



## GIDA SEKTÖRÜNDEKİ NFC TABANLI İZLENEBİLİRLİK SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE BİR MODEL TASARIMI\*

Füsun YAVUZER ASLAN<sup>1</sup> , Bora ASLAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

### ÖZET

Gıda izlenebilirliği, üretimden tüketime kadar tüm süreçlerin şeffaf ve güvenli bir biçimde izlenmesini sağlayarak gıda güvenliği, kalite kontrolü ve tüketici güveninin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel izlenebilirlik sistemleri genellikle barkod ve QR kod gibi sınırlı dijital çözümlere dayanmakta; veri güncellenebilirliği, güvenlik ve gerçek zamanlı takip açısından yetersiz kalmaktadır. Bazı ürünlerde kısmen izlenebilirlik üretim sürecinde sağlanmaktayken gıda tedarik zincirinin tüm aktörlerine yönelik bir çözüm birçok nedenden dolayı henüz kullanılmamaktadır. Bu çalışma bu eksiklikleri gidermek amacıyla NFC teknolojisinin gıda tedarik zincirine entegre edilmesini ele almaktadır. Literatür taraması ve sektörel uygulamalar doğrultusunda, NFC'nin teknik altyapısı ve kullanım alanları detaylandırılmış, gıda izlenebilirliğinde sağlayabileceği katkılar analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, çok katmanlı bir mimariye sahip örnek bir NFC tabanlı izlenebilirlik modeli önerilmiş; sistemin fiziksel, iletişim, yazılım ve kullanıcı arayüzü katmanları açıklanmıştır. Ayrıca, NFC tabanlı sistemlerin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği değerlendirilmiş, karşılaşılabilecek teknik ve operasyonel zorluklara çözüm önerileri sunulmuştur. Sonuç olarak, NFC teknolojisinin gıda sektöründe dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri olabileceği ve izlenebilirlik sistemlerinde daha etkin ve güvenli bir alternatif sunduğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** NFC Teknolojisi, Gıda İzlenebilirliği, Model Tasarımı

## ANALYSIS OF NFC BASED TRACEABILITY SYSTEMS IN FOOD INDUSTRY AND DESIGN OF A MODEL

### ABSTRACT

Food traceability plays a vital role in enhancing food safety, quality control, and consumer confidence by enabling transparent and secure monitoring of all processes from production to consumption. Traditional traceability systems mostly rely on limited digital solutions such as barcodes and QR codes, which are inadequate in terms of data updateability, security, and real-time tracking. While partial traceability can be achieved during the production phase for certain products, a comprehensive solution that includes all actors in the food supply chain has not yet been widely implemented due to various challenges. This study addresses these shortcomings by examining the integration of NFC (Near Field Communication) technology into the food supply chain. Based on a review of the literature and sectoral applications, the technical infrastructure and potential use cases of NFC are analyzed in detail. An example NFC-based traceability model with a multi-layered architecture is proposed, and the system's physical, communication, software, and user interface layers are described.

\* Bu çalışma "KLÜBAP-227 Gıda Tedarik Zincirinde NFC Tabanlı İzlenebilirlik Sistemlerinin Analizi ve Bir Prototip Geliştirilmesi" başlıklı KLUBAP projesi kapsamında yapılmıştır.

Furthermore, the applicability and sustainability of NFC-based systems are evaluated, and potential technical and operational challenges are discussed along with proposed solutions. The findings suggest that NFC technology can serve as a key enabler in the digital transformation of the food sector and offer a more efficient and secure alternative for traceability systems.

**Keywords:** NFC Technology, Food Traceability, Model Design

## 1. GİRİŞ

Gıda izlenebilirliği, bir gıda ürününün üretimden tüketiciye kadar tüm aşamalarının takip edilebilmesi anlamına gelir (Olsen ve Borit, 2013). Başka bir söylemle bir gıdayı üretim, işleme ve dağıtımın tüm aşamalarında izleyebilme yeteneğidir. İzlenebilirlik sistemlerinin temel amacı, gıda tedarik zinciri boyunca ürünün kimlik bilgilerini, kaynaklarını ve hareketlerini kayıt altına almaktır. Bu sayede bir sorun çıktığında, örneğin gıda kaynaklı bir salgın veya kontaminasyon tespit edildiğinde, hızlı ve etkin geri çağırma işlemleri gerçekleştirilebilir. Etkili bir izlenebilirlik sistemi, olası bir gıda güvenliği probleminde kontamine ürünlerin hızla tespit edilip tüketiciye ulaşmasının engellenmesine imkan tanır. Dolayısıyla izlenebilirlik, gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik bir araçtır.

İzlenebilirlik sistemleri yalnızca gıda güvenliği için değil, aynı zamanda kalite kontrolü, yasal uyum ve tüketici güveninin artırılması için de önemli rol oynar (Kotsanopoulos ve Arvanitoyannis, 2017). Birçok ülke, ciddi gıda kaynaklı sağlık olayları sonrasında tarladan çatala izlenebilirliği belirli ürünlerde zorunlu kılan hukuki düzenlemeler getirmiştir. Örneğin Avrupa Birliği ve ABD gibi bölgelerde gıda işletmelerine, ürünlerinin tedarik zincirindeki bir adım öncesini ve sonrasını takip etme zorunluluğu bulunmaktadır (Charlebois vd., 2014). Bu tür düzenlemeler, izlenebilirliğin bir yandan HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point - Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları) gibi gıda güvenliği yönetim sistemlerinin etkin uygulanmasına destek olurken diğer yandan şeffaflığı artırarak tüketiciye ürünün kökeni hakkında güvenilir bilgiler sunmayı amaçlar (Mortimore ve Wallace, 2013). Sonuç olarak, gıda izlenebilirliği sistemleri gıda sektöründe hem mevzuata uyum hem de güvenilirlik ve sürdürülebilirlik açısından vazgeçilmez hale gelmiştir.

İzlenebilirlik, bilişim yönetim sistemleri açısından genel olarak bakıldığında bir ürün veya hizmetin geriye doğru takip edilebilir olmasıdır. ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi, HACCP ve Türk Gıda Kodeksi Gıda Etiketleme ve Tüketicileri Bilgilendirme Yönetmeliği gibi çeşitli standart ve yönetmelikler izlenebilirlik kavramını daha da derinleştirmektedir (Başaran, 2015). Buna göre firmanın kendi iç süreçlerinin izlenebilirliği yetersiz olmakla kalmayıp, yakın gelecekte tüketicinin ürün hakkında yeterli ve doğru bilgiye ulaşması zorunlu hale gelecektir. Günümüzde firmalar kendi iç süreçlerini izlemek için ERP (Enterprise Resource Planning - Kurumsal kaynak planlaması) gibi birçok sistem kullansa da özellikle tarladan çatala ya da çiftlikten çatala bakış açısıyla gıda alanında izlenebilirlik sistemlerinin kullanımı neredeyse yok gibidir. İzlenebilirlik sistemlerinde genellikle karekod veya barkod teknolojileri kullanılmaktadır. Gıda sektöründe olmasa da diğer sektörlerde bazı firmalar ise RFID (Radio Frequency Identification, Radyo Frekans Tanımlama) veya NFC (Near Field Communication, Yakın Alan İletişimi) etiketleri, IoT sensörleri gibi Endüstri 4.0 yaklaşımları da kullanmaktadır (Mostaccio vd., 2023).

### 1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Gıda tedarik zincirindeki izlenebilirlik sistemleri hem üreticiler hem de tüketiciler için büyük önem taşımaktadır. Üreticiler açısından bakıldığında, izlenebilirlik sistemleri tedarik zinciri boyunca süreçleri optimize etmeye, kalite kontrolünü sağlamaya ve yasal düzenlemelere uyumu kolaylaştırmaya yardımcı olur. Tüketiciler açısından ise, izlenebilirlik ürün güvenliğini artırarak bilinçli tüketim kararları alınmasını sağlar (Moe, 1998). Ancak, geleneksel izlenebilirlik yöntemleri genellikle manuel kayıtlar, barkod sistemleri ve sınırlı dijital çözümler ile sürdürülmekte olup, bu yöntemlerin çeşitli kısıtları bulunmaktadır. Veri güvenliği, gerçek zamanlı takip eksikliği ve doğrulama mekanizmalarının yetersizliği gibi sorunlar, mevcut izlenebilirlik sistemlerinin etkinliğini azaltmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, gıda izlenebilirliğinde NFC teknolojisinin kullanımını hem literatür ve sektör uygulamaları bağlamında analiz etmek hem de bu analizler doğrultusunda çok katmanlı bir

mimariye dayalı özgün bir izlenebilirlik modeli tasarlamaktır. Çalışma, NFC sistemlerin sınırlılıklarını ortaya koymakta; ardından bu sınırlılıkları aşmaya yönelik uygulanabilir bir model önerisi sunmaktadır. NFC teknolojisi, kablosuz veri aktarımını destekleyen ve kullanıcıların fiziksel temas olmadan bilgi almasını sağlayan bir iletişim yöntemidir. Geleneksel barkod ve QR kod sistemlerinden farklı olarak, NFC tabanlı sistemler güncellenebilir, dinamik veri saklama yeteneğine sahip olup, sahteciliğe ve izinsiz müdahaleye karşı daha güvenlidir. Çalışma kapsamında, NFC'nin gıda tedarik zincirinde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği ve mevcut sistemlerle nasıl entegre edilebileceği değerlendirilecektir. Ayrıca, NFC tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin potansiyel faydalarının yanı sıra, uygulama zorlukları ve sınırlamaları da ele alınacaktır. NFC'nin lojistik, perakende ve tüketici etkileşimi üzerindeki etkisi incelenerek, gıda güvenliği, kalite kontrolü ve tüketici güveni açısından sağlayabileceği katkılar değerlendirilecektir. Çalışmanın sonuçlarının, gıda sektöründe yenilikçi izlenebilirlik çözümleri geliştirmek isteyen firmalar, araştırmacılar ve düzenleyici kuruluşlar için yol gösterici olması hedeflenmektedir.

## 1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Metodolojisi

Bu çalışma, gıda izlenebilirliği ve NFC teknolojisinin kesişim noktasında detaylı bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Öncelikle, NFC teknolojisinin genel yapısı, çalışma prensipleri ve avantajları hakkında bilgi verilecek, ardından gıda sektöründeki izlenebilirlik yöntemleriyle karşılaştırılacaktır. NFC tabanlı sistemlerin gıda tedarik zincirindeki potansiyel kullanım alanları ele alınarak, sektörde halihazırda uygulanan örnekler ve pilot projeler incelenecektir.

Çalışma kapsamında, öncelikle literatür ve sektör uygulamaları üzerine kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, son on yıl içerisinde (2014–2024) yayımlanmış, Web of Science, Scopus, IEEE Xplore ve ScienceDirect gibi uluslararası indekslerde taranan 50'ye yakın akademik yayın incelenmiştir. Ayrıca, güncel sektör raporları, üretici firmaların uygulama örnekleri ve teknoloji platformlarına ait belgeler değerlendirmeye dahil edilmiştir. Literatür taraması, tematik bir yaklaşımla sınıflandırılmış; NFC teknolojisinin avantajları, sınırlılıkları, gıda sektöründeki uygulamaları ve benzer teknolojilerle karşılaştırmaları başlıkları altında analiz edilmiştir. Bu çalışmaların bir önemli görülmesi literatür kısmında verilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, çok katmanlı mimariye sahip bir NFC tabanlı izlenebilirlik modeli önerilmiş; bu modelde ürün seviyesinde veri takibi, lojistik entegrasyon ve tüketiciye şeffaf bilgi akışı sağlayacak bileşenler yapılandırılmıştır. Çalışmada, analiz süreci veri toplama, karşılaştırma ve yapılandırılmış çıkarım adımlarına dayandırılmış; önerilen sistem tasarımı teorik çerçeve ile sektörel ihtiyaçları bütünleştirecek biçimde geliştirilmiştir. Tartışma bölümünde ise modelin uygulanabilirliği, sürdürülebilirliği ve yaygınlaştırılmasına yönelik stratejik değerlendirmeler sunulmuştur.

## 2. NFC TEKNOLOJİSİ

NFC kısa mesafeli kablosuz iletişim teknolojisidir ve iki elektronik cihazın birbirine 10 cm veya daha kısa mesafede veri alışverişi yapmasını sağlar. Genellikle veri alışverişi akıllı telefonlar, tabletler, akıllı saatler ve NFC okuyucuları ile yapılmaktadır. Bu teknoloji, Radyo Frekans Tanımlama (RFID) sistemlerinin bir alt kümesi olarak geliştirilmiş olup 13.56 MHz frekans bandında çalışmaktadır. NFC, veri aktarımını başlatan iki temel modda çalışır:

- Aktif Mod: Bu moddaki iletişimde her iki cihaz da enerji kaynağına sahiptir ve elektromanyetik alan oluşturarak veri transferini gerçekleştirir.
- Pasif Mod: Bu modda cihaz kendi enerjisini üretmez, diğer cihazın oluşturduğu manyetik alanı kullanarak veri transferi gerçekleştirir.

Bu özellikler sayesinde NFC, düşük güç tüketimi ve kolay kullanım avantajı sunarak çeşitli alanlarda yaygınlaşmıştır. NFC teknolojisi, kısa menzil ve düşük enerji tüketimi ile karakterize edilen bir iletişim teknolojisidir. 13.56 MHz frekansında çalışan NFC, maksimum 10 cm mesafede iletişim kurabilir ve veri transfer hızı 106, 212 veya 424 kbps olabilir. Güvenlik açısından, kısa menzilli olması yetkisiz erişim ihtimalini azaltırken, ek olarak şifreleme ve kimlik doğrulama mekanizmaları da uygulanabilir. ISO/IEC 14443 ve 18092 gibi uluslararası standartlara uyumlu olan NFC, üç farklı modda çalışabilir. Kart emülasyonu modunda NFC cihazı, kredi kartı veya ulaşım kartı gibi işlev görebilirken, okuyucu/yazıcı modu sayesinde pasif NFC etiketlerini okuyabilir veya yazabilir. Peer-to-peer (P2P)

modu ise iki NFC cihazı arasında doğrudan veri aktarımını mümkün kılar. Bu teknik altyapısı sayesinde NFC, ödeme sistemlerinden erişim kontrolüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir (Coskun vd., 2011).

NFC teknolojisi, hızlı, yaygın ve kullanıcı dostu bir etkileşim sağlayarak çeşitli sektörlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir. NFC işlemleri, saniyeler içinde tamamlanarak kullanıcı deneyimini optimize eder ve düşük güç tüketimi sayesinde pasif etiketlerin enerji ihtiyacı olmaksızın çalışmasına olanak tanır. Güvenlik açısından, kısa menzilli iletişim yetkisiz erişim riskini minimize ederken, eklenen şifreleme ve kimlik doğrulama yöntemleriyle veri güvenliği artırılabilir. Ayrıca, NFC teknolojisi mobil ödemeler, erişim kontrol sistemleri, sağlık hizmetleri ve lojistik gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılabilen ve mevcut mobil cihazlar ile POS terminalleriyle kolayca entegre edilebilmektedir. Bu çok yönlü ve uyarlanabilir yapısı NFC teknolojisini günümüz dijital ekosisteminde önemli bir bileşen haline getirmektedir.

Bununla birlikte, NFC teknolojisinin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Öncelikle 10 cm ile sınırlı menzili, geniş alanlarda veya uzaktan erişim gerektiren senaryolar için dezavantaj yaratabilir. Veri aktarım hızı, Bluetooth ve Wi-Fi gibi diğer kablosuz teknolojilere kıyasla daha düşük olduğu için büyük veri transferleri için yetersiz kalabilir. Ayrıca, NFC'nin işlevselliği, yalnızca bu teknolojiyi destekleyen donanımlara sahip cihazlarla sınırlıdır ve eski veya uyumsuz cihazlarda kullanımı mümkün değildir. Güvenlik açısından, NFC teknolojisi siber saldırılara maruz kalabilir ve kötü niyetli kişiler tarafından "man-in-the-middle" veya "eavesdropping" gibi saldırılarla istismar edilebilir. Bu nedenle, güvenli veri şifreleme yöntemlerinin uygulanması ve kullanıcı farkındalığının artırılması büyük önem taşımaktadır (Onumadu ve Abroshan, 2024).

NFC'nin en yaygın kullanımı, temassız ödeme sistemleri, etiketleme ve dijital cüzdanlar üzerinedir (Ramos-de-Luna vd., 2016). Kullanıcılar bankacılık uygulamaları, Apple Pay, Google Pay gibi platformları kullanarak kredi/banka kartlarını NFC destekli cihazlarına tanımlayabilir ve cihazlarını POS cihazlarına yaklaştırarak ödeme yapabilirler. Bu yöntem hızlı, güvenli ve hijyenik olması nedeniyle yaygınlaşmaktadır. NFC, fiziksel güvenlik ve erişim kontrol sistemlerinde sıkça kullanılır. Bina giriş sistemleri, otel odaları, toplu taşıma kartları ve spor salonu üyelik kartları gibi alanlarda NFC kartları veya akıllı telefonlar kimlik doğrulama aracı olarak kullanılmaktadır (Pesonen ve Horster, 2012). Bu sistemler, yetkisiz girişleri engelleyerek güvenliği artırır. Toplu taşıma sistemlerinde NFC destekli akıllı kartlar, bilet yerine kullanılmaktadır. Kullanıcılar, NFC uyumlu ulaşım kartlarını veya akıllı telefonlarını turnikelere yaklaştırarak geçiş yapabilirler. NFC etiketleri, fiziksel nesnelere entegre edilerek kullanıcı deneyimini artırır. Kullanıcılar, telefonlarını bu etiketlere yaklaştırarak ürün bilgileri, bağlantılar, menüler veya reklam kampanyalarına ulaşabilirler. Örneğin, bir restoran menüsünü veya otel rehberini NFC etiketi üzerinden görüntülemek mümkündür. Hastaneler ve sağlık merkezleri, NFC teknolojisini hasta takibi, ilaç doğrulama ve tıbbi ekipman yönetimi için kullanmaktadır (Ebere vd., 2022). Hastaların bilek bileziklerine entegre edilen NFC çipleri, sağlık personelinin hastaya ait verilere hızla erişmesini sağlayarak tedavi sürecini kolaylaştırır. Otomotiv sektöründe NFC anahtarsız giriş sistemleri, sürücü profili ayarları ve kablosuz bağlantılar için kullanılmaktadır (Busold vd., 2013). Bazı modern araçlarda NFC ile kapı açma, motor çalıştırma veya Bluetooth bağlantısı sağlama gibi özellikler bulunmaktadır. NFC akıllı saatler, fitness bileklikleri ve diğer giyilebilir cihazlarda kimlik doğrulama, ödeme ve veri aktarımı için kullanılmaktadır. Örneğin, Apple Watch veya Samsung Watch, NFC ile temassız ödeme yapma ve bina girişlerini kontrol etme gibi özellikler sunmaktadır. NFC, tedarik zinciri yönetimi ve gıda izlenebilirliği için de önemli bir araçtır. Gıda ambalajlarına eklenen NFC çipleri, ürünün kaynağı, üretim tarihi, taşıma koşulları ve son kullanma tarihi gibi bilgileri içererek tüketicilere güvenilir bilgi sunar. Özellikle premium gıda markaları bu şekilde tüketicilere ürünün sahte olup olmadığını doğrulama imkânı tanımaktadır (Pigini ve Conti, 2017).

### 3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

NFC tabanlı gıda izlenebilirliği ile ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Fakat bunların çok azı sektörel olarak kullanılan bir ürüne dönüşmüştür. Çalışmanın bu bölümde hem literatür taraması hem de sektördeki bazı uygulamalar verilmiştir.

### 3.1 Akademik Çalışmalar

Lukacs ve arkadaşları, gıda üretiminde şeffaflığı ve güvenliği artırmak amacıyla NIRS, NFC, RFID, blokzincir ve IoT teknolojilerini entegre eden dijital izlenebilirlik çözümlerini incelemiştir. Çalışma, hızla artan insan nüfusu, gıda otantisitesine yönelik tüketici talepleri ve tarım ile gıda endüstrisi üretimi arasındaki uyumsuzluk nedeniyle güvenilir izleme ve takip sistemlerine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu bağlamda, araştırma, üretim süreçlerinde kolayca uygulanabilir, maliyet açısından uygun ve verimliliği artıran bir dijital sistem önermektedir. Sistem, tahribatsız ve hızlı kalite değerlendirme yöntemleri olan yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) ve bilgisayar/görsel makine vizyonu (CV/MV) ile IoT, NFC ve RFID tabanlı takip ve izleme fonksiyonlarını birleştirmektedir. Ayrıca, otantisite doğrulaması için tarladan çatala veri ve dokümantasyon doğrulaması sağlayan blokzincir tabanlı bir sistem önerilmiştir. Araştırmacıların önerdiği sistem, sertifikalı tatlı patates üretimi modeli üzerinden yapılandırılmıştır. Yazarlara göre bu sistem, üretim süreçlerinin büyük ölçüde otomatikleştirilmesini sağlarken, güvenilirlik ve şeffaflık sağlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, sistemin veri ve güven modeli ile katılımcılar arasındaki etkileşimleri simüle eden sıra diyagramlarını içermektedir. Bu ve benzeri araştırmalar, tarım-gıda endüstrisinde dijital araçları birleştirerek üretkenliği ve otantisiteyi artırmaya yönelik gelecekteki araştırmalara ve endüstriyel uygulamalara temel oluşturmakta olup, özellikle tüketiciler arasında güven seviyesini yükseltme potansiyeline sahiptir (Lukacs vd., 2025).

Yu ve arkadaşları, taze gıda tedarik zincirinde izlenebilirlik ve dinamik izleme için blokzincir tabanlı çözümleri değerlendirmiştir. Mevcut sistemlerin şeffaf olmayan tedarik zincirleri, düşük güvenilirlik ve yanlış veri aktarımı gibi sorunlarla karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Blokzincirin değiştirilemez ve şeffaf yapısının, taze gıda güvenliği, taşıma ortamının dinamik takibi ve izlenebilirlik açısından önemli avantajlar sunduğu vurgulanmıştır. Çalışma, blokzincir ile RFID, QR kod ve NFC teknolojilerinin entegrasyonunun tüm tedarik zincirini kapsayarak ileri ve ters izlenebilirlik sağladığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, blokzincir tabanlı taze gıda izlenebilirliğinin gelecekte geniş uygulama alanları bulabileceğini göstermektedir (Yu vd., 2024).

Zurbi ve Gregor-Svetec, gıda geliştirme sürecinde sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla artırılmış gerçeklik teknolojisi ve NFC etiketleri ile desteklenen bir izlenebilirlik sistemini incelemiştir. Araştırmacılar bu çalışmada üreticiler, perakende şirketleri ve tüketiciler için bir uygulama tasarlayarak, gıda ürünleri hakkında veri girişi, keşfetme ve görüntüleme süreçlerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Yapılan inceleme sonucunda, tüketicilerin belirli kriterlere dayanarak sağlıklı gıda ürünlerini tercih edip etmeyeceği ve bu sistemin sürdürülebilirliği nasıl destekleyebileceği soruları ele alınmıştır. Önerilen sistemde, veriler mümkün olduğunca önceden tanımlanmış listelerden seçilerek hataları önlemek amacıyla çiftçilerden pazara kadar kesintisiz şekilde aktarılmaktadır. Çalışmanın çıktısı olarak geliştirilen FoodTrace adlı artırılmış gerçeklik tabanlı izlenebilirlik uygulaması, tasarım ve prototip aşamalarında değerlendirilmiş ve kullanım kolaylığı ile içerik değeri açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmanın bulguları, uygulamanın gelecekte daha da geliştirilmesi için sağlam bir temel sunduğunu göstermektedir (Clark, 2018).

Mostaccio ve arkadaşları, Gıda Endüstrisi kapsamında RFID teknolojisinin mevcut çözümlerini ve uygulamalarını incelemiştir. Çalışma, gıda israfı ve kontaminasyon gibi endüstrideki temel sorunlara karşı IoT tabanlı çözümleri ele almakta ve RFID'nin lojistik, algılama ve sürdürülebilirlik bağlamındaki stratejik rolünü vurgulamaktadır. Literatür incelemesi, RFID'nin gıda yönetimi ve kontrol süreçlerinde optimizasyon sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır. RFID'nin en olgun uygulamaları lojistik alanında, özellikle soğuk zincir izleme ve ürün takibi süreçlerinde yer almaktadır. Algılama alanında, fiziksel ve kimyasal parametrelerin doğrudan veya dolaylı yöntemlerle tespit edilmesine yönelik araştırmalar öne çıkmaktadır. Artan elektronik atık miktarı, araştırmacıları Yeşil RFID adı verilen sürdürülebilir etiketler geliştirmeye yöneltmiştir. RFID teknolojisinin Gıda Endüstrisini destekleme potansiyeline sahip olduğu, özellikle yapay zeka ve biyobozunur/geri dönüştürülebilir malzemelerle entegrasyonu sayesinde endüstride önemli dönüşümler yaratabileceği sonucuna ulaşılmıştır. RFID tabanlı sistemlerin NFC sistemlere olan yakınlığı ve benzerliği sebebiyle bu çözümler bu çalışma kapsamında da değerlendirilmiştir (Mostaccio vd., 2023).

Agnusdei ve arkadaşları, İtalya'daki şarap üretiminde karşılaşılan sahtecilik sorunlarına karşı, tedarik zinciri izlenebilirliğini artırmaya yönelik IoT teknolojilerinin potansiyel kullanımını incelemiştir. Çalışma, Güney Apulia Bölgesi'ndeki üzüm yetiştiricileri ve şaraphanelerle yapılan birincil veri toplama sürecine ve önceki bilimsel literatüre dayanmaktadır. Önerilen çerçeve, blokzincir, RFID, NFC etiketleri, SSCC ve QR kodlarının birleşimini kullanarak şarap tedarik zincirinde izlenebilirlik ve verimlilik sağlamayı amaçlamaktadır. Geliştirilen sistem, tedarik zincirinin tüm aşamalarında, üzüm yetiştiriciliğinden şarap tüketimi ve ambalaj atığının bertarafı veya yeniden kullanımına kadar, ürünler ve süreçler hakkında sistematik veri depolamaya olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, tedarik zincirinde şeffaflık, güvenlik ve kalite yönetimi sağlanmaktadır. Çiftçiler, şarap üreticileri ve şişeleme firmaları sisteme veri girişi yapabilirken, dağıtıcılar, tüketiciler ve şişe geri dönüşüm operatörleri yalnızca blokzincirde saklanan verilere erişebilmekte, ancak bilgileri değiştirme yetkisine sahip olmamaktadır (Agnusdei vd., 2022).

Grantham ve arkadaşları, deniz ürünleri sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak ve balıkçılık süreçlerini izlenebilir hale getirmek için veri toplama ve izlenebilirlik uygulamalarının karşılaştığı teknolojik, sosyal ve ekonomik engelleri incelemiştir. Çalışma, Filipinler'deki sarı yüzgeçli orkinos (*Thunnus albacares*) balıkçılığında uygulanan mevcut veri kayıt sistemlerini değerlendirmektedir. Filipinler genelinde ve bu özel balıkçılık faaliyetinde yaygın olarak kullanılan mevcut yöntem, merkezi ve analog bir yaklaşıma dayanan yakalama kayıt sistemidir. Bu sistemde, balıkçılar tarafından tutulan veriler, uzmanların yardımıyla yakalama sertifikalarına kaydedilmektedir. Ancak, yeni ve merkeziyetsiz dijital modellerin geliştirilmesi, test edilmesi ve pilot uygulamaları başlamış olup, bu süreçte NFC ve RFID etiketleri ve akıllı telefon tabanlı bir veri toplama uygulaması gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Uygulamaların her biri benimsenme sürecinde çeşitli zorluklarla karşılaşmış olup, son tahminler Filipinler'de yakalanan balıkların %44'ünün hâlâ raporlanmadığını göstermektedir. Çalışma, küçük ölçekli balıkçılıktan başlayarak, deniz ürünleri sektöründe izlenebilirlik sistemlerinin etkinliğini artırmak ve sürdürülebilirlik çıktılarının belgelenmesini sağlamak için gerekli sistematik iyileştirmeleri tartışmaktadır (Grantham vd., 2022).

Conti, gıda izlenebilirliğinin gelecekteki tarım sektörü için temel bir gereklilik olduğunu vurgulayarak, küçük ve orta ölçekli işletmelere uygun düşük maliyetli bir izlenebilirlik sistemi önermiştir. Çalışmada, gıda güvenliği ve kalite kontrolünü sağlamanın yanı sıra, kimlik doğrulama, sahtekarlık önleme ve yetkililerin denetim süreçlerini iyileştirmeye yönelik bir sistem geliştirilmiştir. Tarım-gıda tedarik zincirinin çok paydaşlı ve karmaşık yapısı, mevcut izlenebilirlik sistemlerinin yüksek maliyetli olmasına ve küçük işletmeler için uygulanabilir olmamasına yol açmaktadır. Bu bağlamda, çalışma, mevcut düşük maliyetli dijital teknolojileri kullanarak kamu otoritelerinin denetim süreçlerine entegre edilebilecek bir sistem sunmaktadır. Önerilen modelde, akıllı telefon uygulamaları ve NFC teknolojisi her aşamada kullanılarak tüketicilere gıda bilgilerine erişim ve üreticilerle çift yönlü etkileşim sağlanmaktadır. Geliştirilen uygulamalar zeytinyağı üretim sürecine uyarlanmıştır. Sonuç olarak, sistemin düşük maliyetli ve kolay kullanımlı olması sayesinde, küçük çiftliklerde, bölgesel ürünlerde ve organik üretim süreçlerinde yaygınlaştırılabileceği ve ekonomik avantajlar sağlayabileceği belirlenmiştir (Conti, 2022).

Bhat ve arkadaşları, modern tarım-gıda tedarik zincirlerinin, bağımsız yerel paydaşlardan küresel ölçekte birbirine bağlı karmaşık sistemlere evrildiğini ve bu yapının üretim, işleme, taşıma ve dağıtım süreçlerini etkilediğini belirtmiştir. Tarım-gıda tedarik zincirlerinde sıkça karşılaşılan sahtekarlık vakaları, şeffaflık eksikliğini ortaya koymakta ve finansal kayıpların yanı sıra tüketici güveninin azalmasına ve kurumsal marka değerinin düşmesine yol açmaktadır. Mevcut tedarik zinciri yapısında köklü değişikliklerin gerekliliği vurgulanmış olup, blokzincir teknolojisinin tarım-gıda tedarik zincirlerinde şeffaflığı artırabileceği konusunda geniş bir fikir birliği bulunmaktadır. Günümüz tüketicileri güvenli, sürdürülebilir ve adil gıda üretim süreçleri talep etmekte olup, işletmeler bu beklentileri karşılamak için blokzincir ve nesnelerin interneti gibi teknolojilere yönelmektedir. Çalışmada, tarım-gıda tedarik zincirlerinin daha etkin yönetimi için blokzincirin Endüstri 4.0 teknolojileri (büyük veri, IoT, RFID, NFC vb.) ile entegrasyonunu ele alan yeni yaklaşımlar incelenmiştir. Ancak, blokzincirin benimsenmesi, uygulanması ve ölçeklenebilirliği önündeki teknik sınırlamaların değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, çalışma Agri-SCM-BIoT (Blokzincir ve IoT Kullanarak Tarım Tedarik Zinciri Yönetimi) mimarisini önererek, mevcut tek zincirli

tarım tedarik zinciri sistemlerinde depolama, ölçeklenebilirlik, güvenlik, mahremiyet ve birlikte çalışabilirlik sorunlarına çözüm sunmaktadır. Ayrıca, IoT altyapısındaki güvenlik tehditleri sınıflandırılmış ve blokzincir tabanlı olası savunma mekanizmaları tartışılmıştır. Son olarak, önerilen tedarik zinciri mimarisinin temel özellikleri açıklanmış ve gelecekteki araştırma yönleri değerlendirilmiştir (Bhat vd., 2021).

Barge ve arkadaşları, et tedarik zincirinin dijitalleşmesine yönelik RFID teknolojilerinin uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışma, dijital izlenebilirlik sistemlerinin gıda güvenliğini artırma ve algılanan kaliteyi iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamakta, ancak tarım-gıda ürünlerinde fiziksel mallarla bilgi sistemlerinin entegrasyonunun zorluklar barındırdığını belirtmektedir. Bu bağlamda, geniş okuma menzili sayesinde lojistik ve depolama süreçlerinde yaygın olarak kullanılan Ultra-Yüksek Frekanslı RFID teknolojisinin et ürünlerinin kimliklendirilmesinde de kullanılabilmesi öne sürülmüştür. Ayrıca, birçok akıllı telefonda entegre NFC antenlerinin bulunması nedeniyle NFC teknolojisine yönelik ilginin arttığı ifade edilmiştir. Çalışmada, farklı RFID çözümleri test edilerek, dana, tavuk ve diğer et türleri üzerinde RFID etiketlerinin performansı değerlendirilmiştir. Özellikle RFID ve NFC'nin birlikte kullanıldığı çift frekanslı etiketlerin uygulanabilirliği de araştırılmıştır. Sonuçlar, etiket performanslarının et türüne ve ambalaj yapısına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuş, ayrıca etiketlerin konumlandırılmasının ambalaj geometrisi ve okuyucu anten ile olan ilişkisi dikkate alınarak optimize edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Barge vd., 2020).

Conti, tarımın geleceği için gıda izlenebilirliğinin temel bir gereklilik olduğunu vurgulayarak, meyve ve sebze tedarik zincirinde NFC teknolojisini kullanan bir izlenebilirlik sistemi önermiştir. Çalışmada, üretim, işleme, dağıtım ve tüketim aşamalarının her birinde akıllı telefonlar aracılığıyla NFC teknolojisini kullandığı bir sistem tasarlanmıştır. Önerilen mimari, üretim sürecinin tüm aşamalarında Android tabanlı mobil uygulamalar ile verilerin bir veri tabanına iletilmesini sağlayan karmaşık bir kimlik doğrulama sistemine dayanmaktadır. Bulut tabanlı veri depolama yöntemi, aynı üretim zincirinde yer alan çiftçilerin, tarım konsorsiyumlarının, devlet kurumlarının ve nihai tüketicilerin bilgilere erişimini mümkün kılmaktadır. Bu sistem, üretim süreçlerinde şeffaflığı artırarak tüketicilere gıda hakkında doğrudan bilgi sunmayı amaçlamaktadır (Conti, 2020).

Violino ve arkadaşları, zeytinyağı tedarik zincirinde izlenebilirlik sağlayan yenilikçi elektronik etiketlerin sürdürülebilirliğini, izlenebilirlik kapasitesini ve tüketici kabulünü değerlendirmiştir. Çalışma, İtalyan tüketicilerin izlenebilirliğe olan ilgisinin arttığını ve ekstra sızma zeytinyağının kalite güvencesinde izlenebilirlik teknolojilerinin kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Araştırmada, üç farklı izlenebilirlik sistemi incelenmiştir: NFC tabanlı sistem, sahteciliğe karşı korumalı RFID ve uygulama destekli cihaz, QR kod ile "kazan-kazan" mekanizmasına sahip blokzincir tabanlı sistem (QR-B). 1120 İtalyan tüketiciyle yapılan anket sonuçlarına göre, katılımcıların %94'ü bu tür teknolojilerin uygulanmasına ilgi göstermiş, %45'i ise özellikle QR-B sistemini tercih etmiştir. Buna rağmen tüketicilerin ortalama olarak sadece %18'i bu sistemlerin ürünün fiyatına gelecek olan ek ödemeye istekli olduğu belirlenmiştir. Ekonomik analizlerde ise üretim ölçeğine bağlı olarak maliyetlerin orta ve yüksek üretim seviyelerinde daha düşük bir yük oluşturduğu saptanmıştır. QR-B sisteminin başarısının, blokzincirin gıda sektöründeki popülaritesi, teşvik mekanizmalarının kullanımı, QR kodun pratikliği ve oyunlaştırma stratejisi gibi faktörlere bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Violino vd., 2019).

Papaefthimiou ve arkadaşları, zeytinyağı üretim zincirini izlemek ve değerlendirmek amacıyla geliştirilen bulut tabanlı bir yönetim sistemini önermiştir. Önerilen sistem, zeytin üretim süreçlerini izlemek için böl ve yönet mantığını benimseyerek, zeytin ağaçlarını kümelerle ayırarak çalışmaktadır. Bu kümelerde, NFC teknolojisi kullanılarak bitki koruma uygulamaları ve gübreleme süreçleri izlenmektedir. Sistem, yalnızca saha içi izleme hizmetleri sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sızma zeytinyağı yönetim süreçlerini de kapsamaktadır. Endüstriyel ekstraksiyon sürecinde zeytinyağının nicel ve nitel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, yağhanelere bağlı sensörler aracılığıyla sistem operatörü tarafından veri toplanmaktadır. Sistem hizmetleri ve yönetim algoritmaları, bulut tabanlı bir sunucu tarafından kontrol edilmekte olup, toplanan veriler mobil uygulama aracılığıyla kullanıcılara iletilmektedir. Çalışma, sistemin teknik özelliklerini ve iletişim protokollerinin yapısını ayrıntılı şekilde açıklamaktadır. Ayrıca, sistemin veri madenciliği yetenekleri incelenmiş ve sistemin sistematik tarımı iyileştirme, marka değerini artırma ve ürün ihracatını geliştirme potansiyeli üzerine bir vaka çalışması sunulmuştur (Papaefthimiou vd., 2019).

Pigini ve Conti, gıda güvenliği konusundaki uluslararası endişelerin artmasıyla birlikte, tarımdan tüketime kadar tüm tedarik zincirini izleyebilen NFC tabanlı bir izlenebilirlik sistemi önermiştir. Çalışma, sığır süngerimsi ensefalopatisi, dioksin kirliliği, kuş gribi ve domuz gribi gibi halk sağlığını tehdit eden olayların, gıda izlenebilirliği konusundaki düzenlemeleri ve tüketici güvenliğine yönelik talepleri artırdığını vurgulamaktadır. Gıda üretim sektöründeki işletmelerin, giderek daha katı hale gelen kanuni düzenlemelere uyum sağlamak ve pazar taleplerine yanıt verebilmek için organizasyonel ve yönetsel yapılarını dönüştürmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda, NFC teknolojisinin, farklı gıda sektörlerinde izlenebilirlik sağlamak için gerekli tüm gereksinimleri karşıladığı ifade edilmiştir. Çalışmada, üretim sürecinin tüm aşamalarında NFC etiketleri ile veri toplayan ve bu bilgileri doğrudan tüketicilere ulaştıran bir sistem önerilmektedir. Geliştirilen sistemin temel amacı, yalnızca izlenebilirlik sağlamak değil, aynı zamanda üretim süreçlerini iyileştirmek ve optimize etmektir. Toplanan veriler, mobil cihazlar aracılığıyla bulut veri tabanına aktarılmakta ve tüketicilere bir mobil uygulama üzerinden sunulmaktadır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği, et tedarik zinciri örneği üzerinden değerlendirilmiş ve sistemin gıda sektöründeki potansiyel faydaları tartışılmıştır (Pigini ve Conti, 2017).

### 3.2 Sektörel Uygulamalar

Inductive Intelligence adındaki ABD'li bir girişim kullanışlı, kontrollü, güvenli ve sürdürülebilir akıllı endüktif ısıtma ve pişirme deneyimleri için NFC etiketlerini kullanan bir sistem geliştirmiştir. Buna göre ısıtılacak veya pişirilecek ürün üzerinden NFC etiketi pişirme ünitesi ile etkileşime geçerek pişirme/ısıtma işleminin ne kadar bir sürede ve ne kadar sıcaklıkta yapılması gerektiğini otomatik olarak planlamaktadır. Bu şekilde özellikle mikrodalga gibi cihazlarda %75 enerji tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca sistemin bir sonraki geliştirmesinde ısıtma cihazı üzerinden toplanılan verilerin tüketiciyle ilişkilendirilmesi sayesinde “kimin neyi, ne zaman ve nerede tükettiği” gibi bilgiler anlamlı olarak elde edilecek, perakendecilere ve üreticilere veri sağlanacağı ifade edilmektedir (Clark, 2018).

Rémy Martin adındaki konyak üreticisi şişenin açılıp açılmadığını ve orijinal olup olmadığını belirleyebilmek için kapak altına NFC etiketi yerleştirmiştir. NFC etiketi şirketin mobil uygulaması üzerinden okutulmakta ve üretim yeri, üzümün menşei gibi bilgiler sunulmaktadır. Şişenin kapağı açıldığında ortamdaki manyetik alan değişeceği için NFC etiketi tetiklenerek içindeki veri de değişmektedir. Bu durumda tüketici şişenin açıldığını mobil uygulama üzerinden öğrenebilmektedir (Clark, 2018). Buna çok benzer bir uygulamayı ünlü viski üreticisi Johnny Walker'da yapmış ve akıllı şişe konsepti ile sınırlı olarak müşterilerinin kullanımına sunmuştur (Phillips, 2023).

İtalyan zeytinyağı üreticileri Buonamici, La Ranocchiaia, SPO ve Il Cavallino adlı şirketler ürün bilgilerini ve diğer ilgili içerikleri müşterileri ile paylaşmak için NFC etiketlerini ürün hatlarına entegre etmişlerdir. Özellikle hileli üretimi engellemek istediklerini belirten firmalar bu şekilde müşterilerine ve İtalyan zeytinyağı sektörüne güvenin arttığını belirtmişlerdir (Whitworth, 2016).

İspanyol şarap üreticisi Barbadillo, şirketin tüketicilerle daha iyi bağlantı kurmasına, veri toplamasına, nakit ödüller kazanmasına ve satışları artırmasına yardımcı olmayı amaçlayan bir pazarlama kampanyasının parçası olarak, NFC uzmanı Thinfilm'in SpeedTap etiketlerinden yararlanmaktadır (Francer, 2017).

Bir kampanya için Nintendo ve Kellogg, mısır gevreği kutularına NFC etiketleri eklemişlerdir. “Super Mario Odyssey” oyunu için yapılan kampanyada amaç, çocukların oyununu oynarken altın paralar ve kalpler almak için Nintendo Switch oyun konsolu ile mısır gevreği kutusuna dokunmaları ve bu şekilde oyunda ilerlemeleri olarak belirtilmiştir (Reynolds, 2018).

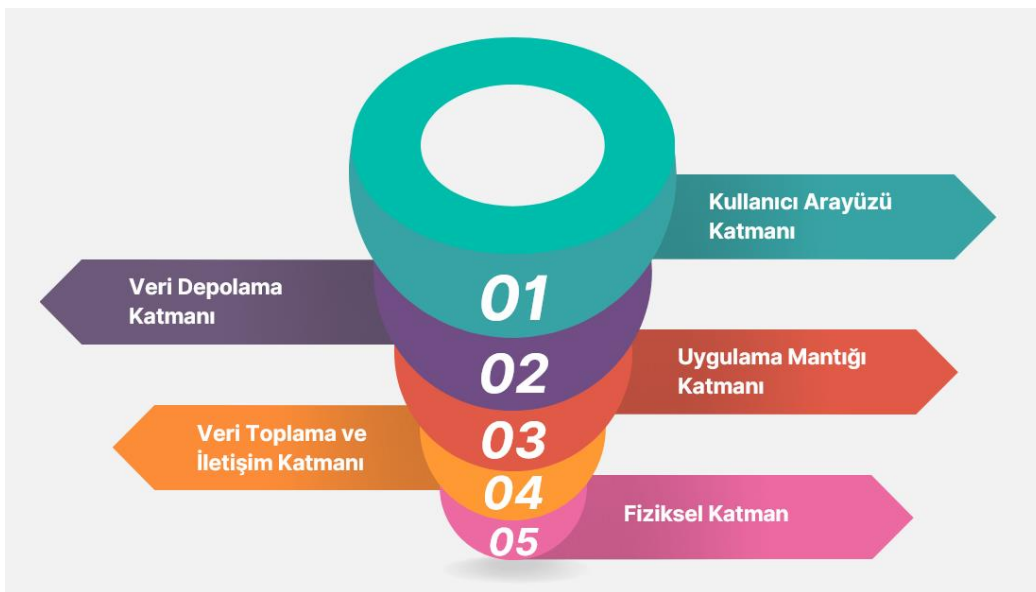
Yeniden kullanılabilir plastik yemek taşıma kapları üreten girişim Ekko, restoranların ve tüketicilerin plastik kullanımını azaltmasına yardımcı olmak için eve siparişler için ürettiği yeniden kullanılabilir plastik kaplara NFC etiketi yerleştirmiştir. Bu NFC etiketi sayesinde ürünün restorandan çıkışı ve tekrar müşterinin restorana kabı getirmesi dijital olarak takip edilmektedir (Kinsella, 2021).

Yukarıda verilen örneklerde de görüleceği gibi gıdalar üzerindeki NFC kullanımı daha çok müşteri memnuniyeti ve ürün izlenebilirliğinin artırılmasına yöneliktir. Özellikle fiyat/performans ürünü olan akıllı telefonlara da NFC özelliğinin eklenmesiyle yakın gelecekte daha çok gıda ürününe NFC etiketlerinin eklenmesi olasıdır.

#### 4. NFC TABANLI İZLENEBİLİRLİK MODELİ ÖNERİSİ

Gıda tedarik zincirlerinde güvenli, şeffaf ve gerçek zamanlı veri takibi sağlamak için NFC tabanlı izlenebilirlik sistemleri katmanlı bir mimari yaklaşım ile tasarlanmalıdır. Bu mimari, fiziksel donanımlardan veri işleme süreçlerine, güvenlik mekanizmalarından kullanıcı arayüzlerine kadar geniş bir yapı sunarak bütüncül bir çözüm oluşturmaktadır. Bununla birlikte, çalışmada yalnızca NFC teknolojisine odaklanmakta ve özellikle tedarik zincirinin üretim sonrası aşamaları, yani işleme tesisi, dağıtım kanalları, perakende noktaları ve tüketici etkileşimi üzerine yapılandırılmıştır. Literatür ve sektörel uygulamalar incelendiğinde, NFC teknolojisinin genellikle ambalajlı ürünler düzeyinde, doğrudan mobil cihazlarla etkileşim sağlayarak tüketiciye bilgi sunma amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda önerilen model, üretim sahası dışındaki aşamalarda düşük maliyetli ve kullanıcı dostu bir izlenebilirlik çözümü sunmakta; üretici, perakendeci ve tüketici arasında veri güvenliği ve şeffaf bilgi akışını sağlamayı hedeflemektedir. Yazarlar tarafından önerilen ve Şekil 1'de verilen NFC tabanlı gıda izlenebilirlik modelinin katmanları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

**Şekil 1. NFC Tabanlı İzlenebilirlik Sistemi Modelinin Katman Yapısı**



Fiziksel katman (Donanım Katmanı) NFC tabanlı gıda izlenebilirlik sisteminin temel yapı taşı olup, verilerin toplanmasını ve sistemin işleyişini sağlayan donanım ve sensör bileşenlerinden oluşur. Bu katmanda gıda ürünlerine yerleştirilen NFC etiketleri, NFC okuyucular ve bazı durumlarda çevresel sensörler bulunmaktadır. NFC etiketleri, her bir gıda ürünü veya ürün partisine atanarak, benzersiz bir kimlik numarası (UID) ile tanımlanır. Bu etiketler kullanılacak senaryoya göre ürünün menşei, üretim ve tüketim tarihi, üretici bilgileri ve saklama koşulları gibi verileri içermelidir. NFC okuyucular, sistemin bir diğer kritik bileşenidir. Akıllı telefonlar, endüstriyel tarayıcılar veya kiosk terminalleri gibi cihazlar NFC etiketlerinden gelen bilgileri okuyarak sisteme veri girişi yapar ve/veya veriyi güncelleyebilir. Üretim tesislerinde, depolarda ve perakende satış noktalarında kullanılan bu okuyucular, gıda ürünlerinin hareketlerini ve durumlarını izleyerek tedarik zinciri boyunca veri akışını sağlar. Bazı durumlarda, çevresel izleme sensörleri de fiziksel katmana dahil edilebilir. Özellikle soğuk zincir lojistiğinde, sıcaklık ve nem gibi kritik parametreleri izleyen sensörler, NFC etiketleri ile entegre edilerek ürünlerin uygun saklama koşullarında taşınıp taşınmadığını takip edebilir. Bu sensörler, gıda güvenliğini artırmak, bozulmayı önlemek ve kalite standartlarını sağlamak açısından büyük önem taşır. Ürünün gıda zincirindeki senaryosuna göre bu katmanda birçok farklı donanım ürünü veya sensör kullanılabilir. Genel olarak, fiziksel katman, NFC tabanlı izlenebilirlik sisteminin temel veri kaynağı olarak işlev görür. Bu katmanda toplanan bilgiler, daha sonraki katmanlarda işlenerek tedarik zincirinin her aşamasında güvenli ve şeffaf bir takip mekanizması oluşturulmasını sağlar.

Veri toplama ve iletişim katmanı, fiziksel katmandan gelen verileri toplayarak merkezi sistemlere ileten altyapıyı oluşturmaktadır. NFC etiketlerinden okunan bilgiler, mobil cihazlar, endüstriyel okuyucular veya IoT cihazları aracılığıyla Wi-Fi, Bluetooth, 4G/5G, LoRa veya LAN

bağlantılarıyla bulut veya Edge tabanlı veri tabanına gönderilir. Veri aktarımı HTTP(S), MQTT, CoAP ve WebSocket gibi protokollerle sağlanarak, anlık güncellemeler ve gerçek zamanlı takip mümkün hale gelir. Bu katmanda tanımlanmış API entegrasyonları üreticiler, lojistik firmaları ve perakendeciler gibi gıda tedarik zincirinin diğer paydaşları arasında veri paylaşımını hızlandırır. Bu katman ayrıca, hata yönetimi ve güvenlik mekanizmalarını içerir. NFC'den okunan verilerin eksiksiz ve doğru olmasını sağlamak için otomatik doğrulama mekanizmaları devreye girer. Şifreleme (AES-256, SHA veya RSA gibi), güvenli iletişim (SSL/TLS) ve kimlik doğrulama (OAuth) ile yetkisiz erişimler engellenir. Özetle, veri toplama ve iletişim katmanı, NFC tabanlı sistemlerin hızlı, güvenli ve kesintisiz veri akışıyla çalışmasını sağlayan kritik bir bileşendir.

Uygulama mantığı katmanı (İş kuralları) NFC etiketlerinden gelen verileri işleyerek tedarik zinciri süreçlerini yöneten yazılım bileşenlerini içermektedir. Ürün geçmişi, lojistik hareketler ve kalite kontrolleri burada yönetilir. İş süreçleri yönetimi, ürünün üretimden tüketiciye kadar olan tüm aşamalarını takip eder. Üretim, sevkiyat ve satış noktalarında otomatik veri doğrulama ve güncelleme yapılır. Geri çağırma mekanizmaları, bozuk veya hatalı ürünlerin hızlıca tespit edilmesini sağlar. Güvenlik ve yetkilendirme, verilerin yalnızca yetkili kişiler tarafından erişilmesini sağlar. OAuth, JWT kimlik doğrulama ve AES, SHA, RSA şifreleme gibi güvenlik önlemleri kullanılarak yetkisiz erişimler engellenir. Bu katmanda opsiyonel olarak blokzincir ve akıllı kontratlar tanımlanarak tedarik zincirindeki tüm işlemleri şeffaf ve değiştirilemez hale getirilebilir. Her işlem, blokzincir üzerine kaydedilerek veri manipülasyonu önlenir ve tam izlenebilirlik sağlanır. Özetle, uygulama mantığı katmanı, gıda izlenebilirlik sisteminin otomatik işleyişini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlayan tüm yazılım teknolojilerinin bulunduğu kritik bir bileşendir.

Veri depolama katmanı, NFC etiketlerinden gelen tüm verilerin güvenli bir şekilde saklanmasını ve yönetilmesini sağlamaktadır. Üretimden tüketiciye kadar olan süreçlerde toplanan veriler, bulut tabanlı veri tabanlarında (AWS, Google Cloud, Microsoft Azure) veya yerel sunucularda depolanır. Veri yönetimi için SQL ve NoSQL veri tabanları kullanılarak hem yapılandırılmış hem de büyük ölçekli verilerin saklanması sağlanır. Büyük veri analitiği ile sistem, ürün hareketlerini takip edebilir, lojistik süreçleri optimize edebilir ve tüketici eğilimlerini analiz edebilir. Regülasyon uyumu, bu katmanın en önemli bileşenlerinden biridir. HACCP, ISO 22000, FDA ve Avrupa Gıda Güvenliği, Türk Standartlar Enstitüsü, Tarım ve Orman Bakanlığı standartlarına uygun veri saklama politikaları uygulanarak sistem, gıda güvenliği gereksinimlerini karşılar. Veri güvenliği, yine AES, SHA veya RSA şifreleme algoritmaları ile sağlanırken, SSL/TLS protokolleri ve kimlik doğrulama mekanizmalarıyla yetkisiz erişimler engellenir. Blokzincir ile entegrasyon yapıldığında, veriler değiştirilemez hale gelerek sahtecilik riski ortadan kaldırılır. Özetle, veri depolama katmanı, NFC tabanlı izlenebilirlik sisteminin bütünlüğünü, güvenilirliğini ve yasal uyumluluğunu sağlayan kritik bir bileşendir.

Kullanıcı arayüzü katmanı kullanıcıların NFC tabanlı gıda izlenebilirlik sistemine erişmesini sağlayan mobil ve web arayüzlerini içerir. Üreticiler, lojistik firmaları, perakendeciler ve tüketiciler için farklı erişim seviyeleri sunarak veri görüntüleme, güncelleme ve analiz yapma imkanı sağlar. Mobil uygulamalar kullanıcıların NFC etiketlerini tarayarak ürün bilgilerine ulaşmasına olanak tanır. Üreticiler, üretim ve sevkiyat bilgilerini girerken, tüketiciler ürün geçmişini, menşe bilgilerini ve kalite sertifikalarını görüntüleyebilir. Web tabanlı gösterge paneli, lojistik firmaları ve market yöneticileri için envanter takibi, raf ömrü yönetimi ve gıda güvenliği analizlerini sunar. Ayrıca, regülatör kurumlar, gıda güvenliği standartlarına uygunluğu değerlendirebilir. Tüketici etkileşimi, NFC tarayıcıları aracılığıyla doğrudan üreticiye geri bildirim gönderme, kalite değerlendirmesi yapma ve şikayet bildirimi oluşturma gibi özellikler içerir. Bunun yanında gıda tedarik zincirindeki diğer ortakların kullandığı CRM, ERP gibi yazılımlarının API destekleri ve entegrasyonu sayesinde geniş bir perspektif sistem kullanıcılarına sunulabilir. Özetle kullanıcı arayüzü katmanı NFC tabanlı izlenebilirlik sisteminin erişilebilirliğini ve kullanıcı deneyimini optimize eden en üst katmandır.

Bu çalışma kapsamında önerilen NFC tabanlı izlenebilirlik modeli, örnek ürünler üzerinden somutlaştırılarak açıklanmıştır. Modelin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla zeytinyağı ve bal gibi katma değeri yüksek, sahteciliğe açık ve kalite farklılaşması barındıran iki gıda ürünü seçilmiştir. Bu ürünler, tüketici nezdinde güvenilirliğin kritik olduğu, aynı zamanda izlenebilirlik teknolojilerinin şeffaflık, orijin doğrulama ve kalite belgelendirme amacıyla önemli katkılar sunabileceği gıda gruplarıdır. Ayrıca bu ürünlerde üretim sonrası ambalajlama ve pazarlama süreçleri yaygın olduğu için,

NFC etiketlerinin doğrudan ürünle bütünleştirilebilmesi ve tüketiciye mobil erişim sağlanabilmesi mümkündür. Bu bağlamda zeytinyağı ve bal, önerilen modelin işleyişini açıklamak ve potansiyel katkılarını göstermek açısından uygun örnekler olarak değerlendirilmiştir.

Zeytinyağı sahteciliğe açıklığı ve kalite farklılaşması gibi nedenlerle NFC tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin uygulanması açısından son derece uygun bir gıda ürünüdür. Özellikle soğuk sıkım, erken hasat, organik üretim gibi niteliklerin ürün fiyatını doğrudan etkilediği zeytinyağı sektöründe, tüketiciye güvenilir ve doğrulanabilir bilgi sunulması büyük önem taşır. Mevcut barkod ve QR kod sistemleri, bu bilgileri sınırlı düzeyde iletebilmekte iken güncellenebilirlik, güvenlik ve şeffaflık açısından yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda NFC teknolojisi, üretimden tüketime kadar olan tüm süreçlerde şişeye entegre edilen bir etiket üzerinden kullanıcıya anlık veri sağlayarak dijital izlenebilirliği mümkün kılar. Önerilen sistemin fiziksel katmanında her zeytinyağı şişesine benzersiz bir kimlik numarası (UID) içeren NFC etiketi entegre edilir. Bu etiket üretim tarihi, sıkım yöntemi, coğrafi işaret bilgisi, üretici kimliği, kalite analiz raporları gibi verileri içerir. Etiket ambalajla fiziksel bütünlük içinde olması, ürünün açılıp açılmadığını da gösterebilir. Veri toplama katmanında, üreticiler ve lojistik firmaları mobil uygulamalar aracılığıyla bu bilgileri sisteme girer veya günceller; bu veriler HTTPS, MQTT gibi protokoller aracılığıyla bulut veya blokzincir tabanlı veri altyapısına aktarılır. Uygulama mantığı katmanında, sistemin iş kuralları devreye girer; kullanıcı etiket okutulduğunda sistem, ürünün tüm geçmişini sorgular, doğrular ve gösterir. Geri çağırma mekanizmaları, bozulma durumları ya da kalite ihlalleri gibi senaryolar bu katmanda yönetilir. Veri depolama katmanında ise tüm bilgiler güvenli biçimde saklanır; üretim belgeleri, analiz raporları, taşıma kayıtları gibi veriler sistemde şeffaf ve değiştirilemez şekilde korunur. Son olarak kullanıcı arayüzü katmanında, üreticiler veri girişlerini, lojistik firmaları takip ve güncellemeleri, tüketiciler ise ürün kimliği ve geçmişini görüntüleyebilir. Tüketiciler, mobil cihazlarıyla NFC etiketini okuttuklarında şeffaf ve güvenilir bilgilerle karşılaşır; üreticiye geri bildirimde bulunabilir veya kalite değerlendirmesi yapabilir. Böylece zeytinyağı gibi premium ürünlerde güvenli, sürdürülebilir ve bütünlüklü bir izlenebilirlik ekosistemi oluşturulmuş olur.

Bal doğal yapısı, çeşitliliği ve yüksek ekonomik değeri ile gıda sahteciliğine en açık ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle NFC tabanlı izlenebilirlik sistemleri açısından stratejik bir kullanım alanı sunmaktadır. Piyasada sıklıkla glikoz katkılı sahte balların bulunması, menşee ve üretim koşulları hakkında bilgi eksikliği ve laboratuvar analizlerinin şeffaf sunulmaması gibi sorunlar tüketici güvenini zedelemekte ve markaların itibarını tehdit etmektedir. Bu bağlamda üretimden tüketime kadar olan süreçlerin güvenli, şeffaf ve dijital biçimde izlenebilir hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Önerilen NFC tabanlı sistemin fiziksel katmanında, her bal kavanozuna özgün bir UID taşıyan NFC etiketi entegre edilir. Bu etiket, ürünün coğrafi menşee bilgisi, arıcılık işletmesi, kovandan hasat tarihi, floral kaynaklar, kristalleşme durumu, analiz raporları ve organik sertifikalar gibi bilgileri içerebilir. Etiket mühürle entegre tasarlanması, ambalaj açıldığında etiketin devre dışı kalmasını sağlayarak ürün bütünlüğünü korur. Veri toplama ve iletişim katmanında, arıcılar ve kooperatifler üretim bilgilerini doğrudan mobil uygulama ile etikete işler; lojistik süreçte taşıma koşulları gerektiğinde sensörlerle ölçülerek sisteme aktarılır. Bu veriler HTTPS, MQTT gibi güvenli iletişim protokolleri üzerinden merkezi bir veri altyapısına veya tercihen blokzincir sistemine iletilir. Uygulama mantığı katmanında ürünün tüm geçmişi tekil UID üzerinden eşleştirilerek sorgulanabilir hale gelir ve şeffaf bir şekilde kullanıcıya sunulur. Bozulma, sahtecilik tespiti veya geri çağırma gibi olaylar için kurallar tanımlanabilir. Ayrıca tüketiciye “Bu ürün 2024 yılı temmuz ayında Artvin yöresinde kestane ormanlarında hasat edilmiştir” gibi tanıtıcı bilgiler veya videolar gösterilebilir. Veri depolama katmanı tüm üretim belgeleri, sertifikalar ve analiz sonuçlarının güvenli, ISO 22000, Türk Gıda Kodeksi gibi regülasyonlara uyumlu biçimde saklanmasını sağlar. Blokzincir tabanlı bir yapı ile verilerin değiştirilemezliği ve doğrulanabilirliği sağlanabilir. Kullanıcı arayüzü katmanında ise arıcılar üretim bilgilerini sisteme girerken, tüketiciler mobil cihazları ile kavanozdaki NFC etiketini okutarak balın kökeni, kalitesi ve üretici işletme hakkında detaylı bilgiye ulaşabilirler. Ayrıca yorum yapma, kalite değerlendirmesi veya sahte ürün bildirimleri gibi etkileşimlere de olanak tanınabilir. Böylece bal sektöründe sık karşılaşılan sahtecilik ve bilgi kirliliği gibi sorunlara karşı güçlü bir dijital çözüm sunularak hem tüketici güveni artırılır hem de markaların şeffaflık ve kalite iddiaları doğrulanabilir hale gelir.

Önerilen NFC tabanlı izlenebilirlik modeli, esas olarak katma değeri yüksek, ambalajlı ve raf ömrü izlenebilir ürünler için uygulanabilir bir sistem olarak tasarlanmıştır. Modelin taze meyve-sebze, kısa raf ömrüne sahip taze süt ürünleri veya anlık sıcaklık kontrolü gerektiren bozulabilir ürün gruplarında yalnızca NFC tabanlı çözümlerle yeterli performans göstermesi mümkün değildir. Bu tür ürünlerde çevresel sensörler, RFID veya LoRaWAN gibi uzun menzilli teknolojilerle entegre hibrit sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, önerilen model tüm gıda zincirleri için tekil ve evrensel bir çözüm sunma iddiasında değildir; belirli koşullar altında (ambalajlı, taşınabilir, sıcaklık riski düşük, sahteciliğe açık vb.) verimli çalışacak şekilde yapılandırılmıştır. NFC tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin kullanım kısıtları ve geliştirme potansiyeli tartışma bölümünde detaylandırılmıştır.

## 5. TARTIŞMA

Bu bölümde, NFC tabanlı sistemlerin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği ele alınmış; karşılaşılabilecek teknik ve operasyonel zorluklara yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca gıda güvenliği ve tedarik zinciri yönetimi bağlamında NFC teknolojisinin gelecekte üstlenebileceği rol tartışılmış ve bu teknolojinin daha geniş ölçekte benimsenebilmesi için atılması gereken adımlara değinilmiştir.

NFC tabanlı izlenebilirlik sistemleri, gıda sektöründe dijital dönüşümün önemli bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Pigini ve Conti, 2017). Bu sistemlerin uygulanabilirliği, özellikle temassız veri aktarımı, akıllı telefonlar ve mobil cihazlarla entegre çalışma ve düşük enerji tüketimi gibi avantajları sayesinde oldukça yüksektir. NFC teknolojisi, üreticiden son kullanıcıya kadar uzanan gıda tedarik zincirinde ürün kimliği, üretim tarihi, lojistik koşullar ve kalite belgeleri gibi bilgilerin dinamik ve güvenli bir biçimde taşınmasına olanak tanımaktadır. Özellikle, barkod ve QR kod gibi geleneksel sistemlere kıyasla güncellenebilir veri yapısı ve yüksek güvenlik seviyeleri sunması, NFC'yi öne çıkarmaktadır (Zanella vd., 2014). Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, sistemin sadece teknik olarak çalışabilir olması yeterli değildir. NFC etiketlerinin geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmesi, kullanım sonrası çevresel etkilerinin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca sistemin uzun vadede sürdürülebilir olması için, tüm tedarik zinciri aktörlerinin entegre bir dijital platform üzerinden senkronize çalışabilmesi gerekmektedir. Bu noktada veri standartları, bulut altyapısı ve kullanıcı arayüzlerinin esnekliği, sürdürülebilirliğin belirleyicileri arasında yer almaktadır. Özellikle KOBİ'ler için düşük maliyetli, modüler ve açık kaynaklı çözümlerin sunulması, teknolojinin geniş çapta benimsenmesini kolaylaştıracaktır.

NFC tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin entegrasyonu sırasında karşılaşılan en önemli teknik zorluklardan biri, etiket maliyetinin ürün fiyatına oranla yüksek kalmasıdır. Düşük maliyetli ve yüksek hacimli ürün gruplarında, her bir birim için NFC etiketi kullanmak ekonomik açıdan verimli olmayabilir. Bu nedenle, parti bazlı etiketleme veya ambalaj seviyesinde takip gibi çözümler kullanılmalıdır. Bir diğer teknik zorluk ise NFC'nin kısa menzilli iletişim özelliği nedeniyle depo veya lojistik ortamlarında toplu okuma işlemlerinde yetersiz kalmasıdır. Bu problem, NFC teknolojisinin RFID veya LoRaWAN gibi uzun menzilli çözümlerle hibrit olarak kullanılmasıyla aşılabılır (El Matbouly vd., 2022). Operasyonel düzeyde karşılaşılan sorunlar genellikle insan faktörü ve dijital okuryazarlık seviyesi ile ilgilidir. Tedarik zincirinde yer alan üreticilerin, lojistik operatörlerin ve perakendecilerin bu teknolojiyi doğru ve etkin bir şekilde kullanabilmesi için kapsamlı eğitim ve destek programları gereklidir. Kullanıcı arayüzlerinin sade, anlaşılır ve dil desteği olan yapılarla tasarlanması, sistemin benimsenmesini kolaylaştıracaktır. Veri güvenliği de ciddi bir konudur. NFC etiketlerinin fiziksel olarak kopyalanması, veri bütünlüğünü tehlikeye atabilir. Bu soruna karşı kriptografik doğrulama sistemleri, dijital imza teknolojileri ve blokzincir tabanlı kayıt yönetimi gibi çözümler önerilmektedir. Böylece her işlem şeffaf, doğrulanabilir ve değiştirilemez hale getirilebilir.

Gıda güvenliği, günümüz küresel tedarik zincirlerinde en kritik önceliklerden biridir. İzlenebilirlik sistemleri, potansiyel kontaminasyon risklerinin tespiti ve sorunlu ürünlerin hızlıca geri çağırılması açısından büyük öneme sahiptir. NFC teknolojisi, bu süreçlerde anlık ve güvenilir veri erişimi sağlayarak gıda güvenliği yönetimini daha etkin hale getirmektedir. Özellikle soğuk zincir gerektiren ürünlerde, NFC'ye entegre edilen ısı ve nem sensörleri, ürünün taşınma ve depolama koşullarının izlenmesini mümkün kılmakta, bu da bozulmaların ve israfın önlenmesine katkı sunmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi açısından NFC, sadece izleme değil, aynı zamanda planlama, envanter yönetimi ve

performans takibi gibi fonksiyonlarda da kullanılabilir. NFC tabanlı sistemler, tedarik zincirinin her noktasında dijital ayak izi bırakarak ürün yaşam döngüsünü görünür kılar. Bu görünürlük, lojistik operasyonların optimize edilmesine, geri bildirim mekanizmalarının geliştirilmesine ve müşteri memnuniyetinin artırılmasına olanak tanır. Gelecekte, NFC teknolojisinin yapay zekâ destekli analiz platformları, karar destek sistemleri ve dijital ikiz modelleri ile entegre çalışarak daha öngörülebilir ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin oluşturulmasında rol oynaması beklenmektedir (Vilas-Boas vd., 2023). Bu nedenle, NFC yalnızca bir veri aktarım teknolojisi değil, aynı zamanda akıllı gıda ekosistemlerinin önemli bir parçası olacaktır.

NFC teknolojisinin gıda sektöründe yaygınlaştırılması için çok boyutlu bir stratejiye ihtiyaç vardır. İlk adım olarak hem tedarik zinciri paydaşlarının hem de tüketicilerin teknolojiyi tanınması ve anlaması sağlanmalıdır. Bu doğrultuda, sektör içinde bilgilendirme kampanyaları, teknik eğitimler ve uygulamalı pilot projeler yürütülmelidir. Özellikle küçük işletmelerin sisteme dahil olabilmesi için kamu destekli teşvikler, hibe programları ve dijital altyapı yatırımları büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin yaygınlaşmasında regülasyonların ve standartların belirleyici rolü vardır. Uluslararası izlenebilirlik standartlarına uyumlu altyapıların kurulması, sistemlerin birbiriyle entegre çalışmasını kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda, ülke bazlı gıda mevzuatlarında NFC gibi dijital izleme teknolojilerine özel düzenlemeler yapılması, sektörün bu yönde dönüşümünü hızlandırabilir. Tüketici farkındalığı da göz ardı edilmemelidir. Ürün etiketlerinde NFC kullanımının görünür biçimde belirtilmesi, mobil uygulamalarla etkileşimin teşvik edilmesi ve tüketicilere sunulan bilginin sade ve anlamlı olması, sistemin benimsenmesini doğrudan etkiler. Ayrıca, markalar için bu sistemler bir pazarlama avantajına dönüşebilir; zira tüketici, ürünün geçmişini görebildiği zaman o markaya olan güveni artar. Sonuç olarak, NFC teknolojisinin yaygınlaştırılması yalnızca teknik değil, aynı zamanda eğitimsel, ekonomik ve yasal adımları içeren bütünsel bir yaklaşımı gerektirir. Bu adımlar doğru planlandığında, gıda sektöründe şeffaf, güvenli ve izlenebilir dijital bir ekosistem kurulması mümkün olacaktır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışma, gıda sektöründe izlenebilirliğin artan önemine dikkat çekerek, özellikle geleneksel sistemlerin yetersiz kaldığı noktaları ele almış ve NFC tabanlı izlenebilirlik teknolojilerinin sunduğu potansiyeli ortaya koymuştur. Gıda güvenliği, şeffaflık, yasal uyum ve tüketici güveni gibi temel konuların etkili bir şekilde yönetilebilmesi için, gelişmiş dijital çözümlere ihtiyaç duyulduğu günümüzde, NFC teknolojisi; dinamik veri aktarımı, temas gerektirmeyen kullanım kolaylığı ve mobil cihazlarla doğrudan etkileşim imkânı sunmasıyla öne çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen mimari model önerisi, NFC teknolojisinin gıda tedarik zincirinin tüm aşamalarına entegre edilebileceğini ve bu sayede gerçek zamanlı, güvenilir ve kullanıcı dostu bir izlenebilirlik sisteminin mümkün olduğunu göstermiştir. Modelde yer alan çok katmanlı yapı sayesinde; fiziksel veri toplama, iletişim protokolleri, uygulama mantığı, veri saklama ve kullanıcı arayüzleri gibi tüm bileşenler detaylı şekilde yapılandırılmıştır. Bu yapı, sistemin hem teknik hem de operasyonel anlamda sürdürülebilir ve ölçeklenebilir olmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca model taze veya hassas ürün gruplarında çevresel parametrelerin dinamik izlenmesini yeterince sağlayamayabileceğinden, bu tür uygulamalar için NFC teknolojisinin RFID, sensör sistemleri ve IoT tabanlı çözümlerle desteklenmesi önerilmektedir.

Ayrıca çalışma, teknik ve operasyonel düzeyde karşılaşılabilecek zorlukları da ele almış, bunlara yönelik çözüm önerileri geliştirmiştir. Etiket maliyetleri, kısa menzillik sınırlamaları, dijital okuryazarlık eksiklikleri ve veri güvenliği konularında; parti bazlı etiketleme, hibrit sistem entegrasyonu, kullanıcı eğitimi ve blokzincir destekli güvenlik önlemleri gibi stratejiler önerilmiştir. Bu sayede NFC teknolojisinin geniş çapta uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği güçlendirilmiştir.

Gıda güvenliği ve tedarik zinciri yönetimi açısından bakıldığında, NFC'nin sadece bir izleme aracı değil, aynı zamanda karar destek sistemleri, otomatik kalite kontrol süreçleri ve tüketici etkileşimi açısından stratejik bir rol üstlenebileceği görülmektedir. Özellikle yapay zeka, IoT ve blokzincir gibi diğer teknolojilerle entegre edildiğinde, NFC destekli sistemlerin tarım-gıda sektöründe önemli bir dijital dönüşüm sağlayabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma NFC teknolojisinin gıda izlenebilirliğinde kullanımıyla ilgili kapsamlı bir çerçeve sunmuş, uygulama modeli geliştirmiş ve gelecekteki potansiyel kullanım senaryolarını değerlendirmiştir. Sektörel yaygınlaştırma için teknik altyapının yanı sıra, düzenleyici destek, ekonomik teşvikler ve kullanıcı farkındalığını artırıcı stratejilerin hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda NFC teknolojisinin, gıda sektöründe şeffaflık, güvenlik ve sürdürülebilirliği artıran etkili bir dijital çözüm olarak benimsenmesi mümkündür.

## KAYNAKÇA

- Agnusdei, G. P., Coluccia, B., Elia, V., & Miglietta, P. P. (2022). IoT technologies for wine supply chain traceability: potential application in the Southern Apulia Region (Italy). *Procedia Computer Science*, 200, 1125-1134. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.312>
- Barge, P., Biglia, A., Comba, L., Ricauda Aimonino, D., Tortia, C., & Gay, P. (2020). Radio Frequency IDentification for Meat Supply-Chain Digitalisation. *Sensors*, 20(17), 4957. <https://doi.org/10.3390/s20174957>
- Başaran, B. (2015). ISO 22000 Food Safety Management System. *Journal of Food and Health Science*, 9-26. <https://doi.org/10.3153/JFHS16002>
- Bhat, S. A., Huang, N.-F., Sofi, I. B., & Sultan, M. (2021). Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. *Agriculture*, 12(1), 40. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010040>
- Busold, C., Taha, A., Wachsmann, C., Dmitrienko, A., Seudié, H., Sobhani, M., & Sadeghi, A.-R. (2013). Smart keys for cyber-cars. *Proceedings of the third ACM conference on Data and application security and privacy*, 233-242. <https://doi.org/10.1145/2435349.2435382>
- Charlebois, S., Sterling, B., Haratifar, S., & Naing, S. K. (2014). Comparison of Global Food Traceability Regulations and Requirements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 1104-1123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12101>
- Clark, M. (2018). Wireless startup uses NFC smart packaging to heat pre-packaged food and drinks. *NFCW*. <https://www.nfcw.com/2018/09/26/358145/wireless-startup-uses-nfc-smart-packaging-to-heat-food-drinks/>
- Conti, M. (2020). Food Traceability in Fruit and Vegetables Supply Chain. *2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISCAS45731.2020.9181294>
- Conti, M. (2022). EVO-NFC: Extra Virgin Olive Oil Traceability Using NFC Suitable for Small-Medium Farms. *IEEE Access*, 10, 20345-20356. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3151795>
- Coskun, V., Ok, K., & Ozdenizci, B. (2011). *Near field communication (NFC): From theory to practice*. John Wiley & Sons.
- Ebere, O., Ramsurrun, V., Seem, P., Katsina, P., Anantwar, S., Sharma, M., & Seem, A. (2022). NFC tag-based mHealth Patient Healthcare Tracking System. *2022 3rd International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/NextComp55567.2022.9932185>
- El Matbouly, H., Nikbakhtnasrabadi, F., & Dahiya, R. (2022). RFID Near-field Communication (NFC)-Based Sensing Technology in Food Quality Control. *Çinde Biosensing and Micro-Nano Devices* (ss. 219-241). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8333-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8333-6_9)
- Francer, C. (2017). The Results Are In: NFC Packaging Boosts Sales for Barbadillo. *Packaging Impressions*. <https://www.packagingimpressions.com/article/the-results-are-in-nfc-packaging-boosts-sales-for-barbadillo/>
- Grantham, A., Pandan, Ma. R., Roxas, S., & Hitchcock, B. (2022). Overcoming Catch Data Collection Challenges and Traceability Implementation Barriers in a Sustainable, Small-Scale Fishery. *Sustainability*, 14(3), 1179. <https://doi.org/10.3390/su14031179>
- Kinsella, A. (2021). This container is green. *Communittech*. <https://communittech.ca/technews/this-container-is-green.html>
- Kotsanopoulos, K. V., & Arvanitoyannis, I. S. (2017). The Role of Auditing, Food Safety, and Food Quality Standards in the Food Industry: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 760-775. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12293>
- Lukacs, M., Toth, F., Horvath, R., Solymos, G., Alpár, B., Varga, P., Kertesz, I., Gillay, Z., Baranyai, L., Felfoldi, J., Nguyen, Q. D., Kovacs, Z., & Friedrich, L. (2025). *Advanced Digital Solutions for Food Traceability:*

- Enhancing Origin, Quality, and Safety Through NIRS, RFID, Blockchain, and IoT. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1), 21. <https://doi.org/10.3390/jsan14010021>
- Moe, T. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 211-214. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00037-5)
- Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). *HACCP: A practical approach*. Springer Science & Business Media.
- Mostaccio, A., Bianco, G. M., Marrocco, G., & Occhiuzzi, C. (2023). RFID Technology for Food Industry 4.0: A Review of Solutions and Applications. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 7, 145-157. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2023.3278722>
- Olsen, P., & Borit, M. (2013). How to define traceability. *Trends in Food Science & Technology*, 29(2), 142-150. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.10.003>
- Onumadu, P., & Abroshan, H. (2024). Near-Field Communication (NFC) Cyber Threats and Mitigation Solutions in Payment Transactions: A Review. *Sensors*, 24(23), 7423. <https://doi.org/10.3390/s24237423>
- Papaefthimiou, D., Kontogiannis, S., Chatzimparmpas, A., Kokkonis, G., & Valsamidis, S. (2019). Proposed OLEA Management System with Farming Monitoring Processes for Virgin Olive Oil Production Traceability and Assessment (ss. 325-353). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02312-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02312-6_19)
- Pesonen, J., & Horster, E. (2012). Near field communication technology in tourism. *Tourism Management Perspectives*, 4, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.04.001>
- Phillips, T. (2023). Johnnie Walker uses NFC to let consumers access immersive digital Singapore experience at Changi Airport. *NFCW*. <https://www.nfcw.com/2023/04/26/383367/johnnie-walker-uses-nfc-to-let-consumers-access-immersive-digital-singapore-experience-at-changi-airport/>
- Pigini, D., & Conti, M. (2017). NFC-Based Traceability in the Food Chain. *Sustainability*, 9(10), 1910. <https://doi.org/10.3390/su9101910>
- Ramos-de-Luna, I., Montoro-Ríos, F., & Liébana-Cabanillas, F. (2016). Determinants of the intention to use NFC technology as a payment system: an acceptance model approach. *Information Systems and e-Business Management*, 14(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s10257-015-0284-5>
- Reynolds, P. (2018). NFC functionality comes to cereal carton. *Pack World*. <https://www.packworld.com/leaders-new/materials/cartons-boxes/article/13374611/nfc-functionality-comes-to-cereal-carton>
- Vilas-Boas, J. L., Rodrigues, J. J. P. C., & Alberti, A. M. (2023). Convergence of Distributed Ledger Technologies with Digital Twins, IoT, and AI for fresh food logistics: Challenges and opportunities. *Journal of Industrial Information Integration*, 31, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100393>
- Violino, S., Pallottino, F., Sperandio, G., Figorilli, S., Antonucci, F., Ioannoni, V., Fappiano, D., & Costa, C. (2019). Are the Innovative Electronic Labels for Extra Virgin Olive Oil Sustainable, Traceable, and Accepted by Consumers? *Foods*, 8(11), 529. <https://doi.org/10.3390/foods8110529>
- Whitworth, J. J. (2016). Thinfilm to authenticate olive oil packaging. *Food Navigator*. <https://www.foodnavigator.com/Article/2016/11/18/Italian-olive-oil-brands-trial-NFC-tech-for-authentic-packaging/>
- Yu, Q., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2024). Blockchain-based fresh food quality traceability and dynamic monitoring: Research progress and application perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109191. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109191>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>