

Nesnelerin İnterneti Özellikli Sensörlerin Akıllı Atık Yönetimine Katkısı

Tuğay ÖZCAN (ORCID:0000-0003-0022-0268)
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta: tuayozcan@gmail.com

ÖZET

Katı atık miktarındaki artış, atık yönetiminde verimlilik arayışlarını beraberinde getirmektedir. Akıllı Şehir uygulamalarından olan Akıllı Atık Yönetimi atık toplama faaliyetlerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Son zamanlarda Akıllı Atık Yönetimi uygulamalarında Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) özellikli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri olan elektronik sensörler, Nesnelerin İnterneti aracılığıyla veri aktarımı yapabilmeye özelliği sayesinde dağıtık noktalardan veri toplamayı kolaylaştırma ve verimliliği artırma hedefiyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu makalede Nesnelerin İnterneti özelliğine sahip sensörlerin Akıllı Atık Yönetiminde kullanıldığı örnekler incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şehirler, Akıllı Atık Yönetimi, Nesnelerin İnterneti (IoT), Sensörler, Kentsel Veri

ABSTRACT

The increase in the amount of solid waste released day by day necessitates the search for efficiency in waste management. Smart Waste Management, one of the Smart City applications, aims at optimizations in waste collection activities. Recently, technologies with the Internet of Things are used in Smart Waste Management applications. Electronic sensors, one of these technologies, are used with the aim of facilitating data collection from distributed points and increasing efficiency, thanks to their ability to transfer data via the Internet of Things. In this article, examples of using sensors with the Internet of Things feature in Smart Waste Management will be examined.

Keywords: Smart Cities, Smart Waste Management, Internet of Things (IoT), Sensors, Urban Data

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde yılda 2,01 milyar ton kentsel atık oluşmaktadır. 2050 yılına kadar bu miktarın 3,40 milyar tona çıkması beklenmektedir (Kaza vd., 2018). Bu durum şehirlerin katı atık toplama ihtiyacında artışı da beraberinde getirmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 27 Ekim 2021 tarihinde yayınlamış olduğu verilere göre Çevre Koruma harcamaları 2020 yılında bir önceki yıla göre %8,9 artarak toplam 41,7 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. Bu harcamaların %54,4'ünü Atık Yönetimi Hizmetleri oluşturmaktadır.



Şekil 1. 2020 Türkiye Çevre Koruma Harcamaları Oranları (TÜİK, 2020)

Atık yönetimi sistemlerine yapılan harcamanın Çevre Koruma harcamalarının yarısından fazlasını oluşturması ve üretilen atık miktarının her yıl artış göstermesi mevcut atık yönetimi sisteminde iyileştirmeler yapılabileceğine işaret etmektedir.

Geleneksel Atık Yönetimi sistemlerini geliştirmek ve verimliliğini arttırmak hedefiyle bilişim teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden birisi İnternet aracılığıyla veri aktarımını mümkün kılan IoT (Internet of Things) cihazlarıdır. Günümüzde IoT cihazlarının yaygınlaşması dağıtık noktalardan veriye ulaşımı kolaylaştırmıştır (Park vd., 2018). Geniş kullanım alanı imkanları sayesinde IoT cihazları veri toplama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT cihazlarının kullanım alanlarından biri de sorunun belirlenmesi ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesi için gerekli analizlerin yapılabilmesine olanak sağladığından Akıllı Şehir Sistemleridir. Kent analizleri yapılması için gereken veriler IoT özellikli cihazlar aracılığı ile toplanmaktadır (Rajab ve Cinkler, 2018).

IoT cihazları çeşitli teknolojileri barındırabilmektedirler. Bunların başında IoT özellikli sensörler gelmektedir. IoT sensörlerden toplanan veriler Akıllı Park Sulama, Akıllı Otopark Sistemleri gibi Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılmaktadır (Talari vd., 2017). Bu makalede incelenen Akıllı Atık Yönetimi de IoT sensörlerin kullanıldığı uygulama alanlarından biridir.

2. NESNELERİN İNTERNETİ (IoT)

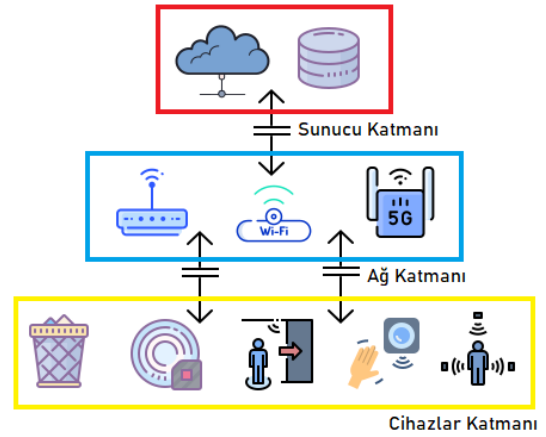
Nesnelerin İnterneti (IoT) terimi ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır (Ashton, 2009). Ashton bir firma için hazırladığı sunumunda, Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisinin (Radio Frequency Identification-RFID) yararlarından bahsetmiştir. 1991 yılında Cambridge Üniversitesinde görevli akademisyenler tarafından kahve makinasını görüntüleyen ve bu görüntüleri İnternet üzerinden paylaşan sistem ise IoT teknolojisinin ilk uygulama örneği olarak gösterilmektedir. Kurulan sistem, kahve makinasının görüntüsünü dakikada üç kez olacak şekilde İnternet üzerinden aktarmaktadır. Gerçek zamanlı ve İnternet aracılığıyla veri aktaran bu sistem Nesnelerin İnterneti uygulaması kabul edilmektedir.

Nesnelerin İnterneti teknolojisinin birçok tanımları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

“Nesnelerin İnterneti (IoT), modern kablosuz telekomünikasyon senaryosunda hızla zemin kazanan yeni bir paradigmadır. Bu konseptin temel fikri, benzersiz adresleme şemaları aracılığıyla, Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) etiketleri, sensörler, eyleyiciler, cep telefonları vb. gibi çeşitli şeylerin veya nesnelerin etrafımızda yaygın olarak bulunmasıdır. Ortak hedeflere ulaşmak için birbirleriyle etkileşime girmek ve komşularıyla işbirliği yapmaktır” (Atzori vd., 2010).

“IoT, genellikle her yerde bulunan zeka ile donatılmış günlük nesnelerin ağ bağlantılı ara bağlantılarını ifade eder. IoT, gömülü sistemler aracılığıyla etkileşim için her nesneyi entegre ederek İnternet'in her yerde bulunabilmesini artıracak ve bu da diğer cihazlarla olduğu kadar insanlarla iletişim kuran yüksek oranda dağıtılmış bir cihaz ağına yol açacaktır.” (Xia vd., 2012).

Nesnelerin İnterneti, sensör ve eyleyici gibi kabiliyetleri, yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi modern teknolojileri barındırabilir. Kendi başına çalışabilen bu cihazlar İnternet ağları kullanarak sistemlere ve hatta diğer cihazlara veri aktarımında bulunabilir.



Şekil 2. IoT Sistemlerin Mimari Katmanları

IoT sistemlerinin mimarisi üç ana katmandan oluşmaktadır. Bunlar; cihazlar, ağ ve sunuculardır (Şekil 2). IoT özellikli cihazlara sensörler, eyleyiciler, aktif ya da pasif RFID (Radio Frequency Identification) etiketleri, NFC özellikli cihazlar, GPS (Global Positioning Systems) cihazları ve mobil cihazlar örnek olarak gösterilebilir. Bu cihazların ortak özellikleri eşsiz adresleme sistemi kullanarak İnternet aracılığıyla birbirleri ile etkileşim halinde olmalarıdır. Kullandıkları teknoloji altyapıları ile de birbirlerinden ayrılırlar. Mimarinin ikinci katmanı olan ağ katmanı, cihazlardan elde edilen verinin sunuculara aktarımında görev alan katmandır. IoT cihazlardan elde edilen veriler kablolulu veya kablosuz ethernet üzerinden aktarabildiği gibi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Lora, NB-IoT gibi haberleşme protokolleri kullanarak da aktarabilmektedir (Tablo 1). Bu protokoller arasında Bluetooth ve Zigbee kısa menzilli mesafelere veri aktarımında bulunurken diğer ağ iletişim teknolojileri veriyi daha uzak mesafelere taşımaktadır. Fazla sayıda IoT cihazın bağlantı ve veri aktarımında olması sebebiyle kablolulu sistemler yerine kablosuz haberleşme sistemleri tercih edilmektedir. Sunucular IoT mimarisinin son katmanıdır. Bu katman verilerin saklandığı ve işlendiği yerdir (Talari vd., 2017).

	ZigBee	LTE	3G	NFC
Standart	IEEE 802.15.4	3GPP-LTE	Çok Çeşitli	ISO/IEC 18092
Frekans (MHz)	868/915/2400	700-2600	700-2600	13.56
Kullanım Yaygınlığı	Düşük	Düşük/Yüksek	Düşük/Yüksek	Yüksek
Menzil	500 km	Several kms	Several kms	10 cm
Veri Hızı	250 Kbps	100 Mbps +	3.6-21 Mbps	106-424 Mbps

Tablo 1. Bazı haberleşme protokollerinin karşılaştırılması (Hancke vd., 2013)

IoT özellikli sensörler veri toplama işlemleri için kullanılan cihazlardan biridir. Akıllı kontrol sistemlerinin önemli bileşenlerindedir. Gelişen IoT teknolojileri sayesinde sensörler iletecekleri elektrik sinyallerini birer veriye dönüştürerek İnternet ortamında iletebilir düzeye gelmiştir. Bu cihazlar mimarileri doğrultusunda gerekli işlemleri yaparak ağ aracılığıyla sunuculara aktarım yapmaktadır. Sensörler buldukları ortamlarda tıpkı duyu organları gibi hareket ederek değişim ve olayları tespit eder ve bunları elektrik sinyallerine çevirip gerekli işlemleri gerçekleştirirler. Sensörler, çalışma prensiplerine göre veri ileten ve iletilen veri doğrultusunda komut alan sistemlerle entegre bir şekilde çalışmaktadır. Kullanılabilirliğinin kapsamlı olması Akıllı Şehirlerden lokal uygulamalara birçok uygulamada kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

IoT özellikli sensörler kullanım alanlarına göre çeşitlenmektedir. Bunlar:

- Sıcaklık Sensörleri
- Işık Sensörleri
- Nem Sensörleri
- Ses Sensörleri
- Gaz Sensörleri
- Akış Sensörleri
- Basınç/Ağırlık Sensörleri
- Seviye Sensörleri
- Elektrik Sensörleri
- İvme Sensörleri
- Optik Sensörler
- Mesafe(Yakınlık)
- Jiroskop Sensörleri

Sensörler fiziki parametreleri insanlar tarafından okunabilecek ve yorumlanabilecek birer elektronik sinyale dönüştürürler. Işık, sıcaklık, basınç, nem sensörleri konvansiyonel sensörlerdendir. İvme, jiroskop sensörleri ise daha karmaşık yapıları sensörler arasında gösterilmektedir. Bir sensör üzerinden birden fazla parametre de alınabilmektedir (Hancke vd., 2013). IoT özellikli sensörlerin kullanıldığı bazı uygulama alanları şunlardır:

- Tarım alanlarına yerleştirilen nem sensörleri, nem miktarı düzenli olarak kontrol etmekte ve sulama sistemlerinin daha verimli yapılmasını sağlamaktadır (Cambra vd., 2017).
- Otonom araç teknolojilerinde kullanılan mesafe sensörleri aracın çevresini algılama kabiliyetini arttırmak ve doğru hareket kararları almakta kullanılmaktadır (Taştan ve Kaymaz, 2021).
- Birden fazla fizyolojik parametreyi aynı anda takip eden sensörler ile özellikle yaşlı insanların sağlık durumlarının anlık takibi mümkündür (Oğuz ve Doğru, 2021; Wu vd., 2018).

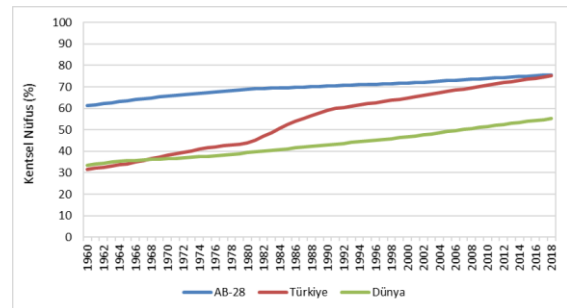
- IoT sensörler aracılığı ile elde edilen mikro iklim parametreleri değerlendirilerek seralarda üretim belirsizliklerinin önüne geçilebilmektedir (Shamshiri vd., 2020).
- Afet yönetimi ve tahminleri konusunda IoT sensörler ile toplanan büyük veri analizlerinden yararlanmak mümkündür (Adeel vd., 2019).
- Giyilebilir IoT sensör teknolojisi aracılığı ile hastaların gösterdiği semptomlar takip edilebilir ve bu veriler aracılığıyla hastalık tahmininde bulunmak için kullanılabilir (Muthu vd., 2020).
- IoT sensörler Akıllı Ulaşım Sistemlerinde veri toplamak, yollarda daha güvenli ve daha akıcı trafik sağlamak için devreye alınabilmektedir (Al-Turjman ve Lemayian, 2020).
- Giyilebilir IoT Sensörler, bir kişinin en yaygın günlük aktivitelerini tanımak amacıyla derin öğrenme tekniklerini kullanmak üzere veri aktarımında bulunabilmektedir. Bu yöntem ile dokuz farklı aktivite %97 oranıyla doğrulanabilmektedir (Bianchi vd., 2019).

Veri aktarımında bulunabilecek cihazlar arasında yaygın günlük kullanımı olan akıllı telefonlar da gelmektedir. GPS, jiroskoplar, ivmeölçerler ve pusulalar gibi çeşitli sensörlerle donatılan akıllı telefonlar Nesnelerin İnterneti tarafından geliştirilecek olan çeşitli uygulamalara olanak tanır.

IoT sensörler, yukarıda bahsedilen çeşitli lokal uygulamalar haricinde geniş ölçekli Akıllı Şehir uygulamalarında da kullanılmaktadır.

3. AKILLI ŞEHİRLER

Dünyada kentlerde yaşayan insan sayısı her geçen gün artmaktadır (Şekil 3). Türkiye nüfusunun %75,1'i, Avrupa nüfusunun ise %73'ü kentlerde yaşamaktadır (The World Bank, 2018). Günümüzde Dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentlerde yaşarken, 2050 yılına gelindiğinde bu oranın üçte ikieye çıkması beklenmektedir.



Şekil 3. 2018 Yılları Göre Türkiye ve Dünyada Kentsel Nüfus Oranları (The World Bank, 2018)

Artan kentsel nüfus, kaynak yetersizliği ve maliyet artışları gibi problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu durum Yerel Yönetim

hizmetlerini daha az maliyet ve daha verimli kaynak kullanımı ile sürdürmek amacıyla bilgi iletişim teknolojileri kullanarak çözümler geliştirilmeye yönlendirmiştir. Bu amaçla Akıllı Şehir kavramı ortaya çıkmıştır (Shelton vd., 2015).

Akıllı Şehir, kaynaklarını verimli kullanmak, sunduğu hizmetleri optimize etmek ve sakinlerinin yaşam kalitesini arttırmak hedefiyle veri toplayan ve topladığı verilerden elde ettiği bilgiler doğrultusunda hizmetlerini geliştiren kentsel yaşam alanlarıdır (Bakıcı, 2013). Akıllı şehirler konusunda standartlaştırılmış bir tanımlama bulunmamaktadır fakat tüm Akıllı Şehir çalışmalarının ortak noktaları olarak şehir kaynaklarını daha verimli kullanmak, sayısı her geçen gün artan kent sakinlerine daha iyi hizmetler vermeyi amaçlamak ve araç olarak bilgi teknolojilerini kullanmak gösterilebilir (Elvan, 2017).

Şehir hizmetlerini akıllılaştırmaya yönelik çalışmaların takip ettiği yaklaşımlardan biri Cohen'in Akıllı Şehirler Çarkı (Smart Cities Wheel)'dir. Avrupa Birliği tarafından da kabul gören bu yaklaşım Akıllı Şehir yaklaşımlarını anlamak için bir çerçeve niteliğindedir. Bu yaklaşıma göre Akıllı Şehirler altı bileşenden oluşmaktadır. Bileşenler birbirlerini destekleyen ve besleyen noktalar olup Akıllı Şehir uygulamalarının tasarlanması bütüncül olarak düşünülmelidir (Elvan, 2017). Bunlar:

- Akıllı ulaşım: Ulaşım hizmetlerinde akıllılaştırma ve çevre dostu uygulamaların IoT cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı trafik verilerinin takibi ve bu verilerin sürücüler ve yolcular ile paylaşımı hedeflenmelidir.
- Akıllı yaşam: Akıllı şehir teknolojilerinin kent sakinlerinin yaşamını kolaylaştırması ve konfor ve güven ortamının sağlanması hedeflenmelidir.
- Akıllı yönetim: Akıllı Şehir uygulamalarını gerçekleştirmek için toplanacak verilerin esas kaynağı olan kentlilerin; kamu yönetiminde alınacak kararlara katılması ve ulaşmasında şeffaflık hedeflenmelidir.
- Akıllı çevre: Akıllı kent planlama sistemlerinden Akıllı Atık Yönetimi sistemlerine şehirlerin sunduğu tüm çevre hizmetlerinde gelişim ve verimlilik hedeflenmelidir.
- Akıllı ekonomi: Bilgi iletişim teknolojileri kullanılan şehir ve ticaret sistemlerinde verimlilik hedeflenmelidir.
- Akıllı insanlar: Kent sakinlerinin Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılacak olan verilerin elde edilmesi konusunda kaynak olması ve geliştirilen uygulamaları kullanarak şehrin parçası olması hedeflenmelidir.

Akıllı Şehirler için şekillenecek uygulamaların ihtiyaç duyduğu verilere kablolu ve yaygın olarak kablosuz haberleşme teknolojileri ile erişim mümkündür (Baloğlu ve Karademiroğlu, 2019). Bu teknolojileri kullanan cihazlar ile altyapı oluşturulması sayesinde hedeflenen amaca hizmet edecek verilerin toplanması, işlenmesi ve kentliye hizmet etmesi sağlanabilmektedir (Capdevila ve Zarlenga, 2015). Yaygın olarak kullanılan kablosuz haberleşme teknolojileri arasında yukarıda ele alınan IoT cihazlar haricinde RFID etiketleri gibi teknolojiler de yer almaktadır (Rahmani vd., 2021).

Radyo frekansı teknolojisi kullanan RFID etiketler ve İnternet üzerinden veri aktarabilen okuyucuları sayesinde Mekansal Adres Kayıt Sistemi uygulaması, toplu taşıma araçlarının duraklardan geçişlerinin takibi, çöp konteynerlerinin boşaltımının takibi, bina içi konum belirleme gibi Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılabilir (Delioğlu, 2019).

Kablosuz haberleşme teknolojileri kullanan IoT sensörlerin veri aktarımında bulunduğu Akıllı Şehir uygulamalarına Akıllı Park Sulama Sistemleri (Rawal, 2017), Akıllı Otopark Yönetimi Sistemleri (Khanna ve Anand, 2016), Akıllı Trafik Kontrol Sistemleri (Balakrishna ve Thirumaran, 2018) ve Akıllı Sokak Aydınlatma Sistemleri (Yang vd., 2018) örnek olarak verilebilir. Aşağıda ele alınacak olan Akıllı Atık Yönetimi de İot Sensörler kullanılan Akıllı Şehir uygulamalarından biridir.

4. NESNELERİN İNTERNETİ(İoT) ÖZELLİKLİ SENSÖRLERİN AKILLI ATIK YÖNETİMİNDE KULLANIMI

Yukarıda da bahsedildiği gibi artan şehir nüfusu ve Atık Yönetimi maliyetlerinin miktarı her geçen gün artmaktadır. Atık yönetimi maliyetlerinin Çevre Koruma harcamalarının büyük bir miktarını oluşturması gelişen IoT teknolojilerini bu alanda da kullanılması konusunda motivasyon kaynağıdır. Dünyada birçok şehir atık yönetimi sistemlerinin verimliliğini arttırmak amacıyla geleneksel katı atık toplama sistemleri yerine Akıllı Şehir uygulamalarından olan Akıllı Atık Yönetimine yönelmektedir (Omar vd., 2016).

Atık Yönetimi Sistemleri üç basamaklı işlemde oluşmaktadır. Bunlar: atık toplama, aktarma ve depolama işlemleridir (Azaddar, 2021). Geleneksel atık toplama sistemlerinde temizlik araçları geniş bir rotaya sahiptir ve araçlara insan gücü ile hizmet verilmektedir. Temizlik araçları rotaları ihtiyaç duyulan noktalardan geçse bile henüz atık toplanmasına gerek duyulmayan noktalara da uğramaktadır. Bu durum yakıt ve işgücü israfını beraberinde getirmektedir.

Akıllı atık yönetiminde, çöp konteynerlerine yerleştirilen ağırlık ve seviye sensörleri konteynerin boşaltılması gerektiği bilgisini İnternet aracılığı ile veri alıcılara iletilmektedir (Vishnu vd., 2021). Doluluk bilgisini alan toplama birimleri rotalarını güncelleyerek ihtiyaç dahilinde hareket etmektedir. Bu sayede zaman ve enerji tasarrufu sağlanırken, atık toplama maliyetleri düşmektedir.

Atık toplama sistemi, bir kent alanındaki çöp kutularından gelen atık seviyesi verilerine dayanmaktadır. Sensörler tarafından iletilen veriler, İnternet üzerinden depolandığı ve işlendiği bir sunucuya gönderilir. Toplanan veriler daha sonra toplanacak çöp konteynerlerinin günlük doluluk seviyelerini izlemek ve optimize etmek için kullanılır. Bu verilere göre çöp toplama araçlarının rotaları hesaplanır. Her gün işçiler, navigasyon cihazlarında yeni hesaplanan rotaları alırlar. Bu rota oluşumunun amacı günlük olarak hangi konteynerlerin toplanması gerektiği seçimini optimize etmektir. Böylece ihtiyaç duyulmayan noktalara uğranmaz.

Akıllı Atık Yönetimi çalışmaları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında yer alan çalışmada, Kopenhag şehrinde 18 alanda toplam 3046 adet çöp konteynerinde gerçekçi bir Akıllı Atık Toplama senaryosu simüle edilmiştir (Gutierrez vd., 2015). Kablosuz bir bağlantı yoluyla İnternete bilgi aktarma kabiliyetine sahip çöp kutuları veya konteynerlerdeki atık hacmini ölçen sensörler yerleştirilmiş IoT tabanlı sistemler bütününden oluşur. Bu veriler, atık toplama lojistiğinin yönetimini ve stratejilerini optimize etmek için kullanılır. Bu çalışmada Akıllı Atık toplama için entegre bir sistem modeli geliştirmek, gerçek bir Akıllı Şehir uygulaması olarak fizibilitesini değerlendirmek ve ekonomik maliyetlerin ölçmek hedefleri arasındadır. Yapılan çalışmada sensörler tarafından toplanan verilerin, depolanabileceği, işlenebileceği, ve nihayetinde altyapı veya hizmet yönetimi için akıllı kararlar almakta kullanılacak uzak sunuculara gönderilebileceği belirtilmiştir. Gutierrez vd. 2015 yılında yaptığı çalışmadan yola çıkılarak hazırlanan Akıllı Atık Yönetimi sistemi akış diyagramı aşağıda yer almaktadır (Şekil 4).

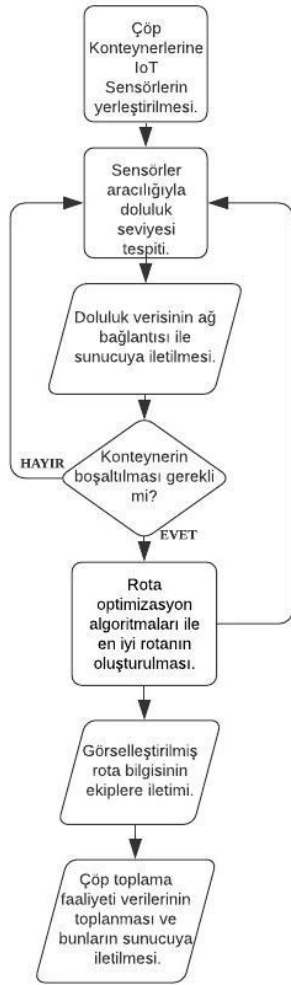
Bu çalışmada oluşturulan Akıllı Çöp Toplama Sistemi prototipi şu şekildedir:

- Sensörler: Çöp konteynerlerinde HC-SR04 tipi 2 cm'den 400 cm'ye kadar hassas ölçüm yapabilen ultrasonik sensör kullanılmıştır.
- Mikrodenetleyici: Kullanılan Arduino Uno mikrodenetleyici sensörlerden veri toplamak ve bunları bir ağ arayüzü üzerinden İnternete göndermek için kullanılmıştır.

- Ağ: Toplanan veriler, WiFi ağ bağlantısı aracılığıyla uzak bir sunucuya gönderilmiştir.
- Veritabanı: Sensörler tarafından toplanan tüm verilerin depolanması için MySQL kullanılmıştır.
- Optimizasyon algoritmaları: Boşaltılacak konteynerler seçildikten sonra rota optimizasyon algoritmaları ve CBS verileri yardımıyla en iyi rota hesaplanmaktadır.
- Rota bilgisinin iletimi: Nihai rotalar, çalışanlara görselleştirilmiş (örn. KML dosya türü) şekilde iletilmektedir. Görselleştirilmiş rotaya cep telefonları, tabletler veya navigasyon sistemleri gibi yaygın cihazlar aracılığıyla erişilebilir. Bu sayede sürücü rotaları kolayca takip edebilir.
- Görselleştirme: İletilen güzergahlar veri erişimi olan cep telefonları, tabletler veya navigasyon sistemleri gibi yaygın cihazlar aracılığıyla son kullanıcı tarafından görüntülenebilir. Bu sayede sürücü rotaları kolayca takip edebilir.
- Veri toplama: Çöp toplama faaliyeti esnasında farklı caddelerdeki trafik akışını belirlemek için çöp kamyonlarından GPS konumları ve geçiş zamanları gibi ek veriler toplanabilir. Bu ve diğer veriler, daha iyi ve daha verimli çöp toplama rotaları belirlemek için Yapay Zeka ve Optimizasyon Algoritmaları modülleri tarafından kullanılabilir.

Bu çalışmada 18 alana ayrılan şehirde üç çöp toplama kriteri olarak karşılaştırılmıştır. İlk kriter grubunda haftanın belli günlerinde toplama işlemi yapılmıştır (Geleneksel çöp toplama yöntemini temsil eden grup). İkinci kriter grubunda olan alanlarda doluluk oranına ulaşan belirli sayıda konteyner toplanmıştır. Üçüncü kriter grubunda bulunan alanlarda ise dolan tüm konteynerler toplanmıştır. Böylece 5 haftanın sonunda toplanan veriler her bir kriter grubu için maliyet (para ve zaman) hesaplaması için kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda toplanan verilere göre geleneksel yöntemi takip eden grubun çok daha uzun sürüş alanını katettiği ve ayrıca daha yüksek günlük toplama maliyetleri oluşturduğu gözlenmiştir. Dinamik stratejiler ise benzer verimlilik rakamları sağlamıştır. 2 yıl sonrası için hesaplanan maliyet karşılaştırmasında birinci ve ikinci kriter karşılaştırıldığında, sistemin devreye alınması ve sürdürülmesi için ekstra masrafları karşılayabileceğini görülmüştür. Bu çalışmada Gutierrez ve arkadaşları akıllı bir çözümün hem verimlilik hem de maliyet açısından geleneksel stratejilerden daha iyi performans gösterebileceğine dair çıkarımlarda bulunmuştur.

Akıllı Atık Yönetimi sistemlerine örnek olarak aşağıdaki çalışmalar da gösterilebilir. Bunlar:



Şekil 4. Akıllı Atık Yönetimi sistemi akış diyagramı.

Avrupa komisyonu tarafından Avrupa İnovasyon Başkenti seçilen Barcelona (İspanya), 'Barcelona Smart City' projesi kapsamında akıllı atık yönetimi sistemine geçiş yapmıştır. Bu sistemde çöp konteynerlerine yerleştirilmiş olan sensörler, doluluk oranları %80'in üzerinde olduğunda boşaltılması gerektiğini belirten sinyaller yollamaktadır. Bu sinyalleri takip eden web tabanlı yazılım konteynerlerin kapasitesini trafik ışıkları modelinde görselleştirmiştir. Model aracılığı ile konteynerlere en uygun rotadan ulaşılır ve boşaltım işlemi gerçekleştirilir. Bu uygulamada Ultrasonik IoT sensörler GSM iletişim teknolojisi ile birlikte hareket etmektedir (Madakam ve Ramachandran, 2015).

Tuzla belediyesi için geliştirilen proje çalışmada, yer üstü (60 adet) ve yer altı (40 adet) çöp konteynerlerine doluluk oranlarını ölçecek ultrasonik sensörler yerleştirilmiştir. Bu sensörler doluluk oranlarını verilerini çöp toplama araçlarına aktarmaktadır. Aktarılan veriler günlük çöp toplama rotasının oluşturulması için işlenmektedir. Oluşturulan rotalar atık toplama maliyetlerini

azaltmaktadır. Bu sistem sayesinde konteynerlerin dolduktan sonra taşması ve çöp toplama araçlarının boşaltılması gerekmeyen konteynerleri boşaltılmasının önüne geçilmektedir. (Tuzla Belediyesi, 2016).

Kayseri şehrinde gerçekleştirilmiş bir araştırmada 200 adet konteyner yerleştirilen sensörler aracılığıyla çöp doluluk seviyeleri takip edilmektedir ve hazırlanan android uygulaması ile oranlar takip edilmektedir. Dolan konteynerleri toplamak için hazırlanan rotada gruplama sistemi geliştirilerek en yakın rota oluşması hedeflenmektedir. Altı ay boyunca takip edilen bu sistemde geleneksel yöntemle takip edilen sisteme göre yaklaşık %30 maliyet düşüşleri gözlenmiştir (Oralhan vd., 2017).

Unesco Dünya Mirası listesinde yer alan Amsterdam şehir merkezi konteynerlerin konulacağı alanın yetersizliği, boşaltılması için gelen araçların trafik yükü oluşturması ve kanalların doğal manzarasını bozması sebebiyle yerine alternatif bir atık yönetimi sistemi gereksinimi duymaktadır. MIT ve AMS enstitüsü 'Roboat Araştırma Projesi' kapsamında konteynerler yerine IoT sensörlere sahip bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Şehir sakinleri ve ziyaretçilerinin kullanımı için geliştirilen Otonom Çöp Filosu, IoT sensörler içeren ve İnternet üzerinden bilgi aktaran yüzen Çöp Bidonlarını kanallardaki belirlenen alanlara yerleştirilmektedir. Doluluk oranını takip eden sensörlerden alınan verilere göre boşaltılması gereken Yüzen Çöp Bidonlarını geri toplamak için kanal üzerinden erişim sağlanmaktadır. Dolu olan bidonlar çöp aktarma merkezine iletilmekte ve yerlerine boş olanlar yerleştirilmektedir. Bu proje ile şehir merkezinde bulunan konut ve otellerin atıklarının toplanması işlemine verimliliği yüksek bir çözüm getirilmesi hedeflenmektedir (Duarte vd., 2020).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada şehirlerin nüfusu her geçen gün artmaktadır. Bu durum aynı zamanda Atık yönetimi maliyetlerinde de artışı beraberinde getirmektedir. Şehirler yönetimleri verimli sistemler geliştirmek amacıyla akıllı projelere yönelmektedir. Bu makalede Akıllı Atık Toplama siber sisteminin Akıllı Şehir uygulaması olarak kullanım durumu incelenmektedir. Nesnelere İnterneti özellikli cihazlardan elde edilen veriler bu konuda bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan IoT özellikli sensörler Akıllı Şehir uygulamalarında yaygın olarak kullanılan veri toplama araçlarındandır.

Detayları yukarıda yer alan çalışmada da olduğu gibi Akıllı Atık Yönetimi Sistemi, çöp konteynerlerinin atık seviyesini ölçen ve bu verileri depolama ve işleme için İnternet üzerinden bir sunucuya gönderen

bir Nesnelerin İnterneti algılama prototipine (IoT sensörlere) dayanmaktadır. Bu verilere dayanarak bir optimizasyon süreci geliştirilmesi ve en verimli toplama rotalarının oluşturulması sağlanmaktadır. Bu rota görselleştirilerek çalışanlara iletilir. Çöp toplama işlemi esnasında da veri toplama yapılarak değerlendirmelerde bulunulur. Örnek gösterilen diğer uygulamalarda da atık yönetimi sistemleri benzer şekilde işlemektedir. Bu çalışmalarda da atık yönetimi maliyetleri konusunda optimizasyonlar görülmektedir.

Bu sistemlerin ortak amacı yalnızca günlük atık düzeyinin takibi ve toplama işleminin rotasının oluşturulması hakkında olmamalıdır. Geliştirilen sistemleri bir adım öteye taşıyarak toplama işlemi sırasındaki verileri de algoritma hesaplarına dahil ederek aynı zamanda gelecekteki doluluk durumu tahmininde de bulunabilir. Deneyimlerden elde edilecek bu çıktılar aracılığıyla çöp toplama noktalarındaki seviye ölçüm sıklıkları azaltılabilir. Ölçüm sıklığını azaltmak hem ölçüm esnasında harcanacak enerji konusunda hem de sunuculara iletilecek veri aktarımı sırasında harcanacak enerji konusunda tasarruflar sağlayacaktır.

Ayrıca Akıllı Çöp Toplama Sisteminde kullanılan sistemler evsel atık toplama sistemi dışında başka sistemlere de entegre edilmesi mümkündür. Örneğin Tıbbi Atık konteynerlerine yerleştirilebilecek IoT özellikli sensörlerin toplama işlemini sağlayacak birimlere gerekli bilginin iletiminde önemli bir rol oynayacaktır. Tıbbi Atıkların doluluk oranının %100'ü geçmemesi ve taşma yapmaması önem arz etmektedir. Bu durumun önüne geçilmesi için Akıllı Tıbbi Atık Yönetimi Sistemi kullanımı hem tehlike önlenmesi açısından hem de verimlilik açısından yararlı olacaktır. Benzer olarak yaygınlaşan Giysi Toplama Noktalarına da Akıllı Çöp Toplama sistemlerindeki IoT sistemler yerleştirilebilir. Bu sayede dolma seviyesine yaklaşan giysi kutularının boşaltım zamanı için bilgi sahibi olunabilir.

6. KAYNAKLAR

Adeel, A., Gogate, M., Farooq, S., Ieracitano, C., Dashtipour, K., Larijani, H. ve Hussain, A., 2019. A survey on the role of wireless sensor networks and IoT in disaster management. *In Geological disaster monitoring based on sensor networks (ss. 57-66). Springer, Singapore.*

Al-Turjman, F. ve Lemayian, J. P., 2020. Intelligence, security, and vehicular sensor networks in internet of things (IoT)-enabled smart-cities: An overview. *Computers & Electrical Engineering, 87, 106776.*

Ashton, K., 2009. That 'Internet of Things' Thing. *RFID journal, 22(7), 97-114.*

Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., 2010. The Internet of things: A survey. *Computer networks, 54(15), 2787-2805.*

Azaddar, H., 2021. Akıllı Şehirlerde Atık Yönetimi Amaçlı Akıllı Çöp Kutusu Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Bakıcı, T., Almirall, E., Wareham, J., 2013. A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the knowledge economy, 4(2), 135-148.*

Balakrishna, S. ve Thirumaran, M., 2018. Semantic interoperable traffic management framework for IoT smart city applications. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 4(13), e4-e4.*

Baloğlu, A. ve Karademiroğlu, O., 2019. Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri Ve Doğru Teknoloji Seçimi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (1), 22-29.*

Bianchi, V., Bassoli, M., Lombardo, G., Fornacciari, P., Mordonini, M. ve De Munari, I., 2019. IoT wearable sensor and deep learning: An integrated approach for personalized human activity recognition in a smart home environment. *IEEE Internet of Things Journal, 6(5), 8553-8562.*

Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., Garcia, L., 2017. An IoT service-oriented system for agriculture monitoring. *IEEE International Conference on Communications (ICC) (1-6).*

Capdevila, I., Zarlenga, M. I., 2015. Smart city or smart citizens? The Barcelona case. *Journal of Strategy and Management.*

Delioğlu, P., 2019. RFID Teknolojisinin CBS Projelerinde Kullanımı. *Yapı Bilgi Modelleme, 1(1), 27-38.*

Duarte, F., Johnsen, L., Ratti, C., 2020. Reimagining urban infrastructure through design and experimentation. *The Routledge Companion to Smart Cities, 52.*

Elvan, L., 2017. Akıllı Şehirler: Lüks Değil İhtiyaç. *İTÜ Vakfı Dergisi, S.77, ss.6-9.*

Gutierrez, J. M., Jensen, M., Henius, M., Riaz, T., 2015. Smart waste collection system based on location intelligence. *Procedia Computer Science, 61, 120-127.*

- Hancke, G. P., Hancke Jr, G. P., 2013. The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), 393-425.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Woerden, F. V., 2018. 'What a waste 2.0, *World Bank Publications*, vol. 30317.
- Khanna, A. ve Anand, R., 2016. IoT based smart parking system. In *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)* (266-270).
- Madakam, S., & Ramachandran, R., 2015. Barcelona smart city: the Heaven on Earth (Internet of Things: Technological God). *ZTE Communications*, 13(4), 3-9.
- Muthu, B., Sivaparthipan, C. B., Manogaran, G., Sundarasekar, R., Kadry, S., Shanthini, A. ve Dasel, A., 2020. IOT based wearable sensor for diseases prediction and symptom analysis in healthcare sector. *Peer-to-peer networking and applications*, 13(6), 2123-2134.
- Oğuz, F. E. ve Doğru Bolat, E., 2021. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Uzaktan Hasta Sağlık Takip ve Uyarı Sistemi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 14-21.
- Omar, M. F., Termizi, A. A., Zainal, D., Wahap, N. A., Ismail, N. M., Ahmad, N., Haziran 2016. Implementation of spatial smart waste management system in Malaysia. *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 37, No. 1, 012059).
- Oralhan, Z., Oralhan, B., Yiğit, Y., 2017. Smart city application: Internet of things (IoT) technologies based smart waste collection using data mining approach and ant colony optimization. *Internet Things*, 14(4), 5.
- Park, E., Del Pobil, A.P., Kwon, S.J., 2018. The Role of Internet of Things (IoT) in Smart Cities: Technology Roadmap-oriented Approaches. *Sustainability*, 10(5):1388.
- Rahmani, A. M., Bayramov, S., Kiani Kalejahi, B., 2022. Internet of Things Applications: Opportunities and Threats. *Wireless Personal Communications*, 122(1), 451-476.
- Rajab, H., Cinkelr, T., Haziran, 2018. IoT based smart cities. In *2018 international symposium on networks, computers and communications (ISNCC)* (ss. 1-4). IEEE.
- Rawal, S., 2017. IOT based smart irrigation system. *International Journal of Computer Applications*, 159(8), 7-11.
- Shamshiri, R. R., Bojic, I., van Henten, E., Balasundram, S. K., Dworak, V., Sultan, M., ve Weltzien, C., 2020. Model-based evaluation of greenhouse microclimate using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121303.
- Shelton, T., Zook, M., Wiig, A., 2015. The 'actually existing smart city'. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 8(1), 13-25.
- Sunitha, C., Asha Priya, B., Lavanya, S., 2019. Need of Internet of Things for smart cities. *Int. J. Trend Sci. Res. Develop.*, 3(4), 218-222.
- Talari, S., Shafie-khah, M., Siano, P., Loia, V., Tommasetti, A., Catalão, J.P.S., 2017. A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept, *Energies*, 10(4):421.
- Kansara, K., Zaveri, V., Shah, S., Delwadkar, S., Jani, K., 2015. Sensor based automated irrigation system with IOT: A technical review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(6), 5331-5333.
- Tastan, Y., ve Kaymaz, H., 2021. Otonom Araçların Önündeki Zorluklar. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33 (2), 195-209.
- Weber, R. H., Weber, R., 2010. Internet of things (Vol. 12). *Heidelberg: Springer*.
- Wortmann, F., Flüchter, K., 2015. Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224.
- Wu, F., Redouté, J. M. ve Yuce, M. R., 2018. We-safe: A self-powered wearable iot sensor network for safety applications based on lora. *IEEE Access*, 6, 40846-40853.
- Xia, F., Yang, L. T., Wang, L., Vinel, A., 2012. Internet of things. *International journal of communication systems*, 25(9), 1101.
- Vishnu, S., Ramson, S.R.J., Senith, S., Anagnostopoulos, T., Abu-Mahfouz, A.M., Fan, Z., Srinivasan, S.; Kirubaraj, 2021. A.A. IoT-Enabled Solid Waste Management in Smart Cities. *Smart Cities* 4, 1004–1017.
- Yang, Y. S., Lee, S. H., Chen, G. S., Yang, C. S., Huang, Y. M. ve Hou, T. W., 2020. An implementation of high efficient smart street light management system for smart city. *IEEE Access*, 8, 38568-38585.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L.,
Zorzi, M., 2014. Internet of things for smart cities.
IEEE Internet of Things journal, 1(1), 22-32.

URL-1

Tuzla Belediyesi, 2016.

<https://www.tuzla.bel.tr/icerik/107/4559/tuzla-belediyesi-konteynerleri-akillandirdi.aspx>

Erişim: 19.01.2021