış Uydu Sistemi Kullanılarak Gerçek Zamanlıya Yakın Orman Yangını Yönetimi. *IEEE Geosci. Uzaktan Algılama Lett.* **2023**, *20*, 1–5. [[ÇaprazRef](#)]
95. Berkani, S.; Gryech, I.; Ghogho, M.; Guermah, B.; Kobbane, A. Kentsel Hava Kirliliği için Veriye Dayalı Tahmin Modelleri: MoreAir Vaka Çalışması. *IEEE Erişim* **2023**, *11*, 133131–133142. [[ÇaprazRef](#)]
96. Liu, F.; Li, X. Akıllı Şehir Enerji Yönetiminde Gelişmiş Tehdit Algılama için Yapay Zeka Derin Güçlendirme Öğrenmesinin Evrimsel Algoritmalarla Entegre Edilmesi. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 177103–177118. [[ÇaprazRef](#)]
97. Kumar Mohanty, P.; Hemant Kumar Reddy, K.; Panigrahy, SK; Sinha Roy, D. Sürdürülebilir, Tüketici Odaklı Ulaşım Doğru Elektrikli Araç Enerjisi için Üretken ve Açıklanabilir Yapay Zeka Kullanımı. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 143721–143732. [[ÇaprazRef](#)]
98. Velayudhan, NK; Pradeep, P.; Rao, SN; Devidas, AR; Ramesh, MV IoT Etkin Su Dağıtım Sistemleri - Karşılaştırmalı Teknolojik İnceleme. *IEEE Erişim* **2022**, *10*, 101042–101070. [[ÇaprazRef](#)]
99. Alcaraz, O.; Berenguer, A.; Tomas, D.; Celadrán-Bernabeu, MA; Mazón, J.-N. Daha Akıllı Turizm Destinasyonları için Perakende Verilerini Açık Verilerle Artırma. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 153154–153170. [[ÇaprazRef](#)]
100. Kumi, S.; Snow, C.; Lomotey, RK; Deters, R. Makine Öğrenmesi ve Sosyal Ağ Duygu Analizi Yoluyla Vatandaşların Endişelerinin Ortaya Çıkarılması. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 94885–94913. [[ÇaprazRef](#)]
101. Ghosh, T.; Saha, R.; Roy, A.; Misra, S.; Raghuwanshi, NS Toplum 5.0'da Ağ Yönetimi için Yapay Zeka Tabanlı İletişim Hizmeti. *IEEE Trans. Ağ Servis Yönetim* **2021**, *18*, 4030–4041. [[ÇaprazRef](#)]
102. Al-Mushayt, OS Yapay Zeka ile E-Devlet Hizmetlerini Otomatikleştiriyor. *IEEE Erişim* **2019**, *7*, 146821–146829. [[ÇaprazRef](#)]
103. Talley, JW Dijital Çağda Afet Yönetimi. *IBM J. Res. Dev.* **2020**, *64*, 1:1–1:5. [[ÇaprazRef](#)]
104. Sultana, T.; Wahid, KA IoT-Guard: Gerçek Zamanlı Güvenlik Yönetimi için Olay Odaklı Sis Tabanlı Video Gözetim Sistemi. *IEEE Erişim* **2019**, *7*, 134881–134894. [[ÇaprazRef](#)]
105. Basthikodi, M.; Vidya, B.; Pinto, EM; Basith, M.; Rao, SA Suç Tespiti ve Kalabalık Yönetimi için Yapay Zeka Tabanlı Otomatik Çerçeve. 2024 İkinci Uluslararası Bilgi Teknolojilerindeki Gelişmeler Konferansı (ICAIT) Bildirilerinde, Karnataka, Hindistan, 24-27 Temmuz 2024; 1. Cilt, s. 1-6.
106. Taimoor, N.; Rehman, S. Güvenilir ve Dayanıklı Yapay Zeka ve Nesnelerin İnternetine Dayalı Kişiselleştirilmiş Sağlık Hizmetleri: Bir Araştırma. *IEEE Erişim* **2022**, *10*, 535–563. [[ÇaprazRef](#)]
107. Kumar, B.; Rajput, N.; Yagnam, N. Makine Öğrenmesi Yaklaşımının Yardımıyla Yenilikçi Bir Nesnelerin İnterneti (IoT) Hesaplama Tabanlı Sağlık İzleme Sistemi. 2022 5. Çağdaş Hesaplama ve Bilişim Uluslararası Konferansı (IC3I) Bildirilerinde, Uttar Pradesh, Hindistan, 14-16 Aralık 2022; s. 1756-1760.

108. Ahmad, I.; Asghar, Z.; Kumar, T.; Li, G.; Manzoor, A.; Mikhaylov, K.; Shah, SA; Höyhty, M.; Reponen, J.; Huusko, J.; ve diğerleri. Yeni Nesil Uzaktan Sağlık Bakımı ve Destekli Yaşam İçin Ortaya Çıkan Teknolojiler. *IEEE Erişim* **2022**, *10*, 56094–56132. [[ÇaprazRef](#)]
109. Alsinglawi, BS; Alnajjar, F.; Alorjani, MS; Al-Shari, OM; Munoz, MN; Mubin, O. Açıklanabilir Makine Öğrenimi Kullanılarak Hastanede Kalış Süresinin Tahmini. *IEEE Erişim* **2024**, *12*, 90571–90585. [[ÇaprazRef](#)]
110. Liu, S.; Huang, Y.; Shi, L. Otonom Mobil Klinikler: Her Yerde, Her Zaman Uygun Fiyatlı Sağlık Hizmetine Erişimi Güçlendirmek. *IEEE Müh. Yön. Rev.* **2022**, *50*, 147–154. [[ÇaprazRef](#)]
111. Khattak, FK; Subasri, V.; Krishnan, A.; Pou-Prom, C.; Akınlı-Kocak, S.; Dolatabadi, E.; Pandya, D.; Seyyed-Kalantari, L.; Rudzicz, F. MLHops: Makine Öğrenimi Sağlık Operasyonları. *IEEE Erişim* **2025**, *13*, 20374–20412. [[ÇaprazRef](#)]
112. Wolniak, R.; Stecuła, K. Akıllı Şehirlerde Yapay Zeka - Uygulamalar, Engeller ve Gelecekteki Yönlendirmeler: Bir İnceleme. *Akıllı Şehirler* **2024**, *7*, 1346–1389. [[ÇaprazRef](#)]
113. Allam, Z.; Newman, P. Akıllı Şehrin Yeniden Tanımlanması: Kültür, Metabolizma ve Yönetişim. *Akıllı Şehirler* **2018**, *1*, 4–25. [[ÇaprazRef](#)]
114. Ortega-Fernández, A.; Martín-Rojas, R.; García-Morales, VJ Kentsel Çevrede Yapay Zeka: Yenilik ve Sürdürülebilirliği Geliştirmek İçin Model Olarak Akıllı Şehirler. *Sürdürülebilirlik* **2020**, *12*, 7860. [[ÇaprazRef](#)]
115. BM Kalkınma Programı. *Yapay Zeka Hazırlık Değerlendirmesi (AIRA) 2024*; GovTech: Thimphu, Butan, 2024.
116. Mazzetto, S. Akıllı Şehir Gelişiminde Kentsel Dijital İkiz Entegrasyonu, Zorluklar ve Gelecekteki Yönlendirmelerin İncelenmesi. *Sürdürülebilirlik* **2024**, *16*, 8337. [[ÇaprazRef](#)]
117. Das, D.; Kwek, B. Yapay Zeka ve Veri Odaklı Kentselcilik: Singapur Deneyimi. *Sayı. Coğrafya. Soc.* **2024**, *7*, 100104. [[ÇaprazRef](#)]
118. Singapore Government Agency Land Transport Authority (LTA) | Endüstri ve Yenilikler. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.lta.gov.sg/content/ltgov/en/endüstri_yenilikleri.html#teknolojiler (20 Mart 2025'te erişildi).
119. Elassy, M.; Al-Hattab, M.; Takturi, M.; Badawi, S. Sürdürülebilir Akıllı Şehirler için Akıllı Ulaşım Sistemleri. *Ulaştırma Müh.* **2024**, *16*, 100252. [[ÇaprazRef](#)]
120. Aimsun. Singapore: Gerçek Zamanlı Trafik Simülasyonu ve Tahmini için Teknoloji Denemesi. 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.aimsun.com/uncategorized/singapur-yargilaması/> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
121. Hassebo, A.; Tealab, M. Akıllı Şehirlerin Küresel Modelleri ve Potansiyel IoT Uygulamaları: Bir İnceleme. *Nesnelerin İnterneti* **2023**, *4*, 366–411. [[ÇaprazRef](#)]
122. Kentsel Yeniden Geliştirme Kurumu Akıllı Planlama. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.ura.gov.sg/Kurumsal/Planlama/Planlama-Sürecimiz/Akıllı-Planlama?utm_source=chatgpt.com (20 Mart 2025'te erişildi).
123. OECD. Kamu Sektörü Yenilik Gözlemevi (OPSI). *Sanal Singapur—Singapur'un Sanal İkizi* 2024. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://oecd-opsi.org/innovations/virtual-twin-singapore/> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
124. Akıllı Millet; Dijital Devlet Ofisi. *Ulusal Yapay Zeka Stratejisi*; Dijital Hükümet Ofisi: Singapur, 2019; s. 1–45.
125. Singapur Ulusal Su Ajansı PUB, Singapur'un İlk 300.000 Akıllı Su Sayacını Kurmak İçin SP Hizmetlerini Atadı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: http://www.pub.gov.sg/Resources/News-Room/PressReleases/2021/04/PUB_Singapur'u_kurmak_için_SP_Hizmetlerini_atadı (20 Mart 2025'te erişildi).
126. GovTech. Yapay Zeka İçin Büyük Çaba Verimli ve Faydalı Olduğu Kanıtlandı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.tech.gov.sg/media/technews/big-push-for-ai-proves-fruitful-and-useful/> (20 Mart 2025'te erişildi).
127. Seng, CE Singapur'un Akıllı Ulus Programı—Etkinleştiriciler ve Zorluklar. 2016 11. Sistem Mühendisliği Konferansı (SoSE) Bildirilerinde; IEEE Press: Kongsberg, Norveç, 2016; s. 1–5.
128. Negrello, M. Doğa ile İklimle Dayanıklı Şehirler Tasarlamak: Kopenhag'dan Bir Ders. Yeşil ve Dijital Geçişte Teknolojik Hayal Gücü Bildirilerinde; Arbizzani, E., Cangelli, E., Clemente, C., Cumo, F., Giofrè, F., Giovenale, AM, Palme, M., Paris, S., Editörler; Springer International Publishing: Cham, İsviçre, 2023; s. 853–862.
129. Mosavi, A.; Öztürk, P.; Chau, K. Makine Öğrenmesi Modelleri Kullanılarak Sel Tahmini: Literatür Taraması. *su* **2018**, *10*, 1536. [[ÇaprazRef](#)]
130. Brears, RC Kopenhag Mavi-Yeşil Altyapısı ile Mavi-Yeşil Bir Şehir Olmak. *Mavi ve Yeşil Şehirler: Kentsel Su Kaynaklarının Yönetiminde Mavi-Yeşil Altyapının Rolü*; Brears, RC, Ed.; Springer International Publishing: Cham, İsviçre, 2023; s. 115–132. ISBN 978-3-031-41393-3.
131. Amerikan Peyzaj Mimarları Derneği Kopenhag Bulut Patlaması Formülü: Mavi-Yeşil Müdahaleleri Planlama ve Tasarlama Stratejik Süreci | 2016 ASLA Profesyonel Ödülleri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.asla.org/2016awards/171784.html> (20 Mart 2025'te erişildi).
132. Amer, SB; Bramstoft, R.; Balyk, O.; Nielsen, PS Gelecekteki Düşük Karbonlu Enerji Sistemlerinin Modellenmesi—Büyük Kopenhag, Danimarka Vaka Çalışması. *Uluslararası Sürdürülebilir Enerji Planlaması ve Yönetimi Dergisi* **2019**, *24*, 21–32. [[ÇaprazRef](#)]
133. Kopenhag Çözüm Laboratuvarı. Yapay Zeka Kullanarak Binaların Enerji Optimizasyonu. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://cphsolutionslab.dk/en/news/signaturprojekt-enerjioptimize-etme-vha-ai-kopier> (20 Mart 2025'te erişildi).
134. Eltvæd, M.; Breyer, N.; Ingvardson, JB; Nielsen, OA Uzun Vadeli Hizmet Kesintilerinin Yolcu Seyahat Davranışı Üzerindeki Etkileri: Büyük Kopenhag Bölgesinden Akıllı Kart Analizi. *Transp. Res. Bölüm C Acil Teknoloji* **2021**, *131*, 103198. [[ÇaprazRef](#)]

135. Wolniak Akıllı Şehirde Akıllı Mobilité—Kopenhag ve Barcelona Karşılaştırması. *Uluslararası Sürdürülebilir Enerji Planlaması ve Yönetimi Dergisi* **2023**, *2023*, 680–697. [ÇaprazRef]
136. Braun, T.; Fung, BCM; Iqbal, F.; Shah, B. Akıllı Şehirlerde Güvenlik ve Gizlilik Zorlukları. *Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu* **2018**, *39*, 499–507. [ÇaprazRef]
137. Hassan, O. Yapay Zeka, Neom ve Suudi Arabistan'ın Petrol ve Gazdan Ekonomik Çeşitlendirilmesi. *Siyasi Soru* **2020**, *91*, 222–227. [ÇaprazRef]
138. Yusuf, N.; Abdulmohsen, D. Ekonomik Olarak Uygulanabilir Planlı Kentler İçin Bir Test Alanı Olarak Suudi Arabistan'ın NEOM Projesi: Vaka Çalışması. *Sürdürülebilirlik* **2023**, *15*, 608. [ÇaprazRef]
139. Al-sayed, A.; Al-shammari, F.; Alshutayri, A.; Aljojo, N.; Aldahri, E.; Abouola, O. Suudi Arabistan'daki Akıllı Şehir Hattı: Sorun ve Zorluklar. *Postmod. Açık* **2022**, *13*, 15–37. [ÇaprazRef] [PubMed]
140. Allouz, M.; Aljaafreh, M. Neom İnşaat Projelerinde Uygulanan Yapay Zeka: Proje Başarısını Artırmada Yapay Zekanın Potansiyel Etkisi. *Acta Inform. Malaylar* **2024**, *8*, 32–44. [ÇaprazRef]
141. Alam, T.; Khan, MA; Gharaibeh, NK; Gharaibeh, MK Akıllı Şehirler için Büyük Veri: Suudi Arabistan'daki NEOM Şehri Örneği. İçinde *Akıllı Şehirler: Veri Analitiği Perspektifi*; Khan, MA, Algarni, F., Quasim, MT, Editörler; Springer International Publishing: Cham, İsviçre, 2021; s. 215–230. ISBN 978-3-030-60922-1.
142. NEOM. NEOM Yatırım Fonu Pony.Ai'ye 100 Milyon ABD Doları Yatırım Yaptı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.neom.com/en-us/newsroom/neom-yatirim-fonu-pony-ai-ye-yatirim-yapti> (20 Mart 2025'te erişildi).
143. Garcia, E.; Calvet, L.; Carracedo, P.; Serrat, C.; Miró, P.; Peyman, M. Barcelona Şehrindeki Trafik Seviyesinin Tahmini Analizleri: ARIMA'dan Aşırı Eğitim Artırmaya. *Uygulamalı Bilimler* **2024**, *14*, 4432. [ÇaprazRef]
144. Grau-Escolano, J.; Bassolas, A.; Vicens, J. Atölyeye Bisikletle Giriş: Barcelona'nın Bisiklet Paylaşım Sisteminde Tahmini Bakım İçin E-Bisiklet ve m-Bisiklet Hareketlilik Modelleri. *EPJ Veri Bilimi* **2024**, *13*, 48. [ÇaprazRef]
145. Dias, GM; Bellalta, B.; Oechsner, S. Açık Veri Kullanarak Barcelona'daki Bisiklet Servis İstasyonlarındaki Doluluk Eğilimlerini Tahmin Etmek. 2015 SAI Akıllı Sistemler Konferansı (IntelliSys) Bildirilerinde, Londra, İngiltere, 10-11 Kasım 2015; s. 439-445.
146. Nieuwenhuijsen, M.; de Nazelle, A.; Pradas, MC; Daher, C.; Dzhambov, AM; Echave, C.; Gössling, S.; Iungman, T.; Khreis, H.; Kirby, N.; ve diğerleri. Süperblok Modeli: Sürdürülebilirlik, Yaşanabilirlik, Sağlık ve Refah İçin Yenilikçi Bir Kentsel Modelin İncelenmesi. *Çevre. Res.* **2024**, *251*, 118550. [ÇaprazRef]
147. Kuguoglu, BK; van der Voort, H.; Janssen, M. Akıllı Şehirler İçin Dev Adım: Akıllı Şehir Nesnelerin Yapay Zekası (AIoT) Girişimlerinin Ölçeklendirilmesi. *Sürdürülebilirlik* **2021**, *13*, 12295. [ÇaprazRef]
148. Santilli, P. Singapore Zeka Akıllı Şehir Uygulamalarında En İyi Uygulamalar—Stratejik Zeka Profesyonelleri Konsorsiyumu (SCIP). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.scip.org/news/647788/Singapur-Zeka-Akıllı-Şehir-Uygulamalarında-En-İyi-Uygulamalar.htm> (23 Mayıs 2025'te erişildi).
149. Mohsen, BM Akıllı Şehirlerde Kentsel Lojistiğin Yapay Zeka Destekli Optimizasyonu: Verimli Teslimat Sistemleri için Otonom Araçların ve IoT'nin Entegre Edilmesi. *Sürdürülebilirlik* **2024**, *16*, 11265. [ÇaprazRef]
150. Nam, T.; Pardo, TA Akıllı Şehri Teknoloji, İnsanlar ve Kurumların Boyutlarıyla Kavramsallaştırmak. 12. Yıllık Uluslararası Dijital Hükümet Araştırma Konferansı Bildirilerinde: Zorlu Zamanlarda Dijital Hükümet İnovasyonu; Hesaplama Makineleri Derneği: New York, NY, ABD, 2011; s. 282–291.
151. Dai, Y.; Hasaneffendic, S.; Bossink, B. Akıllı Şehir Dönüşüm Sürecinin Sistemik Literatür İncelemesi: Paydaşların ve Teknolojinin Rolü ve Etkileşimi. *Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu* **2024**, *101*, 105112. [ÇaprazRef]
152. Vrabie, C. Yapay Zekanın Kamu Örgütlerine ve Akıllı Şehirlere Vaatleri. Dijital Dönüşüm Bildirilerinde; Maślankowski, J., Marcinkowski, B., Rupino da Cunha, P., Editörler; Springer International Publishing: Cham, İsviçre, 2022; s. 3–14.
153. Carey, N. Smart, Akıllı Şehirler için Kablosuz Yardım. *Kontrol Müh.* **2020**, *67*, 21.
154. Badidi, E. *Kentsel IoT Verilerinin Gerçek Zamanlı Akışı İçin Mesaj Aracısı Tabanlı Bir Platforma Doğru*; Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2019; Cilt 859, s. 39–49.
155. Neis, P.; Warch, D.; Hoppe, M. IoT Tabanlı Açık Akıllı Kampüs Sistemlerinin Geliştirilmesi İçin Düşük Maliyetli Sensörlerin Test Edilmesi ve Değerlendirilmesi. *Sensörler* **2023**, *23*, 8652. [ÇaprazRef]
156. Hoffmann, J.; Otero, BG Erişim ve Paylaşım Tartışmasında Veri İşlerliğinin Rolünün Gizemini Ortadan Kaldırmak. *J. Intellect. Prop. Inf. Technol. E-Ticaret. Hukuku* **2020**, *11*, 252–273. [ÇaprazRef]
157. Hurst, W.; Montañez, CAC; Shone, N. Enerji Tüketimindeki Aykırı Değerleri Tespit Etmek İçin Akıllı Sayaç Verilerinden Zaman Deseni Profillemesi. *Nesnelerin İnterneti* **2020**, *1*, 92–108. [ÇaprazRef]
158. Fraefel, M.; Haller, S.; Gschwend, A. Kamu Sektöründe Büyük Veri. Şehirleri Sensörlere Bağlamak. *Elektronik Hükümet*; Springer: Cham, İsviçre, 2017; Cilt 10428 LNCS, s. 276–286.
159. Floridi, L. Güvenilir Yapay Zeka Oluşturmak İçin Kuralları Belirlemek. *Yapay Zeka'da Etik, Yönetim ve Politikalar*; Springer: Cham, İsviçre, 2021; Cilt 144, s. 41–45.

160. Bansal, R. Büyük Dil Modeli Geliştirme ve Yapay Zeka Etiğindeki Zorluklar. *Büyük Dil Modeli Geliştirme ve Yapay Zeka Etiğindeki Zorluklar*, IGI Global: Hershey, PA, ABD, 2024; sayfa 25–81.
161. Firmansyah, G.; Bansal, S.; Walawalkar, AM; Kumar, S.; Chattopadhyay, S. Etik Yapay Zekanın Geleceği. *Büyük Dil Modeli Geliştirme ve Yapay Zeka Etiğindeki Zorluklar*, IGI Global: Hershey, PA, ABD, 2024; s. 145–177.
162. Singh, BP; Joshi, A. Yapay Zeka Geliştirmede Etik Hususlar. *Yapay Zeka ve Veri Analizinin Etik Sınırı*, IGI Global: Hershey, PA, ABD, 2024; s. 156–179.
163. Augusto, C.; Olivero, MA; Moran, J.; Morales, L.; De La Riva, C.; Aroba, J.; Tuya, J. Sağlık Verilerinde Test Odaklı Anonimleştirme: Yardımcı Üreme Üzerine Bir Vaka Çalışması. 2020 IEEE Yapay Zeka Testi Uluslararası Konferansı (AITest) Bildirilerinde, Oxford, İngiltere, 3-6 Ağustos 2020; s. 81-82.
164. Kulkarni, MS; Naik, HL; Bharathi, SV GDPR'nin Etkisini Anlamak İçin Gizlilik Politikalarının Metinsel Analizi. 2023 2. Uluslararası Fütüristik Teknolojiler Konferansı (INCOFT) Bildirilerinde, Karnataka, Hindistan, 24-26 Kasım 2023.
165. Heimes, R. Küresel Bilgi Güvenliği ve İhlal Standartları. *IEEE Güvenlik Özel*. **2016**, *14*, 68–72. [ÇaprazRef]
166. Tong, S.; Li, S. Kentsel Planlama İçin Açıklanabilir Yapay Zeka: Yeni Bir Bakış Açısıyla Zorluklar, Çözümler ve Gelecekteki Trendler. *Uluslararası J. İleri Bilgisayar Bilimleri Uygulamaları* **2024**, *15*, 779–787. [ÇaprazRef]
167. Balkır, E.; Kiritchenko, S.; Nejadgholi, I.; Fraser, KC. NLP Modellerinin Adilliğini Geliştirmek İçin Açıklanabilirlik Yöntemlerinin Uygulanmasındaki Zorluklar. Güvenilir Doğal Dil İşleme 2. Çalıştayının Bildirilerinde (TrustNLP 2022), Çevrimiçi, 14 Temmuz 2022; Hesaplamalı Dilbilim Derneği: Seattle, WA, ABD; s. 80–92.
168. Ren, Z.-T.; Zhang, R. Altyapı Yönetiminde Kamu-Özel Ortaklıklarını Düzenlemek İçin Hükümete Yönelik Teşvik Mekanizması Analizi. 2009 Uluslararası Yönetim Bilimi ve Mühendisliği Konferansı Bildirileri, Moskova, Rusya, 14-16 Eylül 2009; s. 2179-2183.
169. Demertzis, K.; Tsiknas, K.; Taketzi, D.; Skoutas, DN; Skianis, C.; Iliadis, L.; Zoiros, KE Akıllı Şebeke Altyapıları için İletişim Ağları Standartları. *Ağ* **2021**, *1*, 132–145. [ÇaprazRef]
170. Wala, J. Şeffaflık ve Güven: Kritik Altyapı Sistemleri için XAI'yi Değerlendirmek - Kapsamlı Bir Analiz. *İnşaat ve Yapı Mühendisliğinde Bilgi Teknolojilerindeki Gelişmeler*, Springer: Cham, İsviçre, 2025; Cilt 629 LNCE, s. 3–14.
171. de Zoeten, M.; Ernst, C.-PH; Rothlauf, F. Bir Güven Meselesi: AI Tabanlı Sistemlerdeki Güvenin Etkileşim Sırasında Nasıl Değiştiği. Bilgi Sistemleri Üzerine Amerika Konferansı Bildirilerinde, Ciudad de, Panama, Panama, 10–12 Ağustos 2023.
172. Singh, J.; Rani, S.; Srilakshmi, G. Açıklanabilir Yapay Zeka'ya Doğru: Karmaşık Karar Alma İçin Yorumlanabilir Modeller. 2024 Bilgi Mühendisliği ve İletişim Sistemleri Uluslararası Konferansı (ICECS) Bildirilerinde, Chikkaballapur, Hindistan, 18-19 Nisan 2024.
173. Alim, S.; Polak, J. Gelecekteki Kentsel Altyapı için Kamu-Özel Sektör Ortaklıkları. *Usul ve Esaslar Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yönetimi Tedarik Hukuku* **2016**, *169*, 150–158. [ÇaprazRef]
174. Gorelick, J.; Walmsley, N. Belediye Altyapı Yatırımlarının Yeşillendirilmesi: Teknik Yardım, Araçlar ve Şehir Şampiyonları. *Yeşil Finans* **2020**, *2*, 114–134. [ÇaprazRef]
175. Cappellaro, G.; Mele, V.; Ansari, S. Küresel Görevler ve Yerel Gerçekler Arasında Köprü Kurmak: Uluslararası Kalkınma için Aracı Kümeler ve Kurumlararası İşbirliği. *Organ. Çelik*. **2025**, *46*, 157–185. [ÇaprazRef]
176. Algoritmik Etki Değerlendirme Aracı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/digital-government-innovations/responsible-use-ai/algorithmic-impact-assessment.html> (22 Mayıs 2025'te erişildi).
177. AB Yapay Zeka Yasası: AB Yapay Zeka Yasası'nın Güncel Gelişmeleri ve Analizleri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://yapayzeka.eu/> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
178. AI Risk Yönetimi Çerçevesi. NIST 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.nist.gov/itl/ai-risk-yonetim-çerçevesi> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
179. Yapay Zeka Kaydı | Helsinki Şehri Yapay Zeka Kaydı 2020. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://ai.hel.fi/tr/airegister/> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
180. Mitchell, M.; Wu, S.; Zaldivar, A.; Barnes, P.; Vasserman, L.; Hutchinson, B.; Spitzer, E.; Raji, ID; Gebru, T. Model Raporlama İçin Model Kartları. Adalet, Hesap Verebilirlik ve Şeffaflık Konferansı Bildirilerinde, New York, NY, ABD, 29-31 Ocak 2019; s. 220-229.
181. New York Şehri Otomatik Karar Sistemleri Görev Gücü Raporu. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.nyc.gov/assets/adtaskforce/downloads/pdf/ADS-Report-11192019.pdf> (24 Mayıs 2025'te erişildi).
182. Admin DECODE Nedir? Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.decodeproject.eu/what-decode> (22 Mayıs 2025'te erişildi).
183. Kuchtíková, N.; Maryska, M. *Çevre Dostu Yapay Zeka: Yenilikçiliği Çevresel Sorumlulukla Dengelemek*, Trauner Verlag: Linz, Avusturya, 2024; s. 445–453.
184. Walsh, P.; Bera, J.; Sharma, VS; Kaulgud, V.; Rao, RM; Ross, O. Bulutta Sürdürülebilir Yapay Zeka: Bulutta Makine Öğrenimi Enerji Kullanımını Keşfetmek. 2021 36. IEEE/ACM Uluslararası Otomatik Yazılım Mühendisliği Çalıştayları Konferansı (ASEW) Bildirilerinde, Melbourne, Avustralya, 15-19 Kasım 2021; s. 265-266.

185. Lagani, G.; Falchi, F.; Gennaro, C.; Amato, G. Sürdürülebilir Biyo-Esinli Yapay Zeka için AIMH Laboratuvarı. İtalya-IA 2023 Bildirileri: 3. Ulusal Yapay Zeka Konferansı, Pisa, İtalya, 29–31 Mayıs 2023; Cilt 3486, s. 575–584.
186. Misan, S.; Orciuolo, P.; Beebeejaun, R.; Bosich, D.; Chiandone, M.; Sulligoi, G. Enerji Tüketimini ve Karbon Emisyonlarını Azaltmak İçin Yapay Zeka Ruh Sağlığını İyileştirme. 2024 AEIT Uluslararası Yıllık Konferansı (AEIT) Bildirilerinde, Trento, İtalya, 25-27 Eylül 2024.
187. Manikandan, S.; Kaviya, RS; Shreeharan, DH; Subbaiya, R.; Vickram, S.; Karmegam, N.; Kim, W.; Govarthanan, M. Yapay Zeka Odaklı Sürdürülebilirlik: Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri için Karbon Yakalamanın Geliştirilmesi - Bir İnceleme. *Sürdür. Gel.* **2025**, *33*, 2004–2029. [[ÇaprazRef](#)]
188. Cai, B.; Feng, Y.; Wang, X.; Quddus, M. Video Verilerinden Trafik Karakteristiklerini Tahmin Etmek İçin Son Derece Doğru Derin Öğrenme Modelleri. *Uygulamalı Bilimler* **2024**, *14*, 8664. [[ÇaprazRef](#)]
189. Zhang, X.; Hu, S.; Zhang, H.; Hu, X. Trafik Sıkışıklığının Belirlenmesi İçin Gerçek Zamanlı Çoklu Araç Takip Yöntemi. *KSII Trans. Internet Bilgi Sist.* **2016**, *10*, 2483–2503. [[ÇaprazRef](#)]
190. Bawaneh, M.; Simon, V. Gerçek Yaşam Senaryolarında Trafik Sıkışıklığı Algılama Algoritmalarının Performans Değerlendirmesi. 2022 21. Uluslararası Sempozyum INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH) Bildirilerinde, Saraybosna, Bosna Hersek, 16–18 Mart 2022; s. 1–8.
191. Kunjir, SN; Patil, SS; Hingane, BS; Pagariya, JA; Rashid, M. Büyük Veri Analitik Platformunun Entegrasyonu ile Akıllı Kentsel Ulaşımı Yönetmek. 2023 6. Çağdaş Hesaplama ve Bilişim Uluslararası Konferansı (IC3I) Bildirilerinde, Gautam Buddha Nagar, Hindistan, 14-16 Eylül 2023; s. 1807-1811.
192. Hoseinzadeh, N.; Liu, Y.; Han, LD; Brakewood, C.; Mohammadnazar, A. Yüzey Sokaklarında Konum Tabanlı Kalabalık Kaynaklı Hız Verilerinin Kalitesi: Sevierville, TN'de Waze ve Bluetooth Hız Verilerinin Bir Vaka Çalışması. *Bilgisayar. Çevre. Kentsel Sis.* **2020**, *83*, 101518. [[ÇaprazRef](#)]
193. Poornimathi, K.; Deepak Kumar, A.; Srinithi, A. ROUTESENSE—Araba Paylaşım Sistemlerine Yapay Zeka Destekli Bir Çözüm. 2024 10. Uluslararası İletişim ve Sinyal İşleme Konferansı (ICCSP) Bildirilerinde, Melmaruvathur, Hindistan, 12–14 Nisan 2024; s. 1168–1174.
194. Domingo, D.; Palka, G.; Hersperger, AM İmar Planlarının Kentsel Arazi Kullanım Değişikliğine Etkisi: Sürdürülebilir Kentsel Büyüme Desteklemek İçin Çok Senaryolu Bir Simülasyon. *Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu* **2021**, *69*, 102833. [[ÇaprazRef](#)]
195. Klug, S.; Hayashi, Y. Japonya ve Almanya'da Kentsel Yayılma ve Yerel Altyapı. *J. Altyapı Sist.* **2012**, *18*, 232–241. [[ÇaprazRef](#)]
196. Zhang, Y.; Schnabel, MA Sürekli Kentsel Tasarım için Parametrik Modellemede Form Tabanlı Kod. Asya'da Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım Araştırmaları Üzerine 21. Uluslararası Konferans Bildirilerinde: Yaşayan Sistemler ve Mikro Ütopyalar: Sürekli Tasarıma Doğru, CAADRIA 2016, Melbourne, Avustralya, 30 Mart-2 Nisan 2016; s. 33-42.
197. Bedi, J.; Toshniwal, D. Elektrik Talebini Tahmin Etmek İçin Derin Öğrenme Çerçevesi. *Uygulama Enerji* **2019**, *238*, 1312–1326. [[ÇaprazRef](#)]
198. Gopal, JN; Madhu, B.; Somu, S.; Anand, AJ Enerji Talebi Tahmini için Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI). *Trafik ve Enerji Sistemleri için Sinir Ağları ve Grafik Modelleri*; IGI Global: Hershey, PA, ABD, 2025; s. 115–138.
199. Anitha, R.; Siva Prasad, G.; Senthil, M.; Sarfaraz Ahmed, A.; Raja, L.; Vijayakumar, SD Yapay Zeka Tabanlı Maliyet Optimize Edilmiş Akıllı Enerji Dağıtımı ve Yönetimi. 2024 Hesaplamalı Bilimde Ortaya Çıkan Araştırmalar Uluslararası Konferansı (ICERCS) Bildirilerinde, Coimbatore, Hindistan, 12-14 Aralık 2024.
200. Arun, M.; Barik, D.; Chandran, SSR; Praveenkumar, S.; Tudu, K. Yapay Zeka Destekli Akıllı Binaların Ekonomik, Politika, Sosyal ve Düzenleyici Yönleri. *J. Yapı Müh.* **2025**, *99*, 111666. [[ÇaprazRef](#)]
201. Arıbaş, E.; Dağlarlı, E. Kişiselleştirilmiş Seyahat Önerilerinin Dönüştürülmesi: Üretken Yapay Zekanın Kişilik Modelleriyle Entegre Edilmesi. *Elektronik* **2024**, *13*, 4751. [[ÇaprazRef](#)]
202. Huang, L.; Liu, C.; Peng, W. Yapay Zeka Algoritmasına Dayalı Turistik Cazibe Merkezleri Öneri Sistemi. 2024 IEEE 13. Uluslararası İletişim Sistemleri ve Ağ Teknolojileri Konferansı (CSNT) Bildirilerinde, Jabalpur, Hindistan, 6-7 Nisan 2024; s. 1175–1179.
203. Sharma, V. AI in Hospitality and Tourism Promotion: Opportunities and Challenges. İçinde *Misafirperverlik ve Turizmde Yapay Zeka ve Teknoloji Odaklı Çözümlerin Etkisi*; IGI Global: Hershey, PA, ABD, 2024; s. 43–65. ISBN 979-836936757-5.
204. Siva Sankar, A.; Nirmal Kumar, K.; Dinesh, SM; Abhishek, S.; Anjali, T. Entegre Sokak Görünümü ile Akıllı Seyahat Planlaması: Kusursuz Bir Yapay Zeka Odaklı Yaklaşım. 2023 Güç ve Gelişmiş Bilgi İşlem Teknolojilerindeki Yenilikler Bildirilerinde (i-PACT), Kuala Lumpur, Malezya, 8-10 Aralık 2023.
205. Colding, J.; Nilsson, C.; Sjöberg, S. Herkes İçin Akıllı Şehirler? Sosyal Olarak Sürdürülebilir ve Kapsayıcı Şehirler İçin Dijital Ayrımları Kapatmak. *Akıllı Şehirler* **2024**, *7*, 1044–1059. [[ÇaprazRef](#)]
206. Napoles, VMP; Páez, DG; Penelas, JLE; Pérez, OG; de Pablos, FM; Gil, Akıllı Şehirlerde RM Sosyal İçerme. İçinde *Akıllı Şehirler El Kitabı*, Springer: Cham, İsviçre, 2021; s. 469–514.
207. Algarni, M. Optimize Edilmiş Taşkın Tahmini ve Azaltımı için Yapay Zekanın Kullanımı. 2023 20. ACS/IEEE Bilgisayar Sistemleri ve Uygulamaları Uluslararası Konferansı (AICCSA) Bildirilerinde, Giza, Mısır, 4–7 Aralık 2023.

208. Maheswari, EAP; Mernisi, FA; Sidharta, S.; Puspitasari, C. Etkili Kıyı Taşkın Afet Yönetimi için Yapay Zeka Kullanımı: Sistematik Bir Literatür İncelemesi. 2024 Uluslararası Bilgi Yönetimi ve Teknolojisi Konferansı (ICIMTech) Bildirilerinde, Bali, Endonezya, 28-29 Ağustos 2024; s. 530-535.
209. Kaufmann, M. AI Polislik ve Kolluk Kuvvetlerinde. *Kamu Politikası ve Yapay Zeka El Kitabı*, Edward Elgar Yayıncılık: Cheltenham, İngiltere, 2024; s. 295–306.
210. Sandhu, A.; Fussey, P. 'Polisliğin Uberizasyonu'? Polis, Tahmini Polislik Teknolojisini Nasıl Müzakere Ediyor ve İşlevselleştiriyor. *Politik.Sosyal*.**2021**,*31*, 66–81. [[ÇaprazRef](#)]
211. Brantingham, PJ; Valasik, M.; Mohler, GO Öngörücü Polislik Önyargılı Tutuklamalara Yol Açar mı? Rastgele Kontrollü Bir Denemeden Elde Edilen Sonuçlar. *İstatistik Kamu Politikası***2018**,*5*, 1–6. [[ÇaprazRef](#)]
212. Ardabili, BR; Pazho, AD; Noghre, GA; Neff, C.; Bhaskararayani, SD; Ravindran, A.; Reid, S.; Tabkhi, H. Kamu Güvenliğini Ele Almak İçin Yapay Zeka Destekli Akıllı Video Gözetiminin Politika ve Teknik Yönlerini Anlamak. *Bilgisayar. Kent Bilimi*.**2023**,*3*, 21. [[ÇaprazRef](#)]
213. Punia, M.; Choudhary, A.; Agarwal, S.; Shukla, V. Biyometrik Gözetim Sistemleri için Etik Hususlar ve Yasal Çerçevesi: Yapay Zeka, Yumuşak Biyometrik ve İnsan Gözetiminin Kesişimi. *Makine Öğrenmesi ile Kriptoloji ve Ağ Güvenliği*; Springer: Singapur, 2024; Cilt 918, s. 659–674.
214. Singh, B.; Kaunert, C. AI in Healthcare: Dijital Hastaneler ve mHealth'te Sosyal-Yasal Etki ve Yenilikler. *İnsani Yardım İçin Yapay Zeka: Ortaya Çıkan Teknolojilerle Toplumsal Değişimi Teşvik Etmek*, CRC Press: Boca Raton, FL, ABD, 2025; s. 79–91.
215. Zeng, D.; Cao, Z.; Neill, DB Yapay Zeka Destekli Halk Sağlığı Gözetimi—Yerel Tespitten Küresel Salgın İzleme ve Kontrolüne. *Tıpta Yapay Zeka: Teknik Temel ve Klinik Uygulamalar*, CRC Press: Boca Raton, FL, ABD, 2020; s. 437–453.
216. Park, Y.; Yang, S. Bilişsel İçgörü ile Hasta Hareket Modellerinin Tahmini. 2024 IEEE Biyoinformatik ve Biyotıp Uluslararası Konferansı (BIBM) Bildirilerinde, Lizbon, Portekiz, 3-6 Aralık 2024; s. 7110–7112.
217. Ingole, P.; Baviskar, PR; Ghuge, M.; Dakhare, BS; Dongre, Y.; Dubey, P. Tahmini Analitik ve Bilgi Sistemlerini Kullanarak Hastanelerde Kaynak Tahsisinin Optimize Edilmesi. *J. Inf. Sist. Müh. Müdürlüğü***2025**,*10*, 400–415.
218. Li, D.; Zhang, R.; Chen, C.; Huang, Y.; Wang, X.; Yang, Q.; Zhu, X.; Zhang, X.; Hao, M.; Shui, L. Birincil Sağlık Bakımına Erişilebilirliği İyileştirmek İçin 24 Saat Hizmet Veren Bir Kurum Olan Kapsül Kliniğin Geliştirilmesi: Çin'den Kanıtlar. *JMIR Med.Bilgi*.**2023**,*11*, e41212. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
219. Toll, K.; Moullin, JC; Andrew, S.; Williams, A.; Varhol, R.; Carey, TA; Robinson, S. Kırsal ve Uzak Bölgelerde Sağlayıcıdan Sağlayıcıya Tele-Sağlık Uygulamasının Geliştirilmesi: Karma Yöntemli Bir Çalışma Protokolü. *Rakam. Sağlık***2024**,*10*, 20552076241242790. [[ÇaprazRef](#)]
220. Amjad, A.; Kordel, P.; Fernandes, G. Yapay Zeka Aracılığıyla Sağlık Sektöründe (Tele Sağlık) Yenilik Üzerine Bir İnceleme. *Sürdürülebilirlik***2023**,*15*, 6655. [[ÇaprazRef](#)]

Yasal Uyarı/Yayıncının Notu:Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca bireysel yazar(lar) ve katkıda bulunan(lar) a aittir ve MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan herhangi bir kişi veya mal yaralanmasından sorumlu değildir.