

## Endüstriyel IoT Yaklaşımıyla RFID Etiketlerin Otomatik Testi: Lastik Üretiminde Kalite Kontrol Uygulaması

Hamdi ERDOĞAN <sup>1,a</sup>, Alperen ÜNLÜ <sup>1,b</sup>, Kerem KÜÇÜK <sup>2,c</sup>, Mehmet Zeki KONYAR <sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>IT Department, Prometeon Turkey Endüstriyel ve Ticari Lastikler A.Ş., Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Kampüsü, Kocaeli, Türkiye

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0002-8893-2165; <sup>b</sup>ORCID: 0009-0005-8452-3072; <sup>c</sup>ORCID: 0000-0002-2621-634X;

<sup>d</sup>ORCID: 0000-0001-8914-5553

### Makale Bilgileri

Geliş : 04.08.2025

Kabul : 14.04.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1757272

### Sorumlu Yazar

Mehmet Zeki KONYAR

mzeki.konyar@kocaeli.edu.tr

### Anahtar Kelimeler

RFID

Endüstriyel IoT

Kalite kontrol

Lastik üretimi

İzlenebilirlik

**Atf şekli:** ERDOĞAN, H., ÜNLÜ, A., KÜÇÜK, K., KONYAR, M.Z., (2026). Endüstriyel IoT Yaklaşımıyla RFID Etiketlerin Otomatik Testi: Lastik Üretiminde Kalite Kontrol Uygulaması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 41(2), 433-443.

### ÖZ

Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi; üretim, lojistik, savunma ve tarım gibi sektörlerde operasyonel hız ve doğruluk sağlayan kritik bir çözümdür. Özellikle gerçek zamanlı veri erişimi gerektiren süreçlerde; envanter yönetimi, varlık takibi ve kalite izleme uygulamalarında stratejik rol oynamaktadır. Bu çalışma, lastik üretim sürecinde kullanılan RFID etiketlerinin işlevselliğini kalite kontrol aşamasında otomatik olarak test eden IIoT tabanlı bir yazılım çözümü sunmaktadır. Üretim hattındaki Tag4 etiketlerin okunabilirlik ve yazılabilirlik kontrolleri, Zebra MC3330xR el terminali için Zebra RFIDAPI3 kütüphanesi kullanılarak geliştirilen özel bir Android uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir. Veri bütünlüğünü sağlamak amacıyla kodlama sürecinde ISO 20910 standardına uygun veri yapısı tercih edilmiştir. Performans analizleri sonucunda, belirlenen optimum sinyal seviyelerinde etiketlerin %90 başarı oranıyla doğrulanabildiği gözlemlenmiştir. Sektöre özgü geliştirilen bu sistem, düşük maliyetli ve taşınabilir yapısıyla üretim hattına entegre edilerek lastik üretiminde kalite güvencesini ve küresel izlenebilirliği artırmaktadır.

## Automated Testing of RFID Tags through an Industrial IoT Approach: A Quality Control Application in Tire Manufacturing

### Article Info

Received : 04.08.2025

Accepted : 14.04.2026

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1757272

### Corresponding Author

Mehmet Zeki KONYAR

mzeki.konyar@kocaeli.edu.tr

### Keywords

RFID

Industrial IoT

Quality control

Tire manufacturing

Traceability

**How to cite:** ERDOĞAN, H., ÜNLÜ, A., KÜÇÜK, K., KONYAR, M.Z., (2026). Automated Testing of RFID Tags through an Industrial IoT Approach: A Quality Control Application in Tire Manufacturing. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 41(2), 433-443.

### ABSTRACT

Radio Frequency Identification (RFID) technology is a critical solution providing operational speed and accuracy in sectors such as manufacturing, logistics, defense, and agriculture. It plays a strategic role in inventory management, asset tracking, and quality monitoring, particularly in processes requiring real-time data access. This study presents an IIoT-based software solution designed to automatically test the functionality of RFID tags during the quality control stage of tire manufacturing. Readability and writability checks of Tag4 tags were conducted using a custom Android application developed with the Zebra RFIDAPI3 library for the Zebra MC3330xR handheld terminal. To ensure data integrity, a data structure compliant with the ISO 20910 standard was utilized during the encoding process. Performance analyses revealed that tags could be verified with a 90% success rate at determined optimum signal levels. This industry-specific, portable, and low-cost system enhances quality assurance and global traceability by integrating RFID testing into the production line.

## 1. GİRİŞ

Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID – Radio Frequency Identification) teknolojisi, otomatik tanımlama ve veri toplama (AIDC) sistemleri kapsamında değerlendirilen ve gerçek zamanlı izlenebilirlik, süreç otomasyonu ve dijital entegrasyon için kritik öneme sahip bir teknolojidir. Temassız veri iletimi, eşzamanlı çoklu etiket okuma ve zorlu çevre koşullarında dahi güvenilir çalışma gibi özellikleriyle RFID sistemleri, geleneksel barkod tabanlı çözümlere kıyasla önemli üstünlükler sunmaktadır [1]. Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi dijital üretim paradigmalarının yükselişiyle birlikte, RFID teknolojisinin karar destek sistemlerine entegrasyonu ve süreç odaklı dijital dönüşümdeki rolü daha da kritik hale gelmiştir [2,3].

Üretim sektörleri içinde lastik endüstrisi, ürün yaşam döngüsünün tamamında izlenebilirliğin stratejik önem taşıdığı alanlardan biridir. Lastik üretiminde Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IoT) yaklaşımıyla RFID etiketlerinin otomatik olarak test edilmesi, gelişmiş izleme ve takip teknolojilerinden yararlanarak kalite kontrolünü geliştirmektedir. Bu entegrasyon, gerçek zamanlı veri toplama ve analizine olanak tanıyarak lastik üretiminin sıkı kalite standartlarını karşılamasını sağlamaktadır.

Lastik içerisine pasif RFID etiketlerin entegre edilmesi, üretim sonrası süreçlerde ürünlerin uçtan uca takibini mümkün kılmakta; bu da yalnızca üretim şeffaflığını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda tedarik zinciri yönetimi, satış sonrası dijital hizmetler, garanti süreçlerinin takibi ve geri çağırma operasyonlarının etkin yönetimi gibi kritik işlemlere de katkı sunmaktadır [4]. Bu yönüyle RFID uygulamaları, operasyonel risklerin azaltılması ve uluslararası regülasyonlara uyum açısından da değer kazanmaktadır.

RFID sistemleri, üretim süreci boyunca ürünlerin takibini ve izlenmesini kolaylaştırarak veri şeffaflığını ve doğruluğunu artırmaktadır. Yüksek frekanslı (HF) ve ultra yüksek frekanslı (UHF) RFID sistemleri, lastik üretiminde kalitenin korunması için hayati önem taşıyan malzeme akışını izlemeyi sağlamaktadırlar [5]. Otomatik kalite kontrol sistemleri incelendiğinde, derin öğrenme kullananlar gibi otomatik muayene sistemlerinin [6,7] uygulanması, lastik kusurlarının tespit edilip sınıflandırılmasını sağlayarak kalite güvencesini artırmaktadırlar. Bu sistemler çeşitli kusurları tespit ederek üretim sürecinin genel güvenirliliğini artırırken ve israfı azaltmaktadırlar [8]. Fakat bu sistemler üretim hattının genelini takip etmek noktasında çözüm sunmazlar. Sadece son kullanıcıya gidecek ürünün kalite kontrolü için kullanılırlar. RFID ve IoT teknolojilerinin entegrasyonu ise, lastik üretiminde kalite kontrolünü önemli ölçüde iyileştirirler. Fakat, ilk kurulum maliyetleri ve bu sistemleri yönetmek için nitelikli personel ihtiyacı gibi zorluklar, yaygın olarak benimsenmesini engellemektedir. Bununla birlikte, verimlilik ve ürün kalitesi açısından potansiyel faydalar dikkate alındığında bu sistemler önemli avantajlar sağlamaktadırlar [9].

COVID-19 pandemisi, hammadde tedarik sorunları, enerji krizi ve jeopolitik belirsizlikler gibi küresel ölçekte yaşanan kırımlar, üretim sektörlerini dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırmaya ve maliyetlerini optimize etmeye yöneltmiştir. Bu kapsamda, kurumlar yüksek lisanslama maliyetlerine sahip dış kaynaklı yazılım çözümleri yerine, esneklik, veri güvenliği ve toplam sahip olma maliyeti açısından avantaj sağlayan yerli ve kurum içi (lokal) geliştirilen uygulamalara yönelmektedir [10]. Lokal çözümler aynı zamanda organizasyonel bilgi birikiminin artmasına, sistemlerin özgün iş akışlarına daha hızlı adapte olmasına ve sürdürülebilir yazılım bakım süreçlerinin tesis edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, lastik üretim süreçlerinde kullanılan pasif RFID etiketlerin üretim öncesi kalite kontrol aşamasında işlevselliğinin test edilmesine yönelik olarak geliştirilen bir mobil yazılım çözümü sunulmaktadır. Önerilen sistem, Android tabanlı Zebra MC3330xR RFID el terminali üzerinde çalışmakta olup, donanımsal RFID modülüne erişim için Zebra Technologies tarafından sağlanan RFIDAPI3 yazılım kütüphanesi kullanılmaktadır. Sistem; veri okuma ve yazma işlevlerini desteklemekte ve kalite kontrol süreçlerine doğrudan katkı sağlamaktadır. Yazılımın tamamen şirket içi Ar-Ge kaynaklarıyla geliştirilmiş olması, lisans maliyetlerini ortadan kaldırmakta ve uygulamanın sektöre özgü ihtiyaçlara göre optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, üretim kalitesinin artırılmasına katkı sağlarken, üretim hatlarının dijital olgunluk düzeyini stratejik olarak ileri taşımaktadır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2’de RFID teknolojisine ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Bölüm 3’te projede kullanılan araçlar ve izlenen yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır. Bölüm 4’te test aşamasında yapılan analizler doğrultusunda elde edilen bulgular sunulmuştur. Son olarak, sonuçlar bölümü ile çalışma tamamlanmıştır.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

RFID teknolojisi, başta envanter yönetimi, lojistik ve üretim olmak üzere pek çok alanda süreçlerin otomatikleştirilmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve hata oranlarının azaltılması açısından önemli avantajlar sunan, yaygın şekilde benimsenmiş bir izleme ve veri toplama sistemidir. Özellikle pasif RFID etiketleri, harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan çalışabilmeleri sayesinde düşük maliyetli ve uzun menzilli çözümler sunarak geniş ölçekli uygulamalarda tercih edilmektedir. Nesnelerin tanımlanmasını ve konumlandırılmasını daha hızlı ve doğru hâle getiren bu teknoloji, karar destek mekanizmalarının dijitalleşmesinde ve süreç verimliliğinde önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Kavurur'un çalışmasında, küçükbaş hayvanların çiftlik giriş-çıkışlarının otomatik ve doğru şekilde izlenebilmesi amacıyla bir RFID tabanlı takip sistemi geliştirilmiştir. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Hayvan Çiftliği'nde gerçekleştirilen saha uygulamasında, hayvanlara kulak veya ayak etiketleri takılarak RFID tanımlaması sağlanmış; sistem, Agrident ASR-550 RFID okuyucu, i5-6500 işlemcili bir dizüstü bilgisayar ve C# programlama dili ile oluşturulmuştur. Aynı anda birden fazla etiketi okuyabilen donanım nedeniyle, tekrar sayımı önlemek amacıyla yazılım düzeyinde özel algoritmalar geliştirilmiştir. Çalışma, hayvan hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün kılarak hayvancılıkta RFID tabanlı otomatik veri toplama sistemlerinin etkinliğini gözler önüne sermektedir [11].

Güner ve çalışma arkadaşları tarafından hazır giyim sektöründe yürütülen bir başka araştırmada, RFID teknolojisinin üretim hatlarına entegrasyonunun ekonomik ve operasyonel etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, RFID kullanımının iş gücü maliyetlerinde düşüş, üretim hızında artış ve hata oranlarında azalma gibi somut faydalar sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, yatırım maliyetleri ile beklenen faydalar çeşitli ekonomik modeller aracılığıyla analiz edilmiş ve geri dönüş süreleri hesaplanarak firmalara teknoloji geçiş sürecinde karar destek sağlayacak veriler sunulmuştur. Bununla birlikte kalite kontrol süreçlerinde de iyileşmelerin raporlandığı belirtilmiştir [12].

Tosun ve arkadaşlarının çalışmasında ise depo ortamlarında nesnelerin konumlandırılmasına yönelik RFID sistemlerinin avantajları ve kısıtları kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. GPS teknolojisinin kapalı alanlarda sınırlı kalması nedeniyle, RFID'nin düşük maliyetli ve yüksek doğruluk sağlayan bir alternatif konum belirleme aracı olarak öne çıktığı vurgulanmıştır. Ayrıca, RFID ile IoT teknolojilerinin entegrasyonunun, depo otomasyon sistemlerinde süreç hızının ve veri yönetimi kalitesinin artırılmasında önemli rol oynadığı ifade edilmiştir [13].

Kaya'nın çalışmasında, Endüstri 4.0 odaklı depo yönetimi uygulamaları için en uygun RFID teknolojisinin belirlenmesine yönelik çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, frekans aralığı, okuma menzili, maliyet ve enerji tüketimi gibi teknik özellikler dikkate alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile karar analizi yapılmıştır. Seçilen teknoloji ile envanter doğruluğunun ve işlem hızının artırıldığı; depo içi süreçlerin otomasyonunun sağlandığı ve gerçek zamanlı izlenebilirliğin mümkün olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, RFID teknolojisinin Endüstri 4.0 ile uyumlu olarak depo verimliliğini artırmada stratejik bir araç olduğunu göstermektedir [14].

Buenrostro-Rocha ve arkadaşları, pasif UHF RFID etiketlerinin okuma menzilini artırmak amacıyla yenilikçi bir metamaterial anten tasarımı önermektedir. Geliştirilen etiketler, 64.7 metreye kadar okuma mesafesi sunarak bataryalı etiketlerin performansına yaklaşmakta ve konteyner, araç, uçak ve gemi gibi taşımacılık uygulamalarında kullanılabilirliği artırmaktadır. Bu teknolojik gelişme, lojistik ve taşımacılık sektörlerinde etkili takip sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [15].

Yangınlar ve Köksal tarafından gerçekleştirilen araştırmada, RFID teknolojisinin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Uluslararası Nakliyeciler Derneği (UND) üyesi 85 firmadan 364 çalışan ile yapılan anket çalışması sonucunda, RFID'nin teknolojik, organizasyonel ve çevresel boyutları dikkate alınarak üç temel performans göstergesi (finansal, lojistik ve müşteri hizmetleri) üzerinde etkileri değerlendirilmiştir. SPSS yazılımı ile yapılan istatistiksel analizler sonucunda, teknolojik boyutun tüm performans kriterlerini olumlu etkilediği; organizasyonel boyutun lojistik ve müşteri hizmetleri performansını iyileştirdiği; çevresel boyutun ise özellikle finansal performans üzerinde bazı olumsuzluklar doğurabileceği saptanmıştır. Bu kapsamda, RFID teknolojisinin sadece operasyonel faydalarla sınırlı kalmayıp, dijital dönüşüm süreçlerine stratejik katkılar sunduğu anlaşılmaktadır [16].

Uzuner ve arkadaşlarının çalışmasında, RFID teknolojisi ile Arduino tabanlı otomasyon sistemlerinin birleştirildiği kompakt, güvenli ve çevre dostu bir akıllı otopark sistemi geliştirilmiştir. Üç sıra ve dört sütundan oluşan, toplamda 12 araçlık park alanına sahip bu sistemde; Arduino MEGA 2560 mikrodenetleyici, DC motorlar, enkoderler, servo motorlar, MFRC522 RFID okuyucu ve 20x4 LCD ekran gibi donanımlar kullanılmıştır. Araçlar, 13.56 MHz frekansında çalışan RFID kartları ile tanımlanmakta, park yeri dolu olduğunda sistem kullanıcıya uyarı vermektedir. Bu sistem, hem karbon emisyonlarının hem de park arama süresinin azaltılmasına katkı sunmakta, aynı zamanda güvenlik ve kaynak verimliliği açısından da fayda sağlamaktadır [17].

Yılmaz ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, giyilebilir teknoloji ile entegre edilen RFID sensör etiketleri kullanılarak bireylerin vücut sıcaklıklarının takibi ve bir bulut yazılımı üzerinden risk analizi yapılması önerilmiştir. Çalışma, sadece sıcaklık verisine odaklanmayıp; yaş, cinsiyet ve kronik rahatsızlıklar gibi demografik verileri yapay zeka destekli bir risk skorlama sistemiyle birleştirerek salgın hastalıkların (örneğin COVID-19) erken teşhisinde düşük maliyetli ve etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu yaklaşım, RFID sistemlerinin sadece nesne tanımlama değil, aynı zamanda karmaşık veri analitiği ve erken uyarı sistemleri için de güçlü bir altyapı sunduğunu kanıtlar niteliktedir [18].

Gençoğlu, çalışmasında kablosuz haberleşme, IoT ve RFID sistemlerine yönelik üç bantlı bir Sierpinski Bowtie anten tasarımı önermiştir. Nelder-Mead Simplex algoritması ile optimize edilen bu yapı; 1.7, 3.4 ve 6.62 GHz frekanslarında rezonansa girmektedir. 3.4 GHz bandında ulaşılan 10 dBi kazanç ve %92 radyasyon verimliliği, tasarımın 5G ve uzun mesafeli iletişim sistemleri için uygunluğunu kanıtlamaktadır. Çalışmada yapılan parametrik analizler, fiziksel tasarım değişkenlerinin performansa etkisini inceleyerek kazanç ve geri dönüş kaybı arasındaki dengeyi optimize etmiştir. Araştırma, fraktal geometrilerin optimizasyonu ile yüksek hızlı veri iletimi için ideal bir model ortaya koymaktadır [19].

Özetlenen çalışmalar, RFID teknolojisinin farklı sektörlerdeki uygulanabilirliğini ve sağladığı operasyonel, ekonomik ve teknolojik faydaları açıkça ortaya koymaktadır. Hayvancılıktan lojistiğe, hazır giyimden depo otomasyonuna kadar geniş bir yelpazede yapılan araştırmalar; RFID'nin süreçleri dijitalleştirme, verimliliği artırma, izlenebilirlik sağlama ve karar destek sistemlerini güçlendirme konularında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu teknolojik kazanımların etkili bir şekilde elde edilebilmesi için uygulamaların sadece donanım düzeyinde değil, aynı zamanda yazılım altyapısı açısından da sektör ve ihtiyaçlara özgü olarak optimize edilmesi gerekmektedir. Bu noktada, özellikle üretim sektörlerinde, RFID etiketlerinin sahaya entegrasyonu öncesinde işlevselliklerinin hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli yöntemlerle test edilebilmesi kritik bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada önerilen mobil yazılım çözümü, literatürde tanımlanan bu gereksinimleri doğrudan karşılamakta; üretim süreci öncesi kalite kontrol adımlarını otomatikleştirerek RFID tabanlı sistemlerin saha başarımını artırmayı ve dijital dönüşüm süreçlerine somut katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

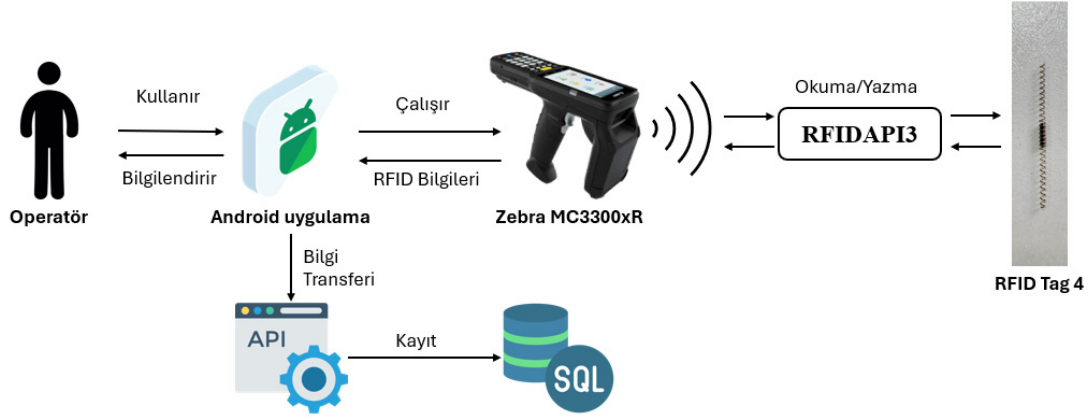
### 3. ÖNERİLEN SİSTEM VE BİLEŞENLERİ

Bu çalışmada sunulan sistem, lastik üretim süreçlerinde kullanılan pasif RFID etiketlerin üretim öncesi kalite kontrolüne yönelik olarak geliştirilmiş bütünsel bir yazılım ve donanım çözümüdür. Sistem, endüstriyel RFID uygulamaları için özelleştirilmiş Zebra MC3330xR RFID el terminali, lastik endüstrisine yönelik olarak tasarlanmış RFID Tag4 model etiketler, Android tabanlı mobil yazılım altyapısı ve ISO 20910 standardına uygun veri kodlama yapısıyla donatılmıştır. Geliştirilen çözüm, üretim sürecinde karşılaşılan RFID etiket performans farklılıklarını minimize etmek, yazma ve okuma güvenilirliğini artırmak ve etiket verilerinin sahada hızlı ve doğru şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla yapılandırılmıştır.

Sistem mimarisi, üç ana bileşenden oluşmaktadır: fiziksel donanım, yazılım uygulaması ve standartlara dayalı veri işleme katmanı. Donanım tarafında, MC3330xR cihazı yüksek hassasiyetli UHF RFID okuyucu motoru (İmpinj Indy R2000), uzun pil ömrü ve gelişmiş mobil işlem gücü ile hem veri toplama hem de analiz süreçlerinde yüksek performans sunmaktadır. Kullanılan RFID Tag4 etiketleri, ISO/IEC 18000-6C protokolüne uygun olarak çalışmakta ve vulkanizasyon, yüksek basınç ve kimyasal ortamlara karşı dayanıklı yapısıyla üretim hatlarında güvenli entegrasyon sağlamaktadır.

Yazılım katmanı, Zebra Technologies'in RFIDAPI3 yazılım geliştirme kütüphanesi ile entegre şekilde, Android Studio geliştirme ortamında yapılandırılmıştır. Bu yapı, cihazın donanım düzeyinde kontrolünü

mümkün kılarken, uygulama üzerinden kullanıcıya yönelik görsel geribildirimler ve kalite kontrol operasyonlarını yöneten mantıksal iş akışlarını barındırmaktadır. Okuma işlemleri sırasında alınan sinyal gücü işaretçisi (RSSI) tabanlı eşik değer kontrol mekanizması uygulanarak, yazma için en uygun mesafenin belirlenmesi sağlanmakta; bu da işlem güvenilirliğini artırmaktadır. Ayrıca yazma işlemi, ISO 20910 standardına uygun şekilde yapılandırılmış sabit veri formatıyla gerçekleştirilmekte olup, kalite biriminin süreç takibini desteklemek üzere merkezi veri tabanına kayıt alınmaktadır.



Şekil 1. Önerilen sistemin mimarisi

Tüm bu bileşenler, saha operasyonlarında kullanıcı etkileşimini kolaylaştıran sezgisel bir arayüzle birleştirilmiş; kullanıcı hatalarını önleyici yönlendirmeler, durum bildirimleri ve işlem akış kontrol mekanizmaları aracılığıyla operatör verimliliği artırılmıştır. Geliştirilen sistem, yalnızca üretim öncesi test süreçlerine hizmet etmekle kalmayıp, aynı zamanda RFID etiketlerinin tüm yaşam döngüsündeki veri tutarlılığı ve izlenebilirliğine katkı sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Sistem mimarisine ait görsel Şekil 1’de verilmiştir.

### 3.1. Zebra MC3330xR El Terminali

Zebra Technologies Corp tarafından geliştirilen Zebra MC3330xR, Android tabanlı, dayanıklı ve ergonomik yapıya sahip bir UHF RFID el terminalidir. Perakende, sağlık, üretim ve lojistik gibi sektörlerde sahada veri toplama süreçlerini hızlandırmak ve kurumsal verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Cihaz, Zebra Technologies’in Mobility DNA yazılım paketi ile birlikte gelmekte olup merkezi yönetimi kolaylaştırmakta ve kurumsal sistemlerle hızlı entegrasyon sağlamaktadır.

RFID’nin yanı sıra barkod okuma özelliği ile çift yönlü veri toplama imkânı sunan MC3330xR, 4 inçlik yüksek çözünürlüklü ekranı sayesinde eldivenle kullanıma uygun olup parlak ortamlarda dahi net görüntü sunar. Android 11 işletim sistemiyle güvenlik ve sistem sürdürülebilirliği açısından güncel bir altyapı sağlar. Sekiz çekirdekli 2.2 GHz Qualcomm Snapdragon 660 işlemcisi, 4 GB RAM ve 32 GB dahili hafızası ile güçlü performans sergiler.



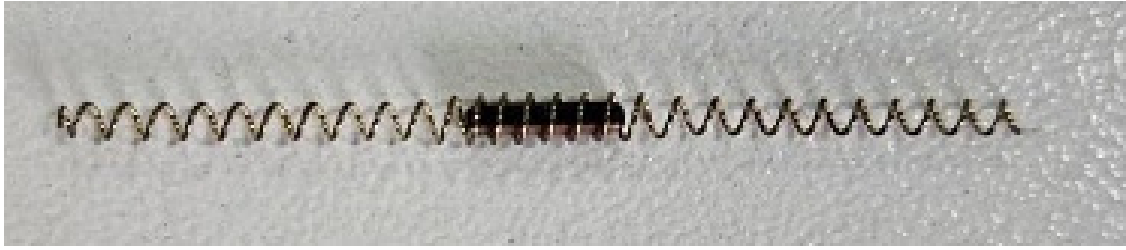
Şekil 2. Zebra MC3330xR

RFID performansı açısından, cihaz Impinj Indy R2000 motoru ve 1 W ERP gücünde entegre anteni ile ideal koşullarda 10 metreye kadar okuma menziline ulaşabilir. Tipik uygulamalarda bu mesafe 6 metre civarındadır ve saniyede yaklaşık 900 etiketi okuyabilmektedir. Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5.0 ve USB 2.0 gibi bağlantı seçenekleriyle donatılmış olan cihaz, 7000 mAh bataryası ile uzun süreli saha operasyonlarını destekler.

IP54 koruma sınıfına sahip olan MC3330xR, toz ve su sıçramalarına karşı dayanıklıdır. Zebra'nın Android uyumlu RFID yazılım geliştirme kiti (SDK) ve özellikle RFIDAPI3 kütüphanesi, geliştiricilere RFID verilerini okuma, yazma ve yönetme konularında kapsamlı kontrol sunar. Bu özellikler, özelleştirilmiş endüstriyel uygulamaların hızlı ve etkin biçimde geliştirilmesini mümkün kılar. Sistemde kullanılan cihaza ait görsel Şekil 2'de verilmiştir.

### 3.2. RFID Tag4

Lastik üretiminde ürün takibi, kalite kontrol ve lojistik verimliliği artırmak amacıyla RFID teknolojisi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Hana Technologies'in lastik endüstrisine özel geliştirdiği RFID Tag4 etiketleri tercih edilmiştir. Tag4, her lastiğe benzersiz bir kimlik kazandırarak üretimden sevkiyata kadar izlenebilirlik sağlar. Üretim verilerine anlık erişim, kalite sorunlarında geriye dönük takip ve otomasyon kararlarında doğrudan veri kullanımı mümkündür. Etiketlerin lastiğin iç yüzeyine entegre edilmesi ise hem koruma hem de uzun ömür sunar. Bu teknolojiyle ürün bazlı takip sağlanarak üretim, depo ve satış sonrası süreçler daha etkin yönetilebilmektedir. Etiketle ait görsel Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Sistemde kullanılan RFID Tag4

RFID Tag4, EPCglobal Class 1 Gen 2 / ISO 18000-6C standartlarına uygun, pasif UHF tipinde bir etikettir. Impinj Monza yongası ile düşük enerji tüketimi ve yüksek okuma performansı sunar. 860–960 MHz frekans aralığında çalışır ve anten/ortam koşullarına bağlı olarak 4–6 metre, bazı durumlarda 8 metreye kadar okuma mesafesine ulaşır. -40 °C ila +85 °C sıcaklıklara dayanıklıdır; vulkanizasyon gibi zorlu üretim koşullarına karşı geliştirilmiştir. Etiket yaklaşık 30×12 mm boyutlarındadır, 0.2–0.3 mm kalınlığında olup lastik katmanlarına gömülebilecek yapıdadır. Suyu, yağa ve kimyasallara dirençlidir. Anten tasarımı ise UHF bandında yüksek verimlilik ve mekanik dayanıklılık sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.

### 3.3. RFIDAPI3 Yazılım Geliştirme Kiti

Zebra RFIDAPI3, Zebra Technologies tarafından geliştirilen ve Android işletim sistemi üzerinde çalışan mobil cihazlar için tasarlanmış bir yazılım geliştirme kitidir. Bu API, özellikle Zebra'nın RFD8500, RFD2000 ve MC3330xR gibi UHF RFID okuyucu cihazlarıyla entegrasyon sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. RFIDAPI3, geliştiricilere cihazların kontrolü, veri toplama, envanter yönetimi ve etiket programlama gibi işlevleri gerçekleştirme imkanı sunar. Ayrıca, bu API, uygulama geliştiricilerin RFID okuyucularla etkileşim kurmasını kolaylaştırarak, özelleştirilmiş çözümler oluşturmaya olanak tanır. Zebra RFIDAPI3, perakende, lojistik, sağlık ve üretim gibi çeşitli sektörlerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve bu sektörlerdeki mobil uygulamaların RFID teknolojisiyle entegrasyonunu kolaylaştırır.

Zebra RFIDAPI3, Android cihazlar için optimize edilmiş Java tabanlı bir API'dir. RFID okuyucularla Bluetooth veya USB üzerinden iletişim kurarak etiket okuma, yazma, envanter yönetimi ve anten yapılandırması gibi işlevleri destekler. Asenkron olay işleme sayesinde etiket verilerini gerçek zamanlı alabilir. Modüler yapısı, sadece gerekli bileşenlerin entegre edilmesini sağlar, bu da uygulama boyutunu azaltır. Yüksek okuma hızı sunar ve Zebra'nın kapsamlı dokümantasyonu sayesinde kolayca entegre edilebilir.

### 3.4. ISO 20910 Standardı

ISO 20910 standardı, otomatik tanımlama ve veri yakalama teknolojileri kapsamında RFID sistemlerinde kullanılmak üzere benzersiz tanımlayıcıların yapılandırılmasını ele alır [20]. Standardın temel amacı, farklı sektörlerde, üreticilerde ve coğrafyalarda RFID etiketleriyle donatılmış nesnelerin küresel olarak tekil bir biçimde tanımlanmasını sağlamaktır. Bu, özellikle tedarik zinciri, envanter yönetimi, lojistik ve üretim takibi gibi uygulamalarda, farklı veri sistemlerinin birlikte çalışabilmesini (interoperability) mümkün kılar. ISO 20910, nesnelerin yaşam döngüsü boyunca takip edilebilmesini sağlarken, aynı zamanda RFID etiket verilerinin anlamlı, güvenli ve standartlaştırılmış bir şekilde yorumlanmasını da garanti eder.

Teknik olarak ISO 20910, benzersiz tanımlayıcıların bileşenlerini (örneğin, üretici kimliği, nesne sınıfı, seri numarası) ve bunların nasıl yapılandırılacağını belirler. Bu yapıların oluşturulmasında hiyerarşik adresleme mantığı kullanılır. Standart, EPCglobal tarafından geliştirilen Electronic Product Code (EPC) mimarisiyle tam uyumludur ve EPC URI formatlarını destekler. Böylece RFID ile tanımlanan her bir nesne hem yerel sistemler hem de internet tabanlı sistemler üzerinden sorgulanabilir hale gelir. Ayrıca ISO 20910, verinin yalnızca RFID çipi üzerindeki bellekte değil, sistem düzeyinde de nasıl işlenmesi gerektiğine dair metodolojiler sunmaktadır. Bu, veri bütünlüğü, izlenebilirlik ve güvenlik açısından kritik öneme sahiptir. RFID altyapısında bu standardın uygulanması, veri tekilliği, kimlik doğrulama ve sahteciliği önleme gibi yüksek düzeyde operasyonel avantajlar sağlar. Projede RFID etiket içerisinde yazılan bilgi ISO 20910 standardına uygun olarak kodlanmıştır.

### 3.5. Kalite Kontrol Uygulaması

Üretimde kullanılan RFID etiketlerden örneklem yolu ile her 3000 adet RFID tag bulunan bobinlerden 2 şer tane alarak etiketlerin okunabilir ve kodlanabilir olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu sayede tedarikçilerden alınan RFID etiketlerin üretimde probleme neden olmaması için kontrol edilmiş olur. Her bir etiket lastik hamuru ile kaplıdır. Bu durum etiketin okunma performansını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle okuma testleri yapılarak yazma işlemi için en uygun RSSI değeri ölçülmüştür. Okuma ve yazma testleri için Android tabanlı Zebra MC3300xR cihazında çalışabilecek Android proje geliştirilmiştir. Uygulama ile etikete yazılacak bilgi ISO 20910 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Bilgi içerisindeki lastik detayları sabittir ve üretimde karışıklığa neden olmayacak şekilde belirlenmiştir. RFID içerisindeki test bilgisi üretimdeki RFID yazma istasyonlarında etiketin gömülü olduğu lastiğin bilgileri ile tekrar kodlanmaktadır.

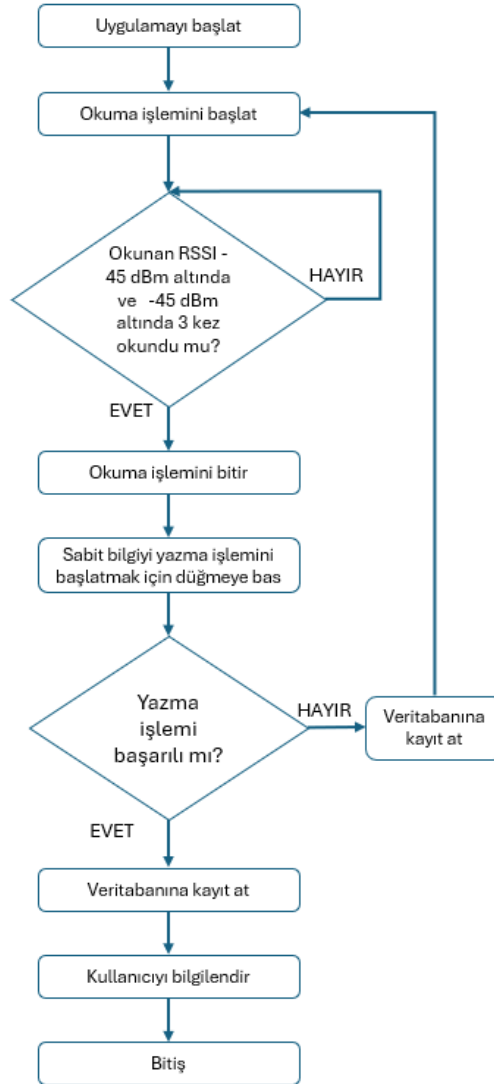
Yazılım Android Studio geliştirme ortamında yazılmıştır. Zebra MC3300xR Android 11 işletim sistemine sahip olduğu için minimum sdk 30 olarak belirlenmiştir. Başarılı yazma oranını yüksek tutmak için optimum RSSI değeri -45 dBm olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen uygulamanın kullanıcı dostu ve kolay kullanılabilir olması göz önüne alınarak, karmaşık olmayan ve animasyonlar ile güzelleştirilen bir arayüz geliştirilmiştir. Uygulamanın doğru kullanımı için ekranda uyarılar mevcuttur. Uygulama açıldıktan sonra etiket okutulması beklenmektedir. Kullanıcı etiketi okutmak için Zebra MC3300xR cihazındaki tetiğe basmak zorundadır. Tetiğe basıldığı sürece okuma devam eder. Eğer etiket okunmadan tetik bırakılırsa, kullanıcı etiket okutulması için uyarılmaktadır. Ayrıca etiket okunmadan yazma işlemi denendiğinde de kullanıcı uyarılmaktadır. Okuma işlemi başladığında RSSI değeri belirlenen eşik değerinin altına indiğinde ve bu değer 3 kez arka arkaya okunduğunda okuma otomatik olarak durur, okunan bilgi ekranda belirlenen alana yazılır ve kullanıcı bilgilendirilir. RSSI eşik değeri ve 3 kez arka arkaya eşik değeri içerisinde veri okunma koşulunun konulmasının sebebi daha optimum bir yazma uzaklığının belirlenmesi içindir.

Okuma işlemi tamamlandıktan sonra yazma işlemine geçilir. Yazma işlemi için sabit bir bilgi ISO 20910 standardına uygun bir şekilde oluşturulmuştur. Kullanıcı yazma işlemini başlatır. RFIDAPI3 kütüphanesi ile bilgi etiket içerisine yazılır. İşlem başarılı ya da başarısız ise kullanıcı bilgilendirilir. Yapılan bu işlem kalite biriminin raporlarında takip edebilmesi için veri tabanına kaydedilir. Bir sonraki işlem için arayüzdeki bilgiler varsayılan ayarlarına çevrilir. Uygulamanın tasarımına ait görsel Şekil 4'te, operasyonel adımlar ile ilgili akış diyagramı Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen sistem uygulamasının ana sayfası



Şekil 5. Önerilen sistemin akış diyagramı

### 3.6. Veri Transferi İçin API Entegrasyonu

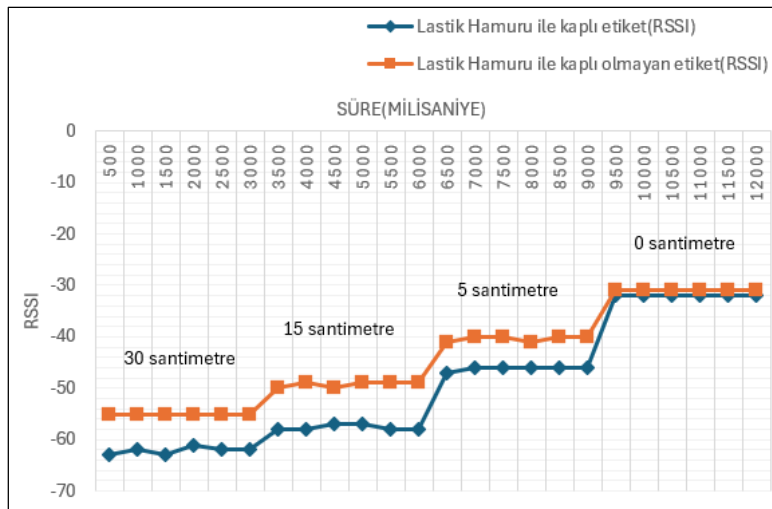
Android uygulamalarının merkezi bir SQL veritabanı ile güvenli şekilde veri alışverişi yapabilmesi için genellikle RESTful API'ler kullanılmaktadır. Geliştirdiğimiz projede, Zebra MC3300xR RFID el terminali üzerinde çalışan Android uygulama, RFID etiketi okuma veya yazma işlemi sonrasında sonucu bir Web API aracılığıyla SQL Server'a iletmektedir. API, işlem detaylarını (tarih, cihaz kimliği, işlem sonucu ve yazılan bilgi) veritabanına kaydederken, hata durumlarında da ilgili log verilerini kaydederek izlenebilirlik ve hata analizine olanak tanımaktadır. Bu yapı, sistemin güvenilirliğini artırırken bakım ve takip süreçlerini de kolaylaştırmaktadır.

## 4. SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ

Bu çalışmada, RFID sistemlerinin performansını etkileyen temel parametrelerden biri olan RSSI değerlerinin, etiketin fiziksel yapısından nasıl etkilendiği deneysel olarak analiz edilmiştir. Özellikle, lastik hamuru ile kaplanmış RFID etiketlerin sinyal gücü üzerindeki etkisi incelenmiş ve referans olarak aynı niteliklere sahip ancak kaplanmamış etiketlerle karşılaştırmalı ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında, Zebra MC3300xR model RFID okuyucu cihazı kullanılarak veri toplanmıştır. Cihaz, saniyede iki kez okuma yapacak şekilde bir Android tabanlı uygulama aracılığıyla konfigüre edilmiştir. Test senaryolarında, RFID okuyucu ile etiket arasındaki mesafe kademeli olarak 30 cm, 15 cm, 5 cm ve 0 cm (temas mesafesi) olacak şekilde ayarlanmış ve her bir mesafede sinyal gücü değerleri kaydedilmiştir. Bu süreç hem lastik hamuru ile kaplı hem de kaplı olmayan etiketler için aynı koşullarda tekrarlanmıştır. Bu sayede, yalnızca etiketin fiziksel durumuna bağlı olarak oluşabilecek sinyal farklılıklarının izole edilmesi amaçlanmıştır.

Elde edilen deneysel veriler, Şekil 6'da zaman serisi grafiği olarak sunulmuştur. Grafik incelendiğinde, mesafe ve kaplama materyali ile RSSI değerleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki gözlemlenmiştir. Mesafe etkisi göz önüne alındığında, okuyucu etikete yaklaştıkça her iki etiket türünde de RSSI değerleri yükselmiştir. 30 cm mesafede -55 dBm ile -65 dBm bandında seyreden değerler, 0 cm mesafede her iki etiket için de yaklaşık -30 dBm seviyesinde stabilize olmuştur. Bu durum, yakın alan etkileşimin başladığı noktalarda materyal sönümleme etkisinin azaldığını göstermektedir. Materyal sönümleme analizinde, 30 cm ile 5 cm arasındaki tüm ölçüm aralıklarında lastik hamuru ile kaplı etiket, kaplı olmayan etikete kıyasla ortalama 7 ila 10 dBm daha düşük bir performans sergilemiştir. Örneğin, 15 cm mesafede kaplı olmayan etiket -50 dBm civarında kararlı bir sinyal üretirken, kaplı etiket -60 dBm seviyelerine gerilemiştir. Bu fark, lastik hamurunun elektromanyetik dalgalar üzerinde bir bariyer görevi görerek sinyal yayılımını sönümlediğini ve yansıma kayıplarına neden olduğunu kanıtlamaktadır. Temas noktası davranışında, grafikteki en dikkat çekici bulgu, 9000 milisaniyeden itibaren iki veri setinin birbirine çok yaklaşmasıdır. Okuyucu ile etiket arasındaki hava boşluğu ortadan kalktığından, materyal kaynaklı kayıpların etkisi minimize olmuş ve sistemler maksimum kazanç noktasına ulaşmıştır.



Şekil 6. Farklı mesafede ve farklı tipte RFID etiketlerine ait ölçülen RSSI değerleri

Bu bulgu, RFID sistemlerinin özellikle lastik gibi elektromanyetik dalgaları soğurma özelliğine sahip malzemelerle birlikte kullanıldığı senaryolarda sinyal kalitesinde düşüş yaşanabileceğini göstermesi açısından kritik öneme sahiptir. Etiket kaplaması, sistemin okuma doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkileyerek, endüstriyel uygulamalarda dikkatle ele alınması gereken bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmada sunulan deneysel verilerin güvenilirliğini doğrulamak amacıyla Çizelge 1’de her iki etiket türü için kapsamlı bir belirsizlik analizi sunulmuştur. Şekil 6’da yer alan zaman serisi verileri üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda; lastik hamuru ile kaplı etiketler için ortalama sinyal gücü -50.12 dBm, kaplı olmayan referans etiketler için ise -43.12 dBm olarak saptanmıştır. %95 güven düzeyinde (confidence level) gerçekleştirilen analizler, kaplı etiketlerde ölçüm belirsizliğinin  $\pm 4.86$  dBm sınırı ile [-54.98, -45.27] dBm bandında kaldığını; kaplı olmayan etiketlerde ise belirsizliğin  $\pm 3.81$  dBm ile [-46.94, -39.31] dBm aralığında olduğunu kanıtlamaktadır. Bu istatistiksel veriler, materyal sönümlemesine rağmen sistemin her iki kondisyonda da yüksek kararlılıkla çalıştığını ve belirlenen eşik değerlerin bilimsel bir temele dayandığını göstermektedir.

Sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılan -45 dBm eşik değeri, hesaplanan bu güven aralığının üst sınırına yakın seçilerek, materyal kaynaklı belirsizliklerin ve anlık sinyal dalgalanmalarının (standart sapma: 11.53 dBm) operasyonel hatalara yol açması engellenmiştir. Ölçümlerdeki varyasyonun temel kaynağı olarak lastik hamurunun dielektrik sönümleme etkisi ve ortamdaki elektromanyetik gürültü belirlenmiş; ancak 3 kez ardışık doğrulama algoritması sayesinde bu belirsizliklerin sistem üzerindeki etkisi minimize edilerek %90’lık bir doğrulama başarıları tesis edilmiştir.

**Çizelge 1.** RSSI istatistiksel belirsizlik analizi

| Parametre         | Lastik hamuru ile kaplı etiket | Lastik hamuru ile kaplı olmayan etiket |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Örneklem sayısı   | 24                             | 24                                     |
| Ortalama RSSI     | -50.12 dBm                     | -43.12 dBm                             |
| Standart sapma    | 11.53 dBm                      | 9.07 dBm                               |
| Standart hata     | 2.35 dBm                       | 1.85 dBm                               |
| %95 güven aralığı | [-54.98, -45.27]               | [-46.94, -39.31]                       |

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, lastik endüstrisinin zorlu üretim koşullarına yönelik, ISO 20910 standartlarıyla uyumlu ve RSSI tabanlı bir kalite kontrol mobil yazılımı geliştirilmiştir. Deneysel bulgular ve sistemin literatürdeki yeri şu başlıklar altında değerlendirilmiştir. Yürütülen testler, lastik hamuru ile kaplı RFID etiketlerin okuma performansının kaplanmamış etiketlere kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan ölçümler doğrultusunda, sistemin en yüksek verimle çalıştığı RSSI eşik değeri -45 dBm olarak belirlenmiştir. Toplam 50 RFID etiketi üzerinde gerçekleştirilen testlerde, %90 başarı oranı elde edilmiş ve geliştirilen sistemin saha koşullarında güvenilir şekilde çalıştığı gösterilmiştir.

Literatürdeki çalışmaların önemli bir kısmı; RFID teknolojisini nesne takibi, otopark otomasyonu veya konumlandırma süreçlerinde bir veri taşıyıcı olarak kullanmaya, etiketleri giyilebilir teknolojilere entegre ederek bireysel sağlık takibi ve salgın yönetimi için erken uyarı sistemleri kurgulamaya veya depo yönetimindeki lojistik süreçlere odaklanmaktadır. Bu çalışmanın temel farkı ise; RFID’yi doğrudan materyal etkisini inceleyen, etiketin işlevselliğini ölçen bir kalite kriteri ve işlem güvenilirliği parametresi olarak değerlendirerek, lastik üretiminin vulkanizasyon öncesi aşamasındaki fiziksel zorluklardan kaynaklanan sektörel bir problemi çözmesidir. Ayrıca uygulamanın tamamen kurum içi kaynaklarla geliştirilmesi, dışa bağımlılığı azaltarak maliyet avantajı sağlamış, aynı zamanda sürdürülebilir yazılım geliştirme süreçlerine katkı sunmuştur. Elde edilen bulgular kalite birimi tarafından uygun bulunmuş ve uygulamanın üretim sürecine entegrasyonu onaylanmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Gomes, H., Navio, F., Gaspar, P.D., Soares, V.N. & Caldeira, J.M. (2023). Radio-frequency identification traceability system implementation in the packaging section of an industrial company. *Applied Sciences*, 13(23), 12943.

2. Zhang, Y., Lin, Y. & Esfahbodi, A. (2025). Digital transformations of supply chain management via RFID technology: A systematic literature review. *Journal of Digital Economy*, 4, 251-267.
3. Kutay, E. (2016). Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 16(1), 35-102.
4. Ercan, T. ve Kutay, M. (2016). Endüstride nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 599-607.
5. Dastres, R., Soori, M. & Asamel, M. (2022). Radio frequency identification (RFID) based wireless manufacturing systems, a review. *Independent Journal of Management & Production*, 13, 258-290.
6. Saleh, R.A., Al-Areqi, F., Konyar, M.Z., Kaplan, K., Oengir, S. & Ertunc, H.M. (2024). Advancing tire safety: Explainable artificial intelligence-powered foreign object defect detection with exception networks and grad-cam interpretation. *Applied Sciences*, 14(10), 4267.
7. Saleh, N.A., Konyar, M.Z., Kaplan, K., Ongir, S. & Ertunç, H.M. (2022). Detection of air bubbles from tire shearography images. In *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1-4. IEEE.
8. Mignot, T., Ponchon, F., Derville, A., Duffner, S. & Garcia, C. (2024). An automatic inspection system for the detection of tire surface defects and their severity classification through a two-stage multimodal deep learning approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1-19.
9. Gowda, V.D., Dakshayini, G., Singh, S., Srinivas, V., Rani, R. & Gireesh, N. (2024). A novel approach to enhancing manufacturing efficiency and quality control with industrial IoT. In *2024 5th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, 396-404. IEEE.
10. Saray, G. ve Ervural, B. (2025). Üretimde dijital dönüşümün başarısını değerlendirmek için performans ölçmeye yönelik bir yaklaşım. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 266-284.
11. Kavurur, A. (2023). RFID tabanlı hayvan sayım sistemi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi (UTBD)*, 15(2), 59-63.
12. Güner, M. ve Acar, E. (2022). Hazır giyim sektöründe üretim süreçlerine RFID teknolojisinin entegrasyonu ve yatırım değerlendirmesi. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, 24(2), 690-699.
13. Tosun, H.C. ve Zaim, A.H. (2023). RFID sistemleri ile depo yönetim sistemlerinde konum belirlemede kullanılacak yöntem ve teknolojilere genel bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(44), 27-39.
14. Taşkın, E., Gezik, N., Yumuşak, R. ve Eren, T. (2022). Depo yönetiminde Endüstri 4.0 uygulaması: Bir işletme için RFID teknoloji seçimi. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 194-211.
15. Buenrostro-Rocha, S., Medina-Monroy, J.L. & Herrera-Charles, R. (2024). Passive UHF RFID tag achieving read ranges comparable to Battery-Assisted Passive tags for containers, vessels, vehicles, and aircraft applications. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 37(5), e3299.
16. Yangınlar, G. ve Köksal, C. (2022). Radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisinin tedarik zinciri performansına etkileri: Lojistik endüstrisinde bir vaka çalışması. *Verimlilik Dergisi, (Dijital Dönüşüm ve Verimlilik)*, 91-109.
17. Uzuner, S. & Çelebi, F.M. (2024). RFID cartesian smart parking lot system. *Inspiring Technologies and Innovations*, 2(2), 21-25.
18. Yılmaz, R., Tamer, Ö., Kut, R.A. & Fidan, N. (2023). Body temperature related risk factor assessment using RFID sensor tags. *Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering*, 38(2), 585-592.
19. Gençoğlu, D.N. (2024). A case study of nelder mead simplex optimization algorithm: Trade-offs of sprienski fractal bowtie antenna parameters. *Cukurova University, Journal of the Faculty of Engineering*, 39(1), 73-84.
20. International Organization for Standardization (ISO), (2019). *Information technology - Harmonization of data interchange standards for information modeling (ISO Standard No. 20910)*.

