

BÖLÜM 7

Restoranlarda Gıda İsrafını Azaltmada Akıllı Teknolojilerin Rolü

Dr. Y. Kemal ÖZEKİCİ¹

Özet

Bu çalışmanın temel amacı, yapay zeka teknolojisi ile birlikte yapay zeka teknolojisinin uygulanmasında rol oynayabilecek teknoloji araçlarının işlevini gıda israf yönetimi kapsamında irdelemektir. Daha özelde ise restoranlarda gıda israf yönetim etkinliğinin iyileştirilmesinde yapay zekâ temelli teknolojilerin rolü irdelenmiştir. Bu kapsamda, yapay zekâ teknolojisinin işlevi ile birlikte söz konusu teknolojiye yardımcı rol oynama yoluyla işlev artırıcı rol kazandırma görevi olan diğer teknolojiler (sensör, nesnelerin interneti, büyük veri, yeni nesil kameralar vb.) gıda israfı yönetimi kapsamında izah edilmiştir. Sonraki aşamada, ilgili teknolojilerin restoranlarda gıda israfı yönetimi kapsamında ne şekilde organize edileceği izah edilmiş ve buna uygun entegre sistemler açıklanmıştır. Çalışma sonucunda sektöre ve literatüre yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gıda İsrafı, Akıllı Teknoloji, Yapay Zeka, Sensörler, Nesnelerin İnterneti

The Role of Smart Technologies in Diminishing Food Waste in Restaurants

Abstract

The main purpose of this study is to examine the function of technology tools that can play a supporting role in the application of artificial intelligence technology together with artificial intelligence technology within the scope of food waste management. More specifically, the role of artificial intelligence-based technologies in improving the effectiveness of food waste management in restaurants has been examined. In this context, the function of artificial intelligence technology together with other technologies that have the task of providing a function-enhancing role by playing a supporting role to the technology in question (sensor, internet of things, big data, new generation cameras etc.) have been explained within the scope of food waste management. In the next stage, it has been explained how the relevant technologies will be organized within the scope of food waste management in restaurants and integrated systems suitable for this have been explained. As a result of the study, suggestions have been developed for the sector and literature.

Keywords: Food Waste, Smart Technologies, Artificial Intelligence, Sensors, Internet Of Things

Giriş

Gıda israfı, açlığın yol açtığı ölümlerin birincil sebebi olarak bilinmektedir (Hegnsholt vd., 2018; Martin-Rios vd., 2020). Dünya nüfusunun bir kısmı obezite kaynaklı hastalıklarla mücadele ederken diğer kesiminin yetersiz beslenmeyle yüzleşmesi, gıda israf yönetiminin yeterli etkinlikte yerine getirilmemesine dayandırılmaktadır (Martin-Rios vd., 2020). Yanlış israf yönetimi, dünyada oluşan israfın yüzde 60'ını açıklamaktadır. Bu da çevre üzerinde kayda değer etkilerin oluşmasına yol açmaktadır (Agarwal vd., 2020; Andeobu vd., 2022; Roohi vd., 2020).

Yapay zekanın kullanım ve tasarım etkinliğinin ülkelerin gelecekteki gelişmişlik düzeyini göstereceği (Andeobu vd., 2022; Cugurullo, 2020) ve yapay zekanın endüstri devrimine benzer ölçüde bir sosyo-ekonomik dönüşümü beraberinde getireceği iddiaları (Wilts vd., 2021) söz konusudur. Yapay zeka, gelişen teknolojiler birçok alanda kullanıldığı gibi

¹ Doç. Dr., Adıyaman Üniversitesi / Turizm Fakültesi / Gastronomi ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalı, <https://orcid.org/0000-0003-2482-7355>, ykozekici@gmail.com ykozekici@adiyaman.edu.tr

yapay zeka araçları bunlardan biridir ve gıda israfını yönetmede söz konusu araç makro düzeyde kullanılmaya dünyaya çeşitli bölgelerinde belediyeçilik anlamında başlamıştır (Yiğitcanlar vd., 2021). Etkin israf yönetimi, geri dönüşüm için sarf edilecek kaynakların en aza indirgenmesini (Andeobu vd., 2022) ve bu şekilde çevreye verilen hasarın en aza indirgenmesini sağlamaktadır (Yiğitcanlar vd., 2021). Gıda israfını engellemek üzere birçok model geliştirilmiş olup, yapay zeka temelli israf yönetim uygulamaları bunların içerisinde en etkilisi olarak görülmektedir (Coşkun vd., 2020; Fang vd., 2023).

Dünya genelinde yapay zeka uygulamalarının atık yönetimine entegre edildiği sistemlerin yerel yönetimlerce tercih edilme sıklığı artmaktadır (Yiğitcanlar ve Cugurolla, 2020; Andeobu vd., 2022). Öyle ki, atık yönetiminin niteliği ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre değişmektedir (Shekdar, 2009; Andeobu vd., 2022). Yine de yapay zeka teknolojisinin kullanımında küre genelinde farklılığın nispeten az olduğu söylenebilir (Scantamburlo vd., 2024). Oysa, sürdürülebilir bir geri dönüşüm sürecini sağlamak çevre üzerindeki baskıyı en aza indirgeteceğinden etkin atık yönetim uygulamalarının benimsenmesi bir zorunluluk halini almıştır (Tanveer vd., 2020). Atık yönetim sistemlerinin yapay zeka teknolojisi ile mübadele edildiği (Williams, 2019) düşünüldüğünde, yapay zeka teknolojisinin israf yönetim kapsamında irdelenmesinin ülkelerin ve müesseselerin uzun vadeli israf yönetim planlamalarını yönünü ve kapsamını belirleyeceği açıktır. Buna rağmen, yapay zeka teknolojilerinin israf yönetiminde oynayacağı rol sınırlı sayıda araştırmaya konu edilmiştir (örn. Andeobu vd., 2022; Fang vd., 2023). Turizm kapsamında ele alınan çalışma sayısı ise daha sınırlıdır (Gómez-Talal vd., 2024) Bu bakımdan, yapay zeka temelli gıda israfını turizm sistemi kapsamında irdeleyen değerlendirmelerin henüz başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, ilgili araştırma, gıda israfını engelleme odaklı teknoloji sistemlerini açıklamayı amaçlamaktadır. O sebeple, ilgili bölümün amacı, yapay zeka teknolojisini irdelemek ve bu teknolojinin israf yönetimi kapsamındaki rolünü turizm odaklı bir bakış açısıyla ortaya koymaktır.

2. Literatür

2.1. Gıda İsrafı ve Öncülleri

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, gıda israfı, "tüketime uygun ancak kullanıcı isteği veya bozulma ya da son kullanma tarihi geçtiği için atılan gıda olarak tanımlanmaktadır; 'gıda' terimi, "insan tüketimine sunulan işlenmiş, yarı işlenmiş veya çiğ yenilebilir ürünleri" ifade etmektedir (FAO, 2008). Ayrıca, gıda israfı "aşırı hazırlama, uygunsuz depolama ve verimsiz uygulamalar nedeniyle atılan veya bozulmaya bırakılan yenilebilir gıda" olarak da tanımlanmaktadır (Yahia ve Mourad, 2020'den aktaran Kanwal et al., 2024).

Gıda israfına yol açan birçok unsur bulunduğu düşünülmektedir. Gıda israfına yol açan unsurların başında, özellikle turizm işletmeleri açısından talep tahminlemesinin net olarak gerçekleştirilmemesi gelmektedir. Talep tahminlemesindeki yanlışlığa sevk eden unsur, pazarın işletme yönetiminin hesaplama kabiliyetinin üzerinde bir hacme sahip olmasıdır (Pirani ve Arafat, 2016). Yine, satın alma planlamasında ortaya çıkan hatalar, talep tahminlemesinin yanlışlığından ortaya çıkan gıda israf katsayısını arttırmakta, bu da gereğinden fazla alınan gıdanın tüketilmeden bozulmasına yol açmaktadır (Filimonau ve Gherbin, 2017).

Gıdanın hazırlanma aşamasında soyma ve budama işlemlerinden kaynaklanan gıda israfı, israfa yol açan unsurlardan bir diğeridir. Literatürde, restoranlardan kaynaklanan gıda israfı içerisinde ağırlıklı oranın hazırlama aşamasına ait olduğu iddia edilmektedir (Goh and Jie, 2019; Papargyropoulou et al., 2019'den aktaran Filimonau et al., 2020). Yetersiz ve kalitesiz ekipmanlar gıda israfında hazırlama süreci kapsamında, gereğinden fazla budama ve soymanın gerçekleştirilmesi suretiyle israf düzeyi artabilmektedir bulunmaktadır (Filimonau vd., 2019; Kanwal et al., 2024; Aykaç, Özdemir ve Cinnioğlu, 2023). Ayrıca, gıdanın yeterli ölçüde cezbedici şekilde hazırlanmaması, misafirler tarafından tercih edilmemesine yol açmakta ve israf oluşabilmektedir. Bu unsurlar üzerinde destinasyonun kırsal niteliğinden kaynaklanan personel odaklı nitelik yetersizliği rol oynayabilmektedir (Çalışkan ve Yeşilyurt, 2020). Hazırlama sürecinde israf yalnızca gıdanın soyulma süreci ile ilgili değildir. Üretim sürecinde gıdanın yeterli ölçüde organize edilerek hazırlanmamış olması, vakit ve emek israfı ile birlikte aynı iş için gerekli olan personel sayısında artışa neden olmaktadır. Ayrıca, personellerin kabiliyetlerine göre üretim alanı içerisinde konumlandırılmaması, hazırlık sürecinde ortaya çıkan israfın öncülü olarak rol oynamaktadır (Filimonau ve Delysia, 2019; Kanwal et al., 2024).

Gıda israfı, üretim sürecinin haricinde ziyaretçilerden de kaynaklanabilmektedir. Ziyaretçi profiline uygun bir şekilde tasarlanmayan tabaklar, ziyaretçilerin tabaktaki ürünleri tam olarak tüketmemesi nedeniyle israfın meydana gelmesine sebep olmaktadır (Kanwal vd., 2024). Bilhassa, müşteri memnuniyetini sağlama maksadıyla porsiyon büyütme esas edinen müesseselerde müşteriden kaynaklanan tabak israfının yoğun biçimde görüldüğü düşünülmektedir (Lorenz vd., 2018; Filimonau vd., 2020). Esasen, israfın müşteri yahut personelden kaynaklanması veya israf düzeyinde hazırlık ya da tabak israfının temel rolü oynamasını belirleyen unsurlar içerisinde restoran konsepti önemli rol oynamaktadır. Restoranın a la carte konseptinde hizmet vermesi hazırlık aşamasındaki israfı azami düzeye getirmekte iken, açık büfe hizmetinin verilmesi tabak israfını birincil düzeye taşımaktadır (Papargyropoulou et al., 2016; Filimonau vd., 2020). Müşteri özelinden daha geniş bir odakta ele alındığında, toplumsal parametreler de gıda israfı üzerinde belirleyici rol oynayabilmektedir. Toplumun kültür odağı gıdanın işlevsel yönünden ziyade görsel yönünü ön plana çıkardığında, gıda israfının oluşacak şekilde bir menü tasarımının talep yönünden beklenilmesi kaçınılmaz hal alacaktır. Benzer şekilde, servis tabağındaki tüm gıdanın tüketilmesi bazı kültürlerde kültürel normlara aykırı bir davranış olarak kabul edildiğinden (Wang vd., 2017), kültürün gıda israfını tetikleyen bir unsur olduğunu söylemek mümkündür.

Belirli bir sistem ekseninde tasarlanmamış gıda israf yönetmeliklerinin varlığı, bilhassa gelişmekte olan ülkelerde gıda israfının önemli ortanda ortaya çıkmasını sağlayan temel hususlar arasındadır. Söz gelimi, ülkeler arasında gıdanın depolanma süresinde belirlenen farklılıklar, tuzuk ve yönetmeliklerden kaynaklanan gıda israfının sebepleri arasında yer almaktadır. Zira, gıdanın depolanma şartlarına göre dayanabileceği süreden daha az süre tanıyan bir yönetmelik maddesi, restoran yönetiminin planlama hataları ile bir araya geldiğinde, ekonomik ömrünü tamamlamamış bir gıdanın israf edilmesi sonucunu doğurabilmektedir (Filimonau vd., 2019).

2.2. Teknoloji ve Gıda İsrafı

Gıda israfının turizm sektöründe teknoloji araçlar ile azaltılması, temel anlamda gerçek zamanlı teknoloji unsurlarının devreye sokulması ile gerçekleşmektedir. Bu şekilde, işletmelerin kaynak kullanımlarını optimize etmeleri sağlanmakta, aşırı ve yetersiz

kaynak kullanımının önüne geçilerek gıda israfından kaynaklanan maliyetler en aza indirilmektedir. Bunu sağlamak için çeşitli teknoloji araçlarının hizmetinden yararlanılmaktadır (Singh vd., 2024).

Turizm sektöründe teknoloji kullanımının gıda israfı üzerindeki temel katkısı, kaynak optimizasyonun sağlanması ile ortaya çıkmaktadır. Aşırı ve az kullanım olasılığının aşağı çekilmesi ile birlikte kaynak düzeyinin anlık izlenimi, kaynak yönetim kabiliyetini iyileştirmektedir. Böylece, maliyet kontrolü sağlandığı gibi kaynak israfı en aza indirilebilmektedir. Söz konusu teknolojinin kaynak israfını hangi araçlarla ne şekilde yerine getirildiği şu şekilde sağlanmaktadır.

2.3. Akıllı Teknoloji Araçları

Teknoloji gıda israfının en aza indirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Beretta ve Hellweg, 2019). Teknoloji araçları, gıda israfını değerlendirme araçlarını sunmakta ve israfı en aza indirerek telafi araçlarının geliştirilmesini sağlamaktadır (Martin-Rios vd., 2018). Teknoloji araçları ve işlevleri tablo 1’de açıklanmıştır.

Tablo 1. Akıllı Teknoloji Unsurları

Akıllı Teknoloji Unsurları	İşlevi
Sensörler	Akıllı şehirlerde uygulanması gereken teknolojilerden en bilineni sensörlerdir. Sensörler sistemlerin duyu organlarıdır. Zira bu araçlar, bilhassa bilgisayar destekli modeller ile birlikte kullanıldığında fiziksel hadiseleri ve insan davranışlarının anlaşılmasını sağlayan verileri temin etmektedir. Sensör teknolojisinin kablosuz bağlantılar yoluyla ağ teknolojisine entegre edilmesi ise gerçek ve sanal dünya arasındaki boşluğu dolduracak teknolojiyi sağlamaktadır. Bu boşluğu doldurmada insan eyleminin algılanması köprü olarak kabul edilmektedir.
RFID	Radyo dalgaları vasıtasıyla ürünün tüm özelliklerinin okunabildiği ve canlı/cansız herhangi bir şeyin izlenebildiği sistemdir. Oldukça ince etiketler şeklinde kullanılmaktadırlar. Çip, anten ve kaplamadan oluşmaktadırlar. Boyutu bir santim kadar küçük olabilen bu teknoloji aracılığıyla, çevredeki diğer etiketler ayırt edilebildiği gibi sıcaklık ölçümü dahi yapılabilir. Buna karşılık ürünlere yapıştırılan barkodlar kadar ince olabilmektedirler. Hem RFID hem de sensörler uzaktan veri toplama araçlarıdır. Ancak iki araç nitelik olarak birbirlerinden farklıdır. RFID teknolojisi nesne üzerinde radyo sinyalleri göndermekte ve başka bir RFID alıcısı bu sinyalleri veriye dönüştürmektedir. Sensörler ise çevresindeki koşulları ve nesneleri tanımlayıp bu bilgiyi işlemekte ve diğer cihazlarla iletişime geçmektedir. Bu nedenle RFID teknolojisinin sensörlere göre pasif oldukları söylenebilir.
Büyük Veri	Büyük veri, bulut sistemlerinde depolanan verilere verilen addır. Bu sistemlerin içerisinde, tüketici davranışlarından, müesseselerin işlem hacimlerine, olaylar üzerindeki insan etkilerinden görüntüleme teknolojilerinden gelen verilere kadar tüm bilgiler kaydedilir. Bu şekilde, söz konusu verinin işlenmesi yoluyla karar alma mekanizmasının niteliği iyileştirilir.
Nesnelerin İnterneti (Nİ)	Günümüzün yaygın olarak kullanılan internet hizmetleri bulut tabanlı serverları web tarayıcıları vesilesiyle bilgisayarlara bağlamak suretiyle faaliyet göstermektedir. Bu şekilde istenilen bilgiye internete bağlı cihazlar yoluyla ulaşılabilir. Nİ ise bu sistemin ileri bir versiyonudur. Nesnelerin interneti, internet, RFID veya diğer teknolojiler

	yoluyla okuyabilen, tanımlayabilen, yerleştirilebilen, konum verilebilen ve kontrol edilebilen, günlük hayata dair tüm nesneler şeklinde tanımlanmıştır. Nesnelerin interneti (Nİ), çevredeki nesnelerin internete bağlanmalarını sağlayıp, birbirleri ile etkileşime geçmelerini ve bu yolla çevrenin iç ve dış unsurlarını algılayarak hedeflere ulaşmada tüm nesnelerin entegre edilmesini sağlamaktır. Nesnelerin interneti yoluyla entegrasyonun sağlanması, katılımcı ağ sistemleri ile mümkün hale gelmektedir. Katılımcı ağ sistemleri, nesneler (sensörler, aktüatörler, mikro işlemci çipler)’den elde edilen gerçek dünyaya ait verilerin organize bir şekilde bulut teknolojisinde toplanması ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu şekilde, insanın ruhsuz nesneler ile iletişime geçmesi sağlanmaktadır.
IBeacon	IBeacon, herhangi bir bölgede deniz feneri işlevi gören bir verici niteliğindedir. IBeacon teknolojisi yoluyla, bluetooth teknolojisine sahip olan herhangi bir cihaza ileti gönderilebilir. Bu şekilde, söz gelimi bir destinasyonu ziyaret eden kitleye bölgedeki çekicilikler, ziyaretçilerin kendi akıllı telefonları üzerinden tanıtılabilir. Sistem, destinasyonun geneli için tek bir merkez şeklinde turistleri bilgilendirme amacıyla kurulabileceği gibi her bir turistik işletme için ayrı ayrı da kurulabilir. Destinasyonlarda IBeacon uygulaması noktasında, İspanya’nın Ribera del Duero bölgesinde yer alan akıllı şarap rotası örnek olarak gösterilebilir. Şarap rotasında kullanılan birçok IBeacon vericisi ile kullanıcıların akıllı cihazlarına bölge ile ilgili bilgi verilmekte ve coğrafyaya dayalı deneyimin niteliği arttırılmaktadır.
Arttırılmış Gerçeklik	Arttırılmış gerçeklik yoluyla, bölgelerin tarihteki görünüşleri, çekim unsurlarının gerçeğe yakın yansımaları ulaştırılmak suretiyle 3D teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji turistik aktivitelere de kazandırılmıştır. Turizm sisteminde arttırılmış gerçeklik uygulamalarının öğrenme deneyimini iyileştirme amacıyla kullanıldığı görülmektedir.
Yapay Zeka	Makine öğrenme sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Sistem kapsamında cihazlara belirli algoritmalar tanımlanmakta ve bu algoritmalar aracılığıyla veri, talimat ve deneyimler üzerinden cihazların öğrenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle büyük veri teknolojisi yapay zeka uygulamalarında gerekli görülmektedir. Böylece, büyük veriden elde edilen bilgiler yapay zeka algoritması ile birleştirilerek, ziyaretçilerin dijital ayak izleri veya benzer nitelikteki ziyaretçilerin dijital ayak izleri göz önünde bulundurularak öneri sistemleri ve sanal asistanlar kullanılmaktadır.
Akıllı Telefonlar	Destinasyonda işlev gören tüm bu teknolojilerin nihayetinde akıllı telefonlarla entegre edilmesi kritik önem taşımaktadır. Zira, bahsi geçen tüm bu teknolojiler, ancak akıllı telefon kullanan ziyaretçilerin olması durumunda destinasyon ve turist arasındaki etkileşimi olanaklı kılmaktadır.
Yazılım	Sabit teknolojilerin yanı sıra, tüketicilerin mobil kullanım araçlarını entegre eden, donanım ve yazılımı entegre eden yazılımlar da bulunmaktadır. Bunlardan biri de algısal hesaplama yazılımı’dır. Bu tür yazılımlar ile bütün akıllı telefonlara ait tüm unsurlar birbirlerine entegre edilmek suretiyle, şehirlerdeki tahrip edilmiş yollar anlaşılabilir, şehirlerdeki mahallerin algılanan asayiş düzeyi tespit edilebilir. Yazılım konusunda değinilmesi gereken birinci unsurun API teknolojisi olduğu söylenebilir. Açık API (Uygulama Programlama Arayüzü), bir uygulamanın diğeri ile ne şekilde etkileşime geçeceğini belirleyen bir arayüzdür. Başka bir deyişle, API arayüzü, iki sistem arasındaki iletişimi kuran ulaktır. Günümüzde verinin bir yerden diğerine ulaşması ve bu şekilde dünyanın diğer bir

	bölgesinden alışveriş, rezervasyon yapılabilmesi API teknolojisi ile gerçekleştirilmektedir.
--	--

Kaynak: Özekici (2020)

Söz konusu teknolojilerin israf yönetim uygulamaları kapsamında ne şekilde hayata geçirildiği, aşağıda ifade edilmiştir.

2.3.1. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things (IoT))

Nesnelerin internet aracılığıyla gıdaların üzerine yerleştirilmiş etiketler, gıdanın sıcaklık ve nem seviyesi hakkında anlık veri aktarımını sağlayabilmektedir. Gerekli görülen değerlerin altına düşüldüğünde verilen geribildirimler, etkin atık yönetiminin yerine getirilmesini sağlamaktadır (Singh vd., 2024). Restoranlar bu teknolojinin kullanımı, her bir bidon üzerine yerleştirilen tag'ler aracılığıyla yerine getirilmektedir. Tag'ler bidonlar ve işletme ilgili bütün verileri kaydetmektedir. Bu bilgiler bir RFID okuyucu ile edinilmektedir. Nesnelerin interneti aracılığıyla edinilen bilgiler (bidon içerisindeki atık miktarı, bidonun konumu, numarası vb.) RFID teknolojisi aracılığıyla yönetim merkezine bildirilmektedir (Wen vd., 2018).

2.3.2. Büyük Veri ve Arttırılmış Gerçek

Büyük veri aracılığıyla, farklı noktalardan elde edilen bütün sistemlerin bir araya getirilmesi suretiyle elde edilen bütüncül veri, makro düzeyli hesaplamaların yapılmasını sağlamaktadır. Sensör ve RFID teknolojisi ağları aracılığıyla kurulan nesnelerin interneti teknoloji temelli ağlardan elde edilen veriler, yapay zeka teknolojisi aracılığıyla bilgiye dönüştürülmektedir. Bu noktada yapay zeka, kitle düzeyindeki veri üzerinde gerçekleştirdiği hesaplamalar yoluyla sistem genelinde ortaya çıkan atığın düzeyi, türleri, dağılımı ve niteliğini göz önünde bulundurarak olası etkilerine yönelik tahminlemeler gerçekleştirmektedir. Böylece, atık yönetim sistemi aracılığıyla atıkların çevreye yönelik zararın boyutu hesaplanabilmektedir (Pan vd., 2018; Fang vd., 2023). Arttırılmış gerçek teknolojinin gıda israf yönetimi kapsamındaki temel fonksiyonunun sürdürülebilirlik bilinci kazandırma üzerine olduğu düşünülmektedir. Nitekim, Shaayestesh vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen araştırma kapsamında, sürdürülebilirlik bilincinin arttırılmasında söz konusu teknolojinin ziyaretçilere tanıtılmasının önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir.

2.3.3. Yapay Zeka (YZ)

Yapay zeka, insan zihninin öğrenme ve problem çözme odaklı kısımlarını kopya eden makine veya bilgisayar şeklinde tanımlanmaktadır (Ullah vd., 2020; Andeobu vd., 2022). Yapay zeka, bu çağın en keskin teknolojik dönüşüm sağlayan araçları arasında yer almaktadır (Walsh vd., 2019; Andeobu vd., 2022) ve atık yönetim sistemleri bu teknolojinin tesir ettiği alanlar içerisinde (Andeobu vd., 2022)

Yapay zekanın derin öğrenme teknolojisi ile entegrasyonu neticesinde, YZ'nin insanlarla etkileşiminden öğrendikleri ile insan gibi karar alabilecek kabiliyeti kazandıkları literatürde ifade edilmektedir (Wilts vd., 2021; Andeobu vd., 2022). Bunun da ötesinde, yapay zeka teknolojileri çevreyi gözlemlene ve öğrenme kabiliyetine de haizdir. Ayrıca, geçmiş kararlarından ders çıkarma ve yeni kararlarda bu tecrübeleri göz önünde bulundurma gibi özellikler de yapay zeka araçlarının nitelikleri arasında yer almaktadır (Yiğitcanlar ve Cugurolo, 2020; Andeobu vd., 2022). Bu kapsamda yapay zekanın temelde dört bileşene sahip olduğu düşünülmektedir (Wilts vd., 2021; Andeobu vd., 2022);

1. Expert Sistemi: Durum tespiti yapıp, beklenen sonuçlar ile ilgili incelemeler gerçekleştirmektedir.
2. Sezgisel Problem Çözme: Optimuma yakın ölçüde çözümleri keşfetmek amacıyla konuya has küçük çözüm gruplarını değerlendirmektedir.
3. Ana Dil İşleme: İnsanın ana dilinde etkileşimi yapay zeka ile sağlamaktadır.
4. Bilgisayar Vizyonu: Herhangi bir objeye has şekil ve vizyonu tanımlama kabiliyetini oluşturmaktadır.

Yapay zeka türleri temelde dört grup altında toplanmaktadır (Andeobu vd., 2022: 5);

1. Sınırlı Yapay Zeka: Sınırlı kabiliyet gerektiren işler için kullanılmaktadır. İlk dönem bilgisayar programcılığının yanı sıra Apple Siri gibi dijital asistanlığı kapsamaktadır. Toplum tarafından en çok bilinen yapay zeka türü sınırlı yapay zeka araçlarıdır.
2. Gelişen Yapay Zeka: Evrilen uygulamalara sahip olan yapay zeka araçlarıdır. Sürücüsüz araçlar, akıllı şehirler, drone'lar bu kategori içerisine girmektedir. Bu tür yapay zeka araçları gördüğü objeler üzerinden gerçekleştirdiği hesaplamalar ile karar alarak eyleme geçebilmektedir.
3. Genel Yapay Zeka: Yetişkin bir bireye eşdeğer bir zeka tasarımına sahip olan yapay zeka araçlarıdır. Bu araçlar kendi kendisine öğrenerek tecrübe sahibi olmadan karar alabilmektedir. Bu teknoloji türü henüz teori aşamasında olup bir tasarıma dönüştürülmemiştir.
4. İnsan Üstü Yapay Zeka: Genel yapay zekanın bir seviye üstü olarak kabul edilmektedir. Bu yapay zeka türü kendisini sürekli olarak geliştirmekte ve öğrenme sürecini aktif tutmaktadır.

2.3.4. Atık Yönetimi ve Yapay Zeka

Atık yönetiminin etkinliğini belirleyen temel prensip, atığın ayırt edilmesi, sınıflandırılması ve dönüşüme yollanması faktörlerinden oluşmaktadır (Wath vd., 2010; Andeobu vd., 2022). Atık yönetimi temelde açık alanda çöplerin yakılması, sıkıştırılması ve geri dönüşüme tabi tutulması şeklinde üç süreçten oluşmaktadır. Bu üç süreç için kullanılan insan gücü, çalışan sağlığı için önemli sorunları beraberinde getirmektedir (Gupta vd., 2019; Andeobu vd., 2022). Bu zararları bertaraf etme adına yapay zeka temelli gerçekleştirilen atık yönetim uygulamaları, atık yönetim sürecindeki atığın toplama, sınıflama ve geri dönüştürme sürecinde devrimsel bir değişimi beraberinde getirmiştir (Abbasi ve Hanandeh, 2016; Andeobu vd., 2022).

Yapay zeka algoritması ve yapay zeka algoritmaları tarafından yürütülen otomatlar söz konusu eylem ve işlemleri yapmak üzere tasarlanmış araçlardır. İki kavram arasındaki etkileşim, yapay zeka araçlarının atık yönetimi üzerindeki rolünün esasını oluşturmaktadır. Yapay zekanın atık yönetimi kapsamında ortaya koyduğu yenilik algoritmalarıdır. Bu algoritmalar sayesinde mevcut dijital teknolojilerin hemen tamamını organize etmek suretiyle etkin atık yönetimini gerçekleştirmektedir (Shaayesteh vd., 2025).

Atık yönetimi ile ilgili çok çeşitli teknoloji türleri bulunmaktadır. Buna karşılık, atık yönetimi kapsamında yaygın nitelikte kullanılan yapay zeka teknolojileri temel anlamda beş türden oluşmaktadır (Abbasi ve Hanandeh, 2016; Abdallah vd., 2020; Andeobu vd., 2022; Oliveira vd., 2019);

1. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network): Sinir ağları tipik olarak üç katmandan oluşur (giriş katmanı, gizli katmanlar ve bir çıkış katmanı) ve her biri bir sonraki katmandaki düğüme yönlendirilmiş düğümlerle bağlı bir dizi düğüm ağırlıklı kenarlardır. Katık yönetim süreçlerinin modellenmesi çoklu değişkenler içerir. Bu değişkenler YSA, atık tahminlemesi, sınıflaması, atık bidonlarının doluluk oranları, bigos oluşumu, ısı değerleri, atığın birlikte erime sıcaklığı, enerji geri kazanımının yanı sıra optimum atık toplama güzergahları süreçlerine uygulanmaktadır.
2. Karar Ağaçları (Decision Trees): Karar ağaçları, bir veri kümesinden bir dizi kurallar çıkarmada yetkin olan nitelikli bir sınıflama sistemidir. Sistem israf sınıflama ve yasadışı israf dökülen alan tespiti gibi süreçler için kullanılmakta olup verilerin hızlı bir şekilde yorumlanmasını sağlamaktadır.
3. Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine): Destek vektör makinesi, israf sınıflama problemini çözme kabiliyetine sahip bir cihazdır. Makine, makine öğrenme teknolojisi tabanında çalışmakta ve bu şekilde israf sınıflaması sürecinde ortaya çıkabilecek hataları en aza indirmektedir.
4. Genetik Algoritma (Genetic Algorithm): Genetik algoritma, doğal evrimi taklit eden sezgisel bir sınıflama türüdür. Problemlerin çözümünde genetik ve doğal seleksiyonun işleyişini esas almaktadır. Sistem bir arama motoru görevi de üstlenmekte ve var olan problemlerin çözümünde tarihi verileri ve çözüm için en uygun olan bölgeyi esas almaktadır.
5. Linear Regresyon (Linear Regression): Linear regresyon tekniği, hesaplama sürecinde bağımsız değişkenlerin rolünü esas almaktadır. Bu değişkenler birden fazla olabilmektedir. Düşük maliyetli ve yorumlanması kolay verilere ulaşılması sistemin temel avantajını oluşturmaktadır.

Bu teknolojiler içerisinde yapay sinir ağları atık sınıflandırmasında etkin bir şekilde uygulanmıştır.

2.4. Yapay Zeka Temelli Bütünleşik İsrar Engelleme Araçları

Yapay zeka temelli sistemler, temelde akıllı çöp bidonları, ayırt etme kabiliyetine sahip sınıflama robotları, tahmin modelleri ve kablosuz tespit sistemleri olarak bilinmektedir. Bu sistemler aracılığıyla, atık haznelerinin izlenmesi, atık miktarının tahminlenmesi ve atık sürecinin optimize edilmesi sağlanmaktadır (Fang et al., 2023).

2.4.1. Akıllı Çöp Bidonları (Smart Bin Systems)

Klasik çöp bidonlarında atık düzeyi ve bidonun temizlik seviyesi bir görevli tarafından düzenli olarak kontrol edilmelidir. Ancak bu bidonların ancak yüzde biri düzenli bir kontrole tabiidir (Abdallah vd., 2020; Andeobu vd., 2022). Akıllı çöp bidonlarında ise atık miktarı ve hijyen düzeyinin bir sistem aracılığıyla izlenilmesi mümkündür (Andeobu et al., 2022). Bu sistem ayrıca, atıkların sınıflandırılmasına da olanak tanımaktadır. Tüm bu özellikler, atıklar içerisine yerleştirilen çipler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çipler, bidonun doluluk seviyesini ve yerleştirilen objelerin türünü tespit edebilecek kabiliyete sahiptir. Böylece, bidondaki atığın düzeyi, türü ve mevcut durumuna yönelik bilgiler, nesnelerin interneti teknolojisi aracılığıyla (Ramson vd., 2021; Andeobu vd., 2022) doğrudan bilgisayarlı atık yönetim sistemine bağlı bir web sayfası üzerinden izlenilmektedir (Praveen vd., 2020; Fang vd., 2023). Bu yolla, bidondaki atık seviyesi ve atığın türü düzenli olarak izlenebilmekte ve bidonun değiştirilme vakti ile birlikte bidon değiştirme sürecinde gerekli olan cihazların öğrenimi mümkün hale gelmektedir. Böylece, geri dönüştürme sürecinde maruz kalınan kayıplar en aza indirilebilmektedir (Gallardo vd., 2018; Andeobu vd., 2022).

Kitro, akıllı çöp bidonlarına verilebilecek önemli bir örnektir. yapay zeka temelli uygulamalardan biridir. Bu teknolojik cihaz aracılığıyla israf edilen gıdanın miktarı, türü ve sıklığı ile ilgili bilgi elde edilmekte ve bu şekilde çözüm önerileri geliştirilmektedir. Sistem nesnelerin interneti teknolojilerinden yararlanmakta ve buna uygun bir donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Donanım, atıkların boşaltılacağı hazne üzerinde bulunan bir kameradan oluşmaktadır. Hazneye atık yerleştirilirken atığın resmi kamera tarafından çekilmektedir. Sonrasında, hazneye atılan unsur yazılım ile analiz edilerek atığın türü anlaşılmakta ve veri olarak kaydedilmektedir. Atık türünün yazılım tarafından öğrenilmesi, makine öğrenme sisteminden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, hazne içerisinde bir sensor ve tartı bulunmaktadır. Bu iki cihaz aracılığıyla atığın miktarı ve cinsi ile ilgili ilave bilgi edinilmektedir. Tüm bu teknoloji araçları ile tespit edilen atığa yönelik bilgiler, cihaza bağlanan bilgisayara aktarılarak bir veri havuzu oluşturulmaktadır. Bu cihaz aracılığıyla elde edilen veri sayesinde kurumlarda israf miktarı anlaşılmaktadır. Böylece israfa yönelik bilincin artması sağlanmaktadır. Ayrıca, israfın kaynağı öğrenilmekte ve bu şekilde israfa yol açan iş sürecinin ilgili aşamasında israfın ortaya çıkmasının önüne geçilmektedir (Martin-Rios vd., 2020).

Bu sistemin en büyük sorunu, bidonların içerisine yerleştirilen atık çeşitliliğinin artması durumunda sistemin yeterli etkinlikte olamamasıdır (Abdallah vd., 2020; Andeobu vd., 2022).

2.4.2. Atık Toplama Süreci ve Organizasyonu

Atık toplama sürecinin organize edilmesi atık yönetim sisteminin yüzde 70'in üzerindeki kısmını oluşturmaktadır (Singh ve Satija, 2018; Andeobu vd., 2022). Bu sürecin yapay zeka tarafından organize edilmesi, atık toplama sıklığı ve atık toplama rotasının planlamasından oluşmaktadır (Abdallah vd., 2020; Andeobu vd., 2022). Yapay zekanın tur optimizasyonunu sağlamak üzere, en kısa rotadan götürmek amacıyla, akıllı yönetim sistemi ile rotalandırılmış şekilde bir organizasyonu oluşturması (Abduljabbar vd., 2019), yapay zeka temelli israf yönetim sisteminin temel avantajı şeklinde ön plana çıkmaktadır. Rota optimizasyonu sayesinde daha az araç daha az işgörenle kullanılarak daha az yakıt kullanılmakta ve zaman israfından kaynaklanan maliyetler de en aza indirilmektedir.

2.4.3. Atık Sınıflama Robotları (Waste-Sorting Robots)

İsrafın önlenmesi kadar, tüketim dışında kalan israf miktarının türlerine göre ayırt edilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda robot teknolojisini kullanmak, insan gücünden kaynaklanan hata payını en aza indirmekle beraber, atık yönetim maliyetini de aşağı çekmektedir. Robot teknolojisi, tonlarca atığı türlerine göre seri bir biçimde ayırt etme ve çok yönlü işlemleri tek bir araçla yerine getirme gibi işlevlere sahiptir (Wirtz vd., 2019; Andeobu vd., 2022). Robot teknolojilerinden bu amaçla yararlanmak için, gelişmiş sensör ve kamera teknolojilerinin yanı sıra, israf edilen cisimlerin türlerini ayırt etmede yazılım görevini üstlenecek nitelikli yapay zeka algoritmalarına da ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda, atık sınıfındaki objeler algoritma temelli kameralar ile taranmaktadır. Taranan görüntü derin öğrenme algoritmaları ile analiz edilmekte ve önceden öğretilen ve deneyimle öğrenimini geliştiren yazılım aracılığıyla insan benzeri atık tür tanımlama bilinci uygulamaya konulmaktadır (McKinnon vd., 2017'den aktaran Andeobu vd., 2022). Benzer şekilde, derin öğrenme (deep learning) teknolojisi aracılığıyla robotlar objelerin özelliklerine göre ayırt etme kabiliyetlerini geliştirmektedir (Fang et al., 2023; Z. Wang et al., 2020). Robotların bu kabiliyetlerini iyileştirme adına optik sensörler de kullanılmaktadır. Bu şekilde, farklı türdeki atıkların tanımlanma ve sınıflanması kolaylaştırılmaktadır (Mao vd., 2022; Fang vd., 2023). Bu şekilde tanımlanan optimize

edilen robotlar, atık yığını içerisindeki benzer türe sahip nesneleri çekip çıkararak farklı bir hazneye yerleştirmek suretiyle ayırt etmektedir (Andeobu vd., 2022).

Atık sınıflama robotları bilhassa israf miktarının kitleler halinde ve yoğun ölçüde olduğu durumlarda, insan gücü ile sınıflama sürecinden kaynaklanan sorunların aşılmasında hızlandırıcı rol oynamaktadır (Yang vd., 2023; Fang vd., 2023). Nitekim, araştırma sonuçları, insan gücü tarafından dakikada ancak 30-40 arasında atığın ayırt edilebildiğini, yapay zeka temelli atık ayıklama makineleri ile ise bu miktarın 160'a çıktığını ve makinelerin paydos etmediğini ortaya koymuşlardır (McKinnon vd., 2017; Andeobu vd., 2022).

2.4.4. Sensör Temelli İsrar Yönetimi (Sensor-Based Waste Monitoring)

Sensörler, insan vücudundaki duyu organlarının görevini görmeleri (Lynggaard-Jensen vd., 1996) nedeniyle, sensörlerin gıda israfını engellemedeki temel görevi, oluşan israf düzeyinin takip edilmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, sensörler aracılığıyla israf türü ve ağırlığı tanımlanmaktadır. Sensörler arası iletişim kablosuz ağlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu da, sistemin fiziksel ve çevresel özelliklerinin anlaşılmasını sağlamaktadır (Gurram vd., 2022; Fang vd., 2023). Özellikle, israf yönetim noktasındaki nem, sıcaklık, basınç, koku ve ses gibi duyu temelli tespitlerin yapılabilmesi, israf yönetim sürecinde hassas kararların verilebilmesini sağlamaktadır. Bu, kablosuz bağlantı sistemleri ile sensörlerin birbirlerine bağlanması ve bütün sensörlerden alınan verinin izleme merkezine aktarılması aracılığıyla sağlanmaktadır (Ramson vd., 2021'den aktaran Fang et al., 2023). Böylece israf atığında kullanılan araçlar (bidon, konteyner vb.) içerisindeki sıcaklık, nem, doluluk oranı, koku düzeyi gibi duyu temelli özellikler anlık olarak takip edilebilmektedir. Bu teknoloji sayesinde geri dönüşüme gönderilme potansiyeli olan gıdaların mümkün olan en iyi kalitede dönüşüme sağlanması mümkün hale gelmektedir. Zira, sensörler aracılığıyla gıdayı bozma olasılığı en yüksek olan platformlar tespit edilebilmektedir. Böylece en az gıda israfının sağlanması mümkün hale gelmektedir.

2.4.5. 3D Yazıcı Teknolojisi

3D baskı, bir nesneyi oluşturmak için ardışık malzeme katmanlarının üst üste biriktirildiği bir teknolojidir (Shulman vd., 2012). Bu teknoloji aracılığıyla, diğer türlü israf edilecek gıdalar değerli materyallere dönüştürülebilmektedir. Söz gelimi, üzüm posası kıymetli bir yemek girdisine dönüştürülebilmektedir. Bu süreçte atık gıdalar belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede pişirilmek suretiyle rafine edilmektedir. Elde edilen madde protein ve fiber maddelerle zenginleştirilmektedir (Jagadiswaran vd., 2021; Kanwal vd., 2024). Bu bağlamda nişasta oranı yüksek sebzeler 3D yazıcılar aracılığıyla kolaylıkla başka gıdalara dönüştürülebilmekte, ıspanak ve lahanalar gibi gıdalar ise gıda boyasına dönüştürülebilmektedir (Pant vd., 2023; Kanwal vd., 2024).

2.4.6. Makine Öğrenmesi (Machine Learning)

Makine öğrenmesi, bilgisayarların insan öğrenme aktivitelerini simüle etmek için nasıl kullanılacağını inceleyen ve bilgisayarların yeni bilgi ve yeni beceriler elde etmek, mevcut bilgiyi belirlemek, performansı ve başarıyı sürekli iyileştirmek için kendi kendini geliştirme yöntemlerini geliştiren bir metottur (Wang vd., 2009). Bu teknoloji aracılığıyla yiyecek-içecek işletmelerinde talep tahminlemesi gerçekleştirilebilmektedir. Böylece, yanlış talep tahminlemesinden doğan aşırı gıda üretimi en aza indirilmektedir. Makine öğrenim teknolojisinin etkin çıktı vermesi üç tür veri tarafından belirlenmektedir. Bunlar, rastgele orman, uzun vadeli hafıza ve sinir ağları temelli verilerdir. Literatürde, bu

teknolojiyi kullanarak talep tahminlemesinin yüzde 50'lere varan oranda doğru tanımlandığı tespit edilmiştir (Rodrigues vd., 2024; Kanwal vd., 2024).

2.5. Restoranlarda Yapay Zeka Temelli Atık Yönetim Sisteminin Uygulanması

Yapay zekanın gıda israfını engellemedeki temel fonksiyonu tahminleme şeklinde gerçekleşmektedir. Geçmiş veriler esas alınmak suretiyle hesaplanan gelecek talep tahminlemesi, kaynak tercihinin optimizasyonunu sağlamaktadır (Gupta vd., 2022; Singh vd., 2024). Yapay zekanın israf yönetiminin ileriki aşamalarındaki katkısı, gelişmiş atık sınıflama ve atık türlerinin tahminleme teknolojisini hayata geçirme şeklinde gerçekleşmektedir. Klasik yöntemlerin işletildiği işletmelerde, düzensiz rotalar ile belirlenmiş atık haznelerinin dolum sıklığına uygun olmayan bir biçimde tasarlanmış programlar temelinde atık yönetim programları gerçekleştirilmekteydi. Sensörler, çipler ve nesnelerin interneti ile teçhiz edilmiş işletmelerde ise yapay zeka algoritmasının yönlendirdiği robotik araçlar vesilesiyle tüm bu atık süreci otomatik olarak gerçekleştirilmektedir (Olawade vd., 2024).

Yapay zekanın en önemli işlevi, işletmelerdeki kameralara entegre edilmesi ile olacaktır. Böylece, makine öğrenme süreci yapay zeka'ya tanımlanan gıdalar içerisinde hangi parçanın tüketilmediği, bir kısmının tüketildiği veya tamamının tüketildiği gerçek zamanlı olarak takip edilebilir. Yapay zekanın sisteme kaydettiği bu veriler sayesinde, hangi ürünün tabakta bırakıldığı takip edilerek, diğer günlerin planlaması daha etkin yapılabilir. Özellikle açık büfe çalışan işletmeler için kaynak planlaması bu yolla güçlendirilebilecektir (Gómez-Talal vd., 2024). İsfraf kapsamına alınmak zorunda olan gıdalar için ise çöp bidonlarına yerleştirilen sensör ve kamera teknolojileri ile etkin atık yönetiminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Çöp bidonlarına atılan gıdanın türü kameralar vesilesiyle veri olarak tanımlanmakta, bu veriler nesnelerin interneti teknolojisiyle yapay zeka algoritmasına aktarılmakta ve böylece yapay zeka tarafından hangi gıdanın hangi bidonda hangi sıklıkla biriktiği verisi temelinde gerçekleştirilen hesaplamalar neticesinde bir atık toplama rotası oluşturulmaktadır (Gull vd., 2021).

Yapay zeka aracılığıyla çıplak gözle ayırt edilmesi güç olan atıkların türlerine ayrılma süreci hızlandırılarak, bu süreçte gerekli insan gücü en aza indirgenmektedir (Martin-Rios vd., 2020). Yapay zeka, ayrıca geri dönüşüm sürecinin iyileştirilmesi adına atık türlerinin ayırt edilmesinde sürecin iyileştirilmesine yönelik geliştirme önerilerinde bulunmaktadır (Pouyanfar vd., 2022; Fang vd., 2023). Resim tanımlama teknolojisi makine öğrenme teknolojisi ile entegre edilmektedir. Bu şekilde, görselde yer alan atığın organik-inorganik olma durumu net biçimde ayırt edilebilmektedir (Dong vd., 2022; Olawade et al. 2024). Ayırt edilme kabiliyeti geliştirilmiş yapay zeka temelli sistemin robot teknolojisi ile donanım yönünün güçlendirilmesi neticesinde, israf ayırt etme sürecinin fiziki niteliği iyileşmekte ve israf temelli gıdanın sıcaklık ve nem gibi değerleri sensörler vasıtasıyla bilgiye dönüştürülmektedir. Veriler yapay zeka algoritması tarafından işlenmekte ve bu şekilde optimum geri dönüşüm yöntemi belirlenmektedir. Bu şekilde insan temelli israf yönetim sistemi hataları en aza indirilmektedir (Onoda, 2020; Kumar vd., 2021; Olawade et al. 2024).

İleri teknoloji araçlarının geliştirildiği modeller aracılığıyla şehirlerde gıda atık yönetim sistemleri hali hazırda uygulanmaktadır. Bu bağlamda, New York'da geliştirilen yapay zeka temelli sistem aracılığıyla, şehirdeki mahalleler arasında oluşan israf düzeyindeki farklılaşma tespit edilebilmektedir. Kültürel ve sosyo-ekonomik düzeydeki farklılığın israf türleri ve düzeylerinde de farklılık oluşturduğu ilgili model aracılığıyla elde

edilmiştir (Johnson vd., 2017; Fang vd., 2023). Bu tür bir model aracılığıyla hangi servis döneminde veya hangi tür müşteri tarafından ne kadar israf yoğunluğunun gerçekleştirildiği tespit edilebilecektir.

Netice olarak yapay zeka yoluyla israf edilen gıdanın türü, anlık olarak tespit edilen kameralar üzerinden aktarılan farklı kaynakların tek bir merkezde toplanması ve bu bilgiler yoluyla, israf edilen gıdaların ortak özellikleri, en çok israf edilen gıda türü, hangi bölgelerde hangi tür gıdanın daha çok israf edildiği, hangi saat ve mevsimde hangi tür gıdanın israf edildiği gerçek zamanlı olarak işlenebilir.

Restoranlarda kurulabilecek bir israf yönetim sisteminin merkezinde sensör teknolojisi yer almalıdır. Bu sensörler ise nesnelerin interneti aracılığıyla işlevsel hale getirilmelidir. Nesnelerin interneti temelli sensörlerin yapay zekaya entegre edilmesi durumunda, restoran yönetiminde israf yönetimini sağlamada, ziyaretçilerin ve personelin yoğun olarak kullandıkları bölgeler tespit edilebildiği gibi gıda israfının en çok hangi alanda gerçekleştirildiği, bu kapsamda hangi bölgeye atık yığımının daha fazla gerçekleştirildiği ile birlikte atıklar içerisinde en yüksek düzeye sahip olan madde tespit edilebilmektedir (Shaayesteh vd., 2025). Bununla birlikte, yapay zeka algoritması bu bilgileri esas alarak optimum emek sarfiyatı ile atık haznelerinin yenilenmesini sağlayıcı bir rota oluşturabilmektedir. Zira tüm bu bilgiler işletmenin internet ile bağlı olan bilgisayarına aktarılmaktadır. Bu bilgiler, yapay zeka algoritması tarafından işlenmekte ve bu şekilde gelecek günler için talep tahminlemesi yapılarak hazırlanması gereken malzeme planlaması yapılabilmektedir. Tüm bu gelişmelere rağmen restoranların yapısı gereği atığın oluşması kaçınılmaz olabilmektedir. O sebeple, atık geri dönüşüm sürecinin en az maliyetle gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek atık sınıflama robotları, her bir atığın türüne göre aynı haznede biriktirilmesi ve geri dönüştürülme olanağı olmayan atıkların farklı şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla ayrı bir haznede tutulması sağlanabilmektedir.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, yapay zeka teknolojisi ile birlikte yapay zeka teknolojisinin uygulanmasında yardımcı rol oynayabilecek teknoloji araçlarının işlevini gıda israf yönetimi kapsamında irdelemektir. Daha özelde ise restoranlarda gıda israf yönetim etkinliğinin iyileştirilmesinde yapay zeka temelli teknolojilerin rolü irdelenmiştir. Yapay zeka, zaman ve maliyetten tasarruf sağlama, çoklu görevleri eş zamanlı olarak yürütebilme ve bu süreçte kaynak tasarrufunu sağlamak gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Buna rağmen, sisteme has eleştiriler de sahada tecrübe edilme aşamasında ortaya çıkmaktadır. Böyle bir sistemi kurmanın temel sınırlılığı, o sistemin maliyetidir. Zira literatürde ilgili teknolojinin yayılımı önünde rol oynayan temel unsur olan maliyet (Fang vd., 2023)'ün gelecekte küçük turizm işletmeleri için rekabette güç kaybına yol açıcı bir unsur olarak rol oynayacağı söylenebilir. Restoranlar, otel işletmelerine kıyasla kurulum maliyeti az olan müesseseler olmaları nedeniyle, yüksek maliyet gerektiren israf engelleme teknolojilerinin bir ön koşul olarak işletmelere şart koşulması, kısa ve orta vadede aile işletmeleri ve KOBİ'lerin gelişmelerini olumsuz yönde etkileyecektir.

Sistemin restoranlar özelindeki temel sınırlılıklarından biri ise geçmiş tüketici verilerinin sisteme kaydedilme sorunun bulunmasıdır. Restoranlar genellikle farklı çeşitlilikte ve belirli bir rutinin dışında gelen tüketicileri esas almaktadır. Düzensiz veri girişi anlamına gelen bu misafir rutini, yapay zeka araçlarının geçmiş veri temelinde ortaya koyacağı hesaplamaların önüne geçecektir. O sebeple, gıda israfının ortaya çıkmasını engellemek

adına, yapay zeka araçları aracılığıyla tekrarlı gelen ziyaretçilerin tüketim alışkanlıklarının kaydedilerek tüketim alışkanlıklarına uygun servis tabaklarının tasarlanması tüketiciden kaynaklanan israf düzeyinin en aza indirilmesini sağlayacaktır. Bu durum bilhassa herşey dahil otel işletmeleri için geçerli olacaktır (Akyürek, Kızılcık ve Kutukız, 2019). Ayrıca makine öğrenme teknolojisinin kullanılması aracılığıyla gerçekleştirilen talep tahminlemesi (Kanwal vd., 2023) ağırlama hizmetleri için kullanılmalı ve bu yolla aşırı üretim sorunun bertaraf edilmesi sağlanmalıdır. Yine, gıda israfını tetikleyici unsurların ülke çapında irdelenmesi ve bu unsurları engelleyici faktörler ekseninde düzenlenecek bir gıda israf yönetmeliğinin tasarlanması, ülkedeki turizm sektörünün sürdürülebilirliğe olan katkısını ortaya koyma açısından yararlı çıktılara vesile olacaktır.

Yapay zeka teknolojisinin gıda israf yönetimi açısından bir diğer sınırlılığı yapay zekaya yardımcı araçlar ile yapay zeka algoritması arasındaki organizasyon temelini oluşturulmamasıdır. O nedenle, sensör teknolojisi ile yapay zeka teknolojisi arasındaki ilişkinin gıda israfını geri dönüştürme teknolojisi kapsamında mevcut sistemlere entegre edilme gerekliliği (Fang vd., 2023) göz önüne alındığında, gelecek araştırmaların farklı teknoloji aparatlarının gıda israf yönetim sistemlerinin dizayn edilmesinde kullanılmasına yönelik alternatif modellemeleri oluşturması gelecek araştırmalar için yön verici olacaktır.

Yapay zeka temelli atık yönetim araçlarının getirdiği maliyet avantajı beraberinde birtakım dezavantajları da getirmektedir. Teknoloji üretim şirketlerine yönelik bağımlılık bunlardan ilkidir. Ayrıca, emek tasarrufu ile kastedilen şeyin mevcut personelin istihdam olanaklarından yoksun hale getirilmesi anlamına da gelmektedir. O sebeple, gelecek araştırmaların, israf yönetim araçlarına yönelik farkındalığı ve algıyı ölçmesi, toplumun ve iş gücü kitlesinin bu tür teknolojilere yönelik kabullenme düzeyini ortaya koyması açısından yararlı bulgulara erişilmesine vesile olacaktır. Yapay zeka ve gıda israf yönetimi etkileşimini ilgilendiren literatür kapsamında en yüksek düzeyde ele alınan araştırma konusu, israf tahminleme hususudur (Andeobu vd., 2022). Tahminlemenin bir sonraki aşaması olan ayırt etme ve dönüşüm sürecine yönelik araştırmaların ele alınması literatüre katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Abbasi, M., & El Hanandeh, A. (2016). Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. *Waste Management*, 56, 13-22.
- Abdallah, M., Adghim, M., Maraqa, M., & Aldahab, E. (2019). Simulation and optimization of dynamic waste collection routes. *Waste Management & Research*, 37(8), 793-802.
- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
- Agarwal, V., Goyal, S., Goel, S., 2020. Artificial Intelligence in Waste Electronic and Electrical Equipment Treatment: Opportunities and Challenges. The 2020 International Conference on Intelligent Engineering and Management. IEEE, pp. 526-529.

- Andeobu, L., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2022). Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 834, 155389.
- Akyürek, S., Kızılcık, O., Kutukız, D. (2019). Sürdürülebilir turizm bağlamında herşey dahil sistemin mutfak bakış açısıyla değerlendirilmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(ek sayı), 15-24.
- Aykaç, E., Özdemir, Ö., & Cinnioğlu, H. (2023). Otel Çalışanlarının Sosyal Destek Algısı, Benlik Saygısı ve Sabır İlişkisi: Antalya Örneği. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 13(4), 827-846.
- Beretta, C., & Hellweg, S. (2019). Potential environmental benefits from food waste prevention in the food service sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 169-178.
- Coskuner, G., Jassim, M. S., Zontul, M., & Karateke, S. (2021). Application of artificial intelligence neural network modeling to predict the generation of domestic, commercial and construction wastes. *Waste Management & Research*, 39(3), 499-507.
- Cugurullo, F. (2020). Urban artificial intelligence: From automation to autonomy in the smart city. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 38.
- Çalışkan, C., & Yeşilyurt, H. (2020). Problematic of Tourism in Adıyaman: Multidimensional Barriers with a Community Perspective. *Journal of multidisciplinary academic tourism*, 5(1), 55-62.
- Dong, Z., Chen, J., & Lu, W. (2022). Computer vision to recognize construction waste compositions: A novel boundary-aware transformer (BAT) model. *Journal of Environmental Management*, 305(1), 114405.
- Filimonau, V., & Delysia, A. (2019). Food waste management in hospitality operations: A critical review. *Tourism Management*, 71, 234-245.
- Filimonau, V., & Gherbin, A. (2017). An exploratory study of food waste management practices in the UK grocery retail sector. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1184-1194.
- Filimonau, V., Krivcova, M., & Pettit, F. (2019). An exploratory study of managerial approaches to food waste mitigation in coffee shops. *International Journal of Hospitality Management*, 76, 48-57.
- Filimonau, V., Zhang, H., & Wang, L. E. (2020). Food waste management in Shanghai full-service restaurants: A senior managers' perspective. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120975.
- Food and Agriculture Organization. (2008). *The state of food insecurity in the world*. FAO. <https://www.fao.org/3/i0291e/i0291e00.htm>
- Gallardo, A., Carlos, M., Colomer, F. J., & Edo-Alcón, N. (2018). Analysis of the waste selective collection at drop-off systems: Case study including the income level and the seasonal variation. *Waste Management & Research*, 36(1), 30-38.

- Goh, E., & Jie, F. (2019). To waste or not to waste: Exploring motivational factors of Generation Z hospitality employees towards food wastage in the hospitality industry. *International Journal of Hospitality Management*, 80, 126-135.
- Gómez-Talal, I., González-Serrano, L., Rojo-Álvarez, J. L., & Talón-Ballester, P. (2024). Avoiding food waste from restaurant tickets: a big data management tool. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 15(2), 232-253.
- Gull, S., Bajwa, I. S., Anwar, W., & Rashid, R. (2021). Smart eNose food waste management system. *Journal of Sensors*, 2021(1), 9931228.
- Gupta, A., Sharma, R., & Smith, E. (2022). Predictive Analytics for Food Demand: A Machine Learning Approach in the Hospitality Industry. *Journal of Foodservice Business Research*, 1-19.
- Gupta, P. K., Shree, V., Hiremath, L., & Rajendran, S. (2019). The use of modern technology in smart waste management and recycling: artificial intelligence and machine learning. *Recent advances in computational intelligence*, 173-188.
- Gurram, G. V., Shariff, N. C., & Biradar, R. L. (2022). A secure energy aware meta-heuristic routing protocol (SEAMHR) for sustainable IoT-wireless sensor network (WSN). *Theoretical Computer Science*, 930, 63-76.
- Hegnsholt, E., Unnikrishnan, S., Pollmann-Larsen, M., Askelsdottir, B., & Gerard, M. (2018). *Tackling the 1.6-billion-ton food loss and waste crisis*. The Boston Consulting Group. <https://www.bcg.com/publications/2018/tackling-1.6-billion-ton-food-loss-and-waste-crisis>.
- Jagadiswaran, B., Alagarasan, V., Palanivelu, P., Theagarajan, R., Moses, J., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Valorization of food industry waste and by-products using 3D printing: A study on the development of value-added functional cookies. *Future Foods*, 4, Article 100036.
- Johnson NE, Ianiuk O, Cazap D, Liu L, Starobin D, Dobler G, Ghandehari M. (2017). Patterns of waste generation: a gradient boosting model for short-term waste prediction in New York City. *Waste Management*, 62, 3-11.
- Kumar, N. M., Mohammed, M. A., Abdulkareem, K. H., Damasevicius, R., Mostafa, S. A., Maashi, M. S., & Chopra, S. S. (2021). Artificial intelligence-based solution for sorting COVID related medical waste streams and supporting data-driven decisions for smart circular economy practice. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, 482-494.
- Lorenz, B.A., Hartmann, M., Langen, N., 2018. What makes people leave their food? The interaction of personal and situational factors leading to plate leftovers in canteens. *Appetite* 116, 45-56.
- Lynggaard-Jensen, A., Eisum, N. H., Rasmussen, I., Svank, H., & Stenstrøm, T. (1996). Description and test of a new generation of nutrient sensors. *Water Science and Technology*, 33(1), 25-35.
- Mao, W. L., Chen, W. C., Fathurrahman, H. I. K., & Lin, Y. H. (2022). Deep learning networks for real-time regional domestic waste detection. *Journal of Cleaner Production*, 344, 131096.

- Martin-Rios, C., Demen-Meier, C., Gössling, S., & Cornuz, C. (2018). Food waste management innovations in the foodservice industry. *Waste management*, 79, 196-206.
- Martin-Rios, C., Hofmann, A., & Mackenzie, N. (2020). Sustainability-oriented innovations in food waste management technology. *Sustainability*, 13(1), 210.
- McKinnon, D., Fazakerley, J., & Hultermans, R. (2017). Waste Sorting Plants—Extracting Value from Waste. ISWA: Vienna, Austria.
- Olawade, D. B., Fapohunda, O., Wada, O. Z., Usman, S. O., Ige, A. O., Ajisafe, O., & Oladapo, B. I. (2024). Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence. *Waste Management Bulletin*.
- Oliveira, V., Sousa, V., & Dias-Ferreira, C. (2019). Artificial neural network modelling of the amount of separately-collected household packaging waste. *Journal of Cleaner Production*, 210, 401-409.
- Onoda, H. (2020). Smart approaches to waste management for post-COVID-19 smart cities in Japan. *IET Smart Cities*, 2(2), 89-94.
- Özekici, Y. K. (2020). *Akıllı destinasyonlar: nitelikleri, planlama süreci, uygulama örnekleri*. Ağırılama işletmelerinde girişimcilik ve inovasyon: endüstri 4.0 perspektifinde bir uygulama içerisinde bölüm (Olcay, A. editörlüğünde). Gazi Kitabevi, Ankara.
- Pan, P., Lai, J., Chen, G., Li, J., Zhou, M., & Ren, H. (2018, December). An intelligent garbage bin based on NB-IoT research mode. In *2018 IEEE International Conference of Safety Produce Informatization (IICSPI)* (pp. 113–117).
- Pant, A., Ni Leam, P. X., Chua, C. K., & Tan, U. X. (2023). Valorisation of vegetable food waste utilising three-dimensional food printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 18(1), e2146593.
- Papargyropoulou, E., Steinberger, J. K., Wright, N., Lozano, R., Padfield, R., & Ujang, Z. (2019). Patterns and causes of food waste in the hospitality and food service sector: Food waste prevention insights from Malaysia. *Sustainability*, 11(21), 6016.
- Papargyropoulou, E., Wright, N., Lozano, R., Steinberger, J., Padfield, R., Ujang, Z., 2016. Conceptual framework for the study of food waste generation and prevention in the hospitality sector. *Waste Management*, 49, 326-336.
- Pirani, S. I., & Arafat, H. A. (2016). Reduction of food waste generation in the hospitality industry. *Journal of Cleaner Production*, 132, 129-145.
- Pouyanfar, N., Harofte, S. Z., Soltani, M., Siavashy, S., Asadian, E., Ghorbani-Bidkorbeh, F., Keçili, R. & Hussain, C. M. (2022). Artificial intelligence-based microfluidic platforms for the sensitive detection of environmental pollutants: Recent advances and prospects. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 34, e00160.
- Praveen, A., Radhika, R., Rammohan, M. U., Sidharth, D., Ambat, S., & Anjali, T. (2020, July). IoT based smart bin: A Swachh-Bharat initiative. In *2020 International Conference*

- on *Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)* (pp. 783–786). IEEE.
- Ramson, S. J., Moni, D. J., Vishnu, S., Anagnostopoulos, T., Kirubaraj, A. A., & Fan, X. (2021). An IoT-based bin level monitoring system for solid waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23, 516-525.
- Rodríguez, R., Alvarez-Sabatel, S., Ríos, Y., Rioja, P., & Talens, C. (2022). Effect of microwave technology and upcycled orange fibre on the quality of gluten-free muffins. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 158, Article 113148.
- Roohi, R., Jafari, M., Jahantab, E., Aman, M. S., Moameri, M., & Zare, S. (2020). Application of artificial neural network model for the identification the effect of municipal waste compost and biochar on phytoremediation of contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 106399.
- Scantamburlo, T., Cortés, A., Foffano, F., Barrué, C., Distefano, V., Pham, L., & Fabris, A. (2024). Artificial intelligence across europe: A study on awareness, attitude and trust. *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*.
- Shaayesteh, M. T., Yazdani, M., Ariza-Montes, A., Aman-Ullah, A., & Kim, W. (2025). Impact of sustainable tourists' behavior on the sustainability status of coastal tourism: the role of artificial intelligence. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 42(4), 510-533.
- Shekdar, A. V. (2009). Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29(4), 1438-1448.
- Shulman, H., Spradling, D., & Hoag, C. (2012). Introduction to additive manufacturing. *Ceramic Industry*, 162(12), 15-19.
- Singh, D., & Satija, A. (2018). Prediction of municipal solid waste generation for optimum planning and management with artificial neural network—case study: Faridabad City in Haryana State (India). *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9, 91-97.
- Tanveer, M., Hassan, S., & Bhaumik, A. (2020). Academic policy regarding sustainability and artificial intelligence (AI). *Sustainability*, 12(22), 9435.
- Ullah, Z., Al-Turjman, F., Mostarda, L., & Gagliardi, R. (2020). Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Computer Communications*, 154, 313-323.
- Walsh, T., Levy, N., Bell, G., Elliott, A., Maclaurin, J., Mareels, I., & Wood, F. (2019). *The effective and ethical development of artificial intelligence: An opportunity to improve our wellbeing*. Australian Council of Learned Academies (ACOLA).
- Wang, H., Ma, C., & Zhou, L. (2009, December). A brief review of machine learning and its application. In *2009 international conference on information engineering and computer science* (pp. 1-4). IEEE.
- Wang, L., Liu, G., Liu, X., Liu, Y., Gao, J., Zhou, B., Gao, S., Cheng, S., 2017. The weigh of unfinished plate: a survey based characterization of restaurant food waste in Chinese cities. *Waste Management*, 66, 3-12.

- Wath, S. B., Vaidya, A. N., Dutt, P. S., & Chakrabarti, T. (2010). A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India. *Science of the Total Environment*, 409(1), 19-32.
- Wen, Z., Hu, S., De Clercq, D., Beck, M. B., Zhang, H., Zhang, H., ... & Liu, J. (2018). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*, 73, 26-38.
- Williams, M. A. (2019). The artificial intelligence race: will Australia lead or lose?. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 152(471/472), 105-114.
- Wilts, H., Garcia, B. R., Garlito, R. G., Gómez, L. S., & Prieto, E. G. (2021). Artificial intelligence in the sorting of municipal waste as an enabler of the circular economy. *Resources*, 10(4), 28.
- Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Geyer, C. (2019). Artificial intelligence and the public sector—applications and challenges. *International Journal of Public Administration*, 42(7), 596-615.
- Yahia, E. M., & Mourad, M. (2020). Food waste at the consumer level. In *Preventing food losses and waste to achieve food security and sustainability* (pp. 341–366). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2019.0061.20>.
- Yang, J., Jiang, P., Suhail, S. A., Sufian, M., & Deifalla, A. F. (2023). Experimental investigation and AI prediction modelling of ceramic waste powder concrete—An approach towards sustainable construction. *Journal of Materials Research and Technology*, 23, 3676-3696.
- Yigitcanlar, T., & Cugurullo, F. (2020). The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities. *Sustainability*, 12(20), 8548.
- Yigitcanlar, T., Mehmood, R., & Corchado, J. M. (2021). Green artificial intelligence: Towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures. *Sustainability*, 13(16), 8952.