



Gıda Endüstrisinde Yapay Zekâ Uygulamaları

Artificial Intelligence Applications in the Food Industry

Elif Ceren ÇAKIROĞLU¹, Güzin İPLİKÇİOĞLU ARAL²

^{1,2}AÜVF, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi AD; Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Ankara

¹ORCID: 0009-0001-5710-7402  ²ORCID: 0000-0001-6897-8222 

*Sorumlu Yazar: elif_ceren_cakiroglu@gmail.com Geliş Tarihi: 13.12.2024 Kabul Tarihi: 14.03.2025

ÖZET

Dünya nüfusundaki hızlı artış, gıda kaynaklarına yönelik talebin de paralel şekilde yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, gıda endüstrisini hem yenilikçi değişikliklere ve hem de artan talepleri karşılamak amacıyla çözümler geliştirmeye yönlendirmiştir. Küreselleşme, teknolojik ilerlemeler ve tüketici beklentilerindeki değişiklikler, gıda endüstrisini önemli ölçüde dönüştürmüştür. Bu süreçte yapay zekâ (YZ) ve teknolojileri, gıda endüstrisindeki dönüşümlere öncülük etmektedir. Gıda endüstrisinde yapay zekâ; gıda güvenliği, kalite değerlendirmesi, kontrol sistemleri, üretim, işleme, ambalajlama ve dağıtım süreçlerinin verimliliğini artırarak daha güvenilir bir yapı sağlamaktadır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma gibi yapay zekâ uygulamaları sektörde yaygın olarak son yıllarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, gıda endüstrisinde yenilikçi çözümler getirerek verimliliğin artmasına katkı sağlamıştır. Gıda güvenliği, halk sağlığını korumak ve gıda kaynaklı hastalıkların önlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Gıda güvenliği yönetim sistemleri, tehlikeleri önlemek ve riskleri minimuma indirmek için çeşitli stratejiler sunmaktadır. Yapay zekâ, bu stratejilerin etkinliğini arttırmak için, veriye dayalı proaktif bir yaklaşımla riskleri tespit edebilen öncü göstergeler geliştirerek gıda güvenliği yönetiminde etkili rol oynamaktadır. Bunun yanında, yapay zekâ ve veri analitiği; gıda tedarik zincirinde risk yönetimi, kalite güvencesi ve tüketici tercihlerinin izlenmesi, ürün geliştirme ve pazarlama gibi alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır. Çiftlikten sofraya gıdaların izlenmesi, ekipman bakımı gibi birçok alanda yapay zekâ uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, atık su arıtmalarında da yapay zekâ teknolojileri kullanılarak çevresel riskleri azaltmak ve maliyetleri düşürmek için kullanılmaktadır. Yapay zekâ, gıda endüstrisinde üretim süreçlerinden tüketici tercihlerini anlamaya kadar geniş bir yelpazede yer bularak sektörü daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir geleceğe taşıyacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, gıda, gıda güvenliği

ABSTRACT

The rapid increase in the world population has led to a parallel rise in the demand for food resources. This situation has driven the food industry to develop innovative changes and solutions to meet the growing demands. Globalization, technological advancements, and changes in consumer expectations have significantly transformed the food industry. In this process, artificial intelligence (AI) and its technologies are leading these transformations within the food sector. In the food industry, artificial intelligence enhances the efficiency of food safety, quality assessment, control systems, production, processing, packaging, and distribution processes, ensuring a more reliable structure. AI applications such as artificial neural networks, fuzzy logic, and genetic algorithms have been widely used in the sector in recent years. These applications have contributed to increased efficiency by introducing innovative solutions in the food industry. Food safety is of great importance for protecting public health and preventing foodborne illnesses. Food safety management systems offer various strategies to prevent hazards and minimize risks. Artificial intelligence plays an effective role in food safety management by

enhancing the efficiency of these strategies through data-driven, proactive approaches that can detect risks using leading indicators. Additionally, AI and data analytics provide significant advantages in areas such as risk management in the food supply chain, quality assurance, monitoring consumer preferences, product development, and marketing. AI applications are also widely used in tracking food from farm to table, equipment maintenance, and many other areas. Moreover, AI technologies are utilized in wastewater treatment to reduce environmental risks and lower costs. Artificial intelligence is expected to play a significant role in the food industry, spanning from production processes to understanding consumer preferences, leading the sector toward a more efficient, sustainable, and innovative future.

Keywords: Artificial intelligence, food, food safety

GİRİŞ

Yapay zekâ, insan bilişsel süreçlerini minimum insan müdahalesiyle taklit edebilen bir bilgisayar bilimi disiplini. Veri odaklı karardestek sistemlerinden ileri düzey robotik teknolojilere kadar geniş bir uygulama alanı yelpazesine sahiptir (Hamet ve Tremblay, 2017). Yapay zekâ, 1950'li yıllarda Alan Turing'in "Makineler düşünebilir mi?" sorusunu sormasıyla temelleri atılmış ve Turing Testi ile makinelerin insan zekâsını taklit edip edemeyeceğini test etme kriteri geliştirilmiştir. 1956'daki Dartmouth Konferansı'nda "yapay zekâ" terimi resmi olarak tanımlanmıştır. 1980'lerde yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi yöntemler geliştirilmiştir. 1990'lı yıllarda makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerinin gelişmesiyle yapay zekâ öne çıkmıştır (Mavani vd., 2022). Sağlık alanında, sağlık hizmetlerini geliştirmekle beraber (Sahu vd., 2022) tedarik zinciri, finans ve maliyet optimizasyonu gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gharaei vd., 2019).

2050 yılına kadar dünya nüfusunun 9 milyarı aşması ve 2005 yılına kıyasla gıda talebinin %59-98 oranında artması öngörülmektedir. Artan nüfusun gıda talebini karşılamak için sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerine geçilmesi

gerekmektedir (McKenzie ve Williams, 2015). Sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerinin oluşturulmasında yapay zekâ, gıda güvenliği, tedarik zincirinde kalite kontrol, iklim değişikliği ve hijyen gibi sorunlara etkili bir çözüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu noktada, yapay zekâ gıda endüstrisinde çeşitli alanlarda yenilikçi çözümler geliştirmiştir. Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenimi (ML), yapay sinir ağları (ANN), uzman sistemler (ES), büyük veri (big data), bulanık mantık (FL), derin öğrenme (Deep Learning) gibi çözüm araçlarına sahiptir. Karar verme ve süreç tahmini gibi endüstride tercih edilen araç haline gelmiştir. Bu uygulamalar, ürün kalitesini artırma, genel maliyetin azaltılması, çevre koruma ve verimliliği yükseltme gibi avantajlar sunarak yenilikçi bir teknoloji olmuştur. Ek olarak blockchain teknolojinin kullanımı ile gıda tedarik zincirinde izlenebilirlik artmıştır. Fakat yüksek maliyet, işsizlik riski ve enerji tüketimi gibi zorluklar, bu teknolojinin yaygınlaşmasını sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır (Ben Ayed ve Hanana, 2021).

Yapay zekâ gıda endüstrisinin birçok alanında, yapay sinir ağları, makine öğrenimi, bulanık mantık, uzman sistemler ve adaptif nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi tekniklerle kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, bilgisayar görüntüleme sistemi ve kızıl ötesi spektroskopi (NIRS) gibi sensörlere de entegre edilerek örneklerden veri toplama, analiz gibi süreçleri optimize etmede fayda sağlamaktadır (Mavani vd., 2022). Örneğin, Yapay zekâ alanında kullanılan yapay sinir ağları teknolojisi, doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerin modellenmesinde kullanılan bir araçtır. Kurutma, ekstraksiyon ve raf ömrü değerlendirme, fermantasyon ve kalite değerlendirme gibi süreçlerin modellenmesinde yüksek doğrulukla sonuçlar sunarak geleneksel yöntemlere kıyasla zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Bhagya Raj ve Dash, 2022). Yapay sinir ağları, bulanık mantık ve uzman sistemler gibi algoritmaların kombinasyonlarıyla gıda kurutma süreçlerindeki zorlukları çözmek için de kullanılmıştır. Kalite göstergeleri ve kurutulmuş ürünlerin fizikokimyasal özelliklerinin modellenmesi tahmini ve optimizasyonunda yapay zekâ

uygulamalarına ek yapay biyomimetik sistemler (ör. bilgisayarlı görüntüleme) ile etkinlik artırılmıştır. Yapay zekâ, kurutma endüstrisinde önemli ilerlemelere öncülük etmesi beklenmektedir (Sun vd., 2018).

Yapay zekâ teknolojileri, su kısıtlılığı ve kirliliği sorunları karşısında atık suyun geri dönüşümünde ve arıtılması gibi süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi teknolojiler, farklı atık su artıma süreçlerinde kirlletici giderim etkilerini doğru bir şekilde tahmin edebilmişlerdir. Yapay zekâ sadece tahmin etme değil, aynı zamanda süreçlerin optimizasyonunda da yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için hibrit modelleri kullanılması daha etkin olabilmektedir (Xu vd., 2024). Atık su ve su dezenfeksiyonunda, patojenlerin eliminasyonu ve organik kirleticilerin giderilmesine yardımcı olmak, dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunu kontrol ve kalıntı tahmini için de kullanılmaktadır. Yapay zekâ teknolojisi olan bulanık mantık diğer algoritmalara göre daha yüksek performans göstermekte fakat büyük ölçekli tesislerde tek başına yetersiz kalabilmektedir (Ding vd., 2024).

YAPAY ZEKÂ VE GIDA ENDÜSTRİSİ

Yapay zekâ, genel olarak insanların makinelerle yapabildiği eylemleri gerçekleştirebilen bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Ham verilerden hiyerarşik modellerle anlamlandırarak, işlem gücü sayesinde verimli sonuçlar üretmektedir. Yapay zekânın bir alt kümesi olan makine öğrenimi ise denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleriyle geçmiş verilerden yararlanmaktadır. Yapay sinir ağları gibi teknikler, tahminlerde yüksek doğruluk sağlamak için kullanılmaktadır. YZ, gıda güvenliği gibi alanlarda sorunları geçmiş verilerle değerlendirmektedir. Bu şekilde, gıda güvenliğindeki riskleri öngörmek için etkili bir çözüm sunmaktadır (Goodfellow vd., 2016). Yapay zekâ, gıda işleme, taşıma, paketleme, hijyen ve gıda güvenliği alanında, tüketici odaklı uygulamalar gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlarda insan iş gücünü azaltırken süreçleri daha hızlı ve verimli hale getirmektedir (Mavani vd., 2022).

Makine öğrenimi teorisi;

yapay sinir ağları, derin öğrenme gibi algoritmaların temelini oluşturan prensipleri ve matematiksel çerçeveyi sunmaktadır (Jordan ve Mitchell, 2015). Modern Grafik İşleme Birimlerinin (GPU) hesaplama gücüyle Derin Öğrenme (Deep Learning) gibi yöntemlerde ilerlemiştir. Yapay zekâ bu şekilde daha büyük veriler kullanarak karmaşık görevleri yerine getirmektedir. Bu teknolojiler gıda üretimini daha sürdürülebilir duruma getirmektedir. Görsel algılama ve yapay zekânın gelişmesiyle beraber görüntü işleme, nesne algılama, optik karakter tanıma gibi teknikler gıda ürünlerinde analizlerin uygulanmasını sağlamıştır (Kim vd., 2024).

Yapay sinir ağları, insan beyninin karmaşık, doğrusal olmayan hesaplama gücünden örnek alınarak kullanılan bir tekniktir. Büyük veri setlerini analiz etmek ve karmaşık görevleri yerine getirmek için güçlü bir araçtır (Kyaw vd., 2019). Yapay sinir ağları gıda endüstrisinde, kalite kontrolü, ürün geliştirme gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada, ticari olarak satılan pürelerin yoğunlukları yapay sinir ağları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada 13 farklı püre türü ve 5 farklı yoğunluğa sahip 390 numune kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, püre numunelerinin rölatif konsantrasyonlarını %92,2 doğruluk oranıyla tahmin etmiştir. Sonuçlar yapay sinir ağlarının gıdaların kalite kontrolünde umut verici bir araç olduğunu göstermektedir (Pfisterer vd., 2018). Gıdalardaki bakteri gelişimi tahmini, yoğurttaki *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* popülasyonlarının değerlerinin yapay sinir ağları aracılığıyla kantitatif analiziyle gerçekleştirebilmektedir. Elde edilen veriler, özellikle fermente gıda ürünlerinde bakteriyel gelişimlerini anlamak ve süreç optimizasyonu sağlamak için önemli bir kaynak sunmaktadır. Bu yöntem, daha karmaşık mikrobiyal topluluklar için doğrulama gerektirse de üç ve üzeri bakteri popülasyonlarından oluşan fermente süt ürünleri endüstrisi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu yaklaşım, mikroorganizmaların kantitatif analizi için geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır (Talon vd., 2002). FITR (Fourier Transform

Infrared Spectroscopy) spektroskopisinin yapay sinir ağ gibi modellerle birleştirilmesi, aerobik depolamada etin bozulmasını izleme konusunda etkili olmuştur. Toplanan FTIR spektral verileri; toplam canlı sayısı, *Pseudomonas spp.*, laktik asit bakterileri ve *Enterobacteriaceae* gibi mikrobiyolojik logaritmik verilerle ilişkilendirilmiştir. Önerilen modelleme şemalarıyla, spektral veriler kullanılarak et örneklerinin mikrobiyolojik popülasyonu doğrudan tahmin edilmiş ve kalite sınıflandırılması yapılmıştır (Kodogiannis vd., 2014).

Bulanık mantık, belirsiz ve kesin olmayan verilerin analizinde kullanılan bir yapay zekâ yaklaşımıdır. Bu şekilde karmaşık ve doğrusal olmayan problemlere esnek, hızlı ve uyumlu çözümler sunar. Gıda endüstrisinde ise özellikle duyuşal değerlendirmede, gıda kalitesi, ürün geliştirme gibi alanlarda etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır (Vivek vd., 2020). Gıdaların güvenliğini değerlendirmek amacıyla sülfür dioksit, benzoik asit ve sorbik asit konsantrasyonlarına dayanarak gıda konserveleri bulanık mantık çerçevesinde incelenmiştir. Bulanık mantık, kesin sınırlar yerine belirsiz verileri de değerlendirerek katkı maddelerinin tamamen güvenli ya da güvensiz olarak sınıflandırmak yerine, belirli güvenlik derecelerine göre analiz edebilen bir sistemdir. Örneğin, benzoik asit oranı %0.05 olduğunda tamamen güvenli ya da güvensiz sayılmak yerine %80 oranında güvenli kabul edilebilir. Yapılan çalışmada katkı maddelerinin konsantrasyonları Malezya Gıda Yasası 1983 ve Gıda Yönetmeliği 1985'e göre değerlendirilerek rastgele oluşturulan ve endüstriyel gıda örnekleriyle test edilmiş, manuel hesaplamalara karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar vermiştir. Geliştirilen çerçevenin gelecekte e-nose (elektronik burun) ve e-tongue (elektronik dil) gibi sensörlerle entegre edilerek gıda güvenliği izleme sistemlerine dönüştürülebilmesi planlanmaktadır (Mavani vd., 2024). Ek olarak; bulanık mantık, farklı sıcaklık ve depolama sürelerinde biyogen amin içeriğine göre balık kalitesini değerlendirmede etkin bir şekilde kullanılmıştır (Zare ve Ghazali, 2017). Mikrobiyal inaktivasyon süreçlerini modelleyerek, kalite kontrolü için hızlı ve doğru tahminler sunmaktadır. Yapılan bir

çalışmada, *Lactococcus lactis*'in basınç kaynaklı inaktivasyon süreçleri bulanık mantık modellerine dayalı bir şekilde ön görmüştür (Kilimann vd., 2005).

YAPAY ZEKÂ VE GIDA GÜVENLİĞİ

Gıda güvenliği, tüketicilerin sağlığını korumayı ve gıdaların güvenli şekilde tüketilmesini sağlamayı amaçlayan sistemlerdir. Tüketici güvenliğini korumak ve ekonomik kayıpları önlemek için kritik bir öneme sahiptir (Schroeder vd., 2007). Örneğin, 2018'de ABD (Amerika Birleşik Devletleri) ve Kanada'daki maruldan kaynaklı *E. coli* salgını, taze ürün pazarlarında büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Doğrudan ya da dolaylı etkilerle gıda tedarik zincirinde yaklaşık 80 milyon dolar kayıp, toplam zarar ise 276-343 milyon dolar kadar olduğu gözlemlenmiştir. Etkilerin azaltılması için gıda güvenliği standartları ve izlenebilirlik sistemlerin gelişmesi önemlidir (Spalding vd., 2023).

Yapay zekâ, derin öğrenme, yapay sinir ağları gibi tekniklerle beraber birtakım teknolojileri kullanarak gıda güvenliği alanında da yer bulmaktadır. Sensor teknolojileri, veri bilimi, makine öğrenimi gibi modern teknolojilerle gelişmeler sağlayabilmektedir. Veri setleri kullanarak risk tahminleri ve gıda kaynaklı patojen tespiti gibi süreçleri hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Teknoloji, gıda güvenliği alanında önemli bir çözüm aracı olduğu bilinmektedir ve gıda güvenliği alanında yapay zekâ, veri altyapısı ve sensor teknolojileri alanındaki gelişmelerle dönüşüm sağlamaktadır (Nychas vd., 2021; Anonim, 2019).

Makine öğrenim tekniği olan Random Forest (Umoh vd., 2022) kullanılarak yapılan bir çalışmada, taze ürün alanlarından alınan toprak, sürüntü ve su örneklerinden *Listeria (L.) monocytogenes* izolasyonu ile ilişkili faktörler belirlenmiştir. Analiz sonucunda, *L. monocytogenes* izolasyonu en çok ilişkili olan faktörün su olduğu gözlemlenmiştir (Harrand vd., 2020). Gıda işleme süreçlerinde yapay zekâ, metagenomik dizileme ve biyoinformatik analizlerle kullanılmaktadır. Gıda matrisindeki kontaminantların tespit etmekte ve bileşimini doğrulukla belirleyebilmektedir. Yapılan

çalışmada, FASER gibi yapay zekâ destekli biyoinformatik boru hattı, DNA veya RNA dizileme verilerini analiz edebilmektedir. Bu yöntemle beraber gıda güvenliğinde önemli rol oynayıp kalite kontrol ve tedarik zincir sorunlarına çözüm sunmaktadır (Haiminen vd., 2019). Yine Random Forest yaklaşımı ve yapay zekâ kullanılarak edilen verilerin gıda güvenliği ile ilgili metagenomik uygulamaları genişletilebilme potansiyeline sahiptir. DiMucci vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada *E. coli* ve diğer mikrobiyal topluluklar arasındaki çift yönlü etkileşimlerin tahmini için genlerin varlığı yokluğu gibi biyolojik olarak anlamlı veriler kullanılarak Random Forest adlı makine öğrenmesi modeli geliştirilmiştir. Random Forest yaklaşımıyla bu etkileşimler doğru şekilde tahmin edilmiştir ve etkileşim mekanizmalarını anlamada yardımcı olmuştur. Ek olarak; potansiyel olarak daha önce bilinmeyen etkileşim mekanizmalarını göstermiştir. Gıda güvenliği bağlamında, bu uygulama gıda kaynaklı patojenlerin kontrol stratejisi olarak kullanılan biyokoruyucuların etkisini tahmin etmede kullanılabilir.

Gıda endüstrisinde hijyen ve sanitasyon, özellikle çapraz kontaminasyonu önleme açısından önemlidir. Yapılan bir çalışmada, ultrasonik sensörlerden elde edilen verilerle makine öğrenimi ve yapay sinir ağı modelleri kullanılarak temizlik sırasında yüzey kirlenme alanı ve hacmi doğru tahmin edilmiştir. Bu veriler, temizlik süreçlerinin izlenmesi ve optimize edilmesi için önemli bir adım olmuştur (Simeone vd., 2020).

Modern üretim süreçlerinde yapay zekâ ve veri analitiğinin uygulanmasıyla özellikle *Listeria spp.* gibi patojenlerin tespiti, gıda kaynaklı hastalık riskini azaltmak için önemlidir. EnABLE (Environmental monitoring with an Agent-Based Model of *Listeria*) adlı yapay zekâ destekli simülasyon modeli soğuk füme somon üretim tesisinde çevresel izleme programlarıyla kullanılmıştır. *Listeria spp.*'nin bulaşma yollarını ve varsayımsal değişikliklerle olası kontaminasyon sonuçlarının aralığını ortaya koymuştur. Bu şekilde, gıda üretim tesisinde kontaminasyon risklerini belirlemeye yönelik karar sistemi sağlamaktadır. Model,

özellikle dondurulmuş gıda endüstrisi alanlarında gıda güvenliğine ek olarak genel üretim süreçlerinde daha geniş uygulama alanlarında kullanıma olanak sağlamaktadır. Çapraz kontaminasyon riskini azaltma, tüketici sağlığını koruma ve gıda sektöründe sürdürülebilirlik amaçlarına hizmet edebilmektedir (Zoellner vd., 2019).

Yapılan çalışmalar kapsamında, yapay zekâ araştırmalarıyla ilgili WoS (Web of Science) veri tabanından elde edilen literatür örnekleri üzerinde bibliyometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, makine öğrenimi ve derin öğrenim algoritmalarının gıda güvenliği alanında sürdürülebilir ve güvenli gıda sistemleri için umut vadeden bir teknoloji olduğu görülmüştür (Liu vd., 2023).

ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Artan dünya nüfusu, gıda talebi ve iklim değişiklikleri göz önüne alındığında, yapay zekâ, Birleşmiş Milletler'in 2030 Gündemi tarafından belirlenen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ne ulaşmayı kolaylaştıran bir araç niteliğindedir. Yapay zekâ ve teknolojileri, veri izleme, analiz, karar verme gibi süreçlerde yardımcı olup gıda üretiminden dağıtımına kadar sürdürülebilirlik, izlenebilirlik ve gıda güvenliği gibi alanlarda yardımcı olarak yoksulluk ve açlıkla mücadeleye yardımcı olabilir. Gelişmekte olan ülkeler, yapay zekânın kullanımında finansal, uzmanlık ve eğitim eksikliği, düzenleyici çerçeve eksikliği, özelleştirme gerekliliği, kültürel normlar ve pazar erişimi, veri erişimi, disiplinler arası iş birliği gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorlukların aşılması için bütüncül yaklaşımlar; belirli yatırımlar, iş birliği, politik destek, altyapı güçlendirmesi, eğitim programları gibi çözümler uygulanabilir (Ahmad vd., 2024; Qian vd., 2023).

Gıda güvenliğinde yapay zekânın uygulanması, verilere erişimin zorluğu, gizlilik, veri standardizasyonu, araç yetersizliği gibi zorluklarla istenilen şekilde ilerleyememektedir. Sorunların çözümü için en önemli kısım disiplinler arası iş birliğiyle ticari yapay zekâ uygulamalarının geliştirilmesi gerekliliğidir. Mikrobiyal

verilerin yüksek maliyetli ve yavaş toplanması, veri paylaşımı konusunda ticari ve yasal endişeler yapay zekânın kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu durum yapay zekâ aracının akademik düzeyde gelişimini zorlama ve gıda endüstrisinde kullanılabilecek ticari ürünlere dönüştürememektedir (Qian vd., 2023). Yapay zekâ kullanım zorluklarında sosyal, çevresel ve ekonomik faktörler de göz önüne alınmalıdır. Veri gizliliği, sahtecilik, etik değer kaybı teknolojinin uygulanmasını sınırlandırabilir. Gıda güvenliğinde izlenebilirlik ve verimliliği arttırmada başlıca teknik zorluklar ve sürdürülebilirlik gelmektedir. Blockchain, gizlilik koruma, IoT (Internet of Things) ve yapay zekâ entegrasyonu; yeni teknolojik gelişmeler ve regülasyonlar; Blockchain tabanlı dijital pazarın geliştirilmesi izlenebilirlik ve veri güvenliği açısından değerlendirilmedi (Lei vd., 2022).

Gıdaların bileşenleri gibi kapsamlı bilgileri için bir veri tabanı geliştirmek, düzenleme ve denetim, tüketici farkındalığı ve kabulünde teknolojiyi yaygınlaştırmak yapay zekânın gıda endüstrisinde etkili ve yaygın bir şekilde kullanımını sağlayabilir. Ek olarak yapay zekâ tabanlı gıda katkı maddesi üretimi, gıda endüstrisinde değişimler yaratabilir (Yu vd., 2024). Yapay zekâ teknolojilerinin yaşadıkları en büyük zorluklara örnek olarak, yapay sinir ağlarının sahip olduğu kara kutu yapısı yer almaktadır. Bu, yapay sinir ağlarının giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkileri tahmin edebilmesine rağmen, bu ilişkilerin kullanıcı tarafından anlaşılmasının zor olması anlamına gelir. Bu durum, yapay zekâ destekli otomasyon sistemlerinin çevrimiçi izleme ve kontrol uygulamalarında sınırlı kullanımına sebep olmaktadır (Sun vd., 2018).

Modern dizileme, örneğin yüksek çözünürlüklü dizileme ve tam genom dizilime gibi teknolojilerin yapay zekâ desteğiyle gelişmesi, patojenlerin kimliği, virulans potansiyeli ve fonksiyonel özellikleri gibi gıda güvenliğinin yönetiminde etkili kontrol önlemleri sağlamaktadır. Fakat bu bağlamda gıda üreticilerinin çoğu modern dizilemede kullanılan teknolojilere sahip değildir. Yüksek maliyetler nedeniyle bu teknolojiler spesifik olarak kullanılabildiği için proaktif

değil, reaktif kalmaktadır. Ek olarak tam genom dizileme verilerinin doğruluğu, regülasyon ve yasal olarak zorluklarla karşı karşıya kalmakta; veri paylaşımı ve analizlerin nasıl yönetileceğine dair düzenlemeler getirilmelidir (Imanian vd., 2022).

SONUÇ

Yapay zekâ , gıda güvenliği ve endüstrisinde süreçlerin daha verimli, sürdürülebilir ve izlenebilir hale getirilmesi için güçlü bir araçtır. Yapay zekânın gıda güvenliği ve kalite kontrolüne olan uyumu, gıda tedarik zinciri ve üretim sürecinde kalite güvencesinin sağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Tahmine dayalı analizler, otomasyon, gıda kaynaklı patojenlerin tespitinde, gıda güvenliğine olan güvenin artmasına katkıda bulunmaktadır. Yapay zekânın adaptasyonu, veri gizliliği ve etik ilklere uyumlu şekilde entegrasyonu ve yeni uygulama alanlarıyla gıda endüstrisinde dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Teknolojilerin adaptasyonu ile beraber üretimden tüketime kadar olan süreçte izlenebilirlik artırılarak gıda güvenliği daha etkin bir şekilde sağlanabilir. Yapay zekâ destekli sistemler, sürdürülebilir tarım ve üretim yöntemlerine destek sağlayarak çevresel etkileri azaltıp gıda endüstrisinde önemli bir rol oynayabilmektedir. Yapa zekânın çeşitli teknikleri, olası gıda güvenliğini tehditlerini saptama ve ekonomik kayıpları minimize edebilmek gibi avantajları bulunmaktadır. Yapay zekânın gıda endüstrisindeki tam potansiyeline ulaşabilmesi için veri erişimi, altyapı eksiklikleri, regülasyon yetersizlikleri, yüksek maliyetler ve kullanıcı farkındalığı gibi zorlukların aşılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, A., Liew, A. X. W., Venturini, F., Kalogeras, A., Candiani, A., Di Benedetto, G., Ajibola, S., Cartujo, P., Romero, P., Lykoudi, A., De Grandis, M. M., Xouris, C., Lo Bianco, R., Doddy, I., Elegbede, I., D'Urso Labate, G. F., García del Moral, L. F. ve Martos, V. (2024). AI can empower agriculture for global food security: Challenges

- and prospects in developing nations. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1328530. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1328530>
- Anonim. (2019). Food Safety Magazine. Artificial intelligence and food safety: Hype vs. reality. *Food Safety Magazine*. Retrieved November 27, 2024, from <https://www.food-safety.com/articles/6416-artificial-intelligence-and-food-safety-hype-vs-reality>
- Ben Ayed, R. ve Hanana, M. (2021). Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. *Journal of Food Quality*, 2021, Article 5584754, 7. <https://doi.org/10.1155/2021/5584754>
- Bhagya Raj, G. V. S. ve Dash, K. K. (2022). Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2756-2783. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1858398>
- DiMucci, D., Kon, M. ve Segrè, D. (2018). Machine learning reveals missing edges and putative interaction mechanisms in microbial ecosystem networks. *mSystems*, 3(5). <https://doi.org/10.1128/msystems.00181-18>
- Ding, Y., Sun, Q., Lin, Y., Ping, Q., Peng, N., Wang, L. ve Li, Y. (2024). Application of artificial intelligence in (waste) water disinfection: Emphasizing the regulation of disinfection by-products formation and residues prediction. *Water Research*, 253, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121267>
- Gharaei, A., Karimi, M. ve Hoseini Shekarabi, S. A. (2019). An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control policies and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 69, 223–254. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.11.035>
- Goodfellow, I., Bengio, Y. ve Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. Retrieved from <http://www.deeplearningbook.org>. *Healthcare Informatics Research*, 22(4), 351-354.
- Haiminen, N., Edlund, S., Chambliss, D., Kunitomi, M., Weimer, B. C., Ganesan, B., Baker, R., Markwell, P., Davis, M., Huang, B. C., Kong, N., Prill, R. J., Marlowe, C. H., Quintanar, A., Pierre, S., Dubois, G., Kaufman, J. H., Parida, L. ve Beck, K. L. (2019). Food authentication from shotgun sequencing reads with an application on high protein powders. *npj Science of Food*, 3(1), 24. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0056-6>
- Hamet, P. ve Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 69(Supplement), S36–S40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>
- Harrand, A. S., Strawn, L. K., Illas-Ortiz, P. M., Wiedmann, M. ve Weller, D. L. (2020). *Listeria monocytogenes* Prevalence Varies More within Fields Than between Fields or over Time on Conventionally Farmed New York Produce Fields. *Journal of Food Protection*, 83(11), 1958–1966. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-120>
- Imanian, B., Donaghy, J., Jackson, T., Gummalla, S., Ganesan, B., Robert C. Baker, Henderson, M., Butler, E. K., Hong, Y., Ring, B., Thorp, C., Khaksar, R., Samadpour, M., Lawless, K. A., MacLaren-Lee, I., Carleton, H. A., Tian, R., Zhang, W. ve Wan, J. (2022). The power, potential, benefits, and challenges of implementing high-throughput sequencing in food safety systems. *npj Science of Food*, 6(35). <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00150-6>
- Jordan, M. I. ve Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Kilimann, K., Hartmann, C., Delgado, A.,

- Vogel, R. ve Ganzle, M. (2005). A fuzzy logic-based model for the multistage high-pressure inactivation of *Lactococcus lactis* ssp. MG 1363. *International Journal of Food Microbiology*, 98(1), 89–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.010>
- Kim, D., Kim, S. Y., Yoo, R., Choo, J. ve Yang, H. (2024). Innovative AI methods for monitoring front-of-package information: A case study on infant foods. *PloS one*, 19(5), e0303083. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303083>
- Kodogiannis, V. S., Kontogianni, E. ve Lygouras, J. N. (2014). Neural network-based identification of meat spoilage using Fourier-transform infrared spectra. *Journal of Food Engineering*, 142, 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.018>
- Kyaw, T., Oo, N. N. ve Zaw, W. (2019). Building travel speed estimation model for Yangon city from public transport trajectory data. In T. Zin & J. W. Lin (Eds.), *Big data analysis and deep learning applications. ICBDL 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 744, 250-257. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0869-7_28
- Lei, M., Xu, L., Liu, T., Liu, S. ve Sun, C. (2022). Integration of Privacy Protection and Blockchain-Based Food Safety Traceability: Potential and Challenges. *Foods*, 11(15), 2262. <https://doi.org/10.3390/foods11152262>
- Liu, Z., Wang, S., Zhang, Y., Feng, Y., Liu, J. ve Zhu, H. (2023). Artificial Intelligence in Food Safety: A Decade Review and Bibliometric Analysis. *Foods*, 12(6), 1242. <https://doi.org/10.3390/foods12061242>
- Mavani, N. R., Ali, J. M., Othman, S., Hussain, M. A., Hashim, H. ve Abd Rahman, N. (2022). Application of artificial intelligence in food industry—a guideline. *Food Engineering Reviews*, 14(2), 134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>
- Mavani, N. R., Mohd Ali, J., Hussain, M. A., Abd Rahman, N. ve Hashim, H. (2024). Determining food safety in canned food using fuzzy logic based on sulphur dioxide, benzoic acid and sorbic acid concentration. *Heliyon*, 10(4), e26273. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26273>
- McKenzie, F. C. ve Williams, J. (2015). Sustainable food production: Constraints, challenges and choices by 2050. *Food Security*, 7(2), 221–233. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0441-1>
- Nychas, G. J., Sims, E., Tsakanikas, P. ve Mohareb, F. (2021). Data Science in the Food Industry. *Annual Review of Biomedical Data Science*, 4, 341–367. <https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-020221-123602>
- Pfisterer, K. J., Amelard, R., Chung, A. G. ve Wong, A. (2018). A new take on measuring relative nutritional density: The feasibility of using a deep neural network to assess commercially-prepared pureed food concentrations. *Journal of Food Engineering*, 223, 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.016>
- Qian, C., Murphy, S. I., Orsi, R. H. ve Wiedmann, M. (2023). How can AI help improve food safety? *Annual Review of Food Science and Technology*, 14(1), 517–538. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-013815>
- Sahu, M., Gupta, R., Ambasta, R. K. ve Kumar, P. (2022). Artificial intelligence and machine learning in precision medicine: A paradigm shift in big data analysis. In D. B. Teplow (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 190(1), 57–100. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2022.03.002>
- Schroeder, T. C., Tonsor, G. T., Pennings, J. M. E. ve Mintert, J. (2007). Consumer food safety risk perceptions and attitudes: Impacts on beef consumption across countries. *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 7(1), Article 65. <https://doi.org/10.1016/j.bep.2007.01.002>

- org/10.2202/1935-1682.1655
- Simeone, A., Woolley, E., Escrig, J. ve Watson, N. J. (2020). Intelligent Industrial Cleaning: A Multi-Sensor Approach Utilising Machine Learning-Based Regression. *Sensors*, 20(13), 3642. <https://doi.org/10.3390/s20133642>
- Spalding, A., Goodhue, R. E., Kiesel, K. ve Sexton, R. J. (2023). Economic impacts of food safety incidents in a modern supply chain: *E. coli* in the romaine lettuce industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 105(2), 597–623. <https://doi.org/10.1111/ajae.12341>
- Sun, Q., Zhang, M. ve Mujumdar, A. S. (2018). Recent developments of artificial intelligence in drying of fresh food: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(14), 2258–2275. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1446900>
- Talon, R., Walter, D., Viallon, C. ve Berdagué, J. L. (2002). Prediction of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* populations in yoghurt by Curie point pyrolysis-mass spectrometry. *Journal of Microbiological Methods*, 48(2-3), 271–279. [https://doi.org/10.1016/s0167-7012\(01\)00329-3](https://doi.org/10.1016/s0167-7012(01)00329-3)
- Umoh, U. A., Eyoh, I. J., Murugesan, V. S. ve Nyoho, E. E. (2022). Fuzzy-machine learning models for the prediction of fire outbreaks: A comparative analysis. In R. Pandey, S. K. Khatri, N. K. Singh, & P. Verma (Eds.), *Artificial Intelligence and Machine Learning for EDGE Computing*, 207–233. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824054-0.00025-3>
- Vivek, K., Subbarao, K. V., Routray, W., Kamini, N. R. ve Dash, K. K. (2020). Application of fuzzy logic in sensory evaluation of food products: A comprehensive study. *Food and Bioprocess Technology*, 13(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02337-4>
- Xu, W.-L., Wang, Y.-J., Wang, Y.-T., Li, J.-G., Zeng, Y.-N., Guo, H.-W., Liu, H., Dong, K.-L. ve Zhang, L.-Y. (2024). Application and innovation of artificial intelligence models in wastewater treatment. *Journal of Contaminant Hydrology*, 267, 104426. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104426>
- Yu, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S. ve Li, J. (2024). AI-based additive manufacturing for future food: Potential applications, challenges and possible solutions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 92, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103599>
- Zare, D. ve Ghazali, H. M. (2017). Assessing the quality of sardine based on biogenic amines using a fuzzy logic model. *Food Chemistry*, 221, 936–943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.071>
- Zoellner, C., Jennings, R., Wiedmann, M. ve Nightingale, K. (2019). EnABLE: An agent-based model to understand *Listeria* dynamics in food processing facilities. *Scientific Reports*, 9(1), 495. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36654-z>