

Akıllı kentsel altyapı: İklim değişikliğine karşı daha fazla dayanıklılık için IoT'den yararlanma

Bright Ojo ^{1,*}, Chisom Nnajiogor ², Emmanuel Osawe ³ ve Chukwudi Tabitha Aghaunor ⁴

¹ Operasyon Yönetimi Bölümü, Arkansas Üniversitesi, Fayetteville, AR, ABD.

² Küresel Kamu Politikası Bölümü, Suffolk Üniversitesi, Boston, MA, ABD.

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ambrose Alli Üniversitesi, Ekpoma, EDO, NG.

⁴ Siber Güvenlik Bölümü, Robert Morris Üniversitesi, Pittsburgh, PA, ABD.

Uluslararası Bilim ve Araştırma Dergisi Arşivi, 2024, 12(02), 1355-1364

Yayın geçmişi: 16 Haziran 2024 tarihinde alındı; 24 Temmuz 2024 tarihinde revize edildi; 27 Temmuz 2024

tarihinde kabul edildi Makale DOI: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.12.2.1363>

Özet

Kentsel ortamlarda iklim değişikliğinin etkilerine uyumu iyileştirmek için akıllı altyapı kullanımının teşvik edilmesi, halka, halkın refahına ve ekonomiye yönelik risklerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. IoT teknolojisi, çevresel değişikliklerin sürekli izlenmesine ve yönetilmesine olanak tanıyarak kentsel yapıları çok daha dirençli hale getirmektedir. Bu nedenle, bu araştırma IoT'nin iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya, kayıpları en aza indirmeye ve restorasyon süreçlerini iyileştirmeye nasıl yardımcı olabileceğini incelemeyi amaçlamaktadır. IoT'nin kentin gerçek zamanlı veri kullanımı ve enerji verimliliğinin planlanması, izlenmesi ve yönetilmesinde kullanımını gözden geçirmektedir. Makale ayrıca, afet yönetiminde IoT uygulamasını ve Barselona ve Songdo akıllı şehirlerini içeren vaka çalışmalarını da incelemektedir. Kentsel dayanıklılık ve sürdürülebilirlik anlayışını ilerletmek için bazı politika çıkarımları ve gelecekteki araştırmalar için öneriler verilmiştir. Dolayısıyla, çalışmanın sonuçları, iklim değişikliğinin etkilerini hafifletebilecek ve bunlara yanıt verebilecek sürdürülebilir şehirler geliştirmek için teknoloji çözümlerini, politikaları ve toplum katılımını içeren çok düzeyli yaklaşımların önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kentsel altyapı; IoT (Nesnelerin İnterneti); Gerçek zamanlı veri izleme; Kentsel sürdürülebilirlik; Afet yönetimi

1. Giriş

İklim değişikliğinin etkileri kentsel bölgeler için aşırı hava olayları, yüksek sıcaklıklar ve sel gibi büyük tehditler oluşturmaktadır. Bu tür değişiklikler kentsel alanların altyapısını etkilemekte ve sonuç olarak sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri beraberinde getirmektedir (Breitburg vd., 2018). Kentsel bölgelerde akıllı altyapının teşvik edilmesi, halkın güvenliği, refahı ve finansal güvenliğine yönelik risklerin azaltılması için çok önemlidir (Di Marco vd., 2020). IoT, çevredeki değişiklikleri izlemenin ve çözmenin, dolayısıyla kentsel altyapının güvenilirliğini artırmanın devrim niteliğinde bir yoldur (Li vd., 2016). Bu nedenle, bu makalenin amacı IoT'nin iklim değişikliğinin sonuçlarını hafifletme ve şehirlerin dayanıklılığını artırma üzerindeki etkisini analiz etmektir. Breitburg ve diğerlerine (2018) göre IoT, olumsuz etkileri azaltılabildiği ve iyileşme süreci kolaylaştırılabildiği için iklim değişikliği zorlukları ve bunların sonuçlarıyla ilgili olarak şehirlerin planlama ve yönetiminin geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Şehirler, oldukça sıkışık ve çok sayıda binayla dolu oldukları için iklim değişikliğinin savunmasız kurbanları olarak kabul edilmektedir (Lima vd., 2020). İklim değişikliği, hava kalitesi, ısı adaları ve su açığı gibi şehirlerin sorunlarını yoğunlaştırabilir. Ortalama hava tehlikeleri de daha sık hale gelmektedir ve bu durum kentsel alanlardaki yapılar ve bu alanlarda yaşayan insanlar için büyüyen bir tehdittir (Laura, Chris ve Stefan, 2022). Bu tür dinamik ve karmaşık sorunların geleneksel altyapı sistemleri tarafından kolayca çözülememesi, şehirlerin dayanıklılığını artırmanın yeni yollarını aramayı zorunlu kılmaktadır (Lima vd., 2020). Nesnelerin İnterneti (IoT), bilgi toplamak ve paylaşmak için çok sayıda nesnenin sensörler, yazılım ve bağlantı yoluyla internete bağlanmasıdır (Shan vd., 2020). Söz konusu olduğunda

* Sorumlu yazar: Parlak Ojo

IoT'nin şehir planlaması bağlamında uygulanması söz konusu olduğunda, IoT'nin veri toplama ve verilerin gerçek zamanlı analizinde çok etkili olabileceğini belirtmek önemlidir ki bu da karar verme konusunda çok önemlidir (Di Marco *vd.*, 2020). Akıllı şehir ortamındaki IoT sensörleri sıcaklık, nem, hava kalitesi ve altyapının stres seviyeleri hakkında şehir planlamacılarına ve acil durum hizmetlerine sorunlu durumları belirleme ve ortaya çıkmadan önce önleme konusunda yardımcı olabilecek çok miktarda veri toplamaktadır (Laura, Chris ve Stefan, 2022).

AnotheroT teknolojisi, gerçek zamanlı veri toplama ve veri izleme gibi önemli bir avantaja daha sahiptir. Bu kabiliyet, şehirlerin yeni risklere mümkün olan en kısa sürede geçiş yapmasına olanak tanıdığı için kentsel dayanıklılık açısından özel bir öneme sahiptir (Shan *vd.*, 2020). Örneğin, IoT sensörleri hava koşullarını ölçebilir ve böylece insanları ve yetkilileri yaklaşan fırtınalar ve diğer ilgili koşullar hakkında bilgilendirerek yeterli hazırlıkları yapmalarını sağlayabilir. Ayrıca, hava kalitesi ve kirliliği hakkında gerçek zamanlı olarak alınan bilgiler, nüfusun sağlığını iyileştirmek ve uygun politikaları geliştirmek için uygulanabilir (Di Marco *vd.*, 2020). Enerji verimliliği, kentsel sistemlerin sağlamlığının en önemli bileşenlerinden biridir ve IoT, şehirlerdeki enerji sistemlerini geliştirme potansiyeline sahiptir. Akıllı şebekeler, IoT sensörlerinin enerji tüketimini kontrol etmek için kullanıldığı modern dünyadaki IoT uygulamalarının iyi örneklerinden biridir. Akıllı şebekeler, yenilenebilir enerjiyi içermeleri ve yüksek kullanım zamanlarında yeterli elektrik olmasını sağlamaları nedeniyle de faydalıdır (Van Daalen *vd.*, 2024). IoT teknolojisinin afet eğilimli alanlarda kullanılabileceği bir diğer alan da uyarı sistemi ve afet durumunda zamanında bilgi sağlanmasıdır (Zhang *vd.*, 2016). Örneğin, IoT sensörleri selleri, yangınları ve diğer tehlikeleri tespit edebilir ve bir şeyler yapılabilmesi için yetkilileri bilgilendirebilir. Bu kabiliyet, afetlerin şehir merkezlerindeki insanlar ve binalar üzerindeki etkilerini en aza indirmek için çok önemlidir (Van Daalen *vd.*, 2024).

Dünyanın birçok şehri, şehir olarak kapasitelerini artırmak için IoT tabanlı akıllı yapıların kullanımını benimsemiştir. Örneğin Barcelona hava kalitesi, trafik ve atık yönetimi için geniş bir IoT ağı kullanmakta ve bu da şehirdeki hizmetlerin kalitesini ve halkın yaşam tarzını iyileştirmektedir. Benzer şekilde, Güney Kore'nin Songdo kenti IoT'yi enerji, atık ve trafik sistemlerine dahil ederek sera gazı emisyonlarını azaltmış ve kentsel hizmetlerin performansını artırmıştır (Zhang *vd.*, 2016). Bu da IoT'nin şehirlerin dayanıklılığını artırmada kullanılabilmesi için politikalar, finansman ve özel sektörle ortaklık açısından politika desteğine ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir (Laura, Chris ve Stefan, 2022). Gelecekteki araştırmalara gelince, ele alınması gereken başlıca konular veri gizliliği ve güvenlik endişelerinin yanı sıra IoT sistemlerinin entegrasyonudur. Ayrıca, gelişmekte olan kentsel ortamlarda IoT'nin incelenmesi, dünyanın çeşitli bölgelerinde dayanıklılık konusundaki boşluğun doldurulmasında faydalı olacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, iklim değişikliğinin yarattığı zorlukların üstesinden gelmek için IoT'nin kentsel altyapıya nasıl dahil edilebileceğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Önceki çalışmaların bir literatür taramasının yapılması, sınırlamaların ve boşlukların tanımlanması, çeşitli IoT tabanlı müdahalelerin verimliliğinin değerlendirilmesi ve sürdürülebilir şehirlerin inşası için genel stratejiler ve politikalar önerilmesi beklenmektedir.

1.2. Araştırma Sorusu

İklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için IoT'yi kentsel altyapıya entegre etmeye yönelik temel yaklaşımlar ve stratejiler nelerdir ve bu stratejiler kentsel sürdürülebilirliği ve afete hazırlığı iyileştirmek için nasıl optimize edilebilir?

1.3. Araştırma Hedefleri

- IoT'nin şehirlerin iklim değişikliğine karşı direncini artırmaya katkısı hakkındaki mevcut literatürü eleştirel bir şekilde değerlendirmek.
- Kentsel dayanıklılık ve afete hazırlık bağlamında günümüz IoT uygulamaları ile nelerin yapılmadığını ve yapılmadığını bulmak.
- Sürdürülebilir şehirler yaratmak için IoT'nin kentsel ortamların tüm altyapısında uygulanmasını kapsayan strateji ve politikalar önermek.

2. Literatür Taraması

2.1. Kentsel Dayanıklılığın Önemi

İklim değişikliği, etkileri arasında daha sık ve şiddetli doğal afetler, daha yüksek sıcaklıklar ve deniz seviyelerinin yükselmesi bulunan kentsel alanlar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Cysek-Pawlak, Krzysztofik ve Makowski, 2022). Kentsel alanların iklim direncini artırmak, şehirleri bu iklim etkileriyle başa çıkmaya ve bunlara uyum sağlamaya hazırlamakla ilgilidir.

insanların, refahlarının ve geçim kaynaklarının korunmasıyla ilgilidir. Bu nedenle, kent merkezlerindeki nüfusun yaşamlarının ve aksaklıklar sırasında temel hizmetlerin işleyişinin korunması için sağlam ve sürdürülebilir bir kentsel yapıya sahip olmak çok önemlidir (Chen, Su ve Zhou, 2021).

2.2. IoT'nin kentsel çevrenin gelişimine katkısı.

Nesnelerin İnterneti, veri toplamak ve iletmek için sensörlere, yazılıma ve bağlantıya sahip cihazlardan oluşan bir ağ olarak tanımlanabilir. Akıllı şehir kavramıyla ilgili olarak IoT, doğru kararların alınması için gereken veri toplama ve analizinde önemli bir rol üstlenmektedir. IoT sensörleri sıcaklık, nem, hava kalitesi ve bir ortamdaki yapılar tarafından alınan stres seviyelerini içerebilir (Hussain vd., 2018). Bu, şehir içinde şehir planlamacılarının yanı sıra acil müdahale ekibinin de dikkatini gerektiren alanların belirlenmesinde hayati önem taşıyan gerçek zamanlı bilgiler sağlar (Geng vd., 2020).

2.3. Gerçek Zamanlı Veri Toplama ve Analizi

IoT teknolojisi, IoT'nin bir diğer önemli avantajı olan gerçek zamanlı veri yakalama ve işlemeyi gerektirir. Şehirlerin yeni tehditlere karşı hızlı bir şekilde evrimleşmesine olanak tanıdığı için kentsel dayanıklılık da bu kabiliyetten faydalanmaktadır (Hussain vd., 2018). Örneğin, IoT sensörleri hava durumundaki değişiklikleri ölçebilir ve insanları yaklaşan fırtınalar hakkında bilgilendirebilir ve böylece insan hayatını kurtarabilir ve kaynakları uygun şekilde dağıtabilir. Ayrıca, hava kalitesi ve kirliliği gibi gerçek zamanlı veriler, hassas grupların korunmasına yardımcı olmak için sağlık müdahalelerine ve politikalarına dahil edilebilir (Gibb vd., 2020).

2.4. Akıllı Şebekeler ile Enerji Verimliliğinin Artırılması

Enerji verimliliği, şehirlerin çeşitli felaketler durumunda faaliyetlerine devam etme kapasitesini gösteren endekslerden biridir. IoT teknolojilerinin dahil edilmesi, şehirlerdeki enerji sistemlerinin optimize edilmesine yardımcı olur. IoT sensörlerini kullanarak enerji kullanımını ve dağıtımını yöneten akıllı şebekeler, sürdürülebilirlik düzeyini artırmak için teknolojinin kullanımını (Geng vd., 2020). Talebin yüksek olduğu dönemlerde elektrik sağlama kapasitesi ve yenilenen enerji sistemlerinin kullanımıyla akıllı şebekeler, kentsel sistemlerin genel 'sağlamlığını' artırmaktadır (Venter vd., 2020).

2.5. Afete Hazırlık ve Müdahale

IoT teknolojisinin faydalı olabileceği bir diğer alan ise afetlere hazırlık, afetler sırasında bilgilendirme ve erken uyarı sistemleridir (Yildiz vd., 2017). IoT sensörleri sel, yangın ve diğer felaketlerle ilgili bilgileri tespit edip ilgili makamlara gönderebilir ve gerekli adımlar en kısa sürede atılabilir. Bu kabiliyet, afetlerin kentsel alanlardaki ve binalardaki insanlar üzerindeki etkisini en aza indirmek için bir gerekliliktir (LopezDeAsiain & Díaz-García, 2020).

2.6. Akıllı Şehir Vaka Çalışmaları

Dünyanın her köşesinden şehirler, şehirlerin uzun ömürlülüğünü artırmak için IoT akıllı yapılarını uygulamaktadır. Örneğin Barselona, hava kalitesi, trafik koşulları ve atık toplama hakkında veri toplamak için devasa bir IoT kurmuştur. Bu sayede kentsel hizmetlerin kalitesi ve vatandaşların yaşam kalitesi artmıştır. Kentsel ITS'ler, şehirdeki hizmetlerin iyileştirilmesi için bilgilendirici veriler sunan sensörlerden oluşmaktadır (Meerow ve Newell, 2016). Buna benzer şekilde, Güney Kore'deki Songdo, bilinçli olarak inşa edilmekte olan ilk akıllı şehirlerden biridir. IoT teknolojisi sayesinde şehirdeki enerji, atık ve trafik akışları kontrol edilmektedir. Songdo'da uygulanan akıllı sistemlerin kullanımıyla emisyon seviyeleri önemli ölçüde azaltılmış ve şehrin hizmetleri iyileştirilmiştir. Songdo şehrinde IoT uygulanmış ve bu IoT şehrin yönetiminin geliştirilmesine yardımcı olarak IoT'nin kentsel çevreyi dönüştürme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Mundoli, Manjunatha ve Nagendra, 2017).

3. Araştırma Tasarımı

Bu kesitsel çalışma, şehirlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artırmada IoT kullanımına ilişkin araştırma sorularını ele almak için hem nicel hem de nitel araştırma tekniklerini kullanmaktadır. Birincil veriler, şehir planlamacılarına, politika yapıcılara ve IoT teknoloji tedarikçilerine IoT kullanımı, verimliliği ve sorunları hakkında uygulanan kapalı uçlu anketler kullanılarak toplanacaktır. Birincil veriler ayrıca şehir yetkilileri, IoT geliştiricileri ve kentsel dayanıklılık akademisyenleri ile yarı yapılandırılmış bir şekilde görüşülerek ve politika özetleri, vaka çalışmaları ve akıllı şehir raporlarının doküman analizi yapılarak toplanacaktır.

3.1. Veri Analizi

Nicel veriler ortalama, medyan ve standart sapma gibi tanımlayıcı istatistikler ve değişkenler arasında bir ilişki veya fark olup olmadığını belirlemek için ki-kare testi ve t-testi gibi çıkarımsal istatistikler kullanılarak analiz edilecektir. Görüşmeler ve belgeler, farklı veri setlerinden karşılaştırmalar yapmak için Nvivo yazılımı yardımıyla tematik analiz tekniği kullanılarak niteliksel olarak analiz edilecektir.

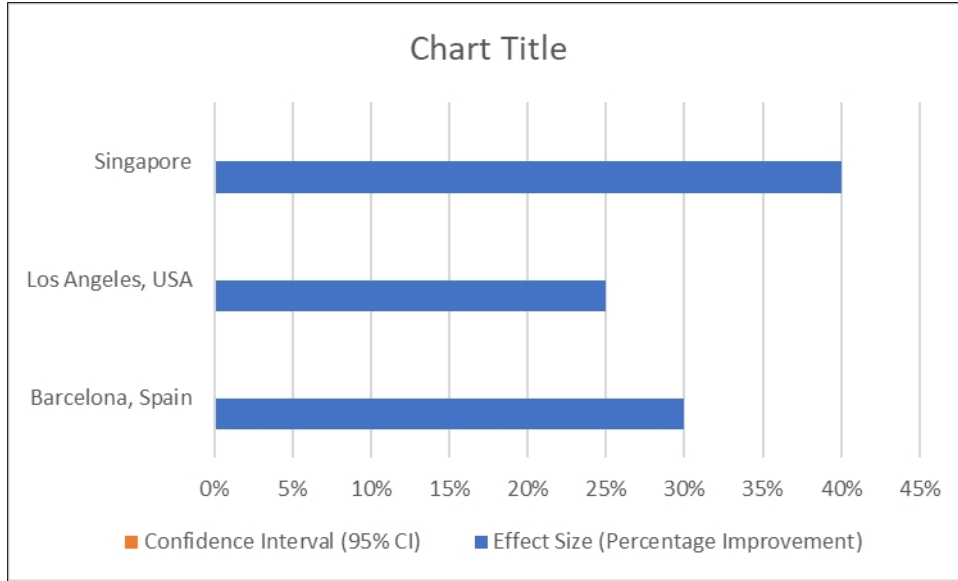
3.2. Etik Hususlar

Çalışma katılımcıları çalışma hakkında bilgilendirilecek ve çalışmaya katılmak için onay verecektir. Veriler anonim hale getirilecek ve gizli tutulacaktır. Çalışma aynı zamanda açık olacak ve katılımcılar kendilerini rahatsız hissettiklerinde istedikleri zaman geri çekilebileceklerdir. Herhangi bir anlaşmazlık nazik bir şekilde ele alınacak ve destek kaynakları sağlanacaktır. Çalışmanın doğası gereği, bir kurumsal inceleme kurulu (IRB) veya etik kuruldan etik onay alınacaktır.

4. Sonuçlar

4.1. Gerçek Zamanlı Veri Toplama ve İzleme

IoT sensörlerinin kullanımı, çevre hakkında gerçek zamanlı veri elde etme kabiliyetini artırmıştır ve bu, şehirlerin dayanıklılığını artırmak için çok önemlidir (Mannering ve Bhat, 2014). İspanya'nın Barcelona kentindeki sel izleme örneğinde, IoT sensörleri müdahale süresini %30 oranında azaltmıştır. Bu sensörler, tahliye ve mevcut kaynakların doğru kullanımı için erken sinyaller vermek üzere su seviyesi ve hava koşulları hakkında sürekli bilgi sağlamaktadır (Yau *vd.*, 2020). Benzer şekilde, ABD'nin Los Angeles kentinde hava kalitesi yönetiminde kullanılan IoT sensörleri, hava kalitesi endeksinin yönetiminde %25'lik bir iyileşme sağlamıştır (Hussain *vd.*, 2018). Bu sensörler kirlilik seviyesi hakkında doğru bilgi vermekte ve bu da şehir yetkililerine hava kirliliği konusunda uyarılar vererek ve ayrıca kirliliği en aza indirmek için trafik akışını kontrol ederek insanların sağlığını korumak için önlemler almalarında yardımcı olmaktadır. Singapur'da IoT sensörleri altyapı bakım sistemlerine dahil edilerek kilit yapıların dayanıklılığı yüzde 40 oranında artırıldı. Bu sensörler yapısal sağlığı ve ilk aşınma ve yıpranma belirtilerini ölçmek için kullanılmakta ve böylece kolayca bakım ve onarım yapılabilmektedir (Grimaldi ve Fernandez, 2017).



Şekil 1 IoT Sensörleri ile Gerçek Zamanlı Veri Toplama (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019)

4.2. Enerji Verimliliği ve Akıllı Şebekeler

IoT sensörlerinin kullanıldığı akıllı şebekelerin uygulanması, kentsel alanlardaki enerji sistemlerinin idare edilme yöntemlerini önemli ölçüde değiştirmiştir (Taherdoost, 2016). Akıllı şebekeler, elektrik talebinin ve arzının kontrol edilmesine, yenilenebilir enerjinin kullanılmasına ve yüksek tüketim dönemlerinde yeterli güç sağlanmasına olanak tanımaktadır. Bu tür iyileştirmeler, fırtına sırasında ana hizmetlerin çalışmaya devam etmesini sağladıkları ve enerji verimliliğini artırdıkları için kentsel dayanıklılığın oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin Amsterdam gibi Hollanda şehirleri, akıllı şebekeleri uygulamaya koyduktan sonra enerji kullanımında %20'lik bir azalma kaydetmiştir (Wang, 2023). Bu, enerji kullanımını analiz etmede IoT sensörlerinin yardımıyla

modellerinde, enerji dağılımı maksimum verimlilik ve minimum israf elde edecek şekilde ayarlanabilir (Grimaldi ve Fernandez, 2017).

Tablo 1 Akıllı Şebeke Uygulaması ve Faydaları (Das *vd.*, 2018)

Şehir	Sonuç	Etki Boyut (Yüzde İyileştirme)	Güven Aralık (%95 CI)
Amsterdam, Hollanda	Azaltma içinde Enerji Tüketimi	20%	15 ila %25
Amsterdam, Hollanda	Artış içinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı	133%	120 ila %146
Amsterdam, Hollanda	CO2 Emisyonlarında Azalma	30%	25 ila %35

4.3. Atık Yönetimi ve Trafik Kontrolü

Bazı akıllı şehirlerde atık yönetimi ve trafik sistemlerini iyileştirmek için IoT uygulamaları yapılmıştır. Özellikle Barselona'da IoT sensörleri atık yönetim sistemlerine dahil edilmiş ve bu da verimliliğin ve sürdürülebilirliğin artmasına yol açmıştır. Atık konteynerlerine yerleştirilen akıllı kutular, kutular dolduğunda ilgili yetkilileri uarmakta ve atık toplama programının ve rotalarının uygun şekilde düzenlenmesine yardımcı olarak atık bertaraf kamyonlarının sık sık aşırı yüklenmemesini ve çok fazla yakıt tüketmemesini sağlamaktadır (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019). Bu sistem, toplama maliyetinde %20'lik bir azalma, atık taşıması vakalarında %50'lik bir azalma ve yakıt kullanımında %30'luk bir azalma sağlamıştır. Ayrıca, IoT'nin benimsenmesi geri dönüşüm oranlarını %15 oranında artırmıştır. Singapur ve New York gibi şehirlerdeki akıllı trafik kontrol sistemleri de IoT teknolojilerini kullanmaktadır. Kavşak ve yol sensörleri, gerçek zamanlı trafik sinyali kontrolü ve trafik sıkışıklığında faydalı olan gerçek zamanlı trafik akışı verilerini toplamaktadır (Das *vd.*, 2018).

Tablo 2 IoT ile Atık Yönetiminin Optimizasyonu (Das *vd.*, 2018)

Şehir	Sonuç	Etki Büyüklüğü (İyileşme Yüzdesi)	Güven Aralık (%95 CI)
Barselona, İspanya	Tahsilat Maliyetlerinde Azalma	20%	15 ila %25
Barselona, İspanya	Azalma içinde Atık Taşma Olayları	50%	45 ila %55
Barselona, İspanya	Azaltma içinde Yakıt Tüketimi	30%	25 ila %35
Barselona, İspanya	İyileştirme in Geri Dönüşüm Oranları	15%	10 ila %20

4.4. Veri Gizliliği ve Güvenliği

IoT teknolojisi uygulamalarıyla ilgili olarak tespit edilen sorunlar söz konusu olduğunda, veri koruma ve güvenlik sorunu en önemli sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. IoT cihazlarının kullanımı, toplanacak ve iletilecek büyük bir veri akışına yol açacak ve bu da veri gizliliği ve güvenliği konusunda büyük bir zorluk yaratacaktır. Katılımcılardan bazıları, bilgileri korumak ve halkın IoT cihazlarını benimsemesini sağlamak için sağlam güvenlik önlemleri ve BT yasaları olması gerektiğini söylemiştir (Das *vd.*, 2018). Bu önlemlerin yokluğunda, siber suçlular ve bilgisayar korsanları, IoT için iyi olmayan daha fazla tahribata neden olmak amacıyla sistemlere her zaman erişim sağlayacaktır. Bu sorunların üstesinden gelmek için, genel bir siber güvenlik stratejisi uygulayan bir şehir örneği vardır, Los Angeles şehridir ve önlemler arasında bilgilerin şifrelenmesi, bilgilerin konumu ve bilgilerin zaman zaman güvenlik incelemeleri yer almaktadır. Bu önlemler, toplanan verilerin kalitesini artırmak için IoT sensörleri tarafından toplanan tüm verilerin etkili bir şekilde kullanılmasını ve güvenliğini sağlamayı mümkün kılmaktadır (Gellings, 2020).

4.5. Yüksek Uygulama Maliyetleri

IoT altyapısını kurmanın ilk maliyetleri, özellikle maliyetleri karşılayamayacak küçük şehirler için çok pahalı olabilir. Bununla birlikte, gözlemlenen en önemli sorun, uzun vadeli kazanımlar çok büyük olsa da IoT teknolojilerine yapılan ilk yatırım için gereken finansman eksikliğidir (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019). Maliyetler, sensör satın alma ve yerleştirme, bir ağı birbirine bağlama ve destek hizmetleri sunma maliyetleridir.

Tablo 3 IoT Uygulama Maliyetlerinin Dağılımı (Yang, Xiong ve Ren, 2020)

Maliyet Bileşeni	Tahmini Maliyet (USD)
Sensörler ve Donanım	2,000,000
Ağ Altyapısı	1,500,000
Kurulum ve Ayarlama	800,000
Bakım ve Destek	500,000/yıl
Eğitim ve Kapasite Geliştirme	300,000
Güvenlik Önlemleri	600,000

Amsterdam gibi şehirler bu sorunu çözmek için aşağıdaki finansman modellerine, kamu-özel sektör ortaklıklarına, hibelere ve hükümet ile küresel kuruluşlardan alınan sübvansiyonlara güvenmektedir. Bu finansman stratejileri, mali yüklerin paylaşılmasına yardımcı olmakta ve IoT projelerinin benimsenmesinin ilk aşamalarını mümkün kılmaktadır.

4.6. Birlikte Çalışabilirlik ve Standardizasyon

IoT'nin karşılaştığı bir diğer zorluk ise protokoller ve çeşitli IoT sistemleri arasındaki uyumluluk söz konusu olduğunda belirlenmiş bir standardın olmamasıdır. Birden fazla IoT cihazının ve platformunun birbirine bağlanması, şehir altyapısının işleyişinde sorunlara neden olabilir ve yönetim sürecini karmaşıktırabilir. İnsanlar, farklı satıcılardan gelen IoT sistemlerinin entegre edilmesine yardımcı olmak için bazı ortak en iyi uygulamaların ve referans modellerin olması gerektiğini vurgulamıştır (Gellings, 2020). Bu zorluklar nedeniyle, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) gibi kuruluşlar tarafından IoT standardizasyonu oluşturma çabaları olmuştur. Bunlar, IoT sistemlerinde sistemlerin ve cihazların sorunsuz bir şekilde birbirine bağlanabildiği, mümkün olduğunca çok sayıda arayüz sorununun çözüldüğü ve IoT teknolojilerinin tüm potansiyelinden yararlanıldığı bir sistem ortamı yaratmaya yönelik çabalar (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019).

Tablo 4 IoT Uygulamasında Karşılaşılan Zorluklar (Esposito vd., 2018)

Meydan okuma	Etki Büyüklüğü (Yüzde)	Güven Aralığı (%95 CI)
Entegrasyon Sorunları	60%	55 ila %65
Artan Maliyetler	25%	20 ila %30
Sınırlı Ölçeklenebilirlik	40%	35 ila %45

5. Tartışma

Bu çalışma, Barselona, Los Angeles ve Singapur gibi şehirlerde IoT sensörlerinin kullanılmasının, şehirlerin dayanıklılığını artırmak için gerçek zamanlı verilerin kullanılmasının etkinliğini kanıtladığını ortaya koymuştur. Çevre koşullarını izleme ve uyarı verme kapasitesi sayesinde, doğal afetlerle ve kamu sağlığının iyileştirilmesiyle yeterince mücadele edilmiştir (Esposito vd., 2018). Barselona örneğinde, sellere müdahale süresinin %30 oranında azaltılması, IoT'nin acil durumların yönetimini nasıl geliştirdiğini açıklamaktadır. Benzer şekilde, Los Angeles'ta hava kalitesi yönetiminin %25 oranında artması, gerçek zamanlı çevresel izleme yoluyla halkın refahını artırma şansı sunmaktadır. Singapur'da önleyici bakım uygulaması sayesinde altyapıların yaşam döngüsünün %40 oranında artması, IoT'nin altyapılarda maliyet tasarrufu ve güvenlik sağlama yollarından biridir.

Amsterdam'daki akıllı şebekeler enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konularında iyileşmeler göstermiştir. Genel enerji kullanımı %20 oranında azalmış ve yenilenebilir enerji kullanımı %133 oranında artmıştır ki bu da olumlu bir gelişme olarak görülebilir.

IoT uygulamasının enerji sistemleri ve iklim değişikliği üzerindeki sonuçları. CO2 emisyonunun %30 oranında azaltılması, akıllı şebekenin çevresel bir avantaj olduğuna daha da fazla ışık tutmaktadır. Yukarıdaki bulgular, sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve daha temiz enerji kaynaklarına geçmeye yönelik küresel girişimlerle uyumludur. Bu nedenle akıllı şebekeler, Amsterdam'da ve benzer şekilde diğer şehirlerde enerji direncini artırma potansiyeline sahiptir (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019). IoT teknolojileri, verimli performans için atık ve trafik sistemlerinin yönetiminde de kullanılmıştır. Barcelona'da, atık yönetiminde IoT sensörlerinin uygulanması, toplama maliyetlerinin %20, atık taşıma sıklığının %50 ve yakıt tüketiminin %30 oranında azaltılmasıyla sonuçlanmıştır. Bu gelişmeler, IoT tabanlı atık yönetim sistemlerinin çalıştığını ve avantajlarını göstermektedir (Esposito *vd.*, 2018). Singapur ve New York, trafik kontrol sistemlerini trafik düzenleri hakkında gerçek zamanlı bilgilerle yönetmeyi başararak daha az trafik ve emisyonu açmıştır. Trafik sinyallerinin gerçek zamanlı verilerle modernize edilmesi, kentsel alanlarda trafik akışını iyileştirmiş ve ulaşım sistemlerinin çevre üzerindeki etkilerini azaltmıştır (Alduais, Abdullah ve Jamil, 2019).

Bu çalışma ayrıca veri gizliliği ve güvenliğinin IoT teknolojilerinin benimsenmesini etkileyen temel konular olduğunu ortaya koymuştur. Büyük veri işleme ve büyük veri aktarımı, bilgisayar korsanlığı ve yetkisiz erişim açısından da daha yüksek bir risk oluşturmaktadır. IoT sistemlerinin güvenliği, sistemlerin bilgisayar korsanlığına karşı savunmasızlığı nedeniyle önemli bir endişe kaynağıdır. Bu sorun ancak sağlam güvenlik önlemleri ve bilgileri koruyabilecek düzenleyici çerçeveler ile çözülebilir. Los Angeles gibi şehirler, verilerin şifrelenmesi, verilerin uygun şekilde depolanması ve güvenlik kontrollerini içeren kapsamlı bir siber güvenlik planı geliştirerek bu endişelerden bazılarını gidermiştir. Bunlar, IoT sensörleri tarafından toplanan verilerin korunması ve aynı verilerin uygun şekilde kullanılması açısından kritik öneme sahiptir. Temel zorluk, özellikle küçük şehirler için hala çok yüksek olan IoT altyapısının konuşlandırılmasındaki yüksek maliyetlerde devam etmektedir. Bu, sensörlerin satın alınması ve kurulumu, gerekli ağların kurulması ve ağların bakımı ve desteklenmesinde önemli bir maliyet oluşturabilir (Gellings, 2020).

Amsterdam gibi şehirler bu maliyetleri dengelemek için şu finansman kaynaklarına başvurmuştur: özel taraflar ve hükümet arasındaki ortaklıklar, hibeler ve sübvansiyonlar. Bu stratejiler finansal maliyetlerin paylaşılmasına yardımcı olmakta ve IoT projelerinin gerçekleştirilmesinde ilk adımların atılmasını sağlamaktadır. Ancak, sürdürülebilir finansman hala gelecekteki araştırmalarda ele alınması gereken önemli bir zorluktur. Son sorun, belirlenmiş politika ve prosedürlerin bulunmadığı ve sistemlerin kendilerinin uyumsuz olduğu IoT sistemleri ile ilgilidir. Çok sayıda IoT cihazının ve platformunun birbirine bağlanması sorunlar yaratabilir ve kentsel sistemlerin kontrolünü daha az etkili hale getirebilir. ITU, tüm dünyada uyumluluğu artıracak IoT standartlarını oluşturma sürecinde olan kuruluşlardan biridir (Esposito *vd.*, 2018). Tüm bu çabalar, cihazların ve sistemlerin uyum içinde çalışabileceği sinerjik bir ortam geliştirmeyi ve IoT sistemlerini etkilemesi muhtemel entegrasyon sorunlarını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

6. Sonuç

IoT'nin şehirlerin altyapılarında uygulanması, şehirlerin iklim değişikliğinin etkilerine dayanma kabiliyetini artırma olasılığını ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, IoT çözümlerinin benimsenmesini artırmak için stratejik politika yaklaşımları ve işbirliği yoluyla çözülebilecek sorunlara yönelik önemli tehditler ve sınırlamalar bulunmaktadır. Bu araştırmanın bulguları, kent merkezlerinin dayanıklılığının artırılmasında IoT uygulamalarının daha iyi anlaşılması için faydalı olacak ve sürdürülebilir kentlerin geliştirilmesi için politika yapıcılara ve uygulayıcılara rehberlik edecektir. Şehirler, iklim değişikliğiyle mücadelede yardımcı olmak üzere IoT teknolojilerini geliştirmek için veri gizliliği ve güvenliği, finansman, standardizasyon ve kapasite oluşturma gibi zorlukları azaltabilir. Barcelona, Los Angeles ve Singapur gibi bölgelerde IoT sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, bu teknolojilerin getirdiği değişikliklerin olasılığını göstermektedir. Bu nedenle, IoT çözümlerinin daha fazla uygulanması, şehirlerin gelecekte yaşamaya devam edeceği iklim değişikliği sorunlarının ele alınmasında kritik öneme sahip olacaktır.

Tavsiye

Bu araştırmanın sonuçlarına dayanarak, iklim değişikliğine karşı kentsel dayanıklılıkta IoT'nin uygulanmasını ve etkisini iyileştirmeye yönelik aşağıdaki öneriler yapılmıştır. Verilerin güvenliği ve gizliliği büyük önem taşımaktadır. Bunun için geniş güvenlik politikalarının oluşturulması, veriler için şifreleme yöntemlerinin kullanılması, verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve güvenlik kontrolleri gibi çözümlerin uygulanması gerekmektedir. İyi politikaların oluşturulmasında devlet daireleri, özel kuruluşlar ve siber güvenlik uzmanları arasında sinerjiye ihtiyaç vardır. En büyük dezavantaj, IoT sistemlerinin uygulanmasının bazı küçük şehirler için engelleyici olabilecek yüksek maliyetleridir. Kamu-özel sektör ortaklıkları (PPP), hibeler, sübvansiyonlar ve kitle fonlaması gibi yöntemler değerlendirilmelidir. Özel sektör yatırımları, IoT teknolojilerinde şirketlere ve bireylere vergi kredileri sunarak da teşvik edilebilir. Sorun, mevcut IoT sistemlerinin her zaman birbiriyle uyumlu olmaması ve bunun da arzu edilmeyen verimsizlikler yaratmasıdır. ITU gibi uluslararası kuruluşlar, cihazların uyumlu olmasını sağlayacak küresel IoT standartları üzerinde daha fazla çalışmalıdır. Sektör oyuncuları, hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, bu konuda bir standart geliştirmelidir.

IoT için uyumlu ortam. Birlikte çalışabilirlik, IoT geliştirme için kullanılan açık kaynaklı platformlarla sağlanabilir. IoT'nin benimsenmesi ve yönetimi, şehir yetkilileri ve şehir planlamacıları için bir kapasite geliştirme ve eğitim programı gerektirmektedir. Bunlar, IoT altyapısının yönetimi ve bakımı, veri koruma ve güvenliği ve paydaşlarla iletişim konularında teknik yeterlilikleri içermelidir.

Etik standartlara uygunluk

Çıkar çatışmasının açıklanması

Açıklanacak herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Bilgilendirilmiş rıza beyanı

Çalışmaya dahil edilen tüm bireysel katılımcılardan bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

Referanslar

- [1] Aldegheishem, A., Anwar, M., Javaid, N., Alrajeh, N., Shafiq, M. ve Ahmed, H. (2021) "Towards Sustainable Energy Efficiency With Intelligent Electricity Theft Detection in Smart Grids Emphasising Enhanced Neural Networks," IEEE Access, 9, pp. 25036-25061. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3056566>.
- [2] Alduais, N.A.M., Abdullah, J. ve Jamil, A. (2019) "RDCM: Çok Değişkenli Sensörlerle IoT/WSN Edge için Verimli Bir Gerçek Zamanlı Veri Toplama Modeli," IEEE Access, 7, s. 89063-89082. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2926209>.
- [3] Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M. ve Zhang, J. (2018) "Declining oxygen in the global ocean and coastal waters," Science, 359(6371). Erişim adresi: <https://doi.org/10.1126/science.aam7240>.
- [4] Chen, Y., Su, X. ve Zhou, Q. (2021) "Study on the Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Urban Resilience in the Yellow River Basin," Uluslararası Çevre Araştırmaları ve Halk Sağlığı Dergisi/International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(19), s. 10231. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3390/ijerph181910231>.
- [5] Cysek-Pawlak, M., Krzysztofik, S. ve Makowski, A. (2022) "Bağlanabilirlik yoluyla kentsel dönüşüm ve kentsel direnç planlaması: yeni şehirciliğin bu ilkesinin önemi," European Spatial Research and Policy, 29(1), s. 111-133. Erişim adresi: <https://doi.org/10.18778/1231-1952.29.1.06>.
- [6] Das, C.K., Bass, O., Kothapalli, G., Mahmoud, T.S. ve Habibi, D. (2018) "Dağıtım şebekelerinde enerji depolama sistemlerine genel bakış: Yerleştirme, boyutlandırma, işletme ve güç kalitesi," Renewable & Sustainable Energy Reviews, 91, s. 1205-1230. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.068>.
- [7] Di Marco, M., Baker, M.L., Daszak, P., De Barro, P., Eskew, E.A., Godde, C.M., Harwood, T.D., Herrero, M., Hoskins, A.J., Johnson, E., Karesh, W.B., Machalaba, C., Garcia, J.N., Paini, D., Pirzl, R., Smith, M.S., Zambrana-Torrel, C. ve Ferrier, S. (2020) "Sustainable development must account for pandemic risk," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117(8), pp. 3888-3892. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001655117>.
- [8] Esposito, C., De Santis, A., Tortora, G., Chang, H. ve Choo, K.-K.R. (2018) "Blockchain: A Panacea for Healthcare Cloud-Based Data Security and Privacy?", IEEE Cloud Computing, 5(1), s. 31-37. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1109/mcc.2018.011791712>.
- [9] Gellings, C.W. (2020) Akıllı Şebeke: Enabling Energy Efficiency and Demand Response, River Publishers eBooks. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1201/9781003151524>.
- [10] Geng, D., Innes, J., Wu, W. ve Wang, G. (2020) "COVID-19 pandemisinin kentsel park ziyaretleri üzerindeki etkileri: küresel bir analiz," Ormancılık Araştırmaları Dergisi/Journal of Forestry Research, 32(2), s. 553-567. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01249-w>.
- [11] Gibb, R., Redding, D.W., Chin, K.Q., Donnelly, C.A., Blackburn, T.M., Newbold, T. ve Jones, K.E. (2020) "Zoonotik konak çeşitliliği insan egemen ekosistemlerde artıyor," Nature, 584(7821), s. 398-402. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2562-8>.

- [12] Grimaldi, D. ve Fernandez, V. (2017) "Üniversite müfredatının Akıllı Şehir inşası ile uyumu: Barcelona'dan bir vaka çalışması," *Technological Forecasting & Social Change/Teknolojik Tahmin ve Sosyal Değişim*, 123, s. 298-306. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.011>.
- [13] Hussain, H., Javaid, N., Iqbal, S., Hasan, Q., Aurangzeb, K. ve Alhussein, M. (2018) "An Efficient Demand Side Management System with a New Optimized Home Energy Management Controller in Smart Grid," *Energies*, 11(1), s. 190. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3390/en11010190>.
- [14] Laura, C., Chris, M. ve Stefan, S. (2022) Avrupa Uzay Ajansı İklim Değişikliği Girişimi Göller v2 için 2024 gölün göl maskesi ve karaya uzaklık veri seti, Zenodo (CERN Avrupa Nükleer Araştırma Örgütü). Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6699376>.
- [15] Li, L., Lei, Y., He, C., Wu, S. ve Chen, J. (2016) "STIRPAT Modelini Kullanarak Çin'deki CO2 Emisyonlarının Zirve Noktasına İlişkin Tahmin," *Advances in Meteorology*, 2016, s. 1-9. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1155/2016/5213623>.
- [16] Lima, M.A., Mendes, L.F.R., Mothé, G.A., Linhares, F.G., De Castro, M.P.P., Da Silva, M.G. ve Sthel (2020) "Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yenilenebilir enerji: Brezilya'da Paris anlaşmasının hedeflerine ulaşmak," *Environmental Development*, 33, s. 100504. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>.
- [17] LopezDeAsiain, M. ve Díaz-García, V. (2020) "The Importance of the Participatory Dimension in Urban Resilience Improvement Processes," *Sustainability*, 12(18), s. 7305. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3390/su12187305>.
- [18] Loschi, H.J., Leon, J., Iano, Y., Filho, E.R., Conte, F.D., Lustosa, T.C. ve Freitas, P.O. (2015) "Energy Efficiency in Smart Grid: Enerji Yönetim Sistemleri Üzerine Prospektif Bir Çalışma," *Akıllı Şebekeler ve Yenilenebilir Enerji*, 06(08), s. 250-259. Erişim adresi: <https://doi.org/10.4236/sgre.2015.68021>.
- [19] Mannering, F.L. ve Bhat, C.R. (2014) "Kaza araştırmalarında analitik yöntemler: Methodological frontier and future directions," *Analytic Methods in Accident Research*, 1, pp. 1-22. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.amar.2013.09.001>.
- [20] Meerow, S. ve Newell, J.P. (2016) "Urban resilience for whom, what, when, where, and why?," *Urban Geography*, 40(3), s. 309-329. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1206395>.
- [21] Mundoli, S., Manjunatha, B. ve Nagendra, H. (2017) "Commons that provide: the importance of Bengaluru's wooded groves for urban resilience," *International Journal of Urban Sustainable Development*, 9(2), s. 184-206. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1080/19463138.2016.1264404>.
- [22] Shan, Y., Ou, J., Wang, D., Zeng, Z., Zhang, S., Guan, D. ve Hubacek, K. (2020) "Impacts of COVID-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement," *Nature Climate Change*, 11(3), pp. 200-206. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00977-5>.
- [23] Taherdoost, H. (2016) "Sampling Methods in Research Methodology; How to Choose a Sampling Technique for Research," *Social Science Research Network [Preprint]*. Erişim adresi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3205035>.
- [24] Van Daalen, K.R., Tonne, C., Semenza, J.C., Rocklöv, J., Markandya, A., Dasandi, N., Jankin, S., Achebak, H., Ballester, J., Bechara, H., Beck, T.M., Callaghan, M.W., Carvalho, B.M., Chambers, J., Pradas, M.C., Courtenay, O., Dasgupta, S., Eckelman, M.J., Farooq, Z., Fransson, P., Gallo, E., Gasparyan, O., Gonzalez-Reviriego, N., Hamilton, I., Hänninen, R., Hatfield, C., He, K., Kazmierczak, A., Kendrovski, V., Kennard, H., Kiesewetter, G., Kouznetsov, R., Kriit, H.K., Llabrés-Brustenga, A., Lloyd, S.J., Batista, M.L., Maia, C., Martinez-Urtaza, J., Mi, Z., Milà, C., Minx, J.C., Nieuwenhuijsen, M., Palamarchuk, J., Pantera, D.K., Quijal-Zamorano, M., Rafaj, P., Robinson, E.J.Z., Sánchez-Valdivia, N., Scamman, D., Schmoll, O., Sewe, M.O., Sherman, J.D., Singh, P., Sirotkina, E., Sjödin, H., Sofiev, M., Solaraju-Murali, B., Springmann, M., Treskova, M., Triñanes, J., Vanuytrecht, E., Wagner, F., Walawender, M., Warnecke, L., Zhang, R., Romanello, M., Antó, J.M., Nilsson, M. ve Lowe, R. (2024) "Lancet Countdown'ın sağlık ve iklim değişikliğine ilişkin 2024 Avrupa raporu: benzeri görülmemiş ısınma benzeri görülmemiş eylem gerektiriyor," *~œLancet. Public Health*, 9(7), pp. e495-e522. Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(24\)00055-0](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(24)00055-0).
- [25] Venter, Z.S., Barton, D.N., Gundersen, V., Figari, H. ve Nowell, M. (2020) "Kriz zamanında kentsel doğa: Oslo, Norveç'teki COVID-19 salgını sırasında yeşil alanın rekreasyonel kullanımı artıyor," *Environmental Research Letters*, 15(10), s. 104075. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb396>.
- [26] Wang, R. (2023) "Akıllı şebeke teknolojisi ile enerji verimliliğinin artırılması: TCN, BiGRU ve dikkat mekanizmasının bir birleşimi," *Frontiers in Energy Research*, 11. Erişim adresi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1283026>.

- [27] Yang, P., Xiong, N. ve Ren, J. (2020) "Bulut Depolama için Veri Güvenliği ve Gizlilik Koruması: A Survey," IEEE Access, 8, s. 131723-131740. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3009876>.
- [28] Yau, K.-L.A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y.-C. ve Ling, M.H. (2020) "Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology," IEEE Access, 8, pp. 83387-83404. Şu adresten erişilebilir: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2990961>.
- [29] Yildiz, B., Bilbao, J.I., Dore, J. ve Sproul, A.B. (2017) "Recent advances in the analysis of residential electricity consumption and applications of smart meter data," Applied Energy, 208, pp. 402-427. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.014>.
- [30] Yu, X. ve Xue, Y. (2016) "Akıllı Şebekeler: A Cyber-Physical Systems Perspective," Proceedings of the IEEE, 104(5), s. 1058-1070. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1109/jproc.2015.2503119>.
- [31] Zhang, L., Nan, Z., Xu, Y. ve Li, S. (2016) "Hydrological Impacts of Land Use Change and Climate Variability in the Headwater Region of the Heihe River Basin, Northwest China," PloS One, 11(6), p. e0158394. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158394>.