

Gıda Sahteciliğinin Önlenmesinde Yapay Zekâ, Blok Zincir ve Omik Teknolojilerin Rolü

Evra SARI

Iğdır Üniversitesi,
Dijital Eğitim Koordinatörlüğü
evrasari92@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8120-1589

Mehmet SARIŞIK

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü
msariisik@subu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-0681-6137

Geliş tarihi / Received: 05.02.2026

Kabul tarihi / Accepted: 02.05.2026

Öz

Gıda sahteciliği, günümüz tedarik zincirlerinde tüketici güveni ve ekonomik istikrarı tehdit eden önemli bir sorundur. Bu çalışma, gıda tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirliğin artırılmasında yapay zekâ, blok zincir ve omik teknolojilerin rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, ilgili literatür sistematik olarak değerlendirilmiş ve söz konusu teknolojilerin gıda doğrulama, izlenebilirlik ve risk yönetimi süreçlerine katkıları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, dijital teknolojilerin veri entegrasyonunu güçlendirerek şeffaflığı arttırdığı, gıda sahteciliği risklerini azalttığını ve tedarik zinciri performansını iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca bu teknolojilerin entegrasyonu ile hasat sonrası kayıpların azaltılması, ürün doğrulama süreçlerinin geliştirilmesi ve tüketici güveninin artırılması mümkün olmaktadır. Çalışmamızın temel amacı; gıda tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirliğin artırılmasında yapay zekâ, blok zincir ve omik teknolojilerin gıda sahteciliğinin önlenmesindeki rolünü ele alan çalışmaları incelemektir.

Anahtar kelimeler: Gıda sahteciliği, yapay zekâ, gıda tedarik zincirleri, omik teknolojiler

The Role of Artificial Intelligence, Blockchain, and Omics Technologies in Preventing Food Fraud

Abstract

Food fraud is a significant issue in modern supply chains, posing serious threats to consumer trust and economic stability. This study aims to examine the role of artificial intelligence, blockchain and omics technologies in enhancing transparency in food supply chains. In this context, the relevant literature was systematically reviewed and the contributions of these Technologies to food authentication, traceability and risk management processes were analyzed. The findings indicate that digital Technologies strengthen data integration, enhance transparency reduce the risk of food fraud and improve supply chain performance. Furthermore, the integration of these Technologies enables the reduction of post-harvest the improvement of product verification processes and the enhancement of consumer trust. The main objective of this study is to review studies that examine the role of artificial intelligence, blockchain and omics technologies in preventing food fraud and in enhancing transparency and traceability in the food supply chain.

Keywords: *Food adulteration, artificial intelligence, food supply chains, omics technologies*

Giriş

Gıda sahteciliği; tüketici güveninin zedelenmesi, gıdanın özgünlüğü konusunda şüphe yaratması, marka itibarına zarar vermesi ve en önemlisi toplum sağlığı ve güvenliğini tehlikeye atması nedeniyle son derece ciddi bir sorundur. Bu nedenle, gıdanın güvenliğini ve kalitesini temin edebilmek için gıdalardaki sahteciliklerin tespitine yönelik doğru ve güvenilir yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Sharma vd., 2024). Küresel gıda sektörü, izlenebilirlik, şeffaflık ve sürdürülebilirlik gibi yeni zorluklarla karşı karşıya olup, bu durum yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Geleneksel tedarik zincirleri çoğu zaman bu beklentileri karşılamakta yetersiz kalmakta bunun sonucunda gıda sahteciliği, gıda israfı ve çevre üzerinde olumsuz etkiler gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Rajput vd., 2025). Gıda sahteciliğinin tespitine yönelik yenilikler son yıllarda hızla gelişmektedir. Bunlar, gıda sahteciliğinin tespiti ve ürün özgünlüğünün doğrulanmasını sağlayan teknolojiler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknolojiler, sahteciliğin belirlenmesi ve ürün bileşiminin doğrulanmasına yönelik olarak, kromatografik teknikler, DNA temelli

moleküler analizler ve kemometrik yaklaşımlar olan analitik yöntemlerdir. Bir diğeri ise, veri odaklı yaklaşımlardan yapay zekâ araçları, tedarik zinciri izlenebilirliği için blok zincir uygulamaları, nesnelere interneti tabanlı gerçek zamanlı izleme sistemleri şeklindedir (Marin vd., 2025). Gıda sahteciliğinin önlenmesi için sürekli işleyen bir yönetim sistemi gerekmektedir. Gıda sahteciliğini önlemeye yönelik genel bir yaklaşım olan hassasiyet değerlendirmeleri, bu değerlendirmelere uygun şekilde tasarlanmış önleme ve azaltma stratejileri ile uygulama sonrasında gerçekleştirilen doğrulama ve geçerlilik kontrollerini içermektedir. Dolayısıyla, gıda sahteciliğinin iyi anlaşılması bakımından; gıda kalitesi, gıda güvenliği ve gıda savunması ile ilişkili gıda risk boyutları bağlamında ele alınmalıdır. Örneğin; Avrupa Birliği gıda işletmelerinde Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) sistemini zorunlu kılmaktadır (Boller vd., 2024).

Tedarik zinciri yönetimi, günümüzde birçok sektörde stratejik bir öneme sahip olup, dijital teknolojilerin etkisiyle sürekli bir dönüşüm süreci içerisinde. Bu dönüşüm, geleneksel ya-

pıların daha şeffaf, izlenebilir ve güven temelli sistemlere evrilmesini beraberinde getirmektedir (Arslanhan ve Delice, 2025). Gıda tedarik zincirinin izlenebilirliği ve doğrulanabilirliği, sistemde ortaya çıkan bozulmaların küresel düzeyde belirlenmesi ve etkin bir şekilde ele alınması açısından önemli bir rol oynamaktadır (Gerdan vd., 2020).

Günümüzde iklim değişikliği, gıda sahteciliği, tedarik zincirlerinin artan karmaşıklığı ve küresel ticaret hacmindeki genişleme, gıda güvenliğini daha karmaşık ve çok boyutlu bir sorun haline getirmiştir. Bu doğrultuda, sensör teknolojileri, blokzincir, nesnelerin interneti (IoT), nanoteknoloji ve özellikle yapay zekâ gibi yenilikçi dijital çözümler gıda güvenliğinin sağlanmasında dönüştürücü olanaklar sunmaktadır. Söz konusu teknolojiler, gıda tedarik zincirinde izlenebilirliği artırarak risklerin erken aşamada belirlenmesine ve kalite kontrol süreçlerinin daha etkin yürütülmesine imkân tanımaktadır. Bu sayede hem tüketici sağlığının korunmasına katkı sağlanmakta hem de ekonomik kayıplar azaltılmaktadır. Fakat bu teknolojilerin uygulanması; veri gizliliği, algoritmik güvenilirlik, sistemlerin entegrasyonu ve nitelikli iş gücü eksikliği gibi teknik ve etik sorunları da beraberinde getirmektedir (Çekiç ve Bayar, 2025).

Bu derleme çalışması, gıda tedarik zincirlerinde tağşiş ve sahteciliğin önlenmesine yönelik yaklaşımları, izlenebilirlik sistemleri ve yapay zekâ temelli çözümler çerçevesinde ele almaktadır. Dolayısıyla çalışmamızın amacı, mevcut literatürü sistematik olarak değerlendirerek yapay zekâ destekli izlenebilirlik uygulamalarının gıda sahteciliğiyle mücadeledeki potansiyelini ortaya koymak ve bu teknolojilerin gıda güvenliği ile kalite yönetim sistemlerine entegrasyonunu, tüketicilerin artan şeffaflık ve güven beklentileri doğrultusunda yapılan güncel çalışmaları incelemektir.

Bu çalışma; gıda güvenliğini sağlamak, gıda sahteciliğinin önüne geçmek amacıyla gıda te-

darik zincirinde yapay zekâ, blokzincir uygulamaları, omik teknolojilerin kullanımını ele alan sistematik bir literatür taraması yaklaşımına dayanmaktadır. Literatür taraması, Web of Science, Scencedirect, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Taranan çalışmaların dönem aralıkları son 5 yılın yoğunluk olarak son 2 yılın çalışmaları şeklinde seçilmiştir. Tarama süreci “artificial intelligence”, “blockchain” “food fraud”, “food safety”, “food supply chain” “traceability” ve “omics technologies” anahtar kelimeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gıda Sahteciliği ve Tedarik Zincirleri

Gıda sahteciliği, ekonomik kazanç elde etmek amacıyla gıda ürünlerinin kasıtlı olarak değiştirilmesi veya gerçeğe aykırı biçimde sunulması sonucu tüketicilerin yanıltılması olarak açıklanmaktadır (Marin vd., 2025). Gıda sahteciliği türleri arasında ikame (gıdada bulunan değerli bileşenlerin daha düşük değerdeki bir bileşenle değiştirilmesi), sulandırma, gizleme (düşük kalitede olan bileşenlerin saklanması), taklit etme, onaysız iyileştirme (kalite özelliklerini arttırmak için bilinmeyen maddelerin eklenmesi) yer almaktadır (Costa vd., 2024). Gıda sahteciliği, etik ilkelerin ihlal edilmesiyle birlikte hem halk sağlığını hem de çevreyi doğrudan tehdit eden ciddi bir sorundur (Seçer vd., 2025).

Tarih boyunca gıda sahteciliği, ciddi sağlık risklerine yol açan trajik olaylara yol açmıştır. Örneğin 1857 yılında ABD'nin New York kentinde bazı sahte süt satıcıları, ineklerini bira posası ile beslemiş ve sütlerine un, su ve alçı ekleyerek tatlandırmıştır. Bu sütler saf, doğal ve anne sütünden daha besleyici olarak pazarlanmış ve bu sebeple de 8000'den fazla bebek hayatını kaybetmiştir. Diğer bir örnek 2008 yılında Çin'de yaşanan melamin skandalı olmuştur. Bu skandalın nedeni, bebek süt ürünlerindeki protein oranını arttırmak amacıyla süte melamin eklenmesidir. Bu durumun ortaya çıkışıyla beraber, tüketicilerin süt endüstrisine

olan güveni sarsılmış ve firma milyarlarca dolar kaybetmiştir. Gıda sektöründeki sahtecilik örnekleri bunlarla da sınırlı kalmamıştır (Ma vd., 2025). 1981 yılında İspanya’da meydana gelen tehlikeli zeytinyağı olayı, endüstriyel yakıt yağının insan tüketimine sunulması sonucu ortaya çıkan ciddi bir gıda sahteciliği vakasıdır. Bu olay, 1200 kişinin ölümüne ve 20.000 kişinin de hastaneye yatmasına yol açmış ve tarih boyunca yaşanan en ciddi gıda sahteciliği olayı olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde, 2013 yılında ortaya çıkan at eti skandalı, Portekiz başta olmak üzere pek çok Avrupa ülkesinde sığır eti olarak etiketlenen ürünlerde at eti bulunmasıyla gündeme gelmiştir. Bu durum, tüketiciler, hükümetler ve gıda işletmeleri için gıdalardaki sahteciliğin küresel gıda sistemi üzerindeki etkileri konusunda önemli bir uyarı niteliği taşımaktadır. Gıdalardaki sahtecilik, tüketici tercihleri ve alışkanlıkları üzerinde kısa vadeli olumsuz etkiler yaratmakta ve gıda tedarik zincirinin genel işleyişi ve verimliliğini de olumsuz etkilemektedir (Costa vd., 2024). Gıda tedarik zinciri, hammaddenin temininden nihai ürünün tüketiciye ulaşmasına kadarki tüm süreçleri kapsamakta ve gıdanın güvenli ve kaliteli bir şekilde korunmasını hedeflemektedir. Zincirin etkin ve verimli işlemesi için süreçlerin koordinasyonu, işletmeler arası iletişimin güçlendirilmesi, teknolojik gelişmelerden yararlanılması ve uygun lojistik stratejilerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır (Zengin vd., 2024). Tedarik zincirinde gıda sahteciliği yaygın ve sürekli artan bir sorundur. Örneğin tahıl tedarik zincirinde en sık rastlanan sahtecilik uygulamalarından birisi, makarna üretiminde kullanılan durum buğdayına ekmeklik buğdayın karıştırılmasıdır. Bu tür bir karışım için izin verilen üst sınır yaklaşık %3’tür. Bu oranı aşmak durum buğdayından üretilen makarnanın kalite standartlarını bozmaktadır. Bu olayın bir örneği Kanada’da gözlenmiş, ekmeklik buğdayın durum buğdayına oranla %25 daha düşük fiyatı, bu eklemeyi cazip hale getirerek sahtecilik faa-

liyetlerine zemin hazırlamıştır. Benzer şekilde, beyaz pirincin farklı tahıllarla karıştırılması da yaygın görülen bir sahtecilik yöntemidir. Örneğin Çin’de beyaz pirincin Kore beyaz pirinci ile karıştırıldığı bildirilmiştir. Bu tür sahtecilik faaliyetleri, tedarik zincirinde gerçekleştirilen kontroller sırasında sıvı kromatografi yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (Aslam vd., 2024). Bal, yüksek besinsel ve terapötik değeri nedeniyle gıda sahteciliğine sıklıkla maruz kalan ürünler arasında yer almakta ve bu durum ürün özgünlüğünü olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada, bal tağşişinin belirlenmesi amacıyla baş boşluğu katı faz mikroekstraksiyonu (HS-SPME), iyon hareketliliği spektrometrisi (IMS) ve kemometrik analizlerin birlikte olduğu bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmaya göre, otantik kişniş balı örnekleri, invert şeker ve yüksek fruktozlu mısır şurubu (HFCS) ile %5-50 oranlarında karıştırılarak doğrudan tağşiş durumu oluşturulmuş ve şekerle beslenen arılardan elde edilen bal örnekleri kullanılarak dolaylı tağşiş durumu değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımla hem kasıtlı ürün tağşişi hem de üretim sürecine bağlı özgünlük kayıplarını değerlendirme durumu oluşmuştur. Çalışmanın analiz sürecinde, uçucu bileşikler HS-SPME yöntemiyle ekstrakte edilmiş ve IMS kullanılarak karakterize edilmiştir. Elde edilen veriler, Temel Bileşen Analizi (PCA), Doğrusal Ayırma Analizi (LDA), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Karar Ağacı (DT) gibi farklı kemometrik yöntemler kullanılmıştır. Araştırmacılar PCA sonuçlarına göre; otantik ve tağşiş edilmiş bal örnekleri arasında belirgin bir ayırım sağlandığını ortaya koyarken, sınıflandırma performansı açısından en yüksek doğruluk %99 ile SVM modeli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durumu sırasıyla, %98 doğruluk oranıyla DT ve %97 doğruluk oranıyla LDA modelleri olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, balda tağşişin belirlenmesinde uçucu bileşik profiline dayalı, kemometri destekli analitik yaklaşımların geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, maliyet

etkin ve yüksek ayırt ediciliğe sahip olduğu ifade edilmektedir (Pourmoradian vd., 2025).

Küreselleşme ve teknolojik rekabet, gıda tedarik zincirlerini giderek daha karmaşık bir yapıya dönüştürmüştür. Geleneksel yöntemler ise tedarik zincirinde artan şeffaflık ve hesap verilebilirlik gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle Endüstri 4.0 teknolojileri, özellikle blok zincir uygulaması, tedarik zincirinin izlenebilirliğini ve şeffaflığını güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Duan vd., 2024). Bu yaklaşım, gıda tedarik zincirinde de uygulanabilmekte olup bu sayede üretim bilgileri, menşe, depolama ve taşıma sıcaklıkları son kullanma tarihi gibi veriler dijital olarak saklanabilmektedir. Blok zincir teknolojisi, gıda güvenliği, gıda güvencesi ve bütünlüğünün sağlanmasına katkı sunarak tedarik zincirinde şeffaflık ve hesap verilebilirliği arttırmaktadır (Misra vd., 2020). Şeffaflık, özellikle dış paydaşlar açısından bilgi eksikliğini gidermede önemli bir rol oynamakta; işletme içi ve dışı aktörler arasında bilgi asimetrisini azaltarak paydaşların daha bilinçli değerlendirmeler yapmasına imkân tanımaktadır. Bu sayede işletmeler, faaliyetlerini daha etkin yönetebilmekte ve tedarik zinciri süreçleri üzerinde daha fazla kontrol sağlayabilmektedir (Taşcı ve Güzel, 2023). Tedarik zinciri, mal ve hizmetlerin üretiminden dağıtımına ve nihai teslimine kadar uzanan süreçte yer alan birbirine bağlı kuruluşlardan oluşan bir ağ durumundadır. Tedarik zinciri performansı ise bu ağın hız, kalite, maliyeti güvenilirlik ve esneklik gibi çeşitli göstergeler açısından etkin ve verimli bir şekilde işleyebilme kapasitesini ifade etmektedir. Bu performans, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesinde önemli rol oynamakta ve tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının başarısını yansıtmaktadır (İmamoğlu vd., 2025). Tedarik zincirinde blok zincir teknolojisinin kullanımı, izlenebilirlik, güvenlik ve verimlilik açısından birçok avantaj sunmaktadır. Bu teknoloji, ürünlerin kaynağından nihai tüketiciye kadar olan sürecin şeffaf bir şekilde

yürütülmesini sağlamakta sahte ürünlerin tedarik zincirine girişini engellemektedir. Bu durum da tüketici güvenliğini arttırmaktadır (Genç ve Yüksel, 2024). Bunların yanı sıra, bu teknoloji zaman alıcı ve hataya açık manuel uyumluluk kontrollerini ortadan kaldırarak tedarik zinciri verilerinin daha etkin denetlenmesini sağlamakta, idari süreçleri kolaylaştırmakta ve maliyetleri azaltmaktadır (Taşcı ve Güzel, 2023).

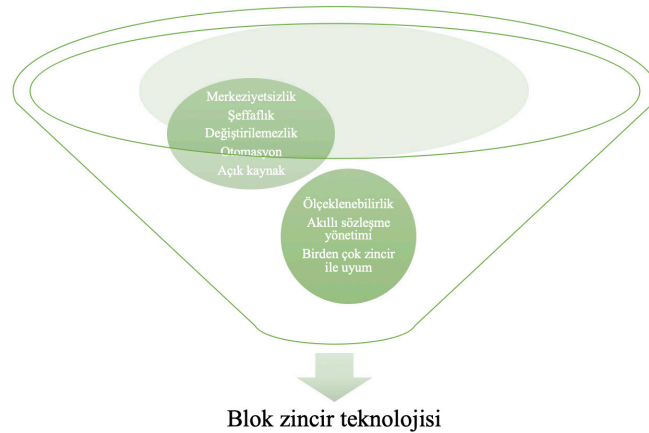
Gıda tedarik zinciri; sağlayıcılar, üreticiler, işleyiciler, dağıtıcılar, perakendeciler, tüketiciler ve düzenleyici kurumlardan oluşan çok aktörlü bir yapıdır. Blok zincir teknolojisi bu aktörler arasında veri akışını şeffaf ve izlenebilir hale getirerek zincirin etkinliğini arttırmaktadır. Sağlayıcı ve üretici aşamasında üretim girdileri ve süreç bilgileri kayıt altına alınarak şeffaflık sağlanırken, işleme ve dağıtım aşamalarında ürün doğrulama, izlenebilirlik ve kalite kontrol desteklenmektedir. Perakendeciler ürün bilgilerini yönetebilirken, tüketiciler QR kod aracılığıyla ürün geçmişine erişerek güvenilir bilgiye ulaşmaktadır (Gökoğlan ve Atalan, 2022). Bu teknoloji, gıda tedarik zincirinde izlenebilirliği ve şeffaflığı önemli ölçüde artırarak gıda sahteciliğiyle mücadelede kritik bir rol üstlenmektedir. Ürünlerin kaynağından itibaren izlenmesini sağlayarak hem düzenleyici gereklilikler giderilmekte hem de tüketicilerin doğru, güvenilir bilgi beklentileri giderilmektedir (Duan vd., 2024). Blok zincir teknolojisi, iki taraf arasındaki işlemleri verimli, doğrulanabilir ve kalıcı bir biçimde kaydeden açık ve dağıtılmış bir dijital defter sistemi olarak tanımlanmaktadır. Bu teknolojiye veriler farklı bloklarda depolanır ve bu bloklar birbirine bağlanarak doğrulanmış bir bilgi zinciri oluşturur (Friedman ve Ormiston, 2022). Blok zincirin merkeziyetsiz ve değiştirilemez yapısı sayesinde veriler tedarik zinciri katılımcıları arasında güvenli ve kesintisiz paylaşılmakta, bu durum da şeffaflık ve izlenebilirliği arttırmaktadır (Keramati vd., 2025). Dağıtık kayıt defteri teknolojisine dayanan blok zincir, tedarik zincirindeki tüm paydaşların ürün işlem

geçmişine gerçek zamanlı, güvenilir ve değiştirilemez şekilde erişimini mümkün kılmaktadır. (Uyar vd., 2025). Blok zincir; beslenme, sağlık, hayvan yetiştiriciliği, çiftlik üretimi, gıda işleme, ambalajlama, lojistik ve tüketici sepetine kadar ürün detaylarına ilişkin verileri yöneterek bütünlük ve şeffaflığı sağlamaktadır. Örneğin, bir blok zincir kayıt sisteminde farklı paydaşlar sürece ilişkin farklı bilgileri kaydeder. Çiftçiler hayvan besleme, üreme ve sağlık durumuyla ilgili verileri kayıt altına alırken; üreticiler işleme teknikleri, ambalajlama, etiketleme, hijyen koşulları ve finansal işlemleri belgelendirir. Tedarikçiler, nakliye süresince çevresel koşullara ilişkin verileri sağlar; perakendeciler ise ürün stokları, depolama koşulları ve son kullanma tarihleri gibi bilgileri sisteme kaydeder. Son olarak tüketiciler, QR kod aracılığıyla ürünün tüm detaylarına erişebilmekte ve kalite ile güvenlik bilgileri sayesinde ürünlerin güvenilirliğini doğrulayabilmektedir (Bhat vd., 2025). Yapılan bir çalışmada, domuz eti ve mango gibi ürünlerde

gıda güvenliğini arttırmak amacıyla blok zinciri teknolojisi kullanılmıştır. Bu sistemde; çiftlikten başlayarak paketleme tesisleri, nakliye aşamaları ve nihai tüketiciye kadar tüm süreçlerdeki düğümlerden dijital verilerin toplanması sağlanarak tedarik zincirine şeffaflık kazandırılmıştır. Önceleri günler süren izleme işlemi, blok zinciri sayesinde yalnızca birkaç dakika içerisinde tamamlanabilir hale gelmiştir. Böylelikle aracı işlemleri maliyetleri azaltılmış, veri manipülasyonu ve sahtecilik riski düşürülmüş aynı zamanda paydaşlar arasındaki güven düzeyi artmıştır. Dolayısıyla, blok zinciri teknolojisi ürünlerin kimliklendirilmesi ve takibini gerçek zamanlı olarak yapılmasını mümkün kılmakta; bu özellikleri sayesinde hem etkili pazarlama aracı olarak kullanılabilen hem de müşteri sadakatini güçlendirmektedir (George vd., 2019). Blok zincirin şeffaflığını, avantajları ve özellikleri ve gıda tedarik zinciri aktörleri Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.

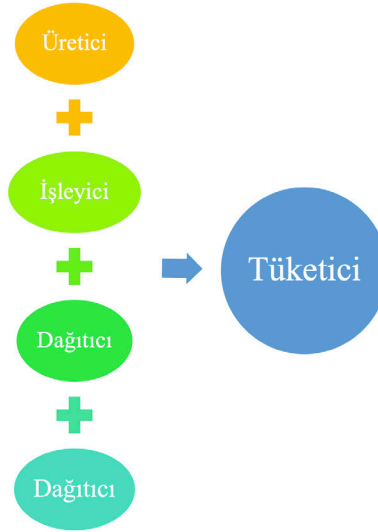
Şekil 1

Blok zincir teknolojisinin özellikleri ve avantajları (Rajput vd., 2025)



Şekil 2

Blok zincir uygulamalarının gıda tedarik zinciri paydaşları (Rajput vd., 2025)



Gıda sektöründe sahtecilik ve yasa dışı faaliyetler önemli bir tehdit unsuru olmaya devam etmektedir. Ancak blok zincirinin sağladığı şeffaflık ve değiştirilemez kayıt yapısı, bu tür risklerin azaltılmasına önemli katkı sunmaktadır. Böylelikle, gıda ürünlerinin doğruluğuna olan tüketici güveni artmakta ve bunun sonucunda da hem sosyal hem de ekonomik kazanımlar elde edilmektedir (Apeh ve Nwulu, 2025). Tedarik zincirinde izlenebilirlik, hammadde-lerin ve son ürünlerin kaynağına, ayrıca üretimden tüketime kadar geçen tüm aşamalarına ilişkin bilgilere erişimi sağlayan bir sistemdir. Bu kapsamda, bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı izlenebilirlik uygulamalarında otomatik teknolojileri, özellikle barkodlar ve RFID (radyo frekanslı tanımlama) en yaygın kullanılan araçlardandır (Pavithra vd., 2025). RFID, görüş hattına ihtiyaç duymadan uzaktan ve aynı anda çok sayıda nesne ile iletişim kurulmasını sağlayan bir otomatik tanımlama ve veri toplama (AIDC) teknolojisidir. Bu gelişmiş izleme yeteneği sayesinde, doğru izleme yoluyla hırsızlık ve sahteciliğin önlenmesiyle stok kayıplarını doğrudan; bilgi doğruluğu ve görünürlüğü artırılması yoluyla dolaylı olarak azaltabilmektedir (Biswal vd., 2018).

Lojistik alanında RFID; üretim süreci yönetimi, depo yönetimi, lojistik takibi ve ürün sahteciliğini önleme gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. RFID'nin geniş ölçekli kullanımını sayesinde tedarik zinciri yönetim düzeyi önemli ölçüde gelişmiştir. Bu teknoloji, tarımsal gıda tedarik zincirinde "çiftlikten çatala" kapsamlı izlenebilirlik ve denetim mekanizması sağlamaktadır. Böylece, herhangi bir gıda güvenliği sorunu ortaya çıktığında, problemin kaynağı hızlı bir şekilde belirlenebilmekte ve gerekli müdahaleler etkin bir biçimde gerçekleştirilmektedir (Tian, 2016).

Son yıllarda çeşitli gıda tedarik zinciri platformları blok zincir teknolojisini aktif olarak kullanmaktadır. Bu platformlar, takip mekanizmaları, veri yönetimi, depolama ve iletişim yöntemleri ile token tabanlı teşvik modellerinin uygulanışı açısından farklılıklar göstermektedir (Zhang vd., 2025). Blok zincir teknolojisi, birçok avantaj sunmasına rağmen, uygulama sürecinde çeşitli sınırlılıklar ve maliyet unsurları barındırmaktadır. Özellikle kodlama altyapısının kurulması, veri depolama ve veri trafiği maliyetleri, iş sürecinin yeniden yapılandırılması ve farklı sistemlerin entegrasyonu önemli ma-

liyet kalemleri arasındadır. Bunların yanı sıra, blok zincir tabanlı sistemlerde, siber güvenlik riskleri ve üçüncü taraflarla iş birliği süreçlerinde ortaya çıkan belirsizlikler bu teknolojinin kullanımındaki zorluklardandır (Çalış-Duman, 2023). RFID etiketleri de daha yüksek düzeyde güvenlik sağlamakla birlikte maliyetlerin yüksek olması önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Genellikle RFID etiketleri işleme aşamalarında, QR kodlar ise nihai ürünlerde tercih edilmektedir (Zhang vd., 2025).

Gıda Kalitesi ve Tüketici Beklentileri

Gıda seçimi, gıda üretim sistemleri üzerinde belirleyici etkisi bulunan çok boyutlu ve karmaşık bir süreçtir. Bu bağlamda, tüketicilerin gıda tercihlerinde rol oynayan unsurların ortaya konulması ürün geliştirme süreçleri ile pazarlama yönetiminin etkinliği açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda, bireylerin gıda seçim süreçlerinin anlaşılması; sağlıklı yaşam alışkanlıklarının teşviki, dağıtım ve pazarlama sorunlarının çözümü ve küresel gıda pazarındaki sosyoekonomik problemlerin ele alınması açısından önem taşımaktadır. (Girgin ve Karataş, 2017). Bununla birlikte, modern gıda sistemlerinin artan karmaşıklığı, gıda etkileşimlerinin çoğunlukla üreticiler, düzenleyiciler ve denetim birimleri gibi araçlar üzerinden yürütülmesine neden olmaktadır. Bu durum, kurumsal güvenin güçlü düzenleme ve denetim mekanizmaları ile gıda güvenliğine ilişkin bilgilerin açık ve şeffaf paylaşımı üzerine kurulmasını gerektirmektedir (Kendall vd., 2019).

Bu bağlamda gıda güvenliği, insan sağlığını doğrudan etkileyen ve çiftlikten sofraya uzanan süreçte izleme ve denetim gerektiren bir alandır. Bu süreç, farklı aşama ve uzmanlık alanlarını kapsamakta olup ulusal ve uluslararası standartlar ile yasal düzenlemelere dayanmaktadır. Gıda güvenliği; gıdalarda oluşabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik risklerin önlenmesini amaçlamakta ve tüketim için uygun ve besin değerini koruyan ürünlerin sağlanmasını

ifade etmektedir (Beykaya, 2020). Son yıllarda tüketici bilincinin artması ve gıda mevzuatlarının güncellenmesi, gıda güvenliğinin önemini daha da arttırmıştır. Güvenli gıda üretiminin sağlanması, gıda güvenliği sisteminin doğru bir şekilde yapılandırılmasına bağlıdır. Üretim zincirinin herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek bir aksaklık, nihai ürünün güvenliğini doğrudan riske atabilmektedir. Bu nedenle gıda güvenliği, tüm süreçlerin bütüncül ve ke-sintisiz şekilde izlenmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda izlenebilirlik, gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. İzlenebilirlik, bir ürünün üretiminden satışına kadar tüm süreçlerin kayıt altına alınmasını ve geriye dönük incelenmesini mümkün kılmaktadır (Kantaroğlu ve Demirbaş, 2019). Bir gıda izlenebilirlik sisteminin, tüketicilerin gıda güvenliğine duyduğu güveni tesis etme ve artırma amacını yerine getirebilmesi için, tüketicilerin bu sisteme güven duyması ve sistemi kabul etmesi gerekmektedir. Sistemin tüketici güvenini kazanmasının bir yolu, gıda üretimi ve işlenmesine ilişkin bilgilerin sağlanmasıdır. Bu yaklaşım, gıdaya ilişkin bilginin sunulmasının tüketicilerin bu yöndeki bilgi ihtiyacını karşılayacağı anlamına gelmektedir (Zhang vd., 2020). Ayrıca, bu sistem, gıda güvenliği ve kalitesini korumanın yanı sıra, tedarikçiler ve perakendeciler arasında iş birliğini güçlendirerek tüketici taleplerine daha hızlı yanıt verilmesini sağlar (Kantaroğlu ve Demirbaş, 2019).

Gıda Doğrulama Yöntemleri ve Omik Teknolojiler

Güvenli, besleyici ve sürdürülebilir gıdaya olan küresel talebin artmasıyla birlikte, modern biyoteknoloji gibi ileri teknolojiler gıda kalitesi, özgünlüğü ve güvenliğini sağlamada kritik bir rol oynamaktadır (Okoye vd., 2024). Gıdaların kimyasal bileşimi (parmak izi), kalite, köken, özgünlük veya tağşiş durumlarının belirlenmesinde son derece güçlü bir göstergedir. Bu parmak izlerindeki değişimler, üretim sistemlerindeki farklılıklar hammaddelerin coğrafi kökeni,

depolama koşulları veya taşıma uygulamaları gibi çeşitli etmenlere bağlı olarak metabolit düzeylerinde meydana gelen değişiklikleri yansıtabilmektedir. Bu nedenle, gıda parmak izleri gıda özgünlüğünün izlenmesinde güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir (Medina vd., 2019). Bu bağlamda, beslenme ve sağlık destekleyici özelliklere sahip tıbbi bitkiler ve aromatik otlar gibi ürünler de dahil olmak üzere, gıda ürünleri ve türevlerinin kalite ve özgünlüğünün değerlendirilmesinde doğru ve tutarlı yaklaşımların kullanılabilmesi için sağlam ve güvenilir analitik yöntemler oldukça önemlidir (Garcia-Perez vd., 2024). Bir gıdanın özgün olup olmadığını tespit etmek ve kimyasal analizlerle kontaminasyon ya da taşıması saptamak için ayırt edici bir veya birkaç molekülün tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla gıda doğrulamasında iki temel yaklaşım kullanılmaktadır: hedefe yönelik ve hedefe yönelik olmayan yöntemler. Hedefe yönelik yöntemde, belirli bir özgünlük sorununu doğrudan tanımlayan doğrulanmış belirteç moleküller kullanılmaktadır. Bu yöntem yüksek duyarlılık ve özgüllük sağlasa da örnek hakkında ayrıntılı ön bilgi gerektirmesi ve ilgili bileşiklerin önceden bilinmesini zorunlu kılması nedeniyle sınırlıdır. Hedefe yönelik olmayan yöntemlerde ise, gıdaların bileşimine dair ön bilgiye gerek olmaksızın geniş kapsamlı karşılaştırmalar yapılabilmektedir. Bu yöntemler genellikle kemometri ile birlikte kullanılarak çeşit, içerik ve coğrafi köken gibi özelliklerin referans alınabileceği kapsamlı ve güvenilir veri tabanlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Lolli ve Caligiani, 2024). Bu yaklaşımın önemi, gıda çeşitliliğinin fazla olması ve bileşen yapısının karmaşıklığı nedeniyle gıda özgünlüğü analizinin gıda kalitesine ilişkin sorulara yanıt olarak geliştirilmiş olmasıyla daha da belirgin hale gelmektedir. Bu doğrultuda, özgünlük değerlendirmelerinde hızlı ve etkin sonuçlar elde edebilmek amacıyla hızlı analiz yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve uygulamaya geçirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bununla

birlikte gıda özgünlüğüne ilişkin ihtiyaçlar değişkenlik gösterse de farklı analitik teknikler temelde çeşitli parmak izlerini tanımlayan bilgilendirici veri setlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen bu veri setleri, çoğunlukla kemometrik yöntemlerle işlenmekte ve yorumlanmaktadır (Zhang vd., 2024). Kemometri temelde iki ana kategori altında incelenmektedir. Birincisi; temel bileşen analizi, hiyerarşik kümeleme analizi ve paralel faktör analizi gibi yöntemleri kapsar ve bu analizler veri setinin genel yapısını, varyansını, olası aykırı değerleri ve etkili değişkenleri ortaya koyar. İkincisi ise, doğrusal ve kuadratik diskriminant analizi ile k-en komşu gibi sınıflandırma yöntemlerini içerir; bu analizler örneklerin belirli gruplara atanmasında, menşe veya çeşit doğrulamasında ve sahtecilik tespitinde kullanılmaktadır. Kemometri çoğunlukla spektroskopik tekniklerle ilişkilendirilse de nükleer manyetik rezonans (NMR) ve kütle spektrometrisi (MS) için de rutin bir tamamlayıcıdır. Son zamanlarda, NMR'nin hedefe yönelik ve hedefe yönelik olmayan analizlerde gıda kalitesi ve özgünlüğünü doğrulamak ve sahte ürünleri tespit etmek için kullanımı artmıştır (Visciano ve Schirone, 2021). Hedefe yönelik olmayan yöntemlerin uygulanmasıyla beraber omik teknolojiler gıda doğrulaması için geliştirilmiştir (Lolli ve Caligiani, 2024). Yüksek verimli yeni nesil dizileme (NGS) kütle spektrometrisi ve diğer analitik araçlardan yararlanılarak gıdalardaki DNA, protein, metabolit ve gen ifade modelleri gibi çeşitli bileşenler tanımlanıp nicel olarak belirlenebilmektedir. Genomik, metagenomik, proteomik, metabolomik ve transkriptomik gibi omik teknikler gıda sistemlerindeki biyolojik moleküllerin bileşimi, işlevi ve etkileşimlerine ilişkin kapsamlı bilgiler sağlamaktadır (Okoye vd., 2024). Kütle spektrometrisine dayalı omik teknolojiler, gıda bileşimini tanımlamak için kullanılan gözlemlenebilir moleküler alanın kapsamını ve derinliğini önemli ölçüde genişletme potansiyeline sahiptir. Özellikle meta-

bolik, gıdalarda hem endojen hem de eksojen olarak bulunan çeşitli küçük molekülleri analiz etmek için güçlü bir yaklaşım sunmaktadır. Bunlar, vitaminler, aminoasitler ve flavonoidler gibi olumlu sağlık etkileriyle ilişkili moleküllerin yanı sıra pestisitler ve polifloroalkil maddeler gibi çevresel kontaminantlar gibi olumsuz sağlık etkileriyle ilişkili molekülleri de kapsamaktadır (Odenkirk vd., 2025).

Proteomik, “protein” ve “genomik” sözcüklerinin birleşiminden oluşan ve biyoloji alanı içinde yer alan bir terimdir. Bu terim ilk kez 1990’lı yılların ortalarında kullanılmakla birlikte kavramın temeli 1979 yılında Anderson ve Leigh tarafından “Human Proteins Index Project” başlıklı sunumda ortaya konmuştur. Bu çalışmada, yeni geliştirilen iki boyutlu jel elektroforezi tekniği kullanılarak ilgili proteinlerin tanımlanması yoluyla genomun anlaşılması hedeflenmiştir. Proteom terimi, genom tarafından kodlanan proteinlerin tümünü proteomik ise bu terimlerin incelenmesini ifade etmektedir (Agregan vd., 2021). Proteomik; farklı türler, kökenler, büyüme evreleri ve gıda işleme sürecinde meydana gelen değişiklikler arasındaki protein bileşimlerini analiz etmek ve tanımlamak için önemli bir araçtır. Bu nedenle, gıdaların izlenebilirliği ve kalite tanımlaması açısından oldukça önemlidir. Örneğin; bitkisel bazlı et ürünlerinin ortaya çıkışı, vejetaryenler ve et tüketimini azaltmak isteyen bireyler için alternatif olmaktadır. Fakat bu et ikamelerinin içerdiği bileşenlerin kaynağı ve oranı tüketiciler açısından endişe konusu olmaktadır. Proteomik analizler, karmaşık gıda matrislerinde bitki veya hayvan kaynaklı spesifik protein bileşenleri tanımlayarak içerik kökenlerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Kanatlı et sektöründe yapılan bazı araştırmalarda shotgun proteomik ve SWATH-MS teknikleri kullanılarak, tavuk kas yapısı ve enerji metabolizmasıyla yakından ilişkili proteinler belirlenmiştir. Bu proteinler, antibiyotik kullanımını veya üretim ortamının organik standartlara uygunluğunu yansıtan kalite belirteçleri olarak

değerlendirilmektedir. Proteomik uygulamalar, gıda tedarik zincirinde yanlış etiketleme veya düşük kaliteli ürünlerin daha kaliteli ürünlerle değiştirilmesi gibi gıda sahteciliği uygulamalarını en aza indirme potansiyeline sahiptir (Liv vd., 2025). Yapılan bir çalışmada, keçi sütüne inek sütünün karıştırılmasının belirlenmesine yönelik veri bağımsız edinimine (DIA) dayalı proteomik ve metabolomik yaklaşımlar kullanılarak iki süt türü ve bunların karışımları karşılaştırılmıştır. Araştırma bulgularına göre, secretoglobulin ailesi 1D üyesi (SCGB1D) başta olmak üzere bazı proteinlerin göreceli bolluklarının artan inek sütü oranı ile birlikte anlamlı bir şekilde yükseldiği ve bu proteinlerin düşük düzeyli (%1) tağşışın tespitinde belirteç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, peynir altı suyu fraksiyonunda β -laktoglobulin ve α -2-HS-glikoprotein %0,1 gibi çok düşük tağşış düzeylerinde dahi ayırt edici olduğu belirtilmiştir (Fan vd., 2023).

Son yıllarda, gıda tür doğrulaması için bazı izotermal nükleik asit yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında zincir yer değiştirme amplifikasyonu (SDA), rekombinaz polimeraz amplifikasyonu (RPA), nükleik asit dizisine dayalı amplifikasyon (NASBA), dönen daire amplifikasyonu (RCA) ve döngüye dayalı izotermal amplifikasyon (LAMP) yer almaktadır. LAMP, nükleik asit tespit teknolojisi. Mikroakışkan LAMP teknolojisi, son yıllarda ortaya çıkan yeni bir yöntemdir. Bu teknoloji LAMP’ı mikroakışkan teknolojiyle birleştirir ve reaktif ekleme, ayırma ve tespit gibi biyolojik reaksiyon süreçlerini tek bir çip üzerinde entegre eder. Çipte mikron boyutunda kanallar ve farklı fonksiyonel odacıklar bulunur; sıvılar çeşitli hareket prensipleriyle örneğin, santrifüj kuvveti ile farklı birimlere yüklenir ve karıştırılır. Bu teknoloji, genellikle nanolitre seviyesinde sıvı gerektirir bu durum da örnek ve reaktif tüketimini önemli ölçüde azaltır, reaksiyon hızını artırır ve LAMP teknolojisi ile çoklu tespit zorluklarını aşar. Günümüzde bu teknoloji, gıda alerjenleri-

nin üçlü tespiti gibi tıp ve gıda güvenliği analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang vd., 2023). Et sahteciliğinin tespitinde geleneksel morfolojik, spektroskopik, kromatografik, elektroforetik ve immünojenik yöntemler kullanılmakla birlikte, bu tekniklerin çoğu işlenmiş ürünlerde sınırlı, maliyetli, zaman alıcı veya güvenilirliği düşük olabilmektedir. DNA tabanlı yöntemler, özellikle PCR tür tanımlamada daha güvenilir olsa da pahalı bir cihaz olup ve kullanımında uzmanlık istemektedir. Bu sınırlamaları aşmak için LAMP yöntemi geliştirilmiştir. LAMP, sahada hızlı tespit uygulamaları için son derece uygun bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Fang vd., 2025). Günümüzde LAMP tekniği, süt ürünlerinde düşük maliyetli süt çeşitlerinin premium sütlerle karıştırılması veya et ürünlerinde başka etlerin eklenmesi gibi sahteciliğin tespitinde kullanılmaktadır (Liang vd., 2025). Bu yöntem, sabit sıcaklıkta DNA çoğaltarak hızlı ve özgül bir sonuç sağlar. 4-6 primer ile birden fazla gen bölgesini hedefler ve ürünler pH göstergesi, magnezyum pirofosfat bulanıklığı veya floresans ile görsel olarak tespit edilebilir. Bu özellikleri sayesinde LAMP et sahteciliği gibi gıda güvenliği risklerinin hızlı ve pratik tespiti için PCR'a güçlü bir alternatif sunmaktadır (Fang vd., 2025).

Gıda İzlenebilirliği ve Risk Yönetimi Yaklaşımları

Gıda tedarik zinciri bütünlüğü; karmaşık ve çok boyutlu bir kavramdır. Bu kavram; gıda güvenliği, gıda güvencesi, izlenebilirlik, menşe, kalite özellikleri ve ürün bilgilerini kapsamakta olup sonuç bütünlüğüne sahip nihai bir gıda ürünü ifade etmektedir (Davidson vd., 2017). İzlenebilirlik, tedarik zinciri boyunca bileşenlerin sistematik olarak takip edilmesidir. Bu süreç, ürünlerin geri çağrılmalarını önleyerek kalite ve gıda güvenliğini sağlar ve şirketlerin itibarlarını korur. Ayrıca, izlenebilirlik uluslararası ticarete şeffaflığı artırarak tüketici güvenini güçlendiren önemli bir araçtır (Chukwugozie vd., 2024). Gıda izlenebilirliği, tüketim ama-

cıyla kullanılacak herhangi bir gıda, yem, gıda üreten hayvan ya da maddenin; üretim, işleme ve dağıtımın tüm aşamaları boyunca izlenebilirlik yeteneği şeklinde tanımlanmaktadır (Treiblmaier ve Garaus, 2023). Gıda izlenebilirlik bilgi sistemleri ise, ürünlerin tanımlama bağlantıları üzerinden izlenmesini mümkün kılan veri yönetiminin önemli bir bileşenidir. Barkod ve QR kod gibi tanımlama sistemleri, bilgi akışının şeffaflığını artırarak gıda güvenliğini güçlendirir ve tüketici güvenine önemli ölçüde katkı sağlar. Bu kodların taranmasıyla paydaşlar ürün ilgili bilgileri çiftlikten çatala kadar tüm süreç boyunca takip etme olanağına sahiptir. Ayrıca, duyarlılık değerlendirilmesi sayesinde gıda güvenliğini tehdit edebilecek sistemsel zayıflıklar tespit edilebilmektedir. Bu yöntem, potansiyel gıda sahteciliği noktalarının belirlenmesine ve uygun önleme stratejilerinin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır (Chukwugozie vd., 2024). Gıda güvenliği yönetim sistemleri, geleneksel gıda güvenliği tehlikelerini kontrol etmeye yönelik geliştirilmiş olup gıda sahteciliğinin önlenmesi veya yönetimi için özel olarak tasarlanmamıştır. Bununla beraber, üçüncü taraf gıda güvenliği ve kalite standartlarında gıda sahteciliğine yönelik risk değerlendirilmesi veya hassasiyet analizine ilişkin gereklilikler yer almaya başlamıştır. Bu durum gıda endüstrisinin tedarik zinciri ve üretim tesislerindeki zayıf noktaları ve kritik unsurları belirlemesini zorunlu hale getirmektedir. Sahtecilik hassasiyeti, sahtecilerin sistemdeki bir açığı veya zayıflığı kötüye kullanmasına olanak sağlayan bir durumu ifade etmektedir (Soon vd., 2019). Tedarik zincirlerindeki oluşabilecek zayıflıklar bir tehdit unsuru oluşturabileceğinden, bu durum HACCP, VACCP veya TACCP gibi sistemler aracılığıyla risk olarak değerlendirilmelidir (Chukwugozie vd., 2024). Son yıllarda, gıda sahteciliği ve gıda bütünlüğü sorunlarına odaklanan çeşitli risk değerlendirme yaklaşımları geliştirilmiştir. TACCP, tehditlerin analiz edilmesi, zayıflıkların tanımlanması ve üretim sürecinin tamamı için uygun kontrol önlemlerinin uygulanması yoluyla riskin siste-

matik şekilde yönetilmesini amaçlayan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. TACCP, gıda güvenliğini tehdit edebilecek kasıtlı ve kötü niyetli eylemlere odaklanan bir değerlendirme sürecidir. Bu kapsamda ürün, tesis ve işletmeye yönelik sorular ve değerlendirmeler; personel güvenliği, tesis erişim kontrolünü, hizmetler, süreçler üzerindeki güvenlik önlemleri ile malzeme akışı ve taşıma araçlarının güvenli yönetimini kapsamaktadır. VACCP (hassasiyet değerlendirilmesi ve kritik kontrol noktası planı) ise TACCP ile birlikte kullanılan bir süreçtir. VACCP, gıda ile ilgili süreç noktalarının belirli bir suç ya da kötü niyetli faaliyete karşı ne derece savunmasız olduğunu amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu sistem, gıda sahteciliğine karşı duyarlılık ve maruziyete odaklanır. Tedarik zincirindeki savunmasız noktaları belirleyerek gıdanın kasıtlı veya kasıtsız sahteciliğe uğramasını sistematik olarak önlemeyi hedeflemektedir. (Soon vd., 2019). Spink (2023)' e göre, gıda güvenliği için HACCP (tehlike analizi ve kritik kontrol noktası planı), gıda hilesi için VACCP ve gıda savunması için TACCP gibi 3 ayrı değerlendirme sürecinin yürütülmesi gerekmektedir. HACCP, gıda güvenliği sorunlarını başarılı ve etkili bir şekilde ele almak için yaygın olarak kullanılmaktadır. TACCP ise, İngiltere'de gıdaların kasıtlı saldırılara karşı korumaya yönelik olarak geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Gıda hilesinin temelinde sistemdeki hassasiyetler olduğundan, en uygun yaklaşım hassasiyet değerlendirilmesi ve kritik kontrol noktası planı olarak tanımlanan VACCP olmuştur. HACCP sistemi, gıda güvenliği sorunlarının önlenmesine yönelik uygulamaların sistematik bir şekilde uygulanmasını sağlayarak güvenli gıda üretimine önemli katkı sunar. Gıda güvenliğinin sağlanmasında temel yaklaşım, olası sorunları öngörmek ve önleyici çözümler tasarlamaktır. HACCP uygulamaları, gıdanın güvenliğini ve zararsızlığını garanti eder; ürünlerin korunmasını ve süreç hatalarının tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlar. Bu yaklaşım, kalite kusurlarından kaynaklanan maliyetleri azaltır ve üretim sürecindeki nihai üst

düzenli olarak izlemesini bekler. Ayrıca TACCP; ürün, tesis ve işletmede çalışan güvenliği, erişim kontrolleri, süreç ve malzeme güvenliği ile taşıma araçlarının güvenli depolanmasına yönelik değerlendirmeleri kapsamaktadır (Soon vd., 2019). TACCP, üretim sürecinin tamamı boyunca suç teşkil eden ve kasıtlı faaliyetlerden kaynaklanan tehditlerin değerlendirilmesini kırılganlıkların belirlenmesini ve bu tehditleri azaltmaya yönelik orantılı kontrol önlemlerinin uygulanmasını kapsamaktadır. TACCP kapsamında ele alınan sorular ve değerlendirmeler, ürün ve süreçlere, tesislere ve her işletmenin kendine özgü koşullarına göre uyarlanmaktadır. VACCP ise, gıda sahteciliğine odaklanmakla birlikte tedarik zincirindeki kırılgan noktaları belirleyerek kasıtlı ya da kasıtsız olabilecek potansiyel taşışların sistematik olarak önlenmesini amaçlamaktadır (Brooks vd., 2021). TACCP ve VACCP doğru şekilde uygulandığında, kasıtlı saldırı olasılığını azaltır, kurum itibarını korur, müşterilere tedarik zincirindeki risklerin etkin şekilde yönetildiğini gösterir. Bu yaklaşımlar aynı zamanda gıda tedarik zincirinin korunmasına yönelik gerekli önlemlerin alındığını ortaya koyar. Her iki sistemde daha bütüncül bir risk yönetimi sürecinin parçası olarak ele alınmalı ve risklerin sistematik biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamalıdır (Ahmed ve Al-Mahmood, 2023).

Yapay Zekâ Kullanımının Tedarik Zinciri İçin Faydaları

Küresel ekonomik bütünleşmenin ve iş bölümünün derinleştiği günümüz koşullarında, tedarik zinciri istikrarı modern ekonomik sistemlerin dayanıklılığının inşasında temel bileşenlerden birisi olarak öne çıkmaktadır. Ancak son yıllarda COVID-19 pandemisi, jeopolitik gerilimler, aşırı hava olayları ve benzeri ani gelişmelerin etkisiyle küresel tedarik zinciri ağlarında çok sayıda aksaklık yaşanmış; bu durum geleneksel tedarik zinciri yönetim mimarisinin zayıf yönlerini açıkça ortaya koymuştur. Tedarik zinciri kesintileri, işletmelerin satışlarında doğrudan kayıplara, ürünlerin müşterilere ulaştırılmasında gecikmelere, müşteri memnuniyetinin azalmasına yol açabilmekte ve tüm endüstriyel zincirlerin güvenli işleyişi açısından ciddi riskler oluşturmaktadır (Zhang ve Zhang, 2025). Bu durum, tedarik zinciri yönetiminde dayanıklılık, çeviklik ve şeffaflık gereksinimini daha da belirgin hale getirmektedir. Dijital teknolojiler, özellikle de yapay zekâ bu dönüşümün merkezinde yer almaktadır (Bahroun vd., 2025). Gıda sektörü, tedarik zincirlerini iyileştirmek için yapay zekâyı kullanarak ürünleri her aşamada izlemekte ve tedarik zincirinin her aşamasında test ederek sektör ve tüketici gerekliliklerine uygunluğunu sağlamaktadır. Yapay zekâ, ürünlerin çiftlikten sofraya kadar şeffaf ve etkin biçimde izlenmesini kolaylaştırarak tüketici güvenini arttırmaktadır (Zatsu vd., 2024). Yapay zekâ, gıda tedarik zincirinde gıda güvenliği, kalite kontrolü, izlenebilirlik ve atık azaltımı gibi kritik alanlarda önemli rol oynamaktadır. AI, veri entegrasyonu, şeffaflığı ve gıda tedarik zinciri koordinasyonunu arttırarak hasat sonrası kayıpları azaltmakta ve izlenebilirliği geliştirmektedir. Makine öğrenmesi ve kestirimsel analizler, özellikle bozulabilir ürünlerde talep tahmini yaparak bozulmayı önlemekte ve optimal depolamaya katkı sağlamaktadır. Yapay zekâ teknolojileri (sinir ağları, destek vektör makineleri, bilgisayarlı görme vb.) büyük veri analizi ve sensör sistemleriyle gıda güvenliği

risklerini tahmin ederek gerçek zamanlı tespit imkânı sunmaktadır. AI, IoT ve blok zincir ile birlikte kullanıldığında tedarik zinciri boyunca uçtan uca izlenebilirlik ve daha yüksek hesap verilebilirlik sağlar. Örneğin; RFID etiketleri ve kablosuz sensör ağları, et, sebze-meyve ve süt ürünlerinin soğuk zincir lojistiğinde sıcaklık ve nem takibini mümkün kılarak kalite kontrolünü desteklemektedir (Singh, 2025).

Yapay zekâ; üretim, fenoloji, hayvancılık yönetimi, entegre bitki-hayvan sistemleri, hastalık ve yabancı ot tespiti, verim tahmini, su ürünleri yetiştiriciliği, hasat, işleme, ambalajlama, dağıtım gibi pek çok gıda ve tarım sisteminde giderek artan bir biçimde kullanılmaktadır (Das vd., 2025). AI, geleneksel gıda üretim sistemlerinin yerine uygulanabilir ve özellikle üretim sürecinde kalite metriklerini tahmin etmek, üretimi iyileştirmek ve düzenleyici uyumluluğu sağlamak için özel modeller geliştirebilmektedir. Bu yaklaşım, üretim süreçlerinin optimize edilmesini ve ürün kalitesinin güvence altına alınmasını sağlamaktadır. AI'nın üretim süreçlerindeki bir diğer uygulama alanı ise ürünlerin dış kalite özelliklerinin izlenmesidir. Dış kalite; depolama sırasında şekil, boyut, renk değişimi, raf ömrü tahmini, kahverengileşme ve erime özellikleri içermektedir. Bu analizler genellikle, ekipman, uzman denetçiler veya gıda denetçileri tarafından yapılmaktadır. Ürünlerin dış kalite incelemesi için hiperspektral, multispektral ve standart bilgisayarlı görüntü sistemleri (CVS) kullanılabilir. Görüntü analizi ile tahıllardaki kusurlar boyut ve şekle göre öngörülebilir, böylece bozuk fasulyeler daha kolay ayrılabilir. AI, gıda sahteciliğinin tespitinde gerçek ve sahte ürünlerin veri setlerini yöneterek algoritmaları, ürünlerdeki en küçük bileşimsel farklılıkları tespit edecek şekilde eğitmeyi içerir (Nath vd., 2024; Das vd., 2025). Bu farklılıklar, işleme sürecini algılayarak sahtecilik modelinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu teknoloji, görünmeyen sahte katkı maddelerini tahribatsız bir şekilde tanımlamada büyük bir

potansiyeye sahiptir. Ayrıca AI, sahte katkı maddelerinin tespitinde özellikle çok sayıda ürün için etkili ve maliyet açısından verimli bir yaklaşım sunar. Yapay zekâ, gerçek ve sahte ürünlere ait daha fazla örneği analiz ettikçe, yeni verilerden öğrenme ve uyum sağlama yeteneği sayesinde doğruluğunu giderek arttırmaktadır (Nath vd., 2024).

Dijital teknolojiler ve yapay zekâ ile desteklenen izlenebilirlik ve şeffaflık, küresel demografik ve çevresel zorluklar karşısında gıda güvenliği, tedarik zinciri bütünlüğü ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik öneme sahiptir (Rossi vd., 2025). Yapılan bir çalışmada, kakao tedarik zincirinde yapay zekâ kullanımı sistematik ve disiplinler arası bir bakış açısıyla incelenmiştir. Çalışmada, yapılan literatür taraması sonucu yapay zekânın özellikle mahsul izleme, hastalık

tespiti, akıllı sulama, hasat sonrası kalite kontrol ve izlenebilirlik gibi zincir aşamalarında etkin bir şekilde kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, düşük maliyetli ve yorumlanabilir yapay zekâ modellerinin küçük ölçekli çiftçilerin sisteme dahil olmasının kolaylaştırdığı ve tedarik zincirinde veri odaklı karar alma süreçlerini destekleyerek şeffaflığı arttırdığı gözlemlenmiştir. Çalışma, yapay zekânın yalnızca teknik bir araç olmasının ötesinde organizasyonel dönüşümü teşvik eden ve sosyal boyutları da entegre eden bir mekanizma olarak işlev gördüğünü göstermektedir. Sonuç itibarıyla, yapay zekânın kakao zincirinde uygulanması hem operasyonel verimliliği arttırmakta hem de sürdürülebilir ve etik bir dijital dönüşümü desteklemektedir (Apicella, 2025). Blok zincir ve yapay zekâ entegrasyonunun tedarik zincirindeki rol ve etkileri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1

Blok zincir ve yapay zekâ entegrasyonunun tedarik zincirindeki rol ve etkileri

Alan	Entegre etki	Kaynak
İzlenebilirlik	Veri entegrasyonu ile kayıp azaltma	Singh, 2025
Talep ve depolama	Talep tahmini sayesinde bozulmaları önlemek	Singh, 2025
AI+IoT	Uçtan uca izlenebilirlik, şeffaflık	Singh, 2025
Üretim	Kalite tahmini ve üretim iyileştirme	Nath vd., 2024; Das vd., 2025
Süreç optimizasyonu	Kalite güvencesi sağlama	Nath vd., 2024; Das vd., 2025
Kalite izleme	Dış kalite özelliklerini analiz etme	Nath vd., 2024; Das vd., 2025
Sahtecilik tespiti	Sahte katkı maddelerinin düşük maliyetle tespiti	Nath vd., 2024

Yapay Zekâ Destekli Tedarik Zincirlerinde Yaşanan Zorluklar ve Sınırlılıklar

Küresel ölçekte artan gıda talebi, iş gücü kısıtları, yoğun rekabet, değişen tüketici tercihleri, maliyet artışları ve sürdürülebilirlik gereksinimleri, gıda endüstrisini sürekli modernleşme ve yenilik arayışına itmektedir. Bu gereksinimlere yanıt olarak, üretimin dijitalleşmesine dayanan Endüstri 4.0 kavramı öne çıkmaktadır ve bu kavram gıda endüstrisinde köklü değişikliklere yol açmaktadır. İleri dijital teknolojilerin, otomasyonun, veri alışverişinin ve yapay zekânın

entegrasyonu ile geleneksel üretim ve yönetim modellerinin gıda değer zinciri boyunca dönüştürme potansiyeli sunmaktadır. Gıda endüstrisinde dönüşümün en umut verici yönlerinde biri, süreçleri optimize eden, gıda kalitesi ve güvenliğini iyileştiren ve inovasyonu destekleyen yapay zekâ uygulamalarıdır. İşleme zinciri boyunca yani çiftlikten çatala kadar yapay zekâ algoritmalarının uygulanması, sürdürülebilirlik ve önemli verimlilik kazanımların öngörüsünü sunmaktadır (Kurdys-Kujawska vd., 2025). Bu noktada yapay zekâ çözümleri önemli bir po-

tansiyel sunsa da bu sistemlerin eğitimi yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ayrıca, değerlendirmelerde tutarlılığın sağlanabilmesi için düzenli olarak kalibrasyon ihtiyacı doğmaktadır. Tüm bu zorluklar yapay zekâ tabanlı kalite değerlendirme sistemlerinin tekrar edilebilirliğini ve güvenilirliğini sınırlamakta, dolayısıyla gıda endüstrisinde bu teknolojilerin etkin kullanımını önemli bir güçlük alanı haline gelmektedir (Baciulienė vd., 2023). Bunların yanı sıra, yeni dijital sistemlerin entegrasyonu, mali kaynakların yanı sıra insan kaynağı yatırımı ve operasyonel süreçlerin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmakta ve bu durum özellikle KOBİ (küçük-orta büyüklükteki işletmeler) açısından ciddi bir engel oluşturmaktadır (Karabay, 2024). Yapay zekâ teknolojilerinin tedarik zincirlerine entegrasyonu önemli fırsatlar sunsa da çeşitli yapısal, kültürel ve etik engellerle karşılaşmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının etkinliği büyük ölçüde veri kalitesine bağlı olup, yetersiz veya uyumsuz veriler hatalı kararlar ve operasyonel aksaklıklara neden olabilmektedir. Bu engeller, ekonomik boyutun yanı sıra değişime karşı organizasyonel dirençle de ilişkilendirilmektedir (Çelik, 2025).

Sonuç

Gıda tedarik zincirleri, ürünlerin çiftlikten tüketiciye kadar uzanan çok aşamalı ve karmaşık yapısı nedeniyle gıda sahteciliğine ve olası kalite risklerine karşı açık bir sistemdir. Geçmiş yıllara bakıldığında gıda sahteciliğinin, halk sağlığını tehdit eden ciddi sonuçlara yol açtığını ve bu durumun da gıda tedarik zincirlerinde şeffaflık, izlenebilirlik ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesini zorunlu kıldığı görülmektedir. Geleneksel yöntemler büyük ölçüde insan deneyimine ve sınırlı veri akışına dayandığından, artan küresel ticaret hacmi ve tedarik zinciri karmaşıklığı karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ, gıda tedarik zincirlerinde sahteciliğin önlenmesi ve gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli

sistemler sayesinde, ürünlerin kökenleri bileşimleri ve işlem geçmişleri şeffaf ve güvenilir biçimde takip edilebilmekte sahtecilik girişimleri erken aşamada tespit edilebilmektedir. Bunlara ilaveten, yapay zekânın nesnelere interneti ve blok zincir gibi dijital teknolojilerle entegre kullanımı “çiftlikten çatala” uzanan bu sürecin kapsamlı biçimde izlenebilmesine olanak tanımaktadır. Bir yandan bu entegrasyon, tedarik zincir paydaşları arasında bilgi paylaşımını arttırarak şeffaflığı güçlendirmekte ve tüketici güvenini arttırmaktadır. Diğer yandan ise yapay zekâ uygulamalarının maliyetinin yüksek oluşu, nitelikli insan kaynağına ihtiyaç duyulması gibi faktörler özellikle KOBİ’leri oldukça zorlamaktadır. Bu zorlukların önüne geçmek için, bu teknolojilerin etkin şekilde kullanılmasına yönelik kamu destekli teşvik mekanizmaları geliştirilebilir. Bunların yanı sıra sektördeki paydaşların dijital dönüşüm süreçlerine uyum sağlayabilmesi amacıyla eğitim programları düzenlenebilir. Ayrıca, üniversite-sanayi iş birliklerinin güçlendirilmesi, disiplinler arası araştırmaların teşvik edilmesi, yapay zekâ ve blok zincir teknolojilerinin gıda sistemlerine entegrasyon süreci için oldukça önem arz etmektedir.

Tüm bunların yanı sıra dijital teknolojilerin kullanımında; veri güvenliğinin sağlanması, etik kullanım konusunda uluslararası düzenlemelerin geliştirilmesi, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde uygulanmasına önemli katkılar da sağlayacaktır.

Kaynakça

- Agregán, R., Echegaray, N., López-Pedrouso, M., Kharabsheh, R., Franco, D., Lorenzo, J. M. (2021).** Proteomic advances in milk and dairy products. *Molecules*, 26(13), 3832. <https://doi.org/10.3390/molecules26133832>
- Apeh, O. O., Nwulu, N. I. (2025).** Improving traceability and sustainability in the agri-food industry through blockchain technology: A bibliometric approach, benefits and challenges. *Energy Nexus*, 17, 100388. <https://doi.org/>

g/10.1016/j.nexus.2025.100388

Apicella, A. (2025). Intelligent cocoa: a systematic review of artificial intelligence applications in the cocoa supply chain. *British Food Journal*, 127(12), 4473–4493.

Arslanhan, H., Delice, Y. (2025). Blok zincir teknolojisinin ilaç ve gıda tedarik zincirindeki rolü: karşılaştırmalı bir bibliyometrik literatür taraması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(2), 749–776.

Aslam, N., Fatima, R., Altemimi, A. B., Ahmad, T., Khalid, S., Hassan, S. A., Aadil, R. M. (2024). Overview of industrial food fraud and authentication through chromatography technique and its impact on public health. *Food Chemistry*, 460, 140542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140542>

Bačiulienė, V., Bilan, Y., Navickas, V., Civiņ, L. (2023). The aspects of artificial intelligence in different phases of the food value and supply chain. *Foods*, 12(8), 1654. <https://doi.org/10.3390/foods12081654>

Bahroun, Z., Saihi, A., As'ad, R., Tanash, M. (2025). A Systematic Analysis of Generative Artificial Intelligence for Supply Chain Transformation. *Supply Chain Analytics*, 100188. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100188>

Beykaya, M. (2020). Türkiye’de gıda endüstrisinde gıda güvenliği ve denetimlerin rolü: Iğdır ili örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1), 260–270.

Bhat, M. A., Rather, M. Y., Singh, P., Hassan, S., Hussain, N. (2025). Advances in smart food authentication for enhanced safety and quality. *Trends in Food Science & Technology*, 155, 104800. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104800>

Biswal, A. K., Jenamani, M., Kumar, S. K. (2018). Warehouse efficiency improvement using RFID in a humanitarian supply chain:

Implications for Indian food security system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 109, 205–224.

Boller, M. L., Zurwehme, A., Krupitzer, C. (2024). Qualitative assessment on the chances and limitations of food fraud prevention through distributed ledger technologies in the organic food supply chain. *Food Control*, 158, 110247. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110247>

Brooks, C., Parr, L., Smith, J. M., Buchanan, D., Snioch, D., Hebishy, E. (2021). A review of food fraud and food authenticity across the food supply chain, with an examination of the impact of the COVID-19 pandemic and Brexit on food industry. *Food Control*, 130, 108171. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108171>

Chukwugozie, D. C., Njoagwuani, E. I., David, K., Okonji, B. A., Milovanova, N., Akinsemolu, A. A., Ghosh, S. (2024). Combatting food fraud IN SUB-SAHARAN Africa: Strategies for Strengthened safety and security. *Trends in Food Science & Technology*, 150, 104575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104575>

Costa, M. J., Sousa, I., Moura, A. P., Teixeira, J. A., Cunha, L. M. (2024). Food fraud conceptualization: an exploratory study with Portuguese consumers. *Journal of Food Protection*, 87(7), 100301. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100301>

Çalış-Duman, M. (2023). Sürdürülebilir işletmeler için yeni bir çözüm olan blok zinciri teknolojisi üzerine sistematik bir inceleme. *İzmir İktisat Dergisi*, 38(1), 192–214.

Çekiç, İ., Bayar, Ç. (2025). Gıda güvenliğinde yenilikçi yaklaşımlar ve yapay zekâ tabanlı sistemler. K. Karamustafa, R. Kılıçhan (Ed), *Gastronomi turizmi çalışmaları* içinde (s.191–198). Detay Yayıncılık.

Çelik, E. N. (2025). Yapay zekâ sistemlerinin küresel tedarik zinciri entegrasyonu ve performansına etkileri üzerine bir araştırma. *Ege Üniversitesi Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları*

Dergisi, 2(1), 86–99.

Das, P., Altemimi, A. B., Nath, P. C., Katyal, M., Krishnan Kesavan, R., Rustagi, S., Mohanta, Y. K. (2025). Recent advances on artificial intelligence-based approaches for food adulteration and fraud detection in the food industry: Challenges and opportunities. *Food chemistry*, 468, 142439. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142439>

Davidson, R. K., Antunes, W., Madslie, E. H., Belenguer, J., Gerevini, M., Torroba Pérez, T., Prugger, R. (2017). From food defence to food supply chain integrity. *British Food Journal*, 119(1), 52–66.

Duan, K., Onyeaka, H., Pang, G. (2024). Leveraging blockchain to tackle food fraud: Innovations and obstacles. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101429. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101429>

Fan, R., Xie, S., Wang, S., Yu, Z., Sun, X., Du, Q., Han, R. (2023). Identification markers of goat milk adulterated with bovine milk based on proteomics and metabolomics. *Food Chemistry: X*, 17, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100601>

Fang, X., Zhang, W., Su, H., Xie, W., Jia, L. (2025). A LAMP-based colorimetric and fluorescence dual-channel assay for on-site identification of adulterated meat by a portable device. *Food Control*, 169, 110984. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110984>

Friedman, N., Ormiston, J. (2022). Blockchain as a sustainability-oriented innovation?: Opportunities for and resistance to Blockchain technology as a driver of sustainability in global food supply chains. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121403. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121403>

García-Pérez, P., Becchi, P. P., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L. (2024). Metabolomics and chemometrics: The next-generation analytical toolkit for the evaluation of food

quality and authenticity. *Trends in Food Science & Technology*, 147, 104481. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104481>

Genç, S., Yüksel, H. (2024). Blokzincir entegre tedarik zincirlerinde performans kriterlerinin AHP yöntemiyle önem sıralaması. *İzmir Yönetim Dergisi*, 5(1), 18–34.

George, R. V., Harsh, H. O., Ray, P., Babu, A. K. (2019). Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118021>

Gerdan, D., Koç, C., Vatandaş, M. (2020). Gıda ürünlerinin izlenebilirliğinde blok zinciri teknolojisinin kullanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 16(2), 8–14.

Girgin, G. K., Karakaş, B. (2017). Türklerin gıda tercihlerinde etkili olan motivasyonların belirlenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(38), 425–448.

Gökoğlan, K., Atalan, İ. (2022). Tarımsal gıda ürünlerinin tedarik zinciri yönetimine blok zincir teknolojisinin etkisi. *Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 97–112.

İmamoğlu, S. E., İnce, H., Erat, S. (2025). Dijitalleşme, özümleme kapasitesi, tedarik zinciri çevikliği ve tedarik zinciri performansı üzerine kavramsal bir çalışma. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (83), 288–298.

Kantaroglu, M., Demirbaş, N. (2019). Türkiye’de gıda güvenliği açısından ürün doğrulama ve takip sisteminin (ÜDTS) değerlendirilmesi. D. K. Dimitrov, D. Nikoloski, R. Yılmaz (Ed), XI. *International Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress proceeding* içinde (s. 498–509). https://eprints.uklo.edu.mk/id/eprint/7572/1/ibaness_tekirdag_proceedings_draft_3.pdf

Karabay, H. (2024). Lojistik ve tedarik zinciri-

rinde dijital dönüşüm. U. Erdoğan (Ed.), *Güncel uluslararası ticaret uygulamaları* içinde (s. 81–100). Özgür yayınları.

Kendall, H., Kuznesof, S., Dean, M., Chan, M. Y., Clark, B., Home, R., Frewer, L. (2019). Chinese consumer's attitudes, perceptions and behavioural responses towards food fraud. *Food Control*, 95, 339–351.

Keramati, A., Siau, B., Bellitto, T., Heydari, J., Panchal, T. (2025). Blockchains effects on responsiveness to recalls in the food and beverage industry. *Journal of Economy and Technology*. 3, 283–298.

Kurdyś-Kujawska, A., Zarębski, P., Chamiér-Gliszczyński, N. (2025). Artificial Intelligence in the Food Industry: Adoption, Technologies, Barriers—The Example of Poland. *Procedia Computer Science*, 270, 5416–5425.

Li, H., Mo, H., Song, Y. C., Chen, G., Wu, C. E., Zhu, F. Y. (2025). The integration of machine learning into proteomics advances food authentication and adulteration control. *Trends in Food Science & Technology*, 105029. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105029>

Liang, C., Xu, Z., Liu, P., Guo, S., Xiao, P., Duan, J. A. (2025). Integrating different detection techniques and data analysis methods for comprehensive food authenticity verification. *Food Chemistry*, 463, 141471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141471>

Lolli, V., Caligiani, A. (2024). How nuclear magnetic resonance contributes to food authentication: Current trends and perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 58, 101200. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101200>

Ma, D., Wu, X., Li, K., Hu, J. (2025). Can blockchain implementation combat food fraud: Considering consumers' delayed quality perceptions. *European Journal of Operational Research*, 324(3), 908–924.

Marín, X., Grau-Noguer, E., Gervilla-Cantero, G., Ripolles-Avila, C., Castillo, M. (2025). Emerging technologies for detecting food fraud: A review of the current landscape in the 2020s. *Trends in Food Science & Technology*, 105313. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105313>

Medina, S., Perestrelo, R., Silva, P., Pereira, J. A., Câmara, J. S. (2019). Current trends and recent advances on food authenticity technologies and chemometric approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 163–176.

Misra, N. N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., Martynenko, A. (2020). IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of things Journal*, 9(9), 6305–6324.

Nath, P. C., Mishra, A. K., Sharma, R., Bhunia, B., Mishra, B., Tiwari, A., Sridhar, K. (2024). Recent advances in artificial intelligence towards the sustainable future of agri-food industry. *Food Chemistry*, 447, 138945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138945>

Odenkirk, M. T., Michel, C., Doenges, K. A., Leaptrot, K. L., Sherrod, S. D., May, J. C., Prenni, J. E. (2025). A standardized nontargeted metabolomics method for cross-laboratory comparison of food profiles. *Food Chemistry*, 145934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145934>

Okoye, C. O., Jiang, H., Nazar, M., Tan, X., Jiang, J. (2024). Redefining modern food analysis: Significance of omics analytical techniques integration, chemometrics and bioinformatics. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 175, 117706. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117706>

Patel, A. S., Brahmhatt, M. N., Bariya, A. R., Nayak, J. B., Singh, V. K. (2023). Blockchain technology in food safety and traceability concern to livestock products. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16526>

- Pavithra, T., Rawat, S., Sunil, C. K. (2025).** Recent trends in blockchain traceability of food products: A review. *Food and Humanity*, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.foo-hum.2025.100666>
- Pourmoradian, A., Barzegar, M., Gharaghani, S., Sahari, M. A. (2025).** Honey adulteration detection using the HS-SPME-IMS technique combined with chemometric analysis. *Food Chemistry: X*, 103365. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103365>
- Rajput, D. V., More, P. R., Adhikari, P. A., Arya, S. S. (2025).** Blockchain technology in the food supply chain: a way towards circular economy and sustainability. *Sustainable Food Technology*, 3, 930–946.
- Rajput, D. V., More, P. R., Adhikari, P. A., Arya, S. S. (2025).** Blockchain technology in the food supply chain: a way towards circular economy and sustainability. *Sustainable Food Technology*, 3(4), 930–946.
- Rossi, S., Gemma, S., Borghini, F., Perini, M., Butini, S., Carullo, G., Campiani, G. (2025).** Agri-food traceability today: advancing innovation towards efficiency, sustainability, ethical sourcing, and safety in food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 105154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105154>
- Seçer, A., Aydan, G., Şahin, A. (2025).** Are we confident with our food: drivers affecting consumer's food fraud avoidance behavior for milk and dairy products. *British Food Journal*. 127 (7), 2544–2563.
- Sharma, R., Nath, P. C., Lodh, B. K., Mukherjee, J., Mahata, N., Gopikrishna, K., Bhunia, B. (2024).** Rapid and sensitive approaches for detecting food fraud: A review on prospects and challenges. *Food chemistry*, 454, 139817. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139817>
- Singh, D. (2025).** Harnessing Artificial Intelligence to Safeguard Food Quality and Safety. *Journal of Food Protection*, 100621. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100621>
- Soon, J. M., Krzyzaniak, S. C., Shuttlewood, Z., Smith, M., Jack, L. (2019).** Food fraud vulnerability assessment tools used in food industry. *Food Control*, 101, 225–232.
- Spink, J. W. (2023).** The GFSI food fraud prevention compliance development & requirements: A ten-year review. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 766–773.
- Taşcı, M. F., Güzel, D. (2023).** Tedarik zinciri şeffaflığının, nesnelerin interneti ve blokzincir kullanımları üzerindeki aracı etkisinin performans göstergeleri üzerindeki etkisi açısından incelenmesi. *Sosyoekonomi*, 31(58), 409–442.
- Tian, F. (2016).** An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)* içinde. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>
- Treiblmaier, H., Garaus, M. (2023).** Using blockchain to signal quality in the food supply chain: The impact on consumer purchase intentions and the moderating effect of brand familiarity. *International Journal of Information Management*, 68, 102514. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102514>
- Uyar, H., Papanikolaou, A., Kapassa, E., Touloupou, M., Rizou, S. (2025).** Blockchain-enabled traceability and certification for frozen food supply chains: a conceptual design. *Smart Agricultural Technology*, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101085>
- Visciano, P., Schirone, M. (2021).** Food frauds: Global incidents and misleading situations. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 424–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.010>
- Zatsu, V., Shine, A. E., Tharakan, J. M., Pe-**

- ter, D., Ranganathan, T. V., Alotaibi, S. S., Nayik, G. A. (2024).** Revolutionizing the food industry: The transformative power of artificial intelligence-a review. *Food Chemistry: X*, 24, 101867. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101867>
- Zengin, Z. H., Bayarçelik, E. B., Apak, S. (2024).** Gıda sektöründe yalın tedarik zinciri yönetimi ile tedarik zinciri yönetimi arasında performans değerlendirmesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 19(73), 40–61.
- Zhang, A., Mankad, A., Ariyawardana, A. (2020).** Establishing confidence in food safety: is traceability a solution in consumers' eyes? *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15(2), 99–107.
- Zhang, H., Cao, W., Zhang, Y., Chang, Y., Huang, H., Wei, T., Shi, L. (2023).** Identification for meat adulteration (pork, beef, sheep and duck) in foodstuff by microfluidic chip-based real-time fluorescent LAMP. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 105223. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105223>
- Zhang, J., Zhang, Q. (2025).** Artificial Intelligence and Supply Chain Stabilization. *Finance Research Letters*, 109322. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.109322>
- Zhang, Y., Gupta, V. K., Karimi, K., Wang, Y., Yusoff, M. A., Vatanparast, H., Rajaei, A. (2025).** Synergizing blockchain and internet of things for enhancing efficiency and waste reduction in sustainable food management. *Trends in Food Science & Technology*, 104873. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104873>
- Zhang, Z., Li, Y., Zhao, S., Qie, M., Bai, L., Gao, Z., Zhao, Y. (2024).** Rapid analysis technologies with chemometrics for food authenticity field: A review. *Current Research in Food Science*, 8, 100676. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100676>