

Konfeksiyon Sektöründe RFID Uygulamaları



Prof. Dr. Esra DİRGAR
Doç. Dr. Okşan ORAL
Dr. Öğr. Üyesi A. Aslı İLLEEZ



KONFEKSİYON SEKTÖRÜNDE RFID UYGULAMALARI

YAZARLAR

Prof. Dr. Esra DİRGAR

Doç. Dr. Okşan ORAL

Dr. Öğr. Üyesi A. Ash İLLEEZ

EDİTÖR

Doç. Dr. Serkan BOZ

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14578027>



Copyright © 2024 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TURKEY TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-378-156-9

Cover Design: A. Ashı İLLEEZ

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

ÖNSÖZ

Günümüzde firmaların rekabette bir adım öne geçmeleri için, teknolojiyi ve teknolojinin getirdiği yenilikleri yakından takip etmeleri ve uygulamaları zorunlu hale gelmiştir. Bilgi Teknolojileri alanında son 30 yılda hızlı bir büyüme görülmektedir. Bilgi teknolojilerindeki en umut verici teknolojik yeniliklerden biri radyo frekansı tanımlamadır.

Radyo frekansı tanımlama teknolojisi (RFID), işi ve nesne hakkındaki bilgiyi toplayıp insansız olarak bilgi sistemlerine aktarılmasını sağlayan, bir otomatik tanımlama sistemidir ve pek çok sektörde kullanılmaktadır. Bu teknoloji günümüzde, askeri alanda, tıp, turizm, gıda, tekstil ve konfeksiyon, ulaşım, mücevherat, hayvan takibi vb. daha bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tekstil ve giyim alanında radyo frekansı tanımlama (RFID), üretim, envanter kontrolü, depolama, dağıtım, lojistik, otomatik nesne takibi ve tedarik zinciri yönetiminde kullanılmaktadır.

Kitabın başlangıç bölümünde, RFID teknolojisinin geçmişten günümüze gelişim aşamaları, RFID etiketlerinin bileşenleri, etiket çeşitleri, özellikleri ve etiketlerin konumlandırılması ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Daha sonra etiketlerin sağladığı avantajlar ve getirdiği dezavantajlar açıklanmış ve etiketlerle ilgili geliştirilen global standartlara yer verilmiştir. Sonraki bölümde RFID teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı sektörler ve bu teknolojinin o sektörlerde ne amaçla kullanıldığı açıklanmıştır. Ardından bu teknolojinin konfeksiyon sektöründe uygulama alanları, sektöre sağladığı faydalar ve bu sektördeki güncel uygulamalara örneklere yer verilmiştir. Son bölümde ise, bu etiketlerin sürdürülebilirliğe katkısı incelenmiştir.

RFID etiketlerinin, literatürde, özellikle konfeksiyon sektöründe uygulanmasına yönelik bir kaynak olmaması nedeniyle, alandaki gereksinimi karşılamak üzere hazırlanan bu kitabın, hazır giyim ve moda sektörüyle ilgili bölümlerde eğitim gören öğrenciler ve bu sektörlerin çalışanlarına rehberlik edeceği düşünülmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi1
GİRİŞ	9
1. RFID TARİHÇESİ.....	11
1.1. 1940 Öncesi.....	11
1.2. 1940'lar—II. Dünya Savaşı.....	11
1.3. 1950'ler—RFID Teknolojisinin İlk Keşfi	11
1.4. 1960'lar—RFID Teorisinin Gelişimi ve İlk Saha Denemeleri....	12
1.5. 1970'ler—RFID Patlaması	12
1.6. 1980'ler—Ticarileştirme	13
1.7. 1990'lar- RFID Ana Akıma Giriyor	13
1.8. 21. Yüzyıl- Geleceğe Dönüş	14
2. RFID TEKNOLOJİSİNİN GELECEĞİ	16
2.1. Daha Küçük ve Ucuz RFID Etiketleri	16
2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Entegre Kullanım	16
2.3. Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi ile Veri Analizi.....	17
2.4. Gelişmiş Güvenlik ve Kimlik Doğrulama.....	17
2.5. Gelişmiş Sağlık Uygulamaları	18
2.6. Çevresel İzleme ve Sürdürülebilirlik	18
2.7. Daha Akıllı Perakende ve Müşteri Deneyimi	18
2.8. Gelişmiş Entegre ve Küresel İzleme Sistemleri	19
3.1. RFID Okuyucular	20
3.2. RFID Etiketler	21
3.3. RFID Antenler	25
3.4. Yazılım	26

3.5. RFID Yazıcılar	26
4. RFID ETİKETLERİNİN SEÇİMİ VE YERLEŞTİRME ÇEŞİTLERİ	27
4.1. RFID Etiketlerinin Özellikleri	27
4.2. RFID Etiketlerinin Yapısı.....	27
4.3. RFID Etiketlerinin Çeşitleri.....	28
4.4. RFID Etiketlerini Konumlandırma	30
4.5. Etiketlerin Ürüne Yerleşim Özellikleri	31
5. RFID'İN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	33
5.1. RFID Etiketlerinin Sağladığı Avantajlar	33
5.2. RFID Etiketlerinin Dezavantajları	34
6. RFID STANDARTLARI.....	37
6.1. ISO Standartları	37
6.2. EPCGLOBAL Standartları	37
7. RFID KULLANIM ALANLARI.....	38
7.1. Askeri Alanda RFID Kullanımı	41
7.2. Akıllı Park Uygulamalarında RFID Kullanımı	42
7.3. Gıda Sanayinde RFID Kullanımı.....	43
7.4. Havacılık Alanında RFID Kullanımı	44
7.5. Hayvan Takibinde RFID Kullanımı.....	45
7.6. İnşaat Sektöründe RFID Kullanımı.....	46
7.7. Kütüphanelerde RFID Kullanımı.....	46
7.8. Lojistik Sektöründe RFID Kullanımı.....	47
7.9. Madencilik Alanında RFID Kullanımı.....	48
7.10. Mücevherat Sektöründe RFID Kullanımı	50
7.11. Müzelerde RFID Kullanımı	51
7.12. Otomotiv Sektöründe RFID Kullanımı	51
7.13. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe RFID Kullanımı	52
7.14. Tıbbi Alanda RFID Kullanımı	54

7.15.	Hastanelerde kullanılan tekstillerde RFID uygulaması	56
7.16.	Turizm Sektöründe RFID Kullanımı	57
8.	KONFEKSİYON SEKTÖRÜNDE RFID KULLANIMI	58
8.1.	Konfeksiyon Üretim Sürecinde RFID Kullanımı	59
8.2.	Yıkama ve Bakım Etiketlerinde RFID Kullanımı	61
8.3.	Mağazalarda (Perakende) RFID Kullanımı	62
9.	KONFEKSİYONDA GÜNCEL RFID UYGULAMALARI	69
10.	RFID’NİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİ	75
10.1.	Geri Dönüşümünde RFID Etiketlerinin Etkisi	75
10.2.	RFID ve Çevresel Sürdürülebilirlik	76
10.3.	RFID ve Sosyal Sürdürülebilirlik	77
10.4.	RFID ile Sürdürülebilirlik ve Atıkların Azaltılması	78
11.	SONUÇ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: RFID Sistemi (Roberts, 2006).....	10
Şekil 2: Okuyucu Örnekleri	20
Şekil 3: El Terminali (a) ve El Tipi RFID Okuyucu (b).....	21
Şekil 4: Aktif RFID Etiketler	22
Şekil 5: Silikon Bileklik Formunda Etiket (URL 4).....	22
Şekil 6: Pasif RFID Etiketi (URL 3).....	23
Şekil 7: RFID Antenler (URL 4; URL 8).....	26
Şekil 8: RFID Yazıcı (URL 9)	26
Şekil 9: Silikon RFID Etiketi	29
Şekil 10: RFID Düğme Etiketleri.....	30
Şekil 11: Giysi Takibi İçin Kullanılan Etiketler	30
Şekil 12: RFID Etiketlerini Yerleştirme Şekilleri	32
Şekil 13: Akıllı Park Uygulamaları (URL 15).....	42
Şekil 14: Gıda Sanayinde RFID Kullanımı (Dawood, 2015)	43
Şekil 15: Havacılıkta RFID Kullanımı	44
Şekil 16: Hayvan Takibinde RFID Kullanımı (URL 16).....	45
Şekil 17: Kütüphanelerde RFID Kullanımı (URL 17).....	47
Şekil 18: Lojistik Sektöründe RFID Kullanımı (URL 18).....	48
Şekil 19: Madencilikte RFID Kullanımı (URL 19).....	49
Şekil 20: Mücevherat Sektöründe RFID Kullanımı	50
Şekil 21: Müzelerde RFID Kullanımı (URL 22).....	51
Şekil 22: Otomotiv Sektöründe RFID Kullanımı (URL 23).....	52
Şekil 23: Tekstil Sektöründe RFID Kullanımı (URL 24).....	53
Şekil 24: Tıbbi Alanda RFID Kullanımı (URL 26).....	55
Şekil 25: Mağazalarda RFID kullanımı (URL 29)	63
Şekil 26: Kendi Kendine Ödeme (Self-checkout) (URL 31).....	65
Şekil 27: Akıllı Monitör ve Akıllı Raflar	66
Şekil 28: Akıllı Ayna	67
Şekil 29: (a): İlgi Duyulan Öğenin Önünde Gezinme ve Durma (b), (c): Öğeyi Daha Yakından İnceleme; (d): Deneme Odasında Öğeleri Eşleştirme ve Deneme.	70
Şekil 30: S-parametre Ölçümlerinin Deney Düzenegi. (a) Dengeli Empedans Ölçümleri için İki Portlu Fikstürün Ayrıntısına Sahip Ağ Analizörü. (b) RFID Etiket Muhafazası İçin Cep Ayrıntısına Sahip Örme Dipol Anten Prototipi. (c) Örme Deseninin Yakın Çekim Resmi.	71
Şekil 31: Bebek Solunum İzleme için Deneysel Kurulum.	72

Şekil 32: Düşmeyi Tespit Eden Etiketın Şematik Diyagramı (Huang vd 2024)	73
Şekil 33: Sistemde Kullanılan RIFD Cihazının Parçaları (Huang vd. 2024).	73
Şekil 34: RFID Sistemi (An ve Raga, 2024)	74

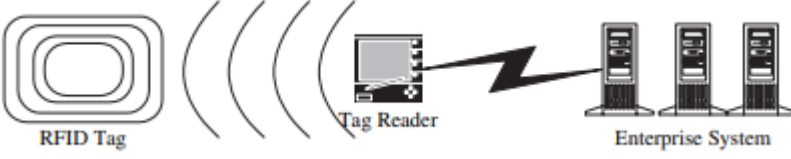
GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında, şirketlerin sürdürülebilir bir avantaj geliştirmek, operasyonel verimliliğini artırmak, maliyetleri azaltmak ve müşterilere daha iyi hizmet vermek için gelişmiş teknolojilerin kullanımından kapsamlı bir şekilde yararlanmaları gerekmektedir. Teknolojinin faydaları kanıtlandıkça, şirketler, teknolojiyi müşterilerine değer sağlayacak ve maliyet, kalite, hız, esneklik gibi alanlarda operasyonel verimliliği artıracak süreçlerde kullanmayı istemektedir. Şirketlerin ilerlemesine destek olarak ortaya çıkan RFID (Radio Frequency Identification- Radyo Frekansı Tanımlama) teknolojisi, değeri giderek daha önemli hale gelen bir teknoloji olarak günümüzde yer almaya başlamıştır.

Operasyonel RFID sistemleri, etiketler ve okuyucuların nesnelere (varlık) ve veritabanı sistemleriyle etkileşime girerek bir bilgi ve/veya operasyonel işlev sağlamasını içerir. RFID sisteminin amacı, bir RFID okuyucusu tarafından okunan ve belirli bir uygulamanın ihtiyaçlarına göre işlenen etiket adı verilen taşınabilir bir cihaz tarafından veri iletilmesini sağlamaktır. Etiket tarafından iletilen veriler, bina erişim kontrolü yakınlık kartlarından tedarik zinciri takibine, geçiş ücreti toplamaya, araç park yeri erişim kontrolüne, perakende stok yönetimine, kütüphane kitaplarının takibine, hırsızlık önlemeye, araç immobilizer sistemlerine, demiryolu vagonlarının tanımlanmasına ve hareket takibine, hastanelerde bebek tanımlama, kısıtlı alanlara erişimin kontrolü, giyim ve tekstil endüstrileri ve sahteciliğin önlenmesine (örneğin ilaç endüstrisinde) kadar çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir.

Bir RFID sistemi şunları içerir:

- RFID etiketi
- Anten ve alıcı-vericiye sahip bir etiket okuyucu
- Bir ana sistem veya bir kurumsal sisteme bağlantı (Şekil 1)



Şekil 1: RFID Sistemi (Roberts, 2006)

RFID teknolojisinin en yaygın kullanıldığı sektörlerden biri de tekstil ve özellikle konfeksiyon sektörüdür. Tekstil sektöründe, üretim, dağıtım, otomatik olarak nesne takibi, depolama, lojistik ve daha birçok farklı süreçte kullanılan RFID teknolojisi ile birlikte teknolojik yeniliğin önemli bir parçası olmuştur. Konfeksiyon sektöründe, ise tasarım ve planlama, üretim, dağıtım, ambalajlama, depo (stok kontrolü), alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle, moda ürünlerin kısa yaşam döngüleri (genellikle yaklaşık 3 ay), müşteri isteklerine uygun hızlı üretim, hızlı dağıtım, düzensiz müşteri tercihleri ve dürtüsel satın alma ile karakterize edilen tekstil ve giyim endüstrisi, RFID teknolojisinden kapsamlı bir şekilde yararlanabilecek sektörlerden biridir.

1. RFID TARİHÇESİ

1.1. 1940 Öncesi

19. yüzyılın son yarısı elektromanyetik enerji alanında birçok ilerleme kaydedildi. O yüzyılın başında, Faraday, Maxwell, Hertz gibi bilim insanları, çalışmaların doğasını tanımlayan eksiksiz bir yasa seti ortaya koymuştu. 1896'da başlayan Marconi, Alexanderson, Baird, Watson ve daha birçok kişi bu yasaları radyo iletişimde ve radarda uygulamaya çalıştı. Bu dönemde yapılan çalışmalar, RFID de dahil olmak üzere birçok teknolojinin üzerine inşa edildiği yapı taşlarını oluşturmaktadır (Michálek and Vaculík, 2008). Bu sebeple 20. yüzyılın başları radarın doğuşu olarak kabul edilmiştir. Radar, radyo dalgalarının yansısıyla bir nesneyi tespit etmek ve yerini belirlemek için radyo dalgaları göndermekte ve bu yansıma, bir nesnenin konumunu ve hızını belirleyebilmektedir. Radarın önemi ordu tarafından hızla anlaşılmış ve bu nedenle de bu konudaki gelişmelerin çoğu gizlilik içinde yürütülmüştür.

1.2. 1940'lar—II. Dünya Savaşı

II. Dünya Savaşı, radyo frekansı iletişimi ve radarda birçok ilerlemeye yol açmıştır. Savaştan sonra, bilim insanları ve mühendisler bu alanlardaki araştırmalarına devam etmiş ve RFID'nin sivil kullanım alanlarını araştırmaya başlamışlardır. RFID'yi inceleyen ilk çalışma, Harry Stockman'ın 1948'de yayınlanan "Communication by Means of Reflected Power" adlı çığır açıcı makalesidir. Stockman, açıkça, yansıyan güç iletişimindeki temel sorunlar çözülmeyen ve yararlı uygulama alanı keşfedilmeden önce önemli araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılması gerekiyor demiştir.

Stockman'ın vizyonun gerçekleşmesi için transistör, entegre devre, mikroişlemci, iletişim ağlarının geliştirilmesi ve iş yapma biçimlerinde yapılabilecek değişiklikler konusunda gelişmelere ihtiyaç duyulmuştur (Landt, 2005).

1.3. 1950'ler—RFID Teknolojisinin İlk Keşfi

1930'lar ve 1940'larda radyo ve radardaki teknik gelişmelerin ardından, 1950'lerde, RFID ile ilgili birçok teknoloji araştırmacılar tarafından keşfedilmiştir. Bu alanda özellikle FX. Vernon'un "Applications of the Microwave Homodyne" ve D.B. Harris'in "Radio transmission systems with modulatable passive responder" isimli makaleleri çok önemlidir.

Bu dönemde ABD ordusu da uçaklar için, dost veya düşman tanımlama ve uzun menzilli transponder sistemleri gibi RFID ile ilgili çeşitli teknolojileri araştırmıştı (Michálek ve Vaculík, 2008; Landt, 2005).

1.4. 1960'lar—RFID Teorisinin Gelişimi ve İlk Saha Denemeleri

1960'lar ve 1970'ler-RFID konusundaki gelişmelerin habercisiydi. R.F. Harrington, "Field Measurements Using Active Scatterers " ve "Theory of Loaded Scatterers" isimli makaleleriyle RFID ile ilişkili elektromanyetik teori alanında çok sayıda araştırma yapmıştır. Yine aynı dönemde RFID ile ilgili, Robert Richardson'ın "Remotely Activated Radio Frequency Powered Devices", Otto Rittenback'in "Communication by Radar Beams", J.H. Vogelmann'ın "Passive Data Transmission Techniques Utilizing Radar Beams" ve J.P. Vinding'in " "Interrogator-Responder Identification System" isimli icatları da büyük önem taşımaktadır.

1960'ların sonlarında RFID ile ilgili bazı ticari faaliyetler de yürütülmeye başlanmıştır. Sensormatic ve Checkpoint, mağazaların önüne yerleştirilen hırsızlık önleme kapıları gibi hırsızlık önleme ve güvenlik uygulamaları için elektronik ürün izleme ekipmanı geliştirmek amacıyla kurulmuştu. Bu sistemler basit, 1 bitlik sistemler olup, RFID etiketlerinin varlığını tespit edebiliyor ama tanımlayamıyordu. Bu sistem daha sonra RFID'nin ilk yaygın ticari kullanımı oluşturdu (Michálek ve Vaculík, 2008; Landt, 2005).

1.5. 1970'ler—RFID Patlaması

1970'li yıllarda RFID hayvan takibi, araç takibi ve fabrika otomasyonu konusunda kullanıldı. Bu dönemde, şirketlerin, akademik kurumların ve hükümet laboratuvarlarının RFID ile daha fazla ilgilenmesi bu alanda önemli ilerlemelerin kaydedilmesini sağladı. 1975'te Los Alamos Bilimsel Laboratuvarı, Allied Koelle, Steven Depp ve Robert Freyman tarafından yazılan "Short-Range Radio-telemetry for Electronic Identification Using Modulated Backscatter" başlıklı makale ile RFID araştırmalarını kamuoyuna duyurdu. Bu gelişme pratik, tamamen pasif etiketlerin başlangıcını işaret ediyordu. Hükümet kurumlarından New York ve New Jersey Liman İdaresi, GE, Westinghouse, Philips ve Glenayre tarafından geliştirilen ulaşım uygulamalarıyla ilgili denemeler yaptı, sonuçlar olumlu çıktı ancak teknoloji

benimsenmedi. RFID'nin ticari olarak başarılı olan ilk ulaşım uygulaması elektronik ücret toplama hizmetiydi ve bu konuda ABD Federal Karayolları İdaresi, araçlarda ve ulaşım uygulamalarında elektronik tanımlama teknolojisinin kullanımını araştırmak için bir konferans düzenledi. Böylece RFID teknolojisine odaklanan çok sayıda küçük şirket 1970'lerin sonlarında ortaya çıkmaya başladı. 1970'li yılların sonuna gelindiğinde uygulamalar için gereken bilgi ve teknoloji altyapısına ulaşılmıştı.

1.6. 1980'ler—Ticarileştirme

1980'ler ilk yaygın ticari RFID sistemlerini ortaya çıkardı. Bu sistemler basit ve genellikle hayvancılık yönetimi, anahtarsız giriş ve personel erişim sistemlerini kapsamaktaydı. 1980'lerde uygulanan tüm RFID sistemleri tescilli sistemlerdi ve bu konuda rekabetin az ve dolayısıyla maliyetlerin yüksek olması, sektörün büyümesini engelledi. Avrupa'da en büyük ilgi alanları hayvanlar için kısa menzilli sistemler ve endüstriyel ve ticari uygulamalardı. İtalya, Fransa, İspanya, Portekiz ve Norveç'teki ücretli yollar RFID ile donatılmıştı. Bu dönemde RFID uygulamalarının yaygınlaşma nedeni, RFID sistemlerinden verilerin uygun ve ekonomik bir şekilde toplanmasını ve yönetilmesini sağlayan kişisel bilgisayarın geliştirilmesiydi. Ücret toplama amaçlı RFID uygulama denemeleri uzun yıllardır devam ediyordu ancak ilk ticari uygulama 1987'de Avrupa'da Norveç'te başladı ve bunu 1989'da Amerika Birleşik Devletleri izledi. Ayrıca bu dönemde, New York ve New Jersey Liman İdaresi, Lincoln Tüneli'nden geçen otobüsler için RFID'nin ticari işletmesini başlattı. RFID, elektronik ücret toplamada alanında gün geçtikçe daha çok kullanılmaya başlamıştı. Etiketler özel devreler kullanılarak, daha çok veri kaydedebilen bir belleğe sahip olarak üretilebiliyordu. Hem etiket boyutları küçülmüş hem de etiketler daha işlevsel hale gelmeye başlamıştı. Gerekli anten boyutu, etiketlerin boyutunu belirlemede büyük önem taşımaktaydı (Michálek ve Vaculík, 2008; Landt, 2005).

1.7. 1990'lar- RFID Ana Akıma Giriyor

Bilgi teknolojisindeki araştırmalar, RFID kullanımına destek vermekle birlikte, maliyetlerin hala yüksek olması, RFID endüstrisinin ticari olarak uygulanabilir sistemleri hayata geçirmesindeki tek engeldi. 1990'larda malzeme teknolojisindeki gelişmeler ve IBM, Intel, AMD ve Motorola gibi yarı

iletken çip üreticilerinin çalışmaları sonucu etiketler daha uygun maliyetli olarak üretilmeye başlandı ve bu da birçok girişim RFID sistemlerine yatırım yapmasını sağladı (Michálek ve Vaculík, 2008). Dünyanın ilk açık otoyol elektronik geçiş ücreti sistemi 1991'de Oklahoma'da açıldı. Burada araçlar, geçiş ücretlerini toplama noktalarından video kameralar sistemiyle geçiş ücreti gişeleri veya bariyerler tarafından engellenmeden ve uygulama için video kameralarla geçti. İlk birleşik geçiş ücreti toplama ve trafik yönetim sistemi, 1992'de Harris County Toll Road Authority tarafından Houston bölgesine kuruldu. Bölgesel geçiş ücreti acentelerinin sistemlerine RFID sistemlerini de entegre etmesi, sürücülerin aynı hesap üzerinden birden fazla geçiş ücreti ödemesine olanak sağladı (Landt, 2005).

Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) ve MIT'deki Otomatik Kimlik Merkezi (MIT Auto-ID Laboratory) RFID teknolojisi, özellikle tedarik zinciri ve varlık yönetimi uygulamaları için standartlar üzerinde çalışmaya başladı. Avustralya, Çin, Hong Kong, Filipinler, Arjantin, Brezilya, Meksika, Kanada, Japonya, Malezya, Singapur, Tayland, Güney Kore, Güney Afrika ve Avrupa dahil olmak üzere birçok ülkede geçiş ücreti ve demir yolu uygulamaları da devreye girdi. Elektronik geçiş ücreti tahsilatının başarılı olması ile, farklı iş segmentlerinde etiketlerin ilk kez çoklu kullanımı başladı. Artık, tek bir etiket elektronik geçiş ücreti tahsilatı, otopark erişimi ve ücret tahsilatı, kapalı site erişimi ve kampüs erişimi için kullanılabilirdi.

1990'larda RFID'nin işlevselliğini genişleten yeni teknolojik gelişmeler sayesinde RFID ile ilgili araştırmalar hızını kaybetmeden devam etti. Bu dönemde RFID teknolojisi üzerine yazılmış kitaplar yayınlanmaya başlandı. İlk kitaplardan birini Klaus Finkenzeller 1999'da yazdı.

1.8. 21. Yüzyıl- Geleceğe Dönüş

21. yüzyıl başlarında tek bir özel CMOS entegre devresi ve bir anten olmak üzere iki bileşen kullanılarak üretilen en küçük mikrodalga etiketleri üretildi. Etiketler yapışkan etiketler olarak üretilmekte ve kolayca ön camlara ve yönetilecek nesnelere takılabilmektedir. RFID'nin elektronik geçiş ücreti toplama için kullanımı, 2001 yılına kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde 3.500 şeritlik trafiğe yayıldı. Özellikle 2003 yılı RFID için hareketli geçti. Wal-Mart ve dünyanın en büyük perakendecisi ve dünyanın en

büyük tedarik zinciri olan DoD, tedarikçilerinin 2005 yılına kadar RFID teknolojisini kullanmaya başlamasını gerektiren RFID zorunluluklarını yayınladı. Bu iki firmayı, diğer perakendeciler ve Target, Procter & Gamble ve Gillette gibi birçok üretici izledi.

2003 yılında MIT Auto-ID Center, EPC Global ile birleştirildi. MIT Auto-ID Center, tedarik zinciri uygulamaları için standartlar geliştirmek, araştırma yapmak ve bilgi paylaşmak üzere RFID üreticilerini, araştırmacılarını ve kullanıcılarını bir araya getirmek için Massachusetts Teknoloji Enstitüsü bünyesinde çalışmalar yaptı. EPC Global, bu uygulama alanı için standart oluşturma görevini üstlendi. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), çeşitli uygulama alanları için çok aktif standart oluşturma faaliyetleri yürüttü. EPC'nin teknolojisi hem Wal-Mart hem de DoD ve RFID endüstrisi tarafından benimsendi. Böylece RFID ile ilgili araştırmalar için artık ortak bir platformu oluşturuldu.

EPC tarafından geliştirilen standartlar 2006 yılında ISO tarafından benimsendi. Tüm standartların tek bir standartta birleştirilmesi, firmalar arasındaki rekabeti artırmaya, RFID maliyetlerini düşürmeye ve RFID teknolojisinin dağıtımının hızlanmasına olanak sağladı. 2007 itibarıyla çok sayıda sektörde RFID için uygulama olanağı ortaya çıkmaya başladı.

RFID'nin yaygınlaşması, uygulama yazılımlarının ve gizlilik politikalarının geliştirilmesi ve diğer yasal yönlerin dikkate alınması, RFID sistemlerini tasarlamak, kurmak ve sürdürmek için destekleyici altyapının geliştirilmesi gibi alanlarda da ilerlemeleri zorunlu kıldı. İlk bakışta RFID kavramı ve uygulaması basit ve anlaşılır görünmekle birlikte, RFID, sistem mühendisliği, yazılım geliştirme, devre teorisi, anten teorisi, radyo yayılımı, mikrodalga teknikleri, alıcı tasarımı, entegre devre tasarımı, şifreleme, malzeme teknolojisi, mekanik tasarım ve ağ mühendisliğini kapsayan bir teknolojidir.

2. RFID TEKNOLOJİSİNİN GELECEĞİ

RFID günümüzde pek çok sektörde devrim yaratan bir teknoloji olsa da, gelecekte daha fazla alanda ve daha gelişmiş biçimlerde kullanılacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Gelecekte RFID kullanımına ilişkin öngörüler aşağıda verilmiştir.

2.1. Daha Küçük ve Ucuz RFID Etiketleri

Gelecekte, RFID etiketlerinin daha küçük, daha ucuz ve daha dayanıklı hale gelmesi beklenmektedir. Bu, özellikle düşük maliyetli etiketlerin yaygınlaşması sağlayacak ve RFID teknolojisinin daha fazla sektöre girmesinin kapılarını açacaktır. Örneğin;

- RFID etiketi uygulaması günlük yaşamda kullanılan tüm ürünlerde (gıda, kıyafet, elektronik eşyalar) yaygınlaşacaktır. Her ürünün RFID etiketinin olması ile tüketiciler ürünlerin menşeyini, son kullanma tarihini, bakım geçmişini ve daha fazlasını öğrenebilecektir.

- Mikro-RFID etiketleri, özellikle medikal cihazlar, elektronik bileşenler veya kişisel eşyalar için çok daha küçük boyutlarda üretilebilecektir.

2.2. Nesnelerin İnterneti (IoT) ile Entegre Kullanım

RFID'nin gelecekteki en önemli gelişmelerinden biri, Nesnelerin İnterneti (IoT) ile entegrasyonu olacaktır. RFID teknolojisi, diğer endüstriyel uygulamaların yanı sıra akıllı fabrikalar, akıllı tarım ve akıllı enerjiyi sağlamak için IoT teknolojisiyle birleşecektir.

RFID etiketlerinin makinelere, araçlara ve ekipmanlara entegre edilmesiyle, endüstriyel süreçlerin gerçek zamanlı takibi, izlenmesi ve optimizasyonu sağlanabilecek ve bu da artan üretkenlik ve maliyet etkinliğine yol açacaktır (URL 1). RFID teknolojisi akıllı binalarda kullanılabilir. Örneğin, binalardaki cihazlar, güvenlik sistemleri veya elektrikli cihazlar, RFID ile otomatik olarak izlenip yönetilecektir. Özetle RFID etiketleri, IoT cihazlarıyla birleşerek daha güçlü bir veri toplama ve yönetim ağı oluşturabilecektir.

2.3. Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi ile Veri Analizi

RFID etiketlerinden toplanan veriler, yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi teknolojileriyle analiz edilerek büyük veri uygulamaları ve öngörülse analizlerde devrim yaratabilecektir.

Veri üreterek ve analiz ederek, RFID ve yapay zeka perakendecilerin, hırsızlığı, küçülmeyi ve kaybı tespit etmesine yardımcı olabilecektir. Sistemin mantığı; makine öğrenimi ve derin öğrenmeden yararlanan yapay zeka algoritmaları, beklenen normdan sapan beklenmedik kayıpları, eğilimleri veya aykırı değerleri hızla belirlemek için RFID verilerini analiz edecektir.

Yapay zeka, RFID etiketlerinden gelen veriyi işleyerek envanter durumu hakkında tahminlerde bulunabilir, bu sayede stok seviyelerini optimize edebilir ve ürün talebindeki dalgalanmalara göre otomatik olarak sipariş verilmesini sağlayabilir. Örneğin bir ürün normalden daha hızlı raflardan kalkıyorsa, RFID ürünün hareketini izlerken, yapay zeka verileri analiz eder ve yeniden sipariş sürecini otomatikleştirir (URL 2).

RFID, kullanıcı davranışlarını izleyerek analiz edebilir. Örneğin, bir mağazada müşterinin gezdiği alanlar, incelediği ürünler gibi bilgiler toplanarak, kişisel alışveriş deneyimleri için önerilerde bulunulabilir.

2.4. Gelişmiş Güvenlik ve Kimlik Doğrulama

RFID teknolojisinin güvenlik alanındaki kullanımının artması beklenmektedir. Daha gelişmiş sistemler, özellikle biyometrik veri, blokzincir (blockchain) ve yapay zeka ile birleştirilerek kimlik doğrulama sistemlerinde kullanılabilir.

RFID, biyometrik verilerle (örneğin parmak izi, iris taraması) birleşerek daha güvenli ve hızlı bir kimlik doğrulama sistemi sunabilecektir. Özellikle yüksek güvenlik gerektiren alanlarda, örneğin bankalar, havaalanları veya hükümet binalarında bu tür sistemlerin yaygınlaşması düşünülmektedir.

RFID etiketleri, kişisel dijital kimliklerin doğrulanmasında kullanılabilir. Örneğin, bir kişinin pasaportu veya kimlik kartı, RFID ile dijital kimliğini doğrulayan bir sistemde entegre edilebilir.

2.5. Gelişmiş Sağlık Uygulamaları

Gelecekte sağlık sektöründe RFID'nin rolü çok daha genişleyecektir. RFID, tıbbi cihazların izlenmesinden hasta takibine kadar pek çok alanda önemli gelişmelere yol açacaktır.

RFID, hastaların tüm sağlık verilerini toplamak ve her bir tedavi adımını izlemek için kullanılabilir. Örneğin, RFID etiketlerini hastanın bilekliklerine veya vücuduna yerleştirilerek, doğru hasta tanımlama ve tıbbi kayıtların otomatik güncellemeleri elde edilebilir. Akıllı hastane odalarında kullanılan tüm ekipmanlar RFID ile izlenecek, bu da tıbbi hataları azaltabilir.

RFID teknolojisi ile özellikle fiyatı çok yüksek veya tehlikeli olan ilaçların doğru şekilde izlenmesi sağlanabilir. Bu durum hem hastaların güvenliği için hem de sahte ilaçların önlenmesi açısından önemli bir gelişme olacaktır.

2.6. Çevresel İzleme ve Sürdürülebilirlik

RFID etiketleri, atıkların sınıflandırılmasını, taşınmasını ve geri dönüştürülmesini takip etme süreçlerinde, daha verimli atık yönetimi sağlanmasına yardımcı olabilir.

Enerji tüketimini izleyen cihazlarda RFID teknolojisinin kullanılması ile özellikle akıllı şehirlerin enerji yönetimini optimize etme çalışmalarında çok önemli bir rol oynayacaktır.

Akıllı şehirler açısından, RFID teknolojisi akıllı trafik yönetimi, akıllı park sistemleri ve kentsel güvenlik izlemede kullanılabilir ve şehir yönetiminde verimliliği ve kolaylığı artıracaktır.

2.7. Daha Akıllı Perakende ve Müşteri Deneyimi

RFID, mağaza çıkışında ürünleri otomatik olarak tespit edip ödeme işlemini hızlandırabilir. Müşteriler, kasada beklemek yerine doğrudan mağazadan çıkabilir. Yapay zeka ile mümkün hale gelen otomatik ödeme sistemlerinin ek hızıyla, müşteriler ödeme koridorundan veya mağazanın herhangi bir yerinden sisteme dokunup gidebilir (URL1).

2.8. Gelişmiş Entegre ve Küresel İzleme Sistemleri

Otomatik Gümrük ve Sınır Geçişleri: RFID, uluslararası taşımacılıkta gümrük işlemlerinin hızlandırılmasını sağlayacak, böylece sınır geçişlerinde zaman kaybı azalacaktır.

3. RFID BİLEŞENLERİ

RFID Bileşenleri RFID okuyucular, RFID antenler, RFID etiketler, yazılım ve RFID yazıcılarıdır.

3.1. RFID Okuyucular

RFID okuyucusu, RFID etiketleriyle iletişim kurarak etiket üzerindeki bilgiyi alır. Bir RFID okuyucusunun ana bileşenleri şunlardır:

Anten sistemi: Anten sistemi, RFID etiketleriyle iletişim sağlamak için kullanılır. Okuyucu, etiketlerden gelen sinyalleri alır ve onlara sinyal gönderir.

Sinyal işleme ünitesi: Bu ünite, antenden alınan sinyalleri işleyerek, veri toplar ve verileri iletim için doğru formatta hazırlar.

Bağlantı arayüzü: Okuyucudan elde edilen veriler, bilgisayarlar veya diğer sistemlerle bağlantı kurarak aktarılır.

RFID okuyucuları, farklı frekanslara göre çeşitli teknolojilerle üretilir. Bunlar arasında düşük frekanslı (LF), yüksek frekanslı (HF) ve çok yüksek frekanslı (UHF) okuyucular yer alır. LF ve HF okuyucuları, pasif RFID etiketlerini tanımak için kullanılırken, UHF RFID okuyucuları hem pasif hem de yarı aktif etiketleri okuyabilmektedir. Sabit RFID okuyucuların yanı sıra, el terminali şeklindeki, kısa mesafeden okuma yapabilen okuyucular da bulunmaktadır (Şekil 2 ve 3). Bu tür cihazlar, depo ve fabrika üretim alanları gibi operatörlerin hareket halinde olduğu ortamlarda yaygın olarak kullanılır (URL 3).



Şekil 2: Okuyucu Örnekleri



Şekil 3: El Terminali (a) ve El Tipi RFID Okuyucu (b)

3.2. RFID Etiketler

Etiket, nesneye ait bilgilerin depolandığı bir yonga (çip seti) ve okuyucu ile iletişim kurmak için bir anten içeren bileşenlerden oluşur. Etiketler, okuyucu ile iletişim sağlamak için radyo frekans sinyallerini kullanır (Çıbuk ve Maraşlı, 2015).

RFID etiketleri, çeşitli kategorilere ayrılabilir.

3.2.1. Enerjiyi Elde Etme Yöntemine Göre RFID Etiketleri

Pasif RFID Etiketleri: Pasif RFID etiketleri, içinde bir enerji kaynağı bulundurmayan, gücünü, RFID okuyucularının gönderdiği elektromanyetik enerjiden alan etiketlerdir. Bu etiketler genellikle tedarik zinciri yönetimi, geçiş sistemleri, koli ve ürün tanımlama ve takibinde kullanılır. İçlerinde pil veya pahalı devre sistemleri bulunmadığı için, aktif etiketlere göre daha ucuzdur ve bu da RFID projelerini birçok sektör için daha ekonomik hale getirir (URL 3). Pasif etiketlerin, yüksek sıcaklıklara ve zorlu koşullara dayanabilen çeşitleri de mevcuttur. En yaygın frekanslar ise 125 kHz, 13.56 MHz ve 868 MHz'dir (URL 3). Pasif etiketlerin avantajları (URL 3):

- Daha küçüktür
- Ucuzdur
- Daha ince ve esnek olabilir
- Çok fazla tipte üretilebilir
- Pilsiz oldukları için çok uzun yıllar sorunsuz şekilde çalışabilir.

Yarı Pasif RFID Etiketleri: Yarı pasif RFID etiketleri, içerdikleri güç kaynağından enerji alarak çiplerine güç sağlarlar. Ancak iletişim kurma açısından pasif etiketler gibi, RFID okuyucuya bağımlıdırlar. Pasif etiketlere

göre daha uzun mesafelerde iletişim kurabilirler, ancak maliyetleri de pasif etiketlerden daha yüksektir (Çıbuk ve Maraşlı, 2015).

Aktif RFID Etiketleri: Aktif RFID etiketleri, sinyal gönderme güçlerini içlerindeki pillerden alır. Genellikle sürekli sinyal yayarlar ve gerçek zamanlı takip projelerinde ideal bir kullanım sağlarlar. Pasif etiketlere (Şekil 6) göre çok daha uzun okuma mesafelerine sahiptirler, ancak bu teknolojileri gereği daha pahalıdır. Çoğunlukla 433 MHz ve 915 MHz frekanslarında çalışırlar (URL 3). İçlerindeki güç kaynağı sayesinde pasif modellere göre çok daha uzun mesafelere sinyal gönderebilirler. Ayrıca pasif etiketlere göre daha büyük hafızalara sahiptirler. İçlerindeki piller 3-5 yıl süreyle dayanabilir (URL 3).

Aktif etiketlerin (Şekil 4) avantajları:

- Çok daha uzun okuma mesafesine sahiptirler
- Pil sayesinde çok farklı çeşit ve modelde sensörle entegre olabilirler,
- En zorlu şartlara pasif etiketlerden daha dayanıklı şekilde üretilmektedir (URL 3).



Şekil 4: Aktif RFID Etiketler



Şekil 5: Silikon Bileklik Formunda Etiket (URL 4)



Şekil 6: Pasif RFID Etiketi (URL 3)

3.2.2. Hafıza yapısına göre etiketler

Sadece Okunabilen Etiketler (ROM): Bu etiketler, üretildiklerinde yazılan ve değiştirilemeyen verileri içerir. Verilerin kalıcı olarak saklanması, güvenli olması ve düşük maliyetleri en önemli avantajlarıdır. Ancak, verilerin güncellenememesi en büyük dezavantajdır. Genellikle ürün seri numaraları, sahteciliğe karşı kimlik doğrulaması, güncellenmesi gerekmeyen lojistik ve tedarik zinciri uygulamalarında kullanılır (URL 5).

Bir Kez Yazılıp, Çok Kez Okunabilen Etiketler (WORM): Sadece okunabilen etiketlere benzerler, ancak farkları, sadece okunabilen etiketlerin rastgele ID'ler ile üretilmesi, WORM etiketlere ise tüketicinin talebine göre bilgi yüklemesi yapılabilmesidir. Fakat, üretimden sonra bilgiler değiştirilemez (URL 3). Bu etiketler, tıbbi cihaz takibi, ürün kimlik doğrulaması ve izlenebilirlik gibi uygulamalarda kullanılır (URL 5).

Hem Okunup Hem Yazılabilen Etiketler (RW): Bu etiketler, verilerin birden çok kez okunmasına ve değiştirilmesine olanak tanır. Maliyetleri okunabilen etiketlere göre daha yüksektir, bu yüzden ucuz maliyet gerektiren sistemlerde tercih edilmez. Hem aktif hem de pasif etiketlerde bulunabilirler. Yüksek esneklik ve bilgilerin gerçek zamanlı olarak ihtiyaçlara göre güncellenebilmesi en büyük avantajlarıdır. Ancak, düşük güvenlikleri nedeniyle verileri korumak için şifreleme önlemleri almak gereklidir. Genellikle perakende sektöründe envanter yönetimi, gerçek zamanlı lojistik takibi ve dinamik erişim kontrolü gibi alanlarda kullanılır (Çıbuk ve Maraşlı, 2015; URL 5).

Bölümlenmiş Bellek: Bu etiketlerde bellek, farklı alanlara bölünmüştür. Her bir bölgenin bağımsız işlevleri ve izinleri vardır, bu nedenle erişim kısıtlamaları ayrı ayrı ayarlanabilir. Bölümlenmiş belleğe sahip etiketlerin avantajları, aynı anda statik ve dinamik veri depolamasına olanak tanınması,

daha esnek veri yönetimi ve daha yüksek güvenlik sunmasıdır. Ancak, bu etiketler daha yüksek maliyet ve artan karmaşıklık gibi dezavantajlara sahiptir. Gelişmiş lojistik yönetimi, varlık takibi ve sahteciliğe karşı mücadele gibi uygulamalarda kullanılır (URL 5).

3.2.3. Frekanslarına göre etiketler

Düşük Frekanslı (Low Frequency-LF) Etiketler: Bu etiketler genellikle 125 – 136 kHz aralığında çalışmaktadır. Pasif olarak indüksiyon yoluyla güçlendirilirler. Okuma mesafeleri çok kısadır, 10 – 20 cm arasında değişkenlik göstermektedir. Hayvancılık sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır (URL 6). Bu etiketler araba immobilizer sistemlerinde de kullanılmaktadır (Çıbuk ve Maraşlı, 2015). Anahtarda bulunan LF etiketi, kontağa yaklaştığı anda çalışır. Düşük frekanslı RFID etiketlerinin dezavantajı düşük bir veri okuma oranına sahip olmasıdır.

Yüksek frekanslı (High Frequency-HF) etiketler: Bu etiketler 13.56 MHz frekansında çalışmaktadır. 20 cm ile 1 metre arasında okunabilirler. Akıllı kartlarda (MIFARE, ISO/IES 1443), kredi kartlarında, nesne etiketlemede, ID kartlarında, havaalanlarında bagaj izlemede, bina giriş kontrollerinde kullanılmaktadır. LF etiketlerine göre daha yüksek oranda veri okunmaktadır. HF etiketleri dar bir frekans bandında çalıştığı için yüksek güvenlik gerektiren uygulamalarda kullanılamamaktadır (Çıbuk ve Maraşlı, 2015). Yüksek frekansa sahip olduğu için düşük frekanslı RFID etiketlerine göre daha yüksek bir veri okuma hızı sunar. Fakat düşük frekanslı RFID etiketlerinin çevresel faktörlere gösterdiği dayanıklılığı göstermemektedir. Bu etiketlerin dezavantajı, RFID okuyucusuyla düzenlenmiş bir frekans aralığında çalışma zorunluluğunun bulunmasıdır. Tıbbi cihazlar gibi hassas içeriğe sahip olan cihazlarla beraber kullanıldığında performans sorunu yaşanmaktadır (URL 6).

Çok Yüksek Frekanslı (Ultra High Frequency-UHF) Etiketler: Bu etiketler genellikle 868 – 928 MHz aralığında çalışmaktadır. Nesne izleme, ürün tedarik ve yönetiminde, palet etiketlemede kullanılan en yaygın RFID etiket türüdür. 60 cm ile 12 metre mesafelerinden okunabilir (Çıbuk ve Maraşlı, 2015; URL 6). Çok yaygın kullanılmaktadır. Yüksek seviyede okuma mesafesine sahiptir. Maliyet açısından da oldukça uygundur. En büyük dezavantajı ise, sıvı ve metallere dolaylı frekansta yaşanan parazit

durumudur. Bu nedenle takip ve izleme sistemlerinde kullanılması uygun değildir (URL 6).

Ultra Geniş Bant Frekanslı (Ultra Wideband Frequency-UWB)

Etiketler: Bu etiketler 3.1-10.6 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Oldukça yeni bir etiket teknolojisidir. Belirli frekanstan oldukça güçlü bir sinyal göndermektense, UWB ile geniş bir bant üzerinden düşük güçte sinyal gönderilebilmektedir. Ayrıca sinyalin iletimi daha sağlıklıdır. 200 metrelere kadar okuma yapılabilir. Metallerden ve sıvı ortamlardan etkilenmez. Hassas okumalarda çevre koşullarından etkilenmez. Bu yüzden sağlık sektöründe, hastane uygulamalarında tercih edilebilir (Weis, 2007).

UWB ve Mikrodalga frekans aralığı çok fazla kullanılmamaktadır. Genel olarak kullanılan frekans aralıkları düşük, yüksek ve UHF olarak bilinmektedir.

RFID etiketler, yukarıda verilen sınıflandırmaların haricinde, ürün üzerinde kullanımları nedeniyle pek çok özelliğe sahip olmalıdır. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi 4. bölümde açıklanmıştır.

3.3. RFID Antenler

RFID antenler, RFID okuyucudan gelen sinyali RFID etiketler tarafından algılanan radyo frekansı dalgalarına dönüştüren cihazlardır. RFID antenler olmadan RFID okuyucu, etiketlere sinyalleri düzgün iletmez ve veri alamaz (URL 4). RFID okuyuculara takılan ve genelde 3-5 metrelik kablolar ile tedarik edilen cihazlar, pasif cihazlardır. Genelde bir RFID okuyucuya 2 ya da 4 adet anten takılabilir. Bazı RFID okuyucuları 8 portlu olabilir, bu durumda 8 adet anten takılabilir ya da ek donanımlarla daha fazla anteni RFID okuyuculara takmak mümkün olabilir (URL 7).

RFID antenlere örnekler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7: RFID Antenler (URL 4; URL 8)

3.4. Yazılım

Verinin etkili ve faydalı kullanılması, veri hacminin küçültülmesi ve verinin ağ içinden seçilerek iletilmesi için yazılıma gerek vardır. Yazılım, RFID sisteminin, RFID sistem ağındaki hizmetlerin, RFID sistemleri arasında dolaşan ilgili bilgi hareketinin ve RFID bilgi sistemleri arasındaki iletişimin yönetilmesinden sorumlu bir teknolojisidir (Yüksel ve Zaim, 2009).

3.5. RFID Yazıcılar

RFID yazıcılar (Şekil 8), etiketlere gömülü RFID çiplerine veri yazmak için özel olarak tasarlanmıştır. Yazıcı, verileri çipe ileten ve kodlayan bir radyo frekans kodlayıcı içerir. RFID etiketin kendisine bir barkod, grafik veya istenen diğer bilgileri ekleyerek RFID etiketin üzerine baskı yapar. Masaüstü, endüstriyel, etiket yazıcılar, kart yazıcılar gibi türleri vardır (URL 4).



Şekil 8: RFID Yazıcı (URL 9)

4. RFID ETİKETLERİNİN SEÇİMİ VE YERLEŞTİRME ÇEŞİTLERİ

4.1. RFID Etiketlerinin Özellikleri

RFID etiketleri farklı kullanım alanları için çeşitli özelliklerde üretilmektedir. RFID etiketlerini seçerken:

- Basılabildiği materyal çeşitliliği,
- Kullanım özellikleri,
- Kullanılan format ve standartlar,
- Yıkabilir olup olmaması,
- Çalışabildikleri ortamlar (ısı, nem, vs),
- Şeffaf olup olmaması,
- Yapıştırılabilir olup olmaması gibi özellikleri dikkate alınmalıdır.

Ayrıca seçilen RFID etiketinin tek ya da çok kullanımlık olması da kritik bir önem taşımaktadır.

Kullanım özelliğinin dışında aktif veya pasif RFID etiket seçimi proje bütçesini etkileyen temel belirleyicilerden birdir (URL 10).

4.2. RFID Etiketlerinin Yapısı

RFID etiket alt tabakası, diğer tüm bileşenleri bir arada tutan tabakadır. Alt tabaka esnek bir malzemeden (ince plastik gibi) yapılabildiği gibi sert bir malzemeden de yapılabilir. Pasif etiketlerin çoğunda esnek bir malzemeden yapılmış alt tabakalar kullanılır.

Alt tabaka malzemesi, etiketin yaşam döngüsü boyunca karşılaştığı farklı çevre koşullarına dayanabilmelidir. RFID etiket alt tabakası için kullanılan malzemelerden bazıları polimerler, PVC (polivinil klorür), polyesterler, polietilen tereftalat (PET), fenolikler, stiren ve hatta kağıttır.

Kullanılan malzeme ne olursa olsun, anten düzeni için pürüzsüz bir baskı yüzeyi, statik birikimin dağıtılması, farklı çalışma koşulları altında dayanıklılık ve kararlılık ve bileşenler ve bunların bağlantıları için mekanik koruma sağlaması önemlidir.

RFID etiket alt tabakası, ısı, güneş ışığı, nem, kimyasallar, darbe, aşınma ve korozyon gibi çevre koşullarına dayanacak şekilde tasarlanmalıdır.

Alt tabakanın bir tarafı, etiketi bir nesneye tutturmak için genellikle yapışkan bir malzeme ile kaplanır. Yapışkan malzeme, çeşitli çevre koşullarına

dayanacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Bazı durumlarda, ek koruma sağlamak için PVC laminasyon, epoksi reçine veya yapışkan kağıt gibi malzemelerden yapılmış koruyucu bir kaplama eklenebilir (URL 11).

4.3. RFID Etiketlerinin Çeşitleri

RFID etiketler genel özelliklerinin yanında aşağıda müşteri tarafından istenen özellikleri de içerebilir (URL 12).

Aşırı sıcaklıklara dayanıklılık: Bu yeteneğe sahip etiketler, dondurucularda veya soğuk ortamlarda (-50°C'ye kadar) veya yüksek sıcaklıktaki ortamlarda (250°C'ye kadar) kullanılabilir.

Metale monte edilebilen etiketler: Metal montajlı RFID etiketlerinin çoğu sert etiketlerdir. RFID metal üstü etiketler genellikle sağlamdır, zarar görmesi zordur ve kaynak, vidalama veya başka şekilde takılması kolaydır.

Basılabilirlik: Doğrudan bir etiketin yüzüne yazdırabilme özelliği, etiketlerin görsel olarak tanımlanmasına veya pazarlama amaçlarını desteklemesine olanak tanır. Yazdırılabilir RFID etiketler, perakende, sağlık, lojistik, depo yönetimi ve üretim gibi sektörlerde stok takibi, depo yönetimi ve güvenlik amaçlı kullanılmaktadır (URL 13).

Gömülebilirlik: Bir öğenin içine gömülebilme özelliği, etiketin potansiyel olarak kırılabileceği veya öğenin kullanımının önüne geçebileceği bazı zorlu uygulamalarda çok kullanışlıdır. Gömülebilir RFID etiketleri, özellikle endüstriyel takip, lojistik yönetimi ve varlık izleme gibi alanlarda kullanılır. RFID etiketleri gömülebilir tasarımları sayesinde zorlu koşullarda bile etkili performans gösterir (URL 13).

Darbeye dayanıklılık: İnşaat alanları gibi bazı zorlu uygulama ortamları, diğer nesnelere gelen darbelere dayanabilecek etiketlere ihtiyaç duyar.

Titreşim direnci: Araçlardaki, trenlerdeki ve belirli makine türlerindeki titreşim, yalnızca RFID okuyucular için değil, etiketler için de sorunlu olabilir. Yoğun, sabit titreşimlerin, bu tür tekrarlayan, yüksek yoğunluklu harekete dayanabilecek bir etiket kullanılarak hafifletilmesi gerekir.

Özelleştirilebilirlik: Uygulamanın ihtiyaçlarına göre tasarlanabilen ve şekillendirilebilen etiketlerdir. Etiketler grafik, metin, renk, belirli bir şekil ve forma göre, malzeme türüne göre özelleştirilebilir.

Sterilize edilebilir olma: Otoklav, kullanımdan sonra aletleri sterilize etmek için sağlık alanında sıklıkla kullanılan bir makine parçasıdır. Normal

RFID etiketleri, sterilizasyon işleminin ısısına dayanamaz, bu nedenle bu uygulamalar için otoklav uygulamasına dayanabilen bir etiket seçilmesi gereklidir.

UV direnci: Etiketlenen ürün uzun süre UV dalgalarına maruz kaldığında, etiketin yüzünde basılı bilgiler varsa, seçilen etiketin UV ışınlarına karşı dayanıklı olması gerekir.

ATEX sertifikalı: Bu etiketler, yanıcı gazlar veya buharın açığa çıktığı faaliyetlere sahip madenler veya işyerleri gibi ortamlardaki uygulamalar için kullanılır.

Kimyasallara Dayanım: hava veya sudaki kimyasal maddelere karşı direnç gösteren etiketlerdir.

Yüksek Hafıza: Etiket içine yerleştirmek istenilen bilgi yoğunluğuna bağlı olarak belleği yükseltilmiş etiketler kullanılabilir.

4.3.1. Giysilerde ve Tekstillerde Kullanılan RFID Etiketleri

Bu yıkanabilir etiketler UHF RFID teknolojisi (frekans 860-960 MHz) ile üretilir. Endüstriyel yıkama, tıbbi giyim yönetimi, askeri giyim yönetimi, hastane çarşafı ve envanter yönetimi, otel yönetimi, yatak çarşafı yönetimi, giysi envanter yönetimi, restoranlar, kuru temizleme mağazaları, perakende mağazaları vb. gibi farklı alanlarda çeşitli giysi türlerini tanımlamak için kullanılan sterilizasyon ve ütüleme dahil olmak üzere farklı türde kaba yıkama işlemlerinden geçerler (URL 12).

UHF RFID Silikon Çamaşır Etiketi: RFID silikon çamaşır etiketi (Şekil 9), sürekli yüksek basınçlı kurutma, ütüleme ve yıkama ortamlarına dayanabilen yumuşak ve dayanıklı bir etikettir. Bu yıkanabilir çamaşır etiketlerinde UHF teknolojisinin kullanılması, iletişim performansını önemli ölçüde iyileştirerek barkodların neden olduğu işçilik maliyetlerini azaltır (URL 14).



Şekil 9: Silikon RFID Etiketi

RFID Çamaşır Düğmeleri: RFID Çamaşır Düğmesi, özellikle zorlu çalışma ortamlarına dayanabilen sağlam bir etiket gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır (Şekil 10). Otellerde, hastanelerde ve endüstriyel çamaşırhane ve tekstil ürünlerinin tanımlanması ve izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 100'den fazla yıkamaya dayanıklıdır (URL 14).



Şekil 10: RFID Düğme Etiketleri

Giyisi takibi için etiketler: RFID etiketleri, giyim sektöründe giysi takibi için özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 11). Bu etiketler giysilere dikilir. Bu da envanter yönetimi, hırsızlık önleme ve tedarik zinciri boyunca giysilerin gerçek zamanlı takibi gibi çeşitli uygulamalar sunar (URL 12).



Şekil 11: Giysi Takibi İçin Kullanılan Etiketler

4.4. RFID Etiketlerini Konumlandırma

Etiket konumlandırma boyut, yön, açı ve yerleşim olmak üzere dört faktör altında incelenebilir.

Boyut: Satın alırken etiketin boyutu önemli bir husustur. Etiket boyutu, yalnızca etiketlenen nesnenin boyutuna uyması gerektiği için değil, aynı zamanda etiket boyutu ile okuma aralığı arasındaki korelasyon nedeniyle de önemlidir. Kısacası, etiket ne kadar büyük olursa, okuma aralığı o kadar uzun olur.

Yön: Yön ideal okuma hızlarının elde edilmesinde kritik bir faktördür. RFID sisteminin antenine göre etiketin yönü dikey, yatay veya farklı şekilde olabilir.

Açı: Etiket açısı ne kadar dik olursa, okuma aralığı o kadar kısa olur. Küçük bir açı bile etiketin okuma aralığında bir azalmaya neden olabilir.

Yerleşim: En iyi okumaları oluşturan noktayı bulmak için ürünün çeşitli noktalarında okunabilirliği test edilmelidir (URL 12).

4.5. Etiketlerin Ürüne Yerleşim Özellikleri

Etiketi ürüne yerleştirme yöntemi etiket seçmek kadar büyük öneme sahiptir. Çünkü etiketi yerleştirme işlemi başarısız olursa, etiket üründen düşer ve ürünü izlenemez hale getirebilir. Kullanılacak yerleştirme türüne karar vermek, ürüne ve uygulamaya bağlıdır.

Etiketlerin ürüne eklenmesinde,

- Yüze alanı (yüzeyin pürüzsüz, tozsuz ve susuz ve temiz olması),
- Maruz kalma (uzun süreli UV ışığına, neme, titreşime, basınca veya kimyasallara maruz kalmaya),
- Sıcaklık (aşırı sıcaklıkların eklemeye kullanılan bileşik veya nesne üzerinde erime ve kırılma sorunu yaratabilir),
- Uygulama ömrü (etiketin üründe kalması için gereken süre) ve
- Uygulama yüzey malzemesi (birden fazla yüzey türü varsa, her biri için farklı bir etiket seçilmelidir) önemlidir.

Etiket çeşidine bağlı olarak, tutturma yöntemleri, yapıştırıcı gibi yaygın biçimlerden, streç film gibi benzersiz yöntemlere kadar değişebilir. Etiketler, çoğu uygulamada kalıcı bir yapıştırıcı türü kullanırken sert etiketler, etiket türüne, ağırlığına, uygulamaya ve uygulama ortamına bağlı olarak değişiklik gösterir.

4.5.1. RFID Etiketlerinin Giysiye Yerleştirilmesi

RFID etiketleri, giysinin estetik çekiciliğini etkilemeden yan dikişlere veya etek ucuna veya yıkama talimatı etiketine yerleştirilebilir (Age, 2005). Farklı yerleştirme şekilleri Şekil 12’de görülmektedir.

Dikişle yerleştirme: Bir giysinin ya da tekstilin etek ucuna dikilebilir. Etiket, katlanan kenarlarından uzağa dikilmelidir.

Isıyla yapıştırma: Doğrudan giysinin ya da tekstilin üzerine +200°C’de (392°F) 12~14 saniye boyunca ısıyla yapıştırılabilir.

Kese İçinde: Standart bir yıkama talimatı gibi dikilir. Etiket, katlanan kenarlardan uzağa dikilmelidir.



a) Dikişle yerleştirme

b) Kaynakla yapıştırma

c) Kese içinde ekleme

Şekil 12: RFID Etiketlerini Yerleştirme Şekilleri

5. RFID'İN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

5.1. RFID Etiketlerinin Sağladığı Avantajlar

RFID etiketlerinin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar:

Stok Takibi ve Envanter Yönetimi: RFID etiketleri, mağazalarda ya da depolarda ürünlerin anlık stok durumunun izlenmesini sağlamaktadır. Etiketler, çalışanların mağazadaki tüm ürünleri hızlıca taramasına ve envanterin doğru şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktadır.

Kaçakçılıkla Mücadele: RFID, ürünlerin mağazadan ya da depodan çıkışını izlemek için kullanılmaktadır. Etiketler, mağaza çıkışında alarm sistemlerine bağlanabilir, bu da hırsızlıkların önlenmesine yardımcı olmaktadır.

Nakliye ve Taşıma: RFID etiketleri, taşınması sırasında ürünlerin takip edilmesini sağlamaktadır. Bu durum, hem zaman kazandırmakta hem de ürünlerin kaybolma riskini azaltmaktadır.

Ekipman Takibi: İşyerlerinde özellikle pahalı ekipmanları ya da cihazları takip etmek ve kaybolmalarını önlemek için RFID etiketleri kullanılmaktadır.

Otoparklar: RFID, otoparklarda araç giriş-çıkışlarını otomatik olarak kaydetmek için kullanılmaktadır.

Biletleme ve Geçiş Sistemleri: Ulaşımında, örneğin otobüs, tren veya metro sistemlerinde RFID kartları, biletleme sisteminin daha hızlı ve pratik olmasını sağlamaktadır.

Kapı Erişim Kontrolü: RFID, işyerlerinde veya özel alanlarda, yalnızca yetkilendirilmiş kişilerin belirli alanlara girmesine izin veren erişim kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır.

Personel Takibi: Çalışanların giriş çıkış saatlerinin takibi, kimlik doğrulama ve güvenlik için RFID etiketleri kullanılmaktadır.

Çiftlik Yönetimi: Hayvanların kimliklerinin tanımlanması ve sağlık durumlarının izlenmesi için RFID etiketlerinden yararlanılmaktadır.

Ürün Takibi: RFID, akıllı etiketler aracılığıyla ürünlerin tanımlanmasını, fiyatlarının takip edilmesini ve hatta ürünlerin tarihli bilgilerini içeren dijital etiketlerle daha verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

5.2. RFID Etiketlerinin Dezavantajları

5.2.1. Güvenlik ve Gizlilik

Kablosuz sistemler için en büyük tehlikelerden biri, verilerin güvenliği ve gizliliğidir. RFID etiketleri de çoğunlukla bir kişi ya da bir nesneye ilişkin bilgiler taşıdığından, bu bilgilerin tehditlere maruz kalması tehlikesi söz konusudur (Pala, 2008).

RFID sistemleri, veri aktarımı sırasında güvenlik tehditlerine karşı savunmasızdır. Yetkisiz üçüncü taraflarca, virüsler ya da çeşitli kötü amaçlı yazılımlar aracılığıyla, RFID etiket verilerinin ele geçirilmesi ya da değiştirilmesi, güvenlik ihlallerine yol açabilir ve RFID sisteminin okuma aralığındaki kişilerin ve varlıkların güvenliğini tehlikeye atabilir. Araştırmacılar, RFID veri aktarımını güvence altına almak için kullanıcı kimlik doğrulama ve veri şifreleme tekniklerini iyileştirmek de dahil olmak üzere güvenlik önlemlerini geliştirmek için çalışmaktadır (Lehtonen vd., 2008).

Güvenlik endişelerinden bazıları şunlardır:

İzinsiz veri okuma: RFID teknolojisiyle ilişkili en büyük güvenlik zorluklarından birisi, izinsiz veri okuma riskidir. RFID okuyucular, kimlik bilgilerini almak için etiketleri taramak üzere tasarlanmıştır. Okuyucu daha sonra bu bilgileri depoladığı verilerle karşılaştırır. Ancak, birçok RFID etiketi gerçek bir RFID okuyucusundan gelen gerçek bir istek ile sahte bir okuyucudan gelen sahte bir istek arasında ayrım yapamaz. Sonuç olarak, bir saldırgan etiketleri kendi RFID okuyucusuyla tarayabilir ve alınan bilgileri kendi amaçları için kullanabilir (Nayak, 2015).

İzleme: Bir saldırgan, bir RFID etiketinden bilgi okuyarak bir nesnenin veya bir kişinin konumunu ve hareketini izleyebilir. Bir etiket bir nesneye eklendiğinde ve bu nesne bir RFID okuyucusunun menziline girdiğinde, okuyucu nesneyi tanımlayabilir ve yerini belirleyebilir. Sonuç olarak, bir RFID etiketi bir nesneye eklendiğinde, etiketler ve okuyucular arasında iletişim kurmak için şifreli mesajlaşma kullanılsa bile, bir saldırgan tarafından izlenme riski olduğunu bilmek önemlidir. Saldırgan, nesnenin yerini tespit etmek için mobil robotlardan veya diğer yöntemlerden yararlanabilir.

Hizmet Durdurma: Bir okuyucu bir RFID etiketinden bilgi istediğinde, etiketin tanımlayıcısı genellikle bir veritabanı sunucusunda depolanan tanımlayıcıyla karşılaştırılır. Ne yazık ki, hem okuyucu hem de sunucu, hizmet durdurma saldırılarına karşı hassas olabilir. Bu tür saldırılar, etiketlerin

kimliklerini okuyucuyla doğrulamasını önleyerek, hizmetin kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir.

Etiket taklidi (sahtecilik): Etiket taklidi, bir saldırganın bir sistemin gerçek bir kullanıcısıymış gibi davrandığı bir tür güvenlik tehdididir. Saldırgan sahte kimlik bilgileri kullanarak sisteme yetkisiz erişim elde edebilirse, RFID verileriyle ilgili bir dizi kötü amaçlı eylem gerçekleştirebilir. Bunlara sahte isteklere yanıt vermek, RFID tanımlayıcılarını değiştirmek, veri aktarımını engellemek, normal işlemleri bozmak veya hatta sisteme zararlı kod sokmak bile olabilir (Kumar vd. 2023).

Etiket hasarı: Saldırganın, RFID etiketlerini uygunsuz kullanması nedeniyle, etiketler zarar görebilir. Bunun sonucunda, okuyucuyla veri iletişimini engelleyebilir.

5.2.2. Uyumluluk

RFID sistemlerini kurmak için çok fazla zaman ve para gerekir ve bu birçok şirket için ekonomik olmayabilir. Dahası, RFID bazı mevcut teknolojilerle uyumlu olmayabilir ve mevcut sistemle entegre edilebilse bile %100 veri doğruluğu beklentisi hala endişe vericidir (Smart vd. 2010; Lee ve Chan 2009). Tedarikçiler ve alıcılar denizaşırı muadilleriyle uğraşmak zorunda kaldıklarında bu daha da önemli hale gelir. Bazı şirketler de yakın gelecekte, teknolojik gelişmeler RFID'den daha iyi teknolojiler getirebileceğinden, RFID sistemleri için yüksek yatırımlar yapmaktan kaçınmaktadır.

5.2.3. Teknoloji

RFID, Radyo Frekansı kavramına dayandığından, diğer radyo iletimleri, metallere, sıvılar vb. ile karışabilir (Bunduchi vd. 2011; Wu vd. 2006; Ni vd. 2011). Karışma derecesi, etiketin frekansına ve kullanım ortamına bağlıdır ve bu da yanlış okumaya yol açabilir. Örneğin, satın alınan malların fiyat etiketlerini kasada okumak için RFID okuyucularının kullanımı, diğer mallardan gelen radyo dalgaları tarafından karışabilir. Ayrıca, mallar farklı ülkelerde üretilir ve farklı malzemelerle paketlenir.

5.2.4. Standardizasyon Eksikliği

Farklı frekanslarda çalışan ve farklı yazılım ve okuyuculara ihtiyaç duyan birçok RFID sürümü bulunmaktadır. Bu nedenle, üreticiler, perakendeciler ve distribütörler arasında birlikte çalışabilirliğe sahip olmak için bir veya birkaç frekans üzerinde anlaşmaya varılması gerekir. Günümüzde iki kuruluş, EPC Global ve Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından yayınlanmış standartlar bulunmaktadır.

5.2.5. Güç gereksinimi

Radyo frekansı tanımlama sisteminin karşılaştığı en büyük sorun veya problemlerden biri, özellikle elektrik enerjisine bağlıysa veya elektrikle çalışıyorsa elektrik sorunudur. Radyo frekansı tanımlama (RFID) sistemleri, elektrik kesintileri sırasında hırsızlık veya benzeri durumlara neden olabilir (Baballe,2021).

5.2.6. Kurulumunun karmaşık ve pahalı olması

Radyo frekansı tanımlama sistemi, güvenli bir sunucuya bağlanan kilitler gerektirir. Kullanılacak bilgisayar, erişimin kontrol edildiği, programlandığı ve kaydedildiği yerdir.

5.2.7. Zaman ayarlama

Sunucu bilgisayarını internete bağlı değilse ve zamana dayalı erişim kısıtlamalarınız varsa, saat değiştiğinde yılda iki kez bilgisayarın saatini manuel olarak değiştirmeniz gerekecektir (Baballe, 2021).

5.2.8. Atıklar

RFID etiketinin kullanımıyla ilgili diğer endişe ise elektronik atıktır. Etiket satış noktasında çıkarılırlarsa, bu etiketleri geri dönüştürmek veya yeniden kullanmak için uygun bir yöntem tasarlanmalıdır. Etiketlerin teknolojisini, tasarımını ve kullanımını standardize etmek, standardizasyon eksikliğiyle ilgili sorunları çözebilirken, teknolojik gelişmeler maliyetle ilgili sorunların üstesinden gelmeye yardımcı olabilir.

6. RFID STANDARTLARI

RFID standartları, satıcı veya kullanıcıdan bağımsız olarak ürünlerin birlikte çalışabilir olmasını sağlamaya yardımcı olmaktadır. Standartlar ayrıca, şirketlerin farklı etiket türleri, okuyucular, yazılımlar ve aksesuarlar gibi tamamlayıcı ürünler geliştirebileceği yönergeler sağlamaktadır.

Standartlar, pazarları genişletmeye ve endüstri içindeki rekabeti artırmaya da yardımcı olur, bu da standartlaştırılmış RFID ürünlerinin fiyatlarını düşürür. RFID standartları ayrıca teknolojiye olan yaygın güveni artırmaya yardımcı olur.

Standartlar, endüstriye özgü, ulusal, bölgesel ve küresel kuruluşlar tarafından geliştirilir ve yayınlanır. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) ve EPC Global (GS1) ve IEEE, RFID etiketleri için evrensel özellikler sağlamak amacıyla standartları ve protokolleri onaylamak için çalışan üç kuruluştur. Bu kuruluşlar, küresel standartlar oluşturarak RFID etiketlerinin dünya çapında benimsenmesini mümkün kılar. Bu iki kuruluş ana RFID standartları kuruluşlarını sağlasa da, RFID'nin niş alanlarına uygulanan çok sayıda başka standart da vardır.

6.1. ISO Standartları

RFID alanında birçok ISO Standardı mevcuttur. Bu standartlara örnekler:

ISO 14443: Genellikle, kimlik, güvenlik, ödeme, toplu taşıma ve erişim kontrolü uygulamalarında kullanılan yakın mesafeden okuma yapan HF RFID etiketler için oluşturulmuştur.

ISO 15693: Fiziksel erişim veya bir otopark garajına girişi kontrol etme, havayolu bagaj takibi ve tedarik zinciri yönetimi gibi uygulamalar için kullanılan, HF standardında etiketler için oluşturulmuştur.

6.2. EPCGLOBAL Standartları

EPCglobal standartlarına bazı örnekler:

UHF Class1 Generation2: Bu standart UHF RFID için geliştirilmiştir. 860–960 MHz frekans aralığında çalışan etiketler için hava arayüzü parametrelerini tanımlar ve bu aralıktan farklı bölgelerde farklı frekansların kullanılmasına izin verir.

7. RFID KULLANIM ALANLARI

RFID sistemlerinin hızlı gelişimi ve sağladığı faydalar, RFID uygulamalarının sayısının artmasına neden olmuştur (Çıbuk ve Maraşlı, 2015).

RFID uygulamalarının ilk ticari örnekleri arasında tren vagonlarının, nakliye konteynerlerinin ve otomobillerin otomatik takibi yer almıştır. Demiryolu vagonları başlangıçta izleme için optik barkod etiketleriyle etiketlenmekteydi. Bu etiketlerin bozulması ve kirlenmesi ve okumaların başarısız olmasına neden oldu. Bir çözüm olarak, demiryolu şirketleri vagonları RFID cihazlarıyla etiketlemeye başladı. 1994'e geldiğinde, bu cihazlar zorunlu hale geldi ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki hemen hemen her vagon etiketlendi.

RFID cihazları 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında otomatik geçiş ücreti toplama için kullanılmaya başlandı. O zamandan beri elektronik geçiş ücreti sistemleri dünya çapında benimsendi. Demiryolu ve nakliye uygulamaları gibi, elektronik geçiş ücreti sistemleri de RFID cihazları ile kontrol edilmeye başlandı.

Otomobiller, vagonlar ve nakliye konteynerleri, daha pahalı ve hantal RFID cihazlarını barındırabilecek yeterli fiziksel alana sahip yüksek değerli ürünlerdir. Bu tür etiketler, basit tanımlamadan çok daha fazla işlevsellik sunabilir. Örneğin, nakliye konteynerleri bir tanımlama cihazına entegre edilmiş ivmeölçer sensörleri, alarmlar veya uydu takibine sahip olabilir.

Üretim maliyetleri düştükçe, RFID sistemleri taşımacılık dışındaki endüstrilerde düşük değerli ürünler için kullanılmaya başlandı. Bu uygulamaların bir örneği, hem evcil hayvanların hem de çiftlik hayvanlarının hayvan kimliklendirilmesidir. RFID etiketleri, Amerika Birleşik Devletleri genelinde milyonlarca evcil hayvana yerleştirilmiş olup, bu etiketler, kaybolan hayvanların tanımlanmasını ve sahiplerine iade edilmesini sağlamaktadır. Bu etiketlerin çok kısa bir okuma aralığı vardır.

RFID sistemlerinin diğer yaygın uygulamaları arasında temassız ödeme, erişim kontrolü veya saklı değer sistemleri yer alır. 1997'den beri ExxonMobil benzin istasyonları, müşterilerin genellikle anahtarlık boyutunda olan bir RFID "anahtarlığı" ile alışveriş yapmalarına olanak tanıyan SpeedPass adlı bir sistem sunmaktadır (Weis, 2007).

2005'te American Express, müşterilerin bir kartı kaydırmadan alışveriş yapmalarına olanak tanıyan RFID ile geliştirilmiş bir kredi kartı piyasaya sürmüştür.

RFID kartları, dünya genelindeki birçok şirket ve üniversitede bina erişim kontrolü için de kullanılmaktadır. Bu etiketler, eğitim kurumlarında personelin, istenilen odalara, sınıflara, laboratuvarlara kurum kimliğini kullanarak rahatça giriş çıkış yapabilmesi için kayıt alabilmektedir (Deniz vd., 2017). Benzer sistemler, dünya genelindeki kayak merkezlerinde kayak asansörü erişim kontrolü için kullanılmıştır. Örneğin Singapur'daki gibi dünyadaki birçok metro ve otobüs sisteminde RFID kartları kullanılmaktadır.

Sahteciliğe karşı önlem olarak RFID kullanan birkaç uygulama vardır. 2005 yılında, Las Vegas'taki Wynn Casino ilk olarak RFID entegre edilmiş oyun masalarını ve kumar jetonlarını kullanmıştır. Bu fişler, sahteciliği engellemek, hırsızlığı önlemek, dolandırıcılığı tespit etmek ve gelişmiş oyunlar veya hizmet sunmak için tasarlanmıştır. Kumarhane fişleri veya etkinlik biletleri gibi jetonların yanı sıra, para birimini etiketleme önerileri de olmuştur (Juels ve Pappu, 2003). 2005 yılında, biyometrik kimlik verilerini taşıyan etiketlerin Amerika Birleşik Devletleri pasaportlarına eklenmesine yönelik tartışmalı bir öneri uygulanmaya başlanmıştır.

RFID, yüksek değerli ürünlerin takibinin maliyetlerini düşürmeye devam ederken, ucuz, günlük tüketim mallarının takibinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Procter & Gamble, Coca-Cola ve Wal-Mart gibi şirketlerin tedarik zincirlerinde yüz milyarlarca ürün ve bileşen bulunmaktadır. Bu tedarik zincirleri boyunca mal akışını takip etmek ve yönetmek karmaşık ve pahalı bir girişimdir. RFID teknolojisi, bu tedarik zinciri süreçlerini basitleştirerek milyarlarca dolar tasarruf sağlayabilmektedir. Nakliye paletleri ya da tek tek ürünler, üreticilerden, nakliye, toptan ve perakende yoluyla bir satış noktasında tüketicinin eline kadar takip edilebilmekte, ürünler, geri dönüştürülürken, yenilenirken veya elden çıkarılırken tüketiciden sonra bile takip edilebilmektedir.

Moda endüstrisi de RFID teknolojisini ilk benimseyen sektörlerden olmuştur. Swatch saat, Ecco ayakkabı, Prada ve Benetton gibi birçok moda üreticisi ürünlerini RFID etiketleriyle etiketlemiştir. Bu etiketler genellikle perakende envanter kontrolü içindir, çünkü perakende giyim mağazaları

genellikle yüksek düzeyde "kayıp" ile karşı karşıya kalır ve ayrıca müşterilerin giysileri denemesi sonucu çok sayıda envanter hareketine neden olmaktadır.

RFID etiketleri ayrıca moda ürünleri için tüketici alışveriş deneyimini geliştirmek için kullanılmıştır. Örneğin, Prada'nın New York City'deki perakende mağazası, ürün bilgilerini görüntüleyen ve kombin olarak kullanılabilecek giysileri öneren RFID ile geliştirilmiş bir deneme odası sunmaktadır.

Giysiler, bazı RFID sistemlerine zarar veren, metaller veya sıvılar içermediğinden RFID etiketleri için özellikle uygundur. Perakende mağazalarda da bazı RFID çalışma frekanslarının etkileyen tıbbi ekipman gibi hassas elektronik cihazlar bulunmaz.

Giysiler için RFID etiketlerinde bir sonraki adım, geçici etiketleri elle takmak yerine, etiketleri üretim sırasında doğrudan ürüne entegre etmek olup, RFID işleme maliyetlerini büyük ölçüde düşürmüştür.

RFID'nin mevcut ve öngörülen gelecekteki uygulamalarından bazıları:

Takip ve tanımlama:

- Büyük varlıklar, örn. tren vagonları ve nakliye konteynerleri
- Canlı hayvanlar
- Evcil hayvanlar
- Tedarik zinciri yönetimi
- Envanter kontrolü
- Perakende sektöründe ödeme
- Geri dönüşüm ve atık bertarafı
- Ödeme ve depolanmış değer sistemleri:
- Elektronik geçiş ücreti sistemleri
- Temassız Kredi Kartları,
- Depolanmış değerli sistemler,
- Metro ve otobüs geçişleri
- Kumarhane jetonları ve konser biletleri

Erişim kontrolü:

- Yakınlık kartlarıyla bina erişimi
- Kayak asansör geçişleri
- Konser biletleri
- Otomobil ateşleme sistemi

Sahteciliğe Karşı:

- Kumarhane jetonları,
- Yüksek değerli banknotlar,
- Lüks mallar,
- Reçeteli ilaçlar

RFID teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı sektörlerden bazıları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

7.1. Askeri Alanda RFID Kullanımı

Askeri tedarik zinciri ile sivil tedarik zinciri arasındaki en büyük fark, malzemenin dağıtımını aksatmak isteyebilecek düşmanlar veya onların destekçileri tarafından oluşturulan potansiyel güvenlik tehdididir. RFID teknolojisini askeri tedarik zincirlerine entegre etmek, malzeme paletlerini bulma süresini kısaltmayı ve operasyonel görev alanına geçişte malzemelerin kaybolma riskini azaltmayı mümkün kılmaktadır. (Xiao vd. 2007). RFID etiketli askeri paketleme malzemeleri depoya ulaştığında veya depodan çıktığında otomatik tanımlama aşamasına girmektedir.

Askeri alanda gıda güvenliği de çok önemlidir. Birlikler malzeme satın alırken, tedarikçiler tarafından sağlanan malzemelerin etiketine göre malzemelerin tedarik, üretim, işleme ve satış süreçlerinin tamamını ve ilgili bilgileri sorgulayarak, satın alıp almama konusunda karar verebilirler. Kullanım sürecinde, sorunlu gıda bulunduğu, gıdanın kaynağı, akış yönü ve dağılımı sistem üzerinden belirlenebilir ve zamanında kontrol önlemleri alınabilir.

Tanımlama için RFID etiketlerinin dağıtılması ve takılmasıyla, çalışanların kimlik bilgileri, iş yerleri, denetim bilgileri (nitelik, sağlık durumu) ve diğer verileri kaydedilir, böylece personel bilgilerinin otomatik ve doğru bir şekilde tanımlanması, personelin işletme operasyonunun ve ilgili ekipmanlarının kullanımının denetlenmesi ve personel ile ilgili tehlikenin ortadan kaldırılması sağlanır.

RFID teknolojisi, askeri teçhizatın yaşam döngüsü yönetiminde de çok avantaj sağlamaktadır. Ekipmanları, ürün bilgilerini, savaş teknolojisi göstergelerini, ekipmanın kullanım ve bakım bilgilerini depolamak için

kullanılan RFID etiketleriyle, bakım destek kaynaklarının dinamik verileri hızlı ve kolay bir şekilde kaydedilebilir.

Yönetim personeli, askeri teçhizatın yedek parçalarının çalışma durumunu, konumunu, kullanıcı bilgilerini ve talep bilgilerini gerçek zamanlı olarak öğrenebilir, böylece askeri teçhizatın yönetim verimliliğini kapsamlı bir şekilde iyileştirebilir (Zhai vd, 2020).

7.2. Akıllı Park Uygulamalarında RFID Kullanımı

Günümüzde, alışveriş merkezleri, sağlık klinikleri, pazarlar ve ofis bölgeleri gibi çok sayıda kamusal alanda son derece acil bir konu araç bırakma ve güvenlidir. Bireylerin çoğu, durmalarına izin verilmeyen veya oradan ayrılma yetkilerinin olmadığı yerlere araçlarını park etmektedir. Güvenlik görevlileri, tesise giren veya tesisten çıkan tüm araç veya kişileri taramalıdır. Onaylı araçlar için kayıtları fiziksel olarak taramak için çok fazla zaman harcanır ve bu da bir tıkanıklığa veya iş yerine geç kalmaya neden olabilir. Tıkanıklıklardan ve geç kalma sorunlarından uzak durmak için, bazı durumlarda güvenlik görevlileri araçları uygun şekilde kontrol etmez ve tesise girmelerine izin vermez. Sonuç olarak, onaysız araçlar veya kişiler yapıya kolayca erişebilir.



Şekil 13: Akıllı Park Uygulamaları (URL 15)

RFID etiketleri, park yerlerine hangi araçların girebileceğine karar vermek, araçların giriş ve çıkış saatlerini izlemek, araç bilgilerini ekranda görüntülemek ve park alanına temassız girişi sağlamak amacıyla park yerlerinde kullanılmaktadır (Şekil 13).

Park yerlerinde onaylı ve onaysız aracı ayırt etmek için RFID etiketlerini kullanmak olası sorunlara bir çözüm getirmektedir. RFID etiketli bir kullanıcı park yerine geldiğinde, bu araçla ilgili veriler RFID etiketinden alınır ve sisteme kaydedilir ve araç onaylanırsa, araç için engel açılır ve çıkmasına izin verilir, onaylanmazsa, çıkış bölgesinden çıkmasına izin vermez (Sadaat ve Shoukat, 2022)

7.3. Gıda Sanayinde RFID Kullanımı

RFID teknolojisinin gıda endüstrisindeki çok sayıda uygulaması arasında tedarik zinciri yönetimi, gıdaların sıcaklık takibi ve gıda güvenliğinin sağlanması yer almaktadır.

RFID sistemleri, et, meyve ve süt ürünleri gibi gıda ürünlerinin nakliye ve depolama sırasında izlenmesi ve güvenli bir sıcaklık aralığında kalmasını sağlamak için kullanılabilir.



Şekil 14: Gıda Sanayinde RFID Kullanımı (Dawood, 2015)

RFID teknolojisi, iklim meyvelerinin (Şekil 14) nakliye ve satış sırasında olgunlaşmasını izlemek için de kullanılmıştır. Amerika’ da bir firma yarı aktif RFID etiketleri ile ürünlerin raf ömrünü izlemektedir. Etiket, sıcaklığı algılamakta ve zamanla entegre ederek bir ürünün raf ömrünü belirleyip bir okuyucuya iletmektedir. Etiketlerde ayrıca bir pil ve ürünün durumuna bağlı olarak yeşil, sarı ve kırmızı göstergeler sağlayan isteğe bağlı bir görsel ekran bulunmaktadır (örneğin, taze ürün için yeşil ve güvenli olmayan ürün için kırmızı) (Kumar vd. 2009).

Fransa’da bir firma, kaliteli şarapların kalitesini korumak ve kökenlerini izlemek için RFID tabanlı bir izleme sistemi geliştirmiştir.

RFID teknolojisinin kullanımı, stokta olmayan gıda ürünlerini izlemek ve gıda ürünlerinin bozulmasını azaltmak için daha iyi envanter yönetimi sağlayarak verimliliği ve üretkenliği artırabilmektedir.

7.4. Havacılık Alanında RFID Kullanımı

Havayollarının temel tercihlerinden biri, müşterilerine mükemmel hizmet sunmak ve yolcuların bagajlarını ve daha sonraki aşamalarda yolcuların kendilerini etiketlemek için RFID teknolojisini uygulayarak kendini farklılaştırmaktır.

Havacılıkta RFID sistemleri, check in işlemlerinde, yolcuların ve bagajlarının yönlendirilmesinde, kargo takibinde, depo stok yönetiminde, yolcu bagajı sıralamasında, yolcu ve bagaj eşleştirmede, kayıp ya da tehlikeli bagajın takibinde, konteyner takibi ve tespitinde, kimlik doğrulamada kullanılmaktadır (Meydan, 2023). Böylece yönetim ve müşteri memnuniyeti artırılır.



Şekil 15: Havacılıkta RFID Kullanımı

RFID teknolojisi, yanlış terminale veya uçuşa teslim edildiğinde bagaj konumunu izlemekte ve kaydetmektedir (Şekil 15). Bu, yanlış yönetilen bagajların daha hızlı teslim edilmesini sağlamaktadır. Bu faydalarının yanı sıra, bu teknoloji, özellikle çift uçuş transferi gerektiğinde bagaj işleme hızını ve doğruluğunu da artırır. Yolcular daha hızlı bir şekilde bilgilendirilebilir ve bagaj teslimat durumu kolayca takip edilebilir (Mishra ve Mishra, 2010).

Ayrıca, uçak bakım süreçlerinde RFID teknolojisi ile, malzeme takibi, malzemelerin yıpranma ve yeniden değiştirme süreçleri kontrol edilmektedir (Meydan, 2023).

7.5. Hayvan Takibinde RFID Kullanımı

Hayvan izleme ve takip alanında RFID etiketlerinin kullanımı ile, hırsızlık ve hileyi önleme, veri toplama ve depolama, hayvan hastalıklarını izleme ve kökenlerini belirleme etkin olarak yürütülmektedir (Doğan vd, 2016). Deli dana hastalığıyla ilgili endişeler, RFID sistemleriyle hayvanların evrensel olarak izlenmesine yönelik önerilerin de dikkate alınmasını sağlamıştır (Weis, 2007).

Günümüzde pek çok ülkede evcil hayvanların ve çiftlik hayvanlarının etiketlenmesine ilişkin zorunlu düzenlemeler bulunmaktadır. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), hayvan takibinde RFID kullanımı için iki standart geliştirmiştir.



Şekil 16: Hayvan Takibinde RFID Kullanımı (URL 16)

RFID etiketleri, özellikle çiftlik hayvanlarında, hayvanın derisinin altına yerleştirilebilir veya hayvanın kimliği için kullanılan diğer görünür etiketlerle birlikte kulağa sabitlenebilir (Şekil 16). Kullanılan en yaygın RFID etiketi yaklaşık olarak bir pirinç tanesi büyüklüğündedir ve söz konusu hayvanın derisinin altına yerleştirilir.

Uygulamaların çoğu inek, at, domuz, koyun ve keçi gibi çiftlik hayvanlarını ele alırken, geyik, bizon, alpaka ve lama gibi daha egzotik hayvanlar da RFID etiketleme kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bu teknoloji,

balıkları, özellikle somonu izlemek için de kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Balık ve Vahşi Yaşam Servisi, RFID etiketlemeyi bizon, gelincik, ayı, geyik, karaca, kaplumbağa ve hatta armadillolar için de kullanmaktadır (Floyd, 2015).

7.6. İnşaat Sektöründe RFID Kullanımı

RFID teknolojisi, bir binanın yaşam döngüsünün farklı aşamalarında, tasarımından yerleşimine kadar çeşitli süreçlerin kontrolünü kolaylaştırmaya yardımcı olmaktadır.

İnşaat sektöründe kullanılan malzemeler hakkındaki bilgiler, RFID etiketleri ile, gerçek zamanlı olarak paylaşılabilir. Malzemelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve yönetimi, malzeme taşımanın daha az işgücü ile gerçekleştirilmesi, işçilik maliyetlerinin düşmesi, işveren memnuniyeti gibi faydalar elde edilebilmektedir (Bazaati ve Oral, 2013)

Bina inşaatı planlandıktan sonra, gerekli malzemeler şantiyeye taşınmaktadır. Bu taşıma işleminin analizi, araçların kilometresi, bu taşıma işlemlerinin verimliliğini artırmayı ve CO₂ emisyonlarını azaltmayı amaçlayan önemli bir faktördür. Bu amaç, ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılmasına ve araç yükleme oranının artırılmasına yardımcı olan bir radyo frekansı tanımlama sistemi aracılığıyla gerçekleştirilebilir (Kaneko vd. 2007).

İnşaat faaliyetleri sırasında, binlerce malzeme ve aletler ve işçilerden oluşan bir ekip, araçlarla, şantiyedeki pozisyonlarını kalıcı olarak değiştirmektedir. İşçilerin hareketlerin kontrolü, işgücünün hareketlerini ve çalışma süresini kaydeden RFID etiketleriyle (Chae ve Kano, 2005) sağlanabilmektedir. Bu ise, üretkenliği artırmaya yardımcı olur ve işçilerin güvenliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir (Valero vd. 2015).

7.7. Kütüphanelerde RFID Kullanımı

Günümüz kütüphanelerinin RFID teknolojisini benimsemesindeki temel amaç, verimliliği artırma ve maliyeti düşürme ihtiyacıdır. Otomasyon ve self servis, her boyuttaki kütüphanenin bu hedeflere ulaşmasına yardımcı olabilir. Teknoloji, ayrıca sirkülasyonu ve envanter kontrolünü iyileştirebilir. Bu ise, kütüphanelerin profesyonel çalışanlarının rutin işler ve operasyonel görevler için harcanan zamanı azaltır ve onların çalışmalarını daha etkin hale getirir.

Kullanıcılar için RFID, ödünç alma ve iade prosedürlerini hızlandırır (Şekil 17). Kitap bırakma yerlerine okuyucular yerleştirildiğinde, kütüphaneler, kullanıcılar için çok faydalı olan, kütüphane kapalıyken kitap iade etme yeteneği gibi farklı bir hizmet sunabilir. Kullanıcı kendini tanımlar ve ardından kitabı/kitapları yuvaya koyar. İadeyi tamamladıktan sonra, kullanıcı kaç tane ve hangi kitapların iade edildiğini gösteren bir makbuz alır. Teslim alınan kitaplar, doğrudan raflardaki yerlerine yerleştirilebilir (Shadid, 2005).



Şekil 17: Kütüphanelerde RFID Kullanımı (URL 17)

RFID sistemlerinin bir başka avantajı da, raflardaki kitapların, dergi ve diğer basılı kaynakların, CD, DVD gibi değerlerin, yerlerinin tespit edilmesi, kütüphaneye giriş-çıkış hareketlerinin izlenmesi (Topaloğlu, 2011) ve sayım işlemi için yerinden çıkarmadan, hızlı ve güvenilir bir şekilde tarayabilmeleridir. Kablosuz teknolojiyi kullanarak, yalnızca envanteri güncellemek değil, aynı zamanda yanlış sırada olan kitapları tanımlamak da mümkündür. Ayrıca kütüphaneden bir kitabı izinsiz olarak çıkarma durumunda, kullanıcı kartında bir RFID etiketi de varsa, kütüphane, kitabı kimin çıkardığını da belirleyebilecektir.

7.8. Lojistik Sektöründe RFID Kullanımı

Lojistik sektöründe RFID etiketleri, ürün yerleştirme, ürün toplama, stokların sayımı ve yükleme amaçlı (Şekil 18) kullanılmaktadır. Depolama

alanında ürünler üzerindeki etiketler otomatik olarak okutulurken, ürünlerin raflara yanlış yerleştirilme olasılığı ortadan kaldırılmaktadır. Paketleme ve kontrol süreçlerinde de ürünler RFID etiketleri ile izlenmektedir.



Şekil 18: Lojistik Sektöründe RFID Kullanımı (URL 18)

İşletmelerde stok sayımı için çok sayıda personel yönlendirilmektedir. Ancak raflara entegre edilen RFID okuyucuları ya da el terminalleri kullanarak, gerçek zamanlı stok sayımı yapmak mümkün olmaktadır.

Sipariş hazırlandığında ise, yükleme bilgileri ile sipariş bilgilerinin karşılaştırılması ve ürünlerin doğru nakliye aracına yüklenip yüklenmediğinin kontrolü, RFID etiketleri ile sağlanabilmektedir. Ayrıca hatalı ürünlerin izlenmesi ve perakende mağazalarda ürünlerin kasadan otomatik geçişi de RFID teknolojisi ile kısa sürede gerçekleştirilmektedir. Bu ise, işlemlerin hızlanması ve bekleme sürelerinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Çırakoğlu, 2013).

7.9. Madencilik Alanında RFID Kullanımı

Büyük maden alanlarında, birçok işçi istihdam edilir ve aynı anda sahada bulunur. Güvenlik ve hırsızlığı önlemek için, çalışanlar dışında, maden sahasına girişlere izin verilmemelidir. Bunu sağlamak için, maden sahası genellikle bir bariyer veya tampon bölge ile güvence altına alınır. RFID teknolojisini kullanarak çalışan personel için kimlik kartlarının kullanımı,

madencilik alanlarında güvenlik önlemi, hırsızlık önleme ve yasadışı istihdam riskini azaltabilir (Mahmad vd. 2016).

RFID okuyucuları, ana giriş ve ara seviye girişleri gibi maden boyunca stratejik noktalara yerleştirilir. Bir yeraltı madenin galerilerinde veya rampalarında, antenler okuyucuların menziline ve aralığına göre yerleştirilir. Amaç, kişisel konum belirsizliği alanlarını azaltmaktır. Bu, kurtarma ve ilk yardım ekiplerinin acil bir durumda herkesin tam olarak nerede olduğunu bilmesini sağlar.

Güvenlik, yeraltı madencilğinde son derece önemlidir. Bir kaza durumunda, kurtarma açısından her saniye önemlidir. Radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisi, madencilerin güvenliğini sağlamaya yardımcı olmakta giderek daha önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 19). Madencileri izlemek, her işçinin tam yerini ve kurtarma ve ilk yardım ekiplerinin nerede olduğunu bilmek hayati önem taşır (URL 8).



Şekil 19: Madencilikte RFID Kullanımı (URL 19)

Bir kaza anında, RFID, ilk müdahale ekiplerinin sıkışmış olabilecek kişileri bulmasına yardımcı olabilir. Alarmların derhal devreye alınması ve tahliye protokollerinin uygulanması, kurtarma ekiplerinin izlenmesi ve yönlendirilmesi, aynı işlemlerin işçilere yapılması ve güvenli yerlere veya çalışan asansörlere yönlendirilmesi, kamyon trafiğinin durdurulması ve kazadan doğrudan veya dolaylı olarak etkilenen işlerin durdurulması mümkündür (URL 20).

RFID teknolojisi, patlayıcıların envanter yönetimi, patlayıcıların izlenmesi, bir ateşleme hatası durumunda patlayıcı malzemelerin geri alınması, patlayıcılar patlatma durumuna geldiğinde patlayıcıların kimliklerinin uzaktan okunması, güvenilir envanter kontrolü için önemlidir. Mümkünse patlayıcı yüklenirken okuma, güvenilir envanter kontrolü sağlayabilir. Bu, patlayıcıların tükenmesi de kayıt altına alınır ve envanteri güncellenir (Mishra vd. 2012).

7.10. Mücevherat Sektöründe RFID Kullanımı

Mücevherat sektöründe doğru stok sayımı çok önemlidir ve çoğunlukla manuel olarak yapılır. Bu değerli taşların boyutlarının küçük ve miktarlarının fazla olması nedeniyle, stok sayımı genellikle uzun zaman alır. Bu ise stokların sık sık, bazen sadece birkaç ayda bir sayılmasını imkansız hale getirir. Aynı zamanda, mücevherler yüksek değerli ürünlerdir ve mağazaya çok sayıda müşteri geldiğinde, mücevherlerin çalınma olasılığı yükselir ve bu da mağaza görevlisi üzerinde çok fazla baskı yaratır. Bu nedenlerle kuyumcular da geleneksel izleme yöntemlerine alternatif olarak radyo frekansı tanımlama (RFID) kullanmaya başlamıştır.

RFID teknolojisi, her mücevher parçası için RFID etiketleri takarak (Şekil 20) izleme ve tanımlama elde ederek mücevher envanterini etkili bir şekilde yönetebilir. Her bir mücevher parçasının depoya giriş-çıkış zamanını, yerini ve miktarını kontrol ederek gerçek zamanlı stok tutulmasına yardımcı olur. Stoklara hızlı erişim sağlamak, satış fırsatlarını değerlendirmek açısından da önemlidir.

RFID etiketleri, mücevherlerin sergilendiği mağazalar ya da fuarlarda hırsızlığı önlemek açısından da fayda sağlamaktadır (URL 21).

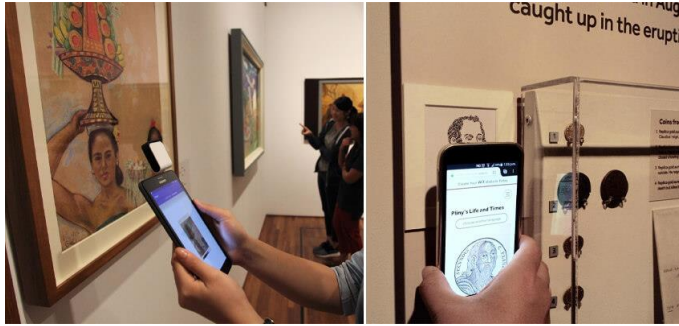


Şekil 20: Mücevherat Sektöründe RFID Kullanımı

RFID teknolojisi, mücevherin üretim, dolaşım ve satışın tüm yönlerindeki tüm sürecini izleyebilir ve takip edebilir. Bu, tüketicilerin mücevherin gerçek kökenini anlamalarına ve satın alma konusunda güvenlerini artırmalarına yardımcı olur.

7.11. Müzelerde RFID Kullanımı

Fuarlar, müzeler, antik yerler ve çok sayıda ziyaretçinin olduğu diğer büyük ortamlarda, yönetim çok hassas ve zordur ve yöneticiler bu alanda modern teknoloji araçlarından yararlanmalıdır.



Şekil 21: Müzelerde RFID Kullanımı (URL 22)

Bir müze veya antik yerdeki değerli eşyalar iyi bir şekilde muhafaza edilmelidir. Eşyalar hırsızlığa karşı korunmakla birlikte, sıcaklık, nem, pH, kimyasal faktörler ve mekanik olaylar gibi çevresel faktörler de izlenmelidir. Zararlı ortam koşullarında, yöneticilere ve uzmanlara uyarılar veya raporlar duyurulmalıdır. Ziyaretçiler de izlenmeli ve çevrede yönlendirilmeleri ve bilgi almaları gerekir. RFID teknolojisi ve kısa mesafeli ağ araçları kullanılarak (Şekil 21), müzelerde daha verimli yönetim ve daha etkili saklama için teknik çözümler uygulanabilmektedir (Sahba, 2014).

7.12. Otomotiv Sektöründe RFID Kullanımı

Otomotiv sektöründe RFID, parça ve bileşenlerin envanter takibi ve yönetimi, üretim hatlarında araç tanımlama, kısıtlı alanlara erişim kontrolü ve araç filosu yönetimi gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır. Örneğin, envanter yönetiminde RFID, parçaların ve bileşenlerin tedarik zincirinde hareket ederken tanımlanmasını sağlayarak üretim sürecinde verimliliğin artması ve daha iyi envanter yönetimi sağlar.

Ayrıca, üretim sürecinde RFID, montaj hatlarında hareket ederken araçları izlemek için (Şekil 22) kullanılır. Bu ise, üretim sürecinde kontrolün artması, kalite sorunlarının hızlı bir şekilde tespit edilip düzeltilmesi ve nihai ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesini sağlar. Ayrıca, RFID ile parça ve bileşenlerin de izlenmesi, kayıp veya çalınma olasılığını ortadan kaldırır.



Şekil 22: Otomotiv Sektöründe RFID Kullanımı (URL 23)

Otomotiv sektöründe RFID teknolojisinin kullanımı, araç üreticilerine verimlilik, kalite, maliyet azaltma, güvenlik ve tedarik zinciri yönetimi açısından önemli faydalar sunar.

7.13. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe RFID Kullanımı

Tekstil ve Konfeksiyon alanında RFID, üretim, envanter kontrolü, depolama, dağıtım, lojistik, otomatik nesne takibi ve tedarik zinciri yönetiminde kullanılmaktadır (Legnani vd. 2011; Liu vd. 2010; Moon ve Ngai 2008; Gimpel vd. 2004). Örneğin, bitmiş giysiler, yarı mamuller ve aksesuarlar izlenebildiği gibi, üretim sürecinin ilerlemesi de izlenebilmektedir.

Örme ve dokuma kumaş üretiminde, kumaş partileri izlenirken (Şekil 23), iplik fabrikalarında, pamuk balyaları ve iplikler kolayca izlenebilmektedir. İplik fabrikalarında büyük bir sorun olan farklı iplik partilerininin karıştırılması da bu sayede önlenmektedir.



Şekil 23: Tekstil Sektöründe RFID Kullanımı (URL 24)

Tekstil endüstrisi; dokuma, boyama, baskı ve terbiye gibi üretimin çeşitli aşamalarını içeren karmaşık bir tedarik zincirine sahiptir. RFID teknolojisi, ürünlerin konumu, miktarları ve durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak envanter yönetimi sürecini iyileştirmiştir. Bu ise, stok fazlasının azaltılmasına ve üretim sürecinin optimize edilmesine yardımcı olmuştur (URL 12).

Tekstil endüstrisi tedarikçiler, üreticiler, distribütörler ve perakendeciler dahil olmak üzere çeşitli paydaşları içermektedir. RFID teknolojisi, ürünlerin bir paydaştan diğerine hareketi hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak tedarik zinciri görünürlüğüne iyileştirmiştir. Bu durum, teslim sürelerini azaltmaya, sipariş karşılamayı iyileştirmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olmuştur.

Tedarik zincirinde RFID teknolojisini kullanan firmalardan biri, Griva firmasıdır. Griva, her yıl 300.000'den fazla top kumaş üreten bir İtalyan tekstil üreticisidir. Döşemelik ve perdelik kumaş üretmekte ve Avrupa'daki perakendecilerine her gün 20.000 m'ye civarında kumaş satışı yapmaktadır. Ürettiği kumaşların çok çeşitli olması nedeniyle, Griva son derece doğru bir envanter kontrolü sağlamak zorundadır. Tekstilleri, ham iplikten başlayarak dokunmuş kumaşa ve son olarak kumaş toplarının dağıtımına ve sevkiyatına kadar izlemelidir. İzlenebilirlik konusundaki zorluk, kumaş toplarının Griva'nın deposunda hareket ederken birden fazla işlem sürecinden geçmesidir. Bu işlemler, kumaşın yüksek sıcaklık, su ve yüksek nem gibi sert çevresel

faktörlere ve boyama sürecinde kullanılan güçlü kimyasallara maruz bırakılmasını içermektedir.

Griva, kumaş toplarını üretim süreci boyunca takip etmek için yıllarca geleneksel barkod sistemlerini kullanmıştır. Ancak bu sistem, barkodlara uygulanan mekanik ve çevresel stresler nedeniyle yeterli olmamıştır. Bu nedenle Griva, 2006 yılında kumaş üretimi ve lojistiğinin tüm aşamalarında RFID'yi kullanmaya başlamıştır. Ayrıca, kumaş toplarını sevk sırasında korumak için kullanılan plastik film üzerinden barkodunun okunması mümkün olmazken, RFID etiketleri okunabilmektedir. Bu sayede, RFID ile Griva, sarılmış ve teslimata hazır topları verimli bir şekilde takip edebilmekte ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Sonuç olarak, müşterilerine bitmiş kumaş hakkında en doğru bilgileri sağlaması da mümkün olmaktadır (Ranasinghe vd. 2010).

RFID etiketleri ayrıca Griva'nın kumaşlarını depoda otomatik olarak ayırmasına da olanak tanımaktadır. Her topa kimlik bilgisi (ürün türü, ağırlık ve çap gibi) ilişkilendirilerek top, depoda bir sonraki kontrol noktasına verimli bir şekilde hareket edebilmektedir. Çeşitli kontrol noktalarındaki okuyucular sayesinde operatörler, bir topun bir depolama tesisine taşınması mı yoksa bir müşteriye hemen gönderilmek üzere hazırlanması mı gerektiğine anında karar verebilmektedir. Son aşamalarda, otomatik sistem RFID etiket bilgilerini kullanarak her top için nihai paketlemeyi ve en uygun maliyetli taşıma seçeneklerini belirlemektedir. Kumaşın ağırlığı ve varış yeri bilgilerini kullanarak, depo operatörleri özelleştirilmiş nakliye kutuları oluşturabilmekte ve her topu belirlenen taşıyıcılar tarafından son dağıtımı ve nakliyesi için hazırlayabilmektedir (URL 25).

7.14. Tıbbi Alanda RFID Kullanımı

Sağlık sektörü, hastalara verilen bakımın kalitesini iyileştirmek için giderek yeni teknolojileri takip etmektedir. RFID teknolojisi, tıbbi varlıkları izleme ve dünyanın dört bir yanındaki hastanelerde konuşlandırılan hemen hemen her tıbbi cihaz, ilaç malzemesi, BT ekipmanı veya bireysel hastayla etkileşim kurma potansiyeline sahiptir (Abugabah, 2020).

RFID etiketleri, hastanelerde infüzyon pompalarını, yatakları ve tekerlekli sandalyeleri takip etmekte kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, ilaçların üretiminden teslim alınmasına kadar takibi, ilaç sahteciliğini, hırsızlığı

ve ilaçların kötüye kullanımını azaltmak için ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır (Yao vd. 2010; Al-Kassab, 2008). Özellikle patoloji laboratuvarlarında numune etiketleme hatalarını azaltmada yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

RFID, yalnızca bir varlık izleyicisi olma algısının ötesine geçmekte ve giderek daha fazla, savunmasız hastaları, örneğin yaşlı demans hastalarını, çocukları ve yeni doğanları izleyerek bakımı iyileştirebilen bir teknoloji olarak görülmektedir. Ayrıca, RFID, acil servisteki hastaların ve personelin yerini doğru bir şekilde belirlemek için de kullanılmaktadır (Yao vd. 2010).

Bu teknoloji tıbbi varlık takibinin verimliliğini, sağlık hizmeti sağlayıcılarının maliyet etkinliğini ve hasta güvenliğinin iyileştirilmesini sağlar (Öztekın, 2010; Haddara vd. 2018). RFID teknolojisinin kullanımı, hastalar, doktorlar, hemşireler, teknisyenler, yöneticiler, diğer tıbbi bakım sağlayan personel, sigorta şirketleri ve hükümet düzenleyici kurumları dahil olmak üzere hastane ortamındaki tüm oyuncularını etkiler. Sağlık varlıkları, hasta ve personel takibi için (Şekil 24) RFID teknolojisinin tanıtılması, tıbbi hataların (Yao, 2010; Ohashi vd. 2010) ve sağlık hizmeti sağlayıcılarının iş yükünün azaltılmasına yardımcı olabilir ve böylece hasta bakımının verimliliğini artırabilir (Yao, 2010; Ohashi vd. 2010; Rosenbaum, 2014).



Şekil 24: Tıbbi Alanda RFID Kullanımı (URL 26)

RFID teknolojisi, tıbbi alanda acil müdahalelerde de kullanılmaktadır. Bir kaza olması durumunda, yaralı kişiye, önce olay yerinde, sonra ambulanda ve daha sonra da hastanede müdahale edilir. Bu süreçte yapılan müdahalelerin neler olduğu ve yaralıya kimlerin müdahale ettiğinin kaydedilmesi, RFID etiketleriyle olmaktadır. Ayrıca yaralı kişinin bilgilerinin bir sunucuda, internet

ortamında saklanması, yakınlarının yaralı kişiye daha hızlı ulaşabilmelerini sağlamaktadır (Pala, 2009).

7.15. Hastanelerde kullanılan tekstillerde RFID uygulaması

Hastanede kullanılan tekstil ürünleri, cerrahi önlükler, personel üniformaları, havlular, hastane yatakları ve perdeler gibi ürünler olup, bu ürünler hastanelerde enfeksiyon kontrolü açısından çok büyük önem taşımaktadır. Hastanelerde kullanılan tekstil ürünleri tek ya da çok kullanımlıktır (Duman vd., 2024). Tek kullanımlık tekstillerin maliyeti düşük olmasına rağmen, yüksek atık bertaraf maliyetlerine sahiptir (Watson ve Fisher-Bogason, 2017). Ayrıca, tek kullanımlık tekstiller, çok kullanımlık tekstillere göre 2-3 kat daha fazla karbon ayak izi, enerji ve su kullanımına sahiptirler (Overcrash, 2012). Tek kullanımlık hastane tekstillerinin atılması da sağlık risklerine yol açabilir (WHO. 2018). Çok kullanımlık malzemeler, tek kullanımlık olanlara göre daha fazla çevresel faydaya sahiptir (Overcrash, 2012; Carre, 2008; Mikusinska, 2012; Burguburu vd. 2022; McQuerry vd. 2021).

Hastane tekstillerinin çamaşırhane yönetimi de karmaşık bir sistemdir ve hasta güvenliği ve hijyeni açısından çok önemlidir. Bu sistemin üç ana adımı vardır: Toplama, ayırma ve çamaşırın durumunu izleme. Bu sistem esas olarak hastane personeli tarafından işletilmektedir.

Günümüzde artık hastaneler çamaşır yıkama süreçlerini takip etmek istemekte, kirlenmeyi veya hasarı azaltmak için, ürünlerin gerekli koşullarda kurutulup ütülenip ütülenmediklerini ve tekstil ürünlerinin kumaş türlerine göre doğru sıcaklıkta doğru deterjan kullanılarak yıkanıp yıkanmadığını da bilmek istemektedirler (Woradit vd. 2020; Fijan vd. 2006; Owen ve Laird, 2020). Bu nedenle, hastanelerde kullanılan tekstil ürünlerine yıkanabilir RFID etiketlerini entegre etmektedirler. RFID etiketleri gibi akıllı etiketler ile çamaşırları takip etmek, özellikle kullanılmayacak durumda olan hastane tekstilleri hakkında veri toplamak ve hastane çamaşırhanesinin envanter yönetimi için personel iş yükünü azaltmak için hayati önem taşımaktadır (Salayong vd. 2019; Ünal vd. 2017). RFID etiketleri, hastane tekstili kaybını azaltmakta ve endüstriyel çamaşırhanede yıkandığı için zamandan ve paradan tasarruf sağlamaktadır (Woradit vd. 2020; Fisher vd. 2012).

7.16. Turizm Sektöründe RFID Kullanımı

Hızla büyüyen bir konumda olan turizm sektörü, rekabetçi bir ortamda müşteri memnuniyetini, üretkenliği ve hizmet kalitesini iyileştirmek için çeşitli alanlarda bilgi teknolojilerinden yararlanmaktadır. RFID teknolojisi, otellerin hizmetlerini özelleştirmelerine yardımcı olmak üzere müşterileri hakkında gerçek zamanlı veri toplamalarına olanak tanımaktadır. Bu sektördeki bazı RFID uygulamaları arasında nakitsiz ödeme sistemleri, bina zekası sistemleri, müşteri sadakat sistemleri, bagaj takibi, envanter takibi, varlık yönetimi, RFID elektronik kilitleme sistemleri ve RFID toplantı teknolojisi yer almaktadır (Hassannia, 2014).

Otellerde akıllı etiketlerin takip sistemi olarak kullanılması sayesinde önemli sonuçlar elde edilmiştir. ABD'de havlu hırsızlığının yüzde 5 ila 20 oranında artması üzerine, havlu, bornoz ve çarşaf gibi tekstil ürünlerine yikanabilir mikroçipler takılmaya başlanmıştır (Ünal vd. 2017).

Buenos Aires'teki lüks bir otel, çalışanların işe geldiklerinde her zaman temiz ve düzgün bir üniformaya sahip olmalarını sağlamak için RFID kullanmaktadır. RFID teknolojisi, çalışanlarının üniformalarının yaşam döngüsünü takip etmek ve yönetmek için kullanılmaktadır.

Otellerde tekstil ürünlerine takılan akıllı etiketler yaklaşık 250 yıkamaya ve 40 bar basınca dayanabilmektedir. Çamaşırhanelerde genellikle bu etikete sahip ürünleri sayabilen RFID kabinleri bulunmaktadır. Bu kabinler tarafından taranan ürünler herhangi bir ek personele ihtiyaç duymadan saniyede 300 adet gibi bir hızla sayılabilmektedir (Ünal vd. 2017). Bu sistem hem iş gücünü azaltmak hem de tekstil ürünlerinin kontrol altına alınması açısından büyük önem taşımaktadır.

8. KONFEKSİYON SEKTÖRÜNDE RFID KULLANIMI

Konfeksiyon tedarik zincirinde yer alan çeşitli süreçlere RFID sisteminin kurulmasıyla moda endüstrisine özgü bir dizi sorun çözülmüştür. Konfeksiyon, üretim, denizaşırı taşımacılık, dağıtım ve perakende gibi dört bölüme ayrılabilir.

Üretimde RFID, ürün ve giysi parçalarının ve farklı aksesuarların karıştırılmasını önlemek için kullanılabilir.

Denizaşırı taşımacılıkta, ürün dışarıdan temin ediliyorsa, gönderiyi Free on Board'dan önce ve sonra izlemek ve takip etmek için RFID kullanılabilir.

RFID, öncelikle ürünü çok hızlı bir şekilde ayırma ve takip etme sorununu çözebilir ve böylece dağıtım sırasındaki teslim süresini azaltabilir (Moon ve Ngai 2008).

Perakende mağazalarının çoğunda, alan kısıtlıdır ve verimli bir şekilde kullanılması gerekir. RFID, ürün aramayı önlemek, ögeyi hızlı ve doğru bir şekilde tanımlamak ve stoğu yönetmek için kullanılır (Reynolds vd., 2006).

RFID, Avrupa ve ABD'deki birçok büyük perakendeci tarafından kullanılmıştır. Walmart, tedarik zinciri boyunca RFID'yi ilk uygulayan perakendecilerden biridir ve Walmart ile çalışan tedarikçiler de tedarik zinciri bileşenlerinde RFID'yi uygulamak zorunda kalmışlardır. Walmart'ın RFID'yi uygulama nedeni, maliyet rekabetçiliği ve müşterilere daha hızlı yanıt vermenin, kendi kurumsal stratejisiyle uyumlu olmasıdır (Vowels 2006). Walmart tarafından RFID'nin başarıyla uygulanması ve kullanılmasının ardından, İngiltere'deki Marks & Spencer ve Tesco gibi diğer büyük perakendeciler de RFID sistemlerini benimsemiştir. Günümüzde RFID teknolojisini kullanan markalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Zara: Zara, envanterini yönetmek ve son dakika acil durumlarını ve stokta kalmama durumlarını önlemek için, tüm stokları gerçek zamanlı olarak takip etmek için RFID etiketleri kullanmaktadır. Bunun yanı sıra, Zara, RFID ile mağazalarında ürünü otomatik olarak okuyup ödemeye sevk etme ile kasalardaki uzun bekleme sürelerini ortadan kaldırmıştır

H&M: H&M, çalışan personelinin mağazalardaki belirli ürünleri hızlı bir şekilde bulmasına yardımcı olmak için RFID teknolojisini kullanmaktadır. Firma, bu etiketleri giyim ürünlerinin üretim aşamasından mağazalara ve dağıtım merkezlerine hareketini izlemek için kullanmakta ve böylece daha kısa teslim süresinde ürünlerini teslim edebilmektedir.

Macy's: Firma, RFID etiketlerini, özellikle hırsızları önlemek amacıyla ürünlere yerleştirmektedir. Bunun yanı sıra RFID etiketleri firmaya, gerçek zamanlı stok sayımı ile arz-talep uyumsuzluğunu önlemek ve hızla değişen moda trendlerini karşılamak için hızlı tespit için yardımcı olmaktadır.

Levi Strauss and Co.: Levi's, markasının ürünlerinin orijinalliğini korumak için RFID etiketleri kullanmaktadır. Özellikle, üst düzey tasarımcı koleksiyonları, uygun tanımlama için etiketlerle birlikte gelmektedir. Bunun yanı sıra, marka, e-ticaret mağazasının stoklarını kontrol etmek için de RFID etiketlerini kullanmaktadır.

Decathlon: Müşterilerin denediği ürünleri tanımak için RFID aynaları kullanan birkaç Decathlon mağazası vardır. Bu, insanların ürün bilgilerini ve ilgili ürünleri görmesini sağladığı için alışveriş deneyimini geliştirmektedir. Decathlon, sorunsuz teslimat ve akıcı operasyonlar sağlamak için her kontrol noktasında tüm spor malzemelerini, RFID teknolojisi ile takip etmektedir (URL 27).

8.1. Konfeksiyon Üretim Sürecinde RFID Kullanımı

Konfeksiyon üretim sürecinde RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojisi, üretim sürecinin her aşamasını izlemek ve verimliliği artırmak için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, üretim hattındaki her bir ürün parçasına bir RFID etiketi eklenerek takip edilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu sistemin konfeksiyon üretiminde kullanımı, birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar:

Ürün takibi ve görünürlük

Her bir kumaş parçası veya ürüne RFID etiketi entegre edilir ve bu etiketler, üretim hattında ilerledikçe, RFID okuyucular tarafından algılanarak sistemde anlık olarak kayıt altına alınır. Bu sayede, ürünün hangi aşamada olduğu, işlem süresi ve bir sonraki aşamaya ne zaman geçeceği kolayca takip edilebilir.

Üretim süreçlerinde verimlilik artışı

RFID etiketlerin üretimde kullanılması ile geleneksel yöntemlerdeki manuel sayım ve kayıt işlemleri ortadan kalkar. Kesilmiş giysi parçalarının, yarı mamullerin ve mamul ürünlerin konumu ve hareketi, üretim izleme ve kontrolünde yardımcı olan RFID sistemi tarafından tespit edilebilir. Bölümlerin ve bireylerin performansı, giysi parçalarının hareket hızıyla değerlendirilebilir.

Ürünlerin her bir üretim aşamasına otomatik olarak kaydedilmesi, zaman kaybını azaltır ve insan hatasını minimize eder. Hataların minimize edilmesi, üretim ve teslim sürelerinin optimize edilmesiyle, genel iş verimliliği artar.

Ayrıca üretimde darboğaz oluşan alanların belirlenmesi daha kolay hale gelir, böylece süreçlerdeki aksaklıklar hızlıca giderilebilir.

Stok Yönetimi

Üretim aşamasında kullanılan kumaş, iplik gibi malzemelerin stok seviyesi anlık olarak izlenebilir ve bu da gerçek zamanlı ve verimli bir envanter yönetimine yardımcı olur (Wang vd. 2006; Lee vd. 2013; Jihui vd. 2011). Ayrıca, hammadde ve yardımcı malzeme eksiklikleri önceden tespit edilip sipariş verilebilir. Aynı zamanda gereksiz stok maliyetleri de ortadan kaldırılmış olur.

Kalite kontrol ve hata yönetimi

RFID sayesinde, kalite kontrol süreçleri de dijital olarak kayıt altına alınabilir. Her ürüne RFID etiketleri takılabilir ve veriler, kalite kontrol personeli tarafından erişilebilen merkezi bir veri tabanına iletilir. Her bir ürünün hangi kalite kontrol aşamalarından geçtiği, hangi sorunların tespit edildiği gibi detaylar sistemde tutulur.

Kalite kontrol personeli, bu verileri üretim sürecini izlemek, olası sorunları belirlemek ve ürünlerin gerekli kalite standartlarını karşıladığından emin olmak için gerekli ayarlamaları yapmak için kullanabilir. Bu, kusurları en aza indirmeye, atığı azaltmaya ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olmuştur. Ayrıca, bu veriler sayesinde, kalite kontrol işlemlerinde daha yüksek hassasiyet sağlanır ve tekrar eden hataların önüne geçilir. Buradan elde edilen veriler, sonraki siparişler için de bir geri bildirim sağlar.

Üretim ve personel performansı analizi

RFID ile takip edilen veriler, personel bazında performans analizleri yapma imkanı sunar. Hangi işlemin hangi çalışan tarafından yapıldığı, işlem süresi gibi veriler kayıt altına alınarak performans değerlendirmeleri yapılabilir.

Personel performansı dışında üretim makinelerinin verimliliği de gözlemlenebilir. Verimli çalışmayan makineler için verimliliği artırıcı önlemler alınabilir.

Sevkiyat ve dağıtım süreçleri

Paketleme bölümünde, farklı modellerin ve bedenlerin karıştırılması RFID etiketleri ile önlenebilir. Ayrıca, koli içindeki parça sayısı koliyi açmadan sayılabilir. Bu da zamandan ve emekten tasarruf sağlar.

Sevkiyat ve dağıtım aşamalarında ürünlerin takibi kolaylaşır. Ürünlerin hangi araca yüklendiği, hangi tarihte sevk edildiği gibi bilgiler anlık olarak izlenebilir. Bu takip, müşteri memnuniyetini artırarak ürünlerin doğru zamanda ve miktarda teslim edilmesini sağlamakla birlikte, müşteri ile olan ilişkileri de güçlendirir.

RFID teknolojisi, israfi azaltmada yalın üretim ve tam zamanında üretim kavramını tamamlayabilir (Chen vd. 2013; Arkan ve Van Landeghem, 2013). RFID sistemi, envanterin tam miktarı hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayabildiğinden, aşırı üretimi azaltabilir; hatalı parçalar gibi süreç atıklarını ve darboğazları azaltabilir ve yalın üretimin temeli olan karmaşıklığı azaltabilir (Nayak, 2022). RFID teknolojisi, konfeksiyon tedarik zincirindeki israfın azaltılmasına yardımcı olabilecek bilgi yönetim sistemlerinde de kullanılabilir.

Konfeksiyon işletmeleri numunelerinin hareketini takip etmek için de her numuneye özel bir RFID etiketi takabilir. Firmalar, RFID teknolojisini, giden, teslim edilen, teşhirde olan veya gelen gibi tüm aşamalarda doğru numune takibi ve durum geri bildirimini için kullanılabilir. Bu, numune kaybı veya hırsızlığı riskini büyük ölçüde azaltır ve giysi yönetiminde şeffaflığı sağlar (URL 28).

8.2. Yıkama ve Bakım Etiketlerinde RFID Kullanımı

Yıkama ve bakım etiketleri, sınırlı bilgi depolayan basılı veya dokunmuş etiketlerdir (Nayak ve Padhye, 2015). Bir giysi üzerinde elektronik olarak bilgi depolamak için RFID etiketleri kullanılmaktadır.

Konfeksiyon sektörü gelişmeye devam ettikçe, operasyonel verimliliği artırmak, müşteri deneyimini geliştirmek ve sürdürülebilirlik çabalarını desteklemek için gelişmiş teknoloji çözümlerine olan ihtiyaç giderek daha önemli hale gelmektedir. RFID teknolojisi, özellikle çamaşırhane ve tekstil yönetimi alanında bu hedeflere ulaşmak için güçlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Giysiler ve tekstiller için çamaşırhanelerde, RFID etiketlerinin kullanımı, kuruluşların tekstil ürünlerini yönetme biçiminde devrim yaratarak, gerçek zamanlı izleme, iyileştirilmiş envanter yönetimi, gelişmiş tedarik zinciri

görünürlüğü ve daha fazla sürdürülebilirlik sağlamıştır (URL 14). RFID çamaşır etiketleri, giysilere ve diğer tekstil ürünlerine takılabilen küçük, dayanıklı ve yıkanabilir çiplerdir.

8.3. Mağazalarda (Perakende) RFID Kullanımı

Ürün ve marka yelpazesini tek çatı altında bulunduran mağazalar için RFID sistemini benimsemek oldukça faydalı olacaktır (Loebbecke ve Huyskens 2008). RFID kullanılarak farklı marka ürünleri bünyesinde bulunduran mağazalar, envanterlerini sayı ve konum açısından oldukça kolay bir şekilde kontrol edilebilmekte ve markaların karışması söz konusu olmamaktadır. RFID ayrıca, envanter düzeyini, marka tanımlamasını ve ürün orijinalliğini izlerken, bu teknoloji asgari düzeyde insanla çalıştığından, insandan kaynaklanan hataların da azalmasını sağlamaktadır.

RFID sisteminin kullanımı, perakende sektöründe envanter yönetimine yardımcı olur ve müşteri alışveriş deneyimini geliştirir (Hardgrave vd. 2009). Bu sektörde stokta olmayanları izlemek ve kontrol etmek için kullanılabilir (Roussos 2006; Chen ve Pfleuger 2008). Çoğunlukla çok fazla ürünün teşhir edildiği, personel sayısının az olduğu yerlerde gereklidir. Ürünlerin stok seviyesi düzgün bir şekilde belirlenir ve ürünler talebe göre gruplandırılabilir. Benzer şekilde, mağazadan malları alırken teslimatların doğruluğu daha az emekle hızlı bir şekilde sağlanabilir. Bu, envanter doğruluğunu ve stokların otomatik olarak yenilenmesini iyileştirebilir.

Gerçek zamanlı doğru envanter güncellemeleri ile perakendeciler, ürünlerin stoklarının azaldığını ve yenilenmesi gerektiğini hızla belirleyebilir. Markalar, hızlı satılan ürünlerin stokları tükenmeden önce yeniden stoklanmasını sağlamak için yeniden sipariş süreçlerini otomatikleştirebilir, böylece kaybedilen satış fırsatlarını önleyebilir ve raflarda bulunabilirliği artırabilir. Perakendeciler ayrıca bu verileri mağaza raflarını hızla yenilemek için kullanabilir ve müşterilere her zaman aradıkları ürünlerin sağlanmasını garanti edebilir.

Çoğunlukla perakendeciler, malları stoklamadan veya depolamadan önce açık kutu denetimi ile sevkiyatın doğruluğunu ve bütünlüğünü doğrular. Ancak RFID etiketleri ile, artık kolilerin içinde paketlenmiş tüm ürünleri açmadan okumak mümkün olup, zamandan ve işgücünden tasarruf sağlanmaktadır. Bu ise, maliyetlerin azaltılması ile sonuçlanır. Ayrıca RFID

etiketleri ile, fatura anlaşmazlıkları, farklı kalitedeki ürünlerin karıştırılması gibi sorunların da ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.



Şekil 25: Mağazalarda RFID kullanımı (URL 29)

Konfeksiyon ürünlerinde, hem üreticiler hem de müşteriler üzerinde olumsuz bir etkisi olan konu, marka sahteciliğine olan eğilimlidir. RFID teknolojisi, her ürün için benzersiz bir tanımlama kodu sağlayarak pazara sahte ürün girişini önlemek ve ürün güvenliğini artırmak ve perakendede müşterinin alışveriş davranışı hakkında bilgi vermek için kullanılabilir (URL 30). Tüm bu sorunlar çözüldüğünde, tekstil ve moda tedarik zinciri maliyet ve performans açısından daha akıcı ve verimli hale getirilebilir.

RFID sistemi, RFID etiketlerine göre, seçilen kıyafetlerde özelleştirilmiş reklam sağlayan, daha hızlı veya daha yavaş satılan giyim türünü gösterebilir. RFID kullanımı ayrıca işgücünün azaltılmasına da yardımcı olur. Örneğin, American Apparel, sekiz mağazasında RFID sistemini uygulamış, haftada yaklaşık 60-80 saat işgücünden tasarruf sağlamış ve farkında olmadan stoktaki ürünleri azaltmıştır. Benzer şekilde, Japon giyim üreticisi Sankei, çevrimiçi satışlara ek olarak üretim sürecinde kıyafetleri izlemek için üretimde bir RFID sistemi kullanmaktadır (Wu vd. 2009).

Avrupa'daki Kaufhof mağaza zinciri tarafından RFID'nin süreçleri ve tedarik zinciri üzerindeki etkisi üzerine başarılı bir vaka çalışması yürütmüştür (Loebbecke ve Huyskens 2008). RFID'nin depolamada malları takip etmek için kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Çünkü alınan mallar depoda ayrılmamış, üreticiden alındıkları gibi depolanmıştır. Dağıtım merkezinin alım alanında, malları içeri girerken takip etmek için RFID okuyucular uygulanabilir. Alınan mallar kaydedilir ve RFID etiketlerinde/vericilerinde

saklanan veriler, paletlerde veya askıdaki tek tek moda öğelerinde alınan her bir mal için okunabilir. Bu sayede askıları, öğeleri ve paletleri sayma görevi ortadan kaldırılabilir.

Akıllı elbise askıları ve akıllı raflar, Kaufhof'un müşterilerin alışveriş ve satın alma davranışları hakkında ek bilgi edinmesine de olanak sağlamıştır ve bu bilgiler daha sonra müşterilerine sunduğu ürün ve hizmet teklifleri daha da iyileştirmek için kullanılmıştır. Akıllı elbise askıları bir RFID anteni ile donatılmış, bir müşteri veya çalışan, RFID ile donatılmış bir giysiyi raftan her çıkardığında ya da geri bıraktığında hareket, otomatik olarak ürün yönetim sistemine iletilmiştir. Bir müşteri "5 saniye sonra giysiyi tekrar elbise askısına koyduysa, muhtemelen kumaşı beğenmemiştir" ya da "5 dakika geçtiyse, müşterinin ürünü denemiş olması muhtemeldir" gibi sonuçlar elde edilmiştir.

Levi Strauss & Co., verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için tedarik zincirinde RFID teknolojisini uygulayan önde gelen bir denim üreticisidir. Şirket, ürünlerinin üretim aşamasından satış noktasına kadar hareketini izlemek için RFID etiketleri kullanır. Bu, şirketin ürünlerinin yerini gerçek zamanlı olarak belirlemesini ve tedarik zincirini buna göre optimize etmesini sağlar.

Levi Strauss & Co. ayrıca müşterilerine kişiselleştirilmiş hizmetler sunmak için de RFID teknolojisini kullanmaktadır. Her ürün, perakendecinin müşterinin geçmiş satın alımlarına veya tercihlerine göre kişiselleştirilmiş öneriler sunmasını sağlayan bir RFID etiketiyle etiketlenmiştir. Bu ise, müşteri deneyimini iyileştirmeye ve müşteri sadakatini artırmaya yardımcı olmaktadır (URL 30).

Yoğun alışveriş dönemleri, perakendecilere satışları artırma ve müşteri sadakatini geliştirme konusunda sayısız fırsat sunmaktadır. Perakendecilerin ödeme süreçlerini kolaylaştırarak, kolay, hızlı ve sorunsuz hale getirmeleri kritik öneme sahiptir. Çalışmalar, ödeme için uzun bekleme sürelerinin, mağazada alışveriş yaparken ziyaretçiler için önemli bir sorun noktası olduğunu göstermiştir. Ödemeyi hızlı ve sorunsuz bir şekilde tamamlama olanağı olmadan, müşteriler kısa sürede diğer perakendecilere yönelecektir. Perakendecilerin, satış fırsatlarını kaçırmaması ve müşteri memnuniyetini artırmaları için RFID destekli self-checkout sistemleri (kendi kendine ödeme) geliştirilmiştir. Bu self-servis ödeme noktaları, perakendecilere ödeme sürelerini en aza indirme ve müşteri deneyimini iyileştirme olanağı

sağlamaktadır. Sonuç olarak, perakenciler yoğun alışveriş dönemlerinde daha fazla satış yapabilir ve satış noktasındaki bekleme süresini azaltabilirler.

Spor ürün perakendecisi Decathlon, Singapur'daki en yeni mağazasında, müşterileri için RFID etiketleri ve mobil ödemelerin bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Mağaza içindeki tüm ürünler RFID etiketlerine sahip olup, müşteriler alışveriş sepetlerine koydukları ürünleri almak için self-checkout noktasını (Şekil 26) kullandığında, bu ürünler sistem tarafından otomatik olarak tanınmakta ve mobil ödeme alınmaktadır.



Şekil 26: Kendi Kendine Ödeme (Self-checkout) (URL 31)

8.3.1. Deneme odasında RFID kullanımı

Almanya'da bir mağaza zinciri olan Galeria Kaufhof (Metro perakende grubunun bir parçası), Essen mağazasında, deneme odalarında RFID teknolojisi kullanılmaktadır. Mağazadan kıyafet satın alan erkeklere, bir takım elbise denemek için deneme odasına gittiklerinde otomatik öneriler sunulmakta ve bir "akıllı ayna", onlara hangi tür takım elbise veya aksesuarın birlikte kullanılabileceği konusunda fikir vermektedir. Deneme odalarındaki akıllı aynadaki bir RFID okuyucu, giysiye takılı RFID etiketinden odaya hangi giysinin getirildiğini belirlemekte, ardından uygun aksesuarlar uygun bir arayüzde görüntülenmektedir. Bu sistem, stokta hangi ürünün bulunduğunu okuyabilen "akıllı raflar" ile birlikte kullanılarak, müşterilere mevcut modeller ve bedenler gösterilebilmektedir (Roberti, 2006; Nayak vd. 2015).

RFID destekli etkileşimli deneme odalarında, alışveriş yapanlar deneme odasından çıkmadan bir ürünün farklı beden veya renklerinin mevcut olup

olmadığını kontrol edebilirler. İstenilen ürün mevcutsa, müşteriler mağaza personelinden ürünü doğrudan kendilerine getirmesini isteyebilir, böylece müşterinin deneme odasından çıkmasına gerek kalmaz. Müşteriler ayrıca denedikleri ürünler hakkında kumaş detayları, yıkama talimatları ve müşteri yorumları gibi ayrıntılı bilgilere erişebilirler. Anında erişim, tüketicilerin bir satış görevlisinin gelip sorularını yanıtlamasını beklemeden hızlı bir şekilde bilinçli kararlar almalarını sağlar. Ancak, müşteriler bir satış görevlisiyle etkileşim kurmak isterlerse, bir düğmeyle yardım isteyebilirler. Bu, müşteri deneyimini oldukça kullanışlı ve kişiselleştirilmiş hale getirir.

Gardeur firması da mağazasındaki her deneme odasının içindeki bir ekran ile ürün ve ürünün diğer bedenleri ve renkleri hakkında ek bilgileri görüntülemektedir. Algılanan ürün setine bağlı olarak, sistem alternatif veya tamamlayıcı ürünlerle ilgili öneriler sunmaktadır (Şekil 27).



a) Akıllı monitör



b) Akıllı raflar

Şekil 27: Akıllı Monitör ve Akıllı Raflar

Firma satış katında sabit bir ekrana sahip büyük bir akıllı ayna ile ürün bilgisi sunmaktadır. Bir müşteri etiketli bir ürünle Sihirli Ayna'ya yaklaştığında malzemeler, bakım talimatları, mevcut bedenler ve renkler hakkında bilgi alabilmektedir (Şekil 28).



Şekil 28: Akıllı Ayna

Giysilerin deneme odasından çalınması, mağazalarda yaşanabilen bir sorun olup, deneme odasının giriş noktasına küçük bir okuyucu yerleştirilmesi ile bu sorun önlenebilmektedir. Giysinin etiket bilgileri, müşteri giysiyi deneme odasına götürdüğünde kaydedilmekte ve deneme odasına giren ama çıkmayan ürünler, potansiyel kayıp ürünler olarak bildirilmektedir. Böylece RFID, kayıp malları tespit etmek ve hırsızlıkları engellemek için kullanılabilir (Rekik vd. 2008; Jaselskis vd. 1995).

Marks & Spencer, Levi Strauss & Co. gibi şirketler, stokların yenilenmesi için günlük olarak stok miktarını izlemek amacıyla RFID kurmaktadır. Ancak, RFID sistemlerinden alınan veriler ile gerçek envanter seviyeleri arasında önemli bir fark gözlemlenmiştir.

8.3.2. Mağazalarda Müşteri İlişkileri Yönetimi

Özellikle konfeksiyon sanayinde müşterilerin ihtiyaçlarını ve zevklerini anlamak ve onlara uygun doğru ürünü sunmak oldukça önemlidir. Moon ve Ngai (2008). Moda perakendeciliğinde RFID kullanımına ilişkin bir çalışma yürütmüş ve farklı müşterilerin alışveriş deneyimlerinde farklı zamanlarda farklı davrandıklarını ve alışveriş deneyimleri konusunda onları derinlemesine tanımanın, satış personelinin onlara kişiselleştirilmiş hizmetler sunabilmesi için çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında görüşülen kişi, müşteri mağazaya girdiğinde ve RFID teknolojisine bağlı birkaç ürün seçtiğinde, o günkü seçim kalıplarının sinyalinin vereceğini ve böylece satış personeli tarafından kişiye özel tavsiyeler sağlanabileceğini söylemiştir. Markalar arasındaki rekabet yoğun olduğundan, özellikle üst düzey ürünler için satın alma geçmişlerini oluşturarak seçimlerini bilerek müşterileri memnun etmek önemlidir. Profillerini, yaş gruplarını, seçim eğilimlerini, tercih ettikleri stilleri

vb. oluşturarak bir sonraki satın alımlarında profesyonel öneriler sunulabilir ve böylece müşteriler kendileri ile ilgilenildiğini hissedebilirler.

8.3.3. Satış Sonrası Hizmetler

RFID etiketleri, satın alınan ürünün, satış sonrasında ortaya çıkabilecek ürünlerle ilgili şikayetler, ürün iadesi gibi konularda da hız ve kolaylık sağlayacaktır. Ürünler üzerine entegre edilen RFID etiketleri, ürünle ilgili bir şikayette satış fişi olarak da kullanılabilir. Böylece, kağıt satış fişi basma ve saklama işlemi ortadan kalkacaktır (Dirgar ve Kansoy, 2009).

RFID etiketleri, ürün iadelerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini, müşteriye hızlı geri bildirim yapılarak bekleme zamanlarının kısaltılmasını ve müşteri memnuniyetinin de artmasını sağlayacaktır.

9. KONFEKSİYONDA GÜNCEL RFID UYGULAMALARI

Akıllı Gardrop 1: Bir RFID okuyucu, gardırop içindeki giysi parçalarının varlığını veya yokluğunu tespit etmek için kullanılır. Bu nedenle, kullanıcının sahip olduğu her bir giysi parçası bir RFID etiketiyle etiketlenmelidir. Bu etiketlerin her birinin benzersiz bir kimliği vardır, böylece uygulama bir öğeyi diğer öğelerden ayırt edebilir. Ek olarak, RFID okuyucu, gardırop içindeki giysi parçalarına iliştilmiş tüm etiketleri periyodik olarak okumak üzere tasarlanmıştır. Daha sonra, akıllı gardırop uygulamasına hangi öğelerin mevcut olduğu, yani gardırop içinde hangi öğelerin mevcut olduğu konusunda sinyaller gönderilebilir.

Bu uygulama ayrıca bir veri tabanı kullanır. Veri tabanı birkaç tablodan oluşur; Gardırobun envanteri hakkında bilgi depolayan bir tablo, başka bir tablo ise kullanıcının giyinme aktiviteleriyle ilgili verileri kaydeder.

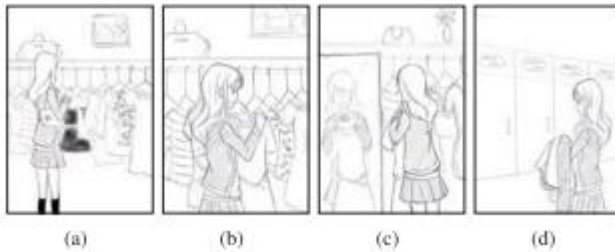
Kullanıcının gardırobunda ne olduğuna ve bu giyim eşyalarının kullanımına ilişkin bilgilere dayanarak, Akıllı Gardırop uygulaması daha sonra kullanıcının giyinme tercihlerini yansıtan bir kullanıcı moda profili oluşturacaktır.

Akıllı gardırop, gardırop envanteri ve gardırop faaliyetleri nedeniyle oluşan olaylarla ilgili bilgileri bir veri tabanında tutar. Gardırop envanteri için sistem, giyim türü, renk, marka, malzeme, desen ve kategori hakkındaki bilgileri tutar. Kategori örnekleri resmi, gece ve gündüktür. Resmi, iş amaçlı kabul edilen kıyafetleri ifade eder, örneğin takım elbiseler (Indrawan vd. 2007)

Akıllı Gardrop 2: Modern teknolojik gelişmeler çoğunlukla üç alana odaklanmıştır: iletişim, iş yeri ve eğlence. Bir kıyafet seçmek herkes için günlük bir mücadeledir. Sorun kıyafet eksikliği değil; daha ziyade, sık kullandıklarınız ile uzun süredir depoda duranlar arasında ayırım yapamamaktır. Akıllı bir gardırop, giysilerinizi takip etmenin yanı sıra takviminizin etkinliklerine göre kıyafet önerileri de sağlayabilir. Hangi giysileri satacağınıza veya bağışlayacağınıza karar vermenize yardımcı olmak için sistem, giyme sıklığınıza göre istatistiksel veriler oluşturabilir. Bu çalışmada, giysi yönetimi, tanımlama ve öneri için akıllı bir gardırop sistemi ve görüntü işleme tabanlı sanal bir deneme sistemi önerilmektedir. Önerilen sistemin ne kadar iyi çalıştığını test etmek için, Sanal Gardırop (VW) olarak bilinen geleneksel modelle çapraz doğrulaması yapılır. Bu sisteme Akıllı Nesnelerin İnterneti Sanal Gardırop (SIO-TVW) adı verilir. Sistem, dolaptaki giysileri tanımak ve

kategorize etmek için makine öğrenimi algoritmalarından ve sinir ağı tabanlı yaklaşımlardan yararlanır. Kullanıcıya çeşitli etkinlikler ve iklimler için uygun kıyafet önerileri sağlamak amacıyla akıllı sistem günlük rutinlerini ve giyim tercihlerini de hatırlar. Ayrıca sistem görüntü işleme ve sinir ağı tabanlı yaklaşımlar kullanarak sanal uyumlu elbise modelleri üretir ve kullanıcıların ne giyeceklerine karar vermeden önce çeşitli giysileri sanal olarak denemelerine ve nasıl göründüklerini görmelerine olanak tanır. Giysileri bozulmamış durumda tutmak için önerilen sistem, aydınlatma, nem ve sıcaklık gibi gardırobun durumunu izlemek için Nesnelere İnterneti (IoT) sensörlerini ve uygulama programlama arayüzlerini kullanır. Sistemin çalışması, giysileri doğru bir şekilde tespit edebildiğini, kullanıcılara giyim önerileri sunabildiğini ve sanal deneme elbise modellerini simüle edebildiğini ortaya koyuyor; bu da onu çağdaş giyim yönetimi için çekici bir seçenek haline getirir (Arunsundar vd. 2024).

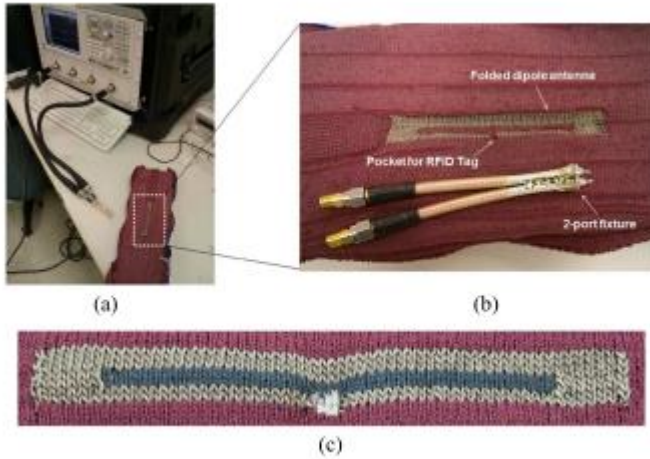
Alışveriş davranışı verileri: Alışveriş davranışı verileri, pazarlama ve pazarlama kampanyalarının etkinliğini anlamak için büyük önem taşımaktadır. Çevrimiçi giyim mağazaları, tıklama akışlarını ve müşteri alışveriş sepetlerini analiz ederek müşteri alışveriş davranışını yakalama yeteneğine sahiptir. Ancak fiziksel giyim mağazaları olan perakendeciler, alışveriş davranışlarını kapsamlı bir şekilde belirlemek için etkili yöntemlerden yoksundur. Zhou ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2017), pasif RFID etiketlerinin geri saçılım sinyallerinin, müşterilerin mağazalarda nasıl gezindiğini, hangi giysilere dikkat ettiklerini ve hangi giysileri eşleştirdiklerini tespit etmek ve kaydetmek için kullanılabileceğini göstermektedir (Şekil 29). Sezgi, öğelere iliştirilen etiketlerin faz okumalarının, müşteriler istenen öğelere baktığında, seçtiğinde veya çevirdiğinde bir zaman serisinde belirgin ancak istikrarlı desenler göstereceğidir (Zhou vd. 2017).



Şekil 29: (a): İlgili Duyulan Öğenin Önünde Gezinme ve Durma (b), (c): Öğeyi Daha Yakından İnceleme; (d): Deneme Odasında Öğeleri Eşleştirme ve Deneme.

Biyomedikal uygulamalar: İletken iplikler ve üretim teknolojilerindeki son gelişmeler, biyomedikal uygulamalar için sensörlerle donatılmış dikişsiz giysiler tasarlamak ve örmek için heyecan verici fırsatlar sunmaktadır. Patron ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2016), kasılma, solunum veya uzuv hareketleri gibi biyomedikal izleme için kullanılabilen giyilebilir bir gerginlik sensörünün tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmektedir. Rahat ve pilsiz giyilebilir gerginlik sensörleri gerçekleştirmek için örgü tabanlı üretim tekniklerindeki gelişmelerle birlikte RFID teknolojisinden yararlanılmıştır. Bu sensörler kasılmaları, solunum düzenlerini ve uzuv hareketlerini izlemek için kullanılmıştır. Giyilebilir kablosuz gerginlik sensörü,

- Giyilmesi rahat,
- Esneklik,
- Anten ve mikroçip arasında iyi empedans uyumu
- Farklı fiziksel deformasyon seviyeleri altında iletişimi sürdürmek için yeterli radyasyon özelliklerine sahip olmalıdır.



Şekil 30: S-parametre Ölçümlerinin Deney Düzenegi. (a) Dengeli Empedans Ölçümleri için İki Portlu Fikstürün Ayrıntısına Sahip Ağ Analizörü. (b) RFID Etiket Muhafazası İçin Cep Ayrıntısına Sahip Örmeye Dipol Anten Prototipi. (c) Örmeye Deseninin Yakın Çekim Resmi.

Sistem (Şekil 30), fiziksel germe altında endüktif olarak eşlenmiş bir RFID etiketinden gelen geri saçım gücünün (RSSI) yoğunluk değişimlerinden yararlanır. Patron ve arkadaşlarının çalışmasında giyilebilir sensör tıbbi

programlanabilir bir manken kullanılarak bebek solunum izlemesi için uygulanmıştır. RSSI verilerini sonradan işlemek için bir makine öğrenme tekniği geliştirilmiş ve sonuçlar, solunum ve solunum dışı olayların başarılı bir şekilde sınıflandırılabileceğini göstermiştir.



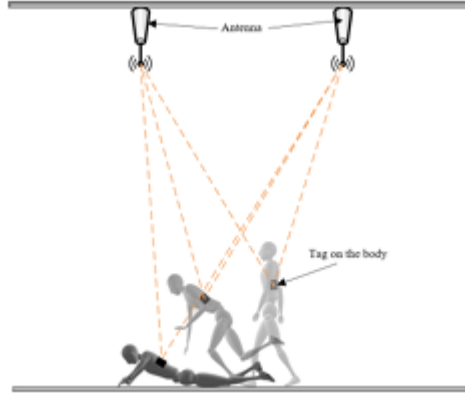
Şekil 31: Bebek Solunum İzleme için Deneysel Kurulum.

SimBaby mankeni (Şekil 31), bebeğin göğsünü belirli solunum hızlarıyla genişleten programlanabilir bir aktüatör tarafından kontrol edilir. Bebeğin göğsünün etrafına takılan giyilebilir RFID sensörü, önündeki RFID ünitesi tarafından sorgulanır (Patron vd. 2016).

Nakış ile işlenmiş giyilebilir etiketler: Koski ve arkadaşları (2012), giyilebilir ultra yüksek frekanslı (UHF) radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketinin vücut üstü okuma aralığı performansı değerlendirilmiştir. Etiket, iletken iplik ve bir nakış makinesi kullanılarak üretilmiştir. Böyle bir nakışlı etiketin insan giysisine takıldığı gerçek ortamda, pratik vücut üstü okuma aralığı ölçülmüştür (Koski vd. 2012).

Yaşlı bireyler için uzaktan takip sistemi: Bağımsız yaşayan yaşlı bireylerin sayısı arttığı ve onlar için en riskli durumun yalnızken düşmeleri olduğu için uzaktan takip edilmeleri önemli bir uyarı sistemi olmaktadır. Bu nedenle otomatik düşme algılama sistemleri ile ilgili araştırmalar çok önemlidir. Huang ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında RFID pasif etiketleri ile Doppler kaymasını kullanan yeni bir düşme tespit yöntemi önerilmektedir (Şekil 32 ve 33). Buna ek olarak bir hız-konum yineleme algoritması da uygulanır. Böylece etiketin zaman içindeki konumu ve hızı birleşimi karşılaştırılarak daha yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir.

Önerilen yöntem ile düşmelerin ani mi yoksa yumuşak mı olduğunu da tespit edilebilmektedir. Vaka sonuçlarına göre ani düşmeleri %91,7 doğruluk oranında tespit edilirken yumuşak düşmeler de dahil edildiğinde bu oran %86,8 kesinlikte olabilmektedir (Huang vd. 2024).



Şekil 32: Düşmeyi Tespit Eden Etiket'in Şematik Diyagramı (Huang vd 2024)



Şekil 33: Sistemde Kullanılan RFID Cihazının Parçaları (Huang vd. 2024)

KOAH hastaları için tasarlanmış etiket: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), bireylerin yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. KOAH hastalarının rehabilitasyon bakımında kas eğitimi çok önemli bir bileşen olarak ortaya çıkmaktadır. An ve arkadaşları (2024) tarafından geliştirilen bir solunum yolu Pasif radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisini kullanan durum algılama sisteminde KOAH hasta aktivitelerinin

invazif olmayan ve uzaktan izlenmesinde %95,6 oranında tanıma doğruluğu elde edilmiştir. Şekil 34'de gösterildiği gibi tasarlanan RFID sistemi temel olarak dört bölümden oluşmaktadır: RFID etiketleri, okuyucular, harici antenler ve ana bilgisayarlar. Bunlar arasında RFID etiketleri sorgulama sinyallerinin alınmasından sorumludur (An ve Raga, 2024).



Şekil 34: RFID Sistemi (An ve Raga, 2024)

10. RFID'İN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Şirketlerin ve endüstriyel ekosistemlerin küresel olarak sürdürülebilirliği sağlamadaki rolü her geçen gün artmakta ve şirketlerin politika ve mevzuat oluşturmadaki katılımı değişim için temel bir ön koşul haline gelmektedir. İstihdam koşullarındaki iyileştirmeler, yerel satın alımlar ve güvenli ve uygun fiyatlı ürünlerin teslimatı, şirketlerin sürdürülebilirlikte kritik bir rol oynadığının önemli örnekleridir. Diğer yönler arasında altyapı yatırımları, emisyonların ve enerji kullanımının azaltılması, kıt kaynaklara bağımlılığın azaltılması ve işgücü eğitimi ve kapasite geliştirme yer almaktadır. Giderek artan bir şekilde, kurumsal ve endüstriyel rekabet gücü sürdürülebilirlik stratejilerinin olgunluğu ve kapsamlılığıyla ilişkilendirilmektedir (Abugabah, 2020). Günümüzde tüketici odaklı bir ekonomi mevcut olup, tüketicilerin artan baskısı ve eko-farkındalığı, giyim endüstrisi gibi endüstrilerde rekabet gücünü sürdürülebilirliğe bağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, özellikle Z kuşağı tüketicileri için çevre dostu ürünlere yönelik tüketici beklentilerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Yao vd, 2010).

10.1. Geri Dönüşümünde RFID Etiketlerinin Etkisi

RFID teknolojisinin kullanılması, elyaf geri dönüşümünün verimliliğini, doğruluğunu ve güvenliğini önemli ölçüde artırmıştır. Geri dönüşüm tesislerindeki RFID teknolojisi, bir giysinin nereden geldiğini, hangi malzemeden oluştuğunu ve tedarik zinciri boyunca kat ettiği yolculuğu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Leal vd., 2019).

Giysilerdeki plastik ve metal gibi belirli bileşenler, elyaflarının geri dönüştürülmesini zorlaştırır. Ayrıca, boyaların ayrılmasındaki sorunlar ve giysinin orijinal elyaflarında kullanılan farklı polimerler nedeniyle geri dönüşüm her zaman mümkün olmayabilir. RFID'nin geri dönüşüm sürecine dahil edilmesiyle, her bir giyside hangi liflerin kullanıldığını belirlenmesi daha kolaylaşacak ve geri dönüşüm süreci etkili bir şekilde basitleştirecek, böylece geri dönüştürülemez olanı geri dönüştürmeye çalışarak gereksiz zaman ve kaynak israfı yapılmayacaktır. Ayrıca, pasif UHF (Ultra Yüksek Frekanslı) RFID etiketleri, mobil platformlar aracılığıyla giysinin rotasını izlemesine olanak tanımaktadır (Liu vd 2015; Liu vd 2013). Bu, geri dönüşüm tesislerinin kullanımını kolay bir platform aracılığıyla ilgili ürünlerin yerini kolayca ölçmesine yardımcı olarak giysilerin geri dönüşümünü daha erişilebilir hale

getirebilecektir. Platform her bir giysisinin giysiden elyafa ve elyaftan giysiye geçtiği yolu izleyerek tüketicilere geri dönüştürülmüş giysilerinin nerede olduğunu gösterebilecektir.

Geri dönüşüm süreçlerinin yüksek fiyatları birçok potansiyel yatırımcının tekstil geri dönüşümüne yatırım yapmasını engelleyen önemli bir unsurdur. Elyafın geri dönüşüm süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi, geri dönüştürülen giysi sayısını etkili bir şekilde artırabilir. Elyaf geri dönüşümü çevre açısından da çok önemlidir.

Tekstil ve hazır giyim ürünlerinin neredeyse tamamı geri dönüştürülebilir; tüketicilerin kullandığı giysilerin yalnızca %15'i geri dönüştürülmektedir (URL 32). RFID etiketleri, bakım bilgileri (yıkama/kurutma talimatları), bir giysinin nasıl geri dönüştürülebileceği veya en yakın ikinci el veya yardım kuruluşu mağazalarının nerede bulunabileceği gibi bilgileri taşıyabilir. Tüketicilere bu tür doğru ve ayrıntılı bilgiler vermek, giysinin ömrünü haftalarca hatta aylarca uzatabilir. Daha kısa bir kullanım ömrü için tasarlanan hızlı moda giysileri, en az bir yıl kullanılan giysilere göre yılda %400'den fazla karbon emisyonu üretmektedir (Conca, 2015). "Giysilerimize Değer Vermek" (URL 32) başlıklı bir raporda, giysilerin ortalama ömrünün sadece üç ay uzatılması sonucu, karbon ve su ayak izlerinin düşmesinin yanı sıra atık üretiminin de %5 ila %10 oranında azaldığı belirtilmektedir.

10.2. RFID ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Moda ve tekstil üretiminin en çok göz ardı edilen yönlerinden biri çevresel sürdürülebilirliktir. Moda endüstrisindeki çevresel sürdürülebilirlik, üretim ve tedarik zinciri faaliyetlerinin bir sonucu olarak havaya, suya ve toprağa zarar vermeyi durdurmak için alınan önlemleri ifade eder (Nayak vd. 2020).

Çevresel etkiyi ölçmede RFID teknolojisinin kullanımı, otomatik veri toplama yazılımıyla kısa bir zaman diliminde büyük miktarda veri toplanmasına yardımcı olacaktır. RFID sistemleri, emisyon seviyeleri, üretilen atık ve çevresel etkiler hakkında gerçek zamanlı ve doğru veriler toplamayı sağlar (Caniato vd 2012). Bu veriler, üretilen atık ve emisyonların kesin seviyelerini içerdiğinden, sorunun kaynağı olan süreci belirlemek ve etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygun eylemleri gerçekleştirmek için

kullanılabilir. Bu çevresel etki kriterleri karşılandığında, RFID teknolojisi 3R (azalt, geri dönüştür ve yeniden kullan) ilkesine uygun olarak atık üretimini ve azaltılmasını izlemek için kullanılabilir (Nayak vd. 2022).

10.3. RFID ve Sosyal Sürdürülebilirlik

Bir ürün veya hizmetin sürdürülebilirliği, ürünün tüm tedarik zinciri boyunca şeffaflığına bağlıdır. İnsanlar doğru bilgiye anında sahip olduklarında, daha sürdürülebilirlik odaklı kararlar alabilirler. Giyim değer zincirinde, elyaf üretimindeki sürecin izlenebilirliği, balya takibi, iplik imalatı, kimyasal işleme ve emek kullanımı, bunun şeffaflığını belirleyen ve sonuç olarak operasyonun sosyal sürdürülebilirliğini etkileyen faktörlerdir. Sosyal sürdürülebilirlik, sürdürülebilirliğin en az ölçülebilir yönü olduğundan, literatürü yıllar içinde gelişmiş olsa da, hala en az keşfedilen alan olmaya devam etmektedir.

Çevresel boyut, izlenmesi ve takip edilmesi kolay verilerle ölçülebilir bir disiplin olduğundan, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alanında sosyal boyuttan daha belirgin bir şekilde araştırılmaktadır. İş dünyasında, sosyal sürdürülebilirlik performans sorunları arasında iyi üretim koşulları, çocuk işçiliği, ayrımcılık, ücretler, fazla mesai azaltma, yangın önleme, çalışma koşulları, sağlık ve güvenlik gibi konular yer almaktadır. Kötü çalışma koşulları çoğunlukla fabrika yöneticilerinin rekabetçi kalmaya çalışması ve perakendecilerin daha ucuz fiyatlar istemeye devam etmesi nedeniyle ortaya çıkar (URL 33). Tedarik zincirinde zorla çalıştırılma veya çocuk işçiliğinin olup olmadığını tespit etmenin zor olmasının başlıca nedenlerinden biri, perakendecilerin çoğunlukla 1. kademe tedarikçilere ve üreticilere odaklanmasıdır; ancak işin çoğu 2. ve 3. kademe tedarikçiler tarafından yapılır. Bu durum örneğin düğmeleri takan veya ayakkabıların tabanını yapan kişilerin genellikle gözden kaçırıldığı yani görünmez olduğu anlamına gelir (Nakamba vd. 2017).

Liu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma, giyim markalarının %15'inin birinci kademe tedarikçilerini bilmediği ve markaların %10'undan azının ham madde tedarikçileri hakkında bilgiye sahip olduğunu göstermiştir (Liu vd. 2010). RFID, gerçek zamanlı bilgilerin paylaşılmasını ve malların izlenmesini ve takip edilmesini sağlayarak tedarik zincirinin tam görünürlüğüne sağlayabilir. Bir ürünün görünürlüğü, firmaların ve tüketicilerin satın alma konusunda daha çevresel ve sosyal olarak bilinçli kararlar almasını sağlar. Bir

ürünün izlenebilirliği, tedarik zincirindeki tüm halkaları, bir tüketicinin veya firmanın tek bir yerde görebilmesine yardımcı olur. Bu görünürlük, firmaların ve tüketicilerin, izlenebilirlik ağının içindeki farklı paydaşları bilen harici karar vericiler tarafından doğrulanabilen satın alma konusunda daha çevresel ve sosyal olarak bilinçli kararlar almasını sağlar (Swedberg, 2019).

RFID, bir ürünün konum geçmişini izleyebildiği için tedarik zincirlerini birbirine bağlamak için bir çözümdür; bu da küçük konfeksiyon işletmelerinin bir ürünün nereden geldiğini takip etmelerini ve sonuç olarak tedarik zincirlerini geliştirmelerini sağlar. RFID, Tedarik zincirlerini birbirine bağlayarak daha iyi küresel değer zincirlerinin kullanımı yoluyla birçok ülkenin altyapı gelişimine yardımcı olabilir.

10.4. RFID ile Sürdürülebilirlik ve Atıkların Azaltılması

Çevresel ve sosyal faydaların yanı sıra RFID teknolojisi ekonomik sürdürülebilirliği elde etmek için de kullanılabilir (Weybrecht, 2010). Modada ekonomik sürdürülebilirlik, işletmenin hedeflenen karlılığına ulaşmasını ve aynı anda kaynakları sürdürülebilir bir şekilde kullanmasını sağlar (yani, işletme çevresel endişeler yaratmaz veya aşırı kaynak kullanmaz). Ekonomik sürdürülebilirliği iyileştirmek için toplumla ilişkilerini göz önünde bulunduran firma sayısında istikrarlı bir artış eğilimi vardır. Yerel veya küresel olarak satılmak üzere bir ülkede moda ve tekstil üretimi, o ülkenin ekonomisi üzerinde doğrudan veya dolaylı bir etkiye sahiptir (Nayak vd,2022).

RFID teknolojisi ile atık arasında dolaylı negatif bir ilişki vardır. RFID, Hangi müşterinin hangi ürünü ne zaman satın aldığını izleyerek, her bir stok talebini tahmin etmeye yardımcı olur (Marr, 2019). Bu, bir mağazanın doğru stok miktarını izleyebilecek verilerin oluşturulmasına yardımcıdır. RFID, envanter doğruluğunu doğrudan artırır ve bu da bir perakendecinin taşıdığı güvenlik stokunu (mağazaların stoksuz kalmasını önlemek için stok) etkiler. Güvenlik stokunu azaltılması gereksiz atıkların perakende mağazalarından ve çöplüklerden uzak tutulması anlamına gelmektedir. Bu durum mağazalarda israfa yol açabilecek daha az gereksiz giyim eşyası anlamına gelmekle kalmaz, aynı zamanda stok üretimi ve nakliyesinden kaynaklanan daha az Sera Gazı emisyonu anlamına da gelir. Bu nedenle, RFID teknolojisi değer zincirinde giderek daha fazla kullanıldığında, atık üretimi azaltılabilir.

Atıkların azaltılması ile ilgili ikinci ana bulgu, RFID etiketlerinin tüketici öncesi atığı azaltarak giysilerin yaşam döngüsünü artırabileceğidir. Tüketici öncesi atıkta, giysi üretildikten sonra doğrudan yakmaya veya geri dönüşüme gider. Ancak, doğrudan tüketiciye giden giysiler, yakmaya veya geri dönüşüme gitmeden önce bir kullanım aşamasına sahiptir. RFID, tüketici öncesi atığı azaltarak ve tüketici atıklarını artırarak giysilerin yaşam döngüsünü artırır. İngiltere’de hazırlanan bir raporda (URL 32), giysinin yaşam döngüsünü birkaç ay artırmak, ürünün yakılmasından tasarruf edilen enerji nedeniyle çevre üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Denuwara vd. 2019).

Moda endüstrisi, dünyanın en büyük ikinci kirleticisi olup, küresel karbon emisyonlarının %10'undan sorumludur (Conca, 2015). Ayrıca, moda endüstrisindeki atık yönetiminde %5'lik bir iyileştirme, her yıl 7,5 milyar giysi ve çöp sahalarından uzaklaştırılmasına katkı sağlayacaktır. Bir tişört üretmek için 2700 litre su harcanmaktadır; sektördeki 7,5 milyar giysi tamamen tişört olsaydı, bu tişörtlerin üretimi için harcanan su miktarı 20.250 milyar litreye ulaşır (URL 34). Endüstrinin çevresel etkileri göz önüne alındığında, giyim endüstrisinin sürdürülebilirliğini artırmaya yönelik daha fazla araştırma yapılması gerektiği açıktır. Giyim endüstrisinin çevresel etkileri yüksek olsa da, sürdürülebilir süreçler ve teknolojiler kullanılarak bu durumun iyileştirilmesi mümkündür. RFID teknolojisinin, operasyonların ekonomik verimliliğini artırdığı da kanıtlanmıştır.

Birçok perakendeci ve üretici, enerji tüketimlerini azaltmaya, yenilenebilir enerjiye geçmeye ve sürdürülebilir doğal kaynaklardan elde edilen ham maddeleri kullanmaya vurgu yapmaktadır. Örneğin, H&M grubu kendi operasyonlarında yakında %100 yenilenebilir enerji kullanmaya kararlıdır, bu oran bugün %96'dır. Benzer şekilde, Zara'nın İspanya'daki teknoloji merkezi artık %100 yenilenebilir enerji kullanmak için sertifikalandırılmıştır ve şirket dünya çapındaki tüm hizmet ve ofislerinde %100 yenilenebilir enerji kullanacaktır. RFID sistemi, gerçek zamanlı veri sağlayarak farklı süreçlerde yenilenebilir enerji ve doğal malzeme kullanımının iyileştirilmesini kolaylaştırabilir (Nayak vd. 2022).

11. SONUÇ

RFID teknolojisi, konfeksiyon sektöründe maliyetleri düşürmek, verimliliği artırmak ve süreçlerin daha şeffaf bir şekilde yürütülmesini sağlamak için büyük bir potansiyel sunar.

Envanter yönetimi ve stok takibi, RFID etiketleri sayesinde daha hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmektedir. Geleneksel barkod sistemlerine kıyasla, RFID etiketleri ürünü her açıdan takip edebilme imkânı sunarak, stok seviyelerinin anlık olarak güncellenmesini sağlar. Bu durum, ürün kayıplarını en aza indirirken, envanter yönetiminin etkinliğini artırır ve stok hatalarını minimize eder.

Tedarik zincirindeki süreçlerin şeffaflığı ve izlenebilirliği de RFID teknolojisinin sağladığı bir diğer önemli avantajdır. Ürünler, üretim aşamasından dağıtım ve perakende satış noktasına kadar her aşamada takip edilebilir. Bu, lojistik süreçlerin hızlanmasına, dağıtım hatalarının azalmasına ve teslimat sürelerinin iyileşmesine olanak tanır. RFID ile tedarik zinciri yönetimi, ürünlerin doğru zamanda doğru yerde olmasını sağlayarak hem maliyetleri düşürür hem de müşteri memnuniyetini artırır.

RFID teknolojisi müşteri deneyimini geliştirme açısından da büyük fırsatlar sunar. Perakende mağazalarında, RFID etiketleri, ürünlerin hızlı bir şekilde bulunmasını ve deneme odalarında daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, RFID ile entegre edilen akıllı ödeme sistemleri, alışverişin daha hızlı ve güvenli bir şekilde tamamlanmasını mümkün kılar. Bu sayede, müşteri memnuniyetini ve sadakatini artırarak, markaların rekabet gücünü yükseltir. RFID, sadece operasyonel verimlilik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda modern perakende deneyimini dönüştüren bir araçtır.

RFID teknolojisinin sağladığı pek çok avantajın yanında RFID etiketlerinin kullanımının veri güvenliği ve gizliliği konusunda endişelere yol açtığı bilinmektedir. RFID etiketlerinin giysilerde kullanılmasının, bireylerin sürekli izlenmesine izin vererek kişisel mahremiyeti ihlal ettiği savunulmaktadır. Ancak, uygun protokoller ve düzenlemelerle bu sorunlar çözülebilir.

KAYNAKÇA

- Abugabah, A., Nizamuddin, N. ve Abuqabbah, A. (2020). A review of challenges and barriers implementing RFID technology in the Healthcare sector. *Procedia Computer Science*, 170, 1003-1010.
- Age, C. S. (2005). Research confirms Wal-Mart's RFID benefit. *Chain Store Age*, 81, 80.
- Al-Kassab, J., Lehtonen, M. ve Michahelles, F. (2008) Anti-counterfeiting prototype report, Deliverable of the EU-BRIDGE project, Project no. 033546, pp 1–63.
- An, X. ve Raga Jr, R.C. (2024). Research on inspiratory muscle training action recognition based on passive RFID tags and hybrid deep learning, *Journal of Computational Methods in Science and Engineering*, 0(0) 1–14.
- Arkan, I. ve Van Landeghem, H. (2013). Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29 (6), 502-512.
- Arunsondar, B., Anusha, P., Mekala Devi, K., Manimaraboopathy, M. ve Ratheesh, R. (2024). Cutting-Edge Technology: Exploring the Experimental Possibilities of Smart Virtual Wardrobe Design Using Internet of Things, *International Conference on Advances in Computing, Communication and Applied Informatics (ACCAI)*.
- Baballe, M. A. (2021). A Study on the components used in RFID System and its challenges, *Global Journal of Research in Engineering and Computer Sciences*, 1(1), 21-27.
- Bazaati, S. ve Oral, E. (2013). İnşaat sektöründe radyo frekanslı tanıma (RFID) teknolojisinin malzeme yönetimi üzerindeki etkileri, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (1).
- Bunduchi, R., Weisshaar, C. ve Smart, A. U. (2011). Mapping the benefits and costs associated with process innovation: The case of RFID adoption. *Technovation*, 31, 505–521

- Burguburu A, Tanné C, Bosc K, Laplaud J, Roth M, Czyrnek-Delêtre M. (2022). Comparative life cycle assessment of reusable and disposable scrub suits used in hospital operating rooms. *Cleaner Environmental Systems*, 4, 100068.
- Caniato, F., Caridi, M., Crippa, L., et al., 2012. Environmental sustainability in fashion supply chains: An exploratory case based research, *International Journal of Production Economics*, 135 (2), 659–670.
- Carre, A. (2008). Life cycle assessment comparing laundered surgical gowns with polypropylene-based disposable gowns. RMIT University, Melbourne, Australia.
- Chae, S. Kano, N. A. (2005, September). Location System with RFID Technology in Building Construction Site. Proceedings of the 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2005), Ferrara, Italy.
- Chen, J. V. ve Pfleuger Jr, P. (2008). RFID in retail: A framework for examining consumers' ethical perceptions. *International Journal of Mobile Communications*, 6, 53–66.
- Chen, J. C., Cheng, C. H. ve Huang, P. B. (2013). Supply chain management with lean production and RFID application: A case study. *Expert Systems With Applications*, 40(9), 3389-3397.
- Conca, J. Making Climate Change Fashionable—The Garment Industry Takes on Global Warming. Available online: <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/12/03/making-climate-change-fashionable-the-garment-industry-takes-on-global-warming/#44c047d479e4> (accessed on 29 October 2019).
- Çıbuk, M. ve Maraşlı, F. (2015). RFID teknolojisi ve kullanım alanları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2).
- Çırakoğlu, A. R. (2013). RFID yatırımlarının lojistik açısından yeri ve önemi (Master's thesis, Maltepe University (Turkey)).
- Dawood M.H. (2015). Food packaging technology uses RFID to increase safety, <https://www.linkedin.com/pulse/food-packaging-technology->

uses-rfid-increase-safety-mohammed-dawood?trk=portfolio_article-card_title

- Deniz, Ö., Ceylan, O. ve Ulusoy, A. (2017). RFID kart sistemi ile personel odası, sınıf ve laboratuvar giriş kontrolü, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8 (1), 134-139.
- Denuwara, N., Maijala, J. ve Hakovirta, M. (2019). Sustainability benefits of RFID technology in the apparel industry. *Sustainability*, 11(22), 6477.
- Dirgar, E. ve Kansoy O. (2009). Akıllı etiketler ve konfeksiyon sanayinde akıllı etiketlerin kullanımı, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 4 (1), 84-91.
- Doğan, H., Çağlar, M. F., Yavuz, M. ve Gözel, M. A. (2016). Hayvan izlemede radyo frekanslı tanımlama sistemlerinin kullanımı, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 8(2), 38-53.
- Duman, M. N., Usta, İ. ve Esmer, G. B. (2024). In Silico design and analysis of e-textiles for hospital laundry: Enhancing tracking with chipless RFID tags, *Textile and Apparel*, 34(2), 162-174.
- Fijan, S., Cencic, A. ve Turk S.Š. (2006). Hygiene monitoring of textiles used in the food industry, *Food Microbiology*, 37(3), 356–361.
- Fisher J.A., Monahan T. (2012). Evaluation of real-time location systems in their hospital contexts. *International Journal of Medical Informatics*, 81(10), 705–712.
- Floyd R.E. (2015). RFID in Animal-tracking applications, *IEEE Potentials*, 34 (5), 32-33. doi: 10.1109/MPOT.2015.2410308.
- Gimpel, S., Mohring, U., Muller, H., Neudeck, A. ve Scheibner, W. (2004). Textile-based electronic substrate technology. *Journal of Industrial Textiles*, 33, 179–189.
- Haddara, M. ve Staaby, A. (2018). RFID Applications and adoptions in healthcare: A Review on patient safety. *Procedia computer science*, 138, 80-88.

- Hardgrave, B.C., Aloysius, J. ve Goyal, S. (2009). Does RFID improve inventory accuracy? A preliminary analysis, *International Journal of RF Technologies: Research and Applications*, 1 (1), 44-56.
- Hassannia, R. (2014). The Multipurpose Application of Radio Frequency Identification (RFID) in The Tourism Industry: On a Requirement Analysis For Employing RFID Technology in the Hotel Sector. Eastern Mediterranean University, Doctoral dissertation.
- Huang, K., Ma, Y., Chu, Y. ve Wang, Z. (2024). Tag-Fall: A doppler Shift-based fall detection method using RFID passive tags, *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 8.
- Indrawan, M., Loke, S., Ling, S. ve Samara, F. (2007, June). Unobtrusive User Profiling: The Use of RFID to Create a Smart Wardrobe, 1st International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges, IWRT 2007, In conjunction with ICEIS 2007, Funchal, Madeira, Portugal.
- Jaselskis, E. J., Anderson, M. R., Jahren, C. T., Rodriguez, Y. ve Njos, S. (1995). Radio frequency identification applications in construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 121, 189–196.
- Jihui, G., Fuhai, L., Bing, D., Peng, W. ve Lehong, H. (2011). A design of RFID tag antenna for clothing, *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC)*, IEEE, 1075–1077.
- Juels, A., Pappu, R. (2003). Squealing euros: Privacy-Protection in RFID-enabled banknotes. *Financial Cryptography, Lecture Notes in Computer Science*. 2742, 103-121.
- Kaneko, T., Hamada, K. ve Kondo, T. (2007, September). Development of Construction Logistics System Using Radio Frequency Identification. *Proceedings of the 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, Kochi, India.
- Koski, K., Koski, E., Björninen, T., Babar, A. A., Ukkonen, L., Sydänheimo, L. ve Rahmat-Samii, Y. (2012, July). Practical Read Range Evaluation of Wearable Embroidered UHF RFID Tag, *AP-S International*

- Symposium (Digest)(IEEE Antennas and Propagation Society, DOI:10.1109/APS.2012.6349382
- Kumar, P., Reinitz, H. W., Simunovic, J., Sandeep, K. P. ve Franzon, P. D. (2009). Overview of RFID technology and its applications in the food industry. *Journal of Food Science*, 74(8), 101-106.
- Kumar, V., Singh, T., Dagar, P., Dagar, J. ve Agarwal, R. (2023). Role of RFID Technology in Engineering Applications, *International Journal of Computer (IJC)*, 48(1), 26-36.
- Landt, J. (2005). The history of RFID, *IEEE Potentials*, 24(4), 8-11.
- Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V., Paco, A., Moora, H. ve Balogun, A.L. (2019). A review of the socio-economic advantages of textile recycling. *Journal of Cleaner Production*, 218, 10–20.
- Lee, C., Choy, K. L., Ho, G. T. ve Law, K. (2013). A RFID-based resource allocation system for garment manufacturing, *Expert Systems with Applications*, 40, 784–799.
- Lee, C. Ve Chan, T. (2009). Development of RFID-based reverse logistics system, *Expert Systems with Applications*, 36, 9299–9307
- Legnani, E., Cavalieri, S., Pinto, R. ve Dotti, S. (2011). The potential of RFID technology in the textile and clothing industry: Opportunities, requirements and challenges. *Unique radio innovation for the 21st century*. New York: Springer.
- Lehtonen, M., Staake, T., Michahelles, F. ve Fleisch E. (2008). From identification to authentication: A review of RFID product authentication techniques, *Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography*, 169-187. Doi: 10.1007/978-3-540-71641-9_9
- Liu, R., Goran, H. ve Andreas, Z. (2015). On tracking dynamic objects with long range passive UHF RFID using a Mobile Robot. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11, 781380.
- Liu, R., Koch, A. ve Zell, A. (2013, November). Mapping UHF RFID tags with a mobile robot using a 3D sensor model. *Proceedings of the 2013*

- IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, Japan, 1589–1594.
- Liu, J.H., Gao, W.D., Wang, H.B., Jiang, H.X. ve Li, Z.X. (2010). Development of bobbin tracing system based on RFID technology. *Journal of The Textile Institute*, 101, 925–930.
- Loebbecke, C. ve Huyskens, C. (2008). A competitive perspective on standard-making: Kaufhof's RFID project in fashion retailing, *Electronic Markets*, 18, 30–38.
- Mahmad, M.K.N., Maz, M. R. R. ve Baharun, N. (2016). Applications of radio frequency identification (RFID) in mining industries. *IOP conference series: Materials science and engineering*, 133 (1), IOP Publishing.
- Marr, B. How Fashion Retailer H&M Is Betting on Artificial Intelligence and Big Data to Regain Profitability. Available online: www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/08/10/how-fashion-retailer-hm-is-betting-on-artificial-intelligence-and-big-data-to-regain-profitability/#4b5220095b00 (accessed on 29 October 2019).
- McQuerry, M., Easter, E. ve Cao, A. (2021). Disposable versus reusable medical gowns: A performance comparison, *American Journal of Infection Control*, 49(5), 563–570
- Meydan, C. H. (2023). Havayolu işletmelerinde dijital dönüşüm uygulamaları üzerine bir inceleme, *Journal of Aviation Research*, 5(1), 65-82.
- Michálek, I. ve Vaculik, I. (2008). The history and evolution of RFID technology, *Post, Telecommunications and Electronic Commerce*, 1(3), 17-22.
- Mikusinska, M. (2012). Comparative life Cycle Assessment of Surgical Scrub Suits: The Case of Reusable and Disposable Scrubs Used in Swedish Healthcare, Degree Project, Second Level, SoM EX 2012-48, KTH Royal Institute of Technology, 2012.
- Mishra, A. ve Mishra, D. (2010). Application of RFID in aviation industry: An exploratory review, *Promet-Traffic&Transportation*, 22(5), 363-372.

- Mishra, P.K., Bolic, M., Yagoub, M. C. E. ve Stewart R. F. (2012). RFID technology for tracking and tracing explosives and detonators in mining services applications, *Journal of Applied Geophysics*, 76, 33–43.
- Moon, K. ve Ngai, E. (2008). The adoption of RFID in fashion retailing: A business value-added framework, *Industrial Management & Data Systems*, 108 (5), 596–612.
- Nakamba, C.C., Chan, P.W. ve Sharmina, M. (2017). How does social sustainability feature in studies of supply chain management? A review and research agenda, *Supply Chain Management: An International Journal*, 22, 522–541.
- Nayak, R., Singh, A., Padhye, R. et al. (2015). RFID in textile and clothing manufacturing: technology and challenges, *Fashion and Textiles*, 2(9) <https://doi.org/10.1186/s40691-015-0034-9>
- Nayak, R. ve Padhye, R. (Eds.). (2015). *Garment manufacturing technology*. Elsevier.
- Nayak, R., Panwar, T. ve Nguyen, L.V.T. (2020) Sustainability in fashion and textiles: A survey from developing country, *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles*. 3-30.
- Nayak, R. (Ed.). (2022). *Lean Supply Chain Management in Fashion and Textile Industry*. Springer.
- Nayak, R., George, M., Ul Haq, I. ve Pham, H. C. (2022). Sustainability benefits of RFID technology in Vietnamese fashion supply chain, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5.
- Ngai, E.W.T., Moon, K.K., Riggins, F. J. ve Candace, Y. Y. (2008). RFID research: An academic literature review (1995–2005) and future research directions, *International Journal of Production Economics*, 112(2), 510-520.
- Ni, L. M., Zhang, D. ve Souryal, M. R. (2011). RFID-based localization and tracking Technologies, *IEEE Wireless Communications*, 18, 45–51.
- Ohashi, K., Ota, S., Ohno-Machado, L. ve Tanaka, H. (2010). Smart medical environment at the point of care: Autotracking clinical interventions at

- the bed side using RFID technology, *Computers in Biology and Medicine*, 40(6), 545-554.
- Oztekin, A., Pajouh, F.M., Delen, D. ve Swim, L.K. (2010). An RFID network design methodology for asset tracking in healthcare, *Decision Support Systems*, 49(1), 100-109.
- Overcrash, M. (2012). A comparison of reusable and disposable perioperative textiles sustainability state-of-the-art 2012, *Anesthesia & Analgesia*, 14(5), 1055–1066.
- Owen, L. ve Laird, K. (2020). The role of textiles as fomites in the healthcare environment: A review of the infection control risk. *PeerJ*, 8, e9790.
- Pala, Z. (2008). RFID Teknolojisi ve Güvenlik Tehditleri, Ağ ve Bilgi Güvenliği Sempozyumu, Girne.
- Pala, Z. (2009). RFID teknolojisinin acil müdahalede kullanımı, *Akademik Bilişim*, 9, 1-5.
- Patron, D., Mongan, W., Kurzweg, T.P., Fontecchio, A., Dion, G., Anday, E.K. ve Dandekar K.R. (2016, December). On the use of knitted antennas and inductively coupled RFID tags for wearable applications, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 10 (6).
- Ranasinghe, D.C., Sheng, M. ve Zeadally, S. (2010). *Unique radio innovation for the 21st Century: Building scalable and global RFID networks*, Springer.
- Rekik, Y., Sahin, E. ve Dallery, Y. (2008). Analysis of the impact of the RFID technology on reducing product misplacement errors at retail stores, *International Journal of Production Economics*, 112, 264–278.
- Reynolds, K.E., Folse, J.A. G. Ve Jones, M.A. (2006). Search regret: Antecedents and consequences, *Journal of Retailing*, 82, 339–348.
- Roberti, M. (2006). RFID is fit to track clothes, *Chain Store Age*, 82, 158
- Roberts, C. M. (2006). Radio frequency identification (RFID), *Computers & Security*, 25(2006), 18-26

- Rosenbaum, B.P. (2014). Radio frequency identification (RFID) in health care: Privacy and security concerns limiting adoption, *Journal of Medical Systems*, 38(3), 19.
- Roussos, G. (2006). Enabling RFID in retail. *Computer*, 39, 25–30.
- Sadaat, H. ve Shoukat, O., 2022, RFID Based Smart Parking, Thesis for: Bachelors, Department of Information Technology University of Haripur)
- Sahba, F. (2014, August). Museum automation with RFID. In 2014 World Automation Congress (WAC) (pp. 19-22). IEEE.
- Salayong, K., Phaebua, K., Lertwiriyaprapa, T., Boonpoonga, A., Chaiyasang, L. ve Kumjinda, A. (2019). Linen laundry management system in hospital by using UHF-RFID. *Proceedings of the 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C)*. Bangkok, Thailand.
- Shahid, S. M. (2005). Use of RFID technology in libraries: A new approach to circulation, tracking, inventorying, and security of library materials, *Library Philosophy and Practice*, 8(1), 1-9.
- Smart, A. U., Bunduchi, R. ve Gerst, M. (2010). The costs of adoption of RFID technologies in supply networks, *International Journal of Operations and Production Management*, 30, 423–447
- Swedberg, C. U.K. Home Goods and Apparel Retailer Boosts Accuracy with RFID. Available online: www.rfidjournal.com/articles/view?18556 (accessed on 29 October 2019).
- Topaloğlu, A. (2011). IRCICA Kütüphanesi UHF RFID Çözümleri, *Türk Kütüphaneciliği*, 25(1), 106-116.
- Ünal, Z.B., Dirgar, E, Acar, E. ve Kansoy O. (2017). A study on tracking of textile products used in hotel businesses, *Journal of Tourism Theory and Research*, 3(1), 9–15.
- Valero, E., Adán, A. ve Cerrada, C. (2015). Evolution of RFID applications in construction: A literature review, *Sensors*, 15(7), 15988-16008.
- Vowels, S. A. (2006). A strategic case for RFID: An examination of Wal-mart and its supply chain.

- Wang, Z. G., Tang, R. Z., Sheng, W. L. ve Wang, G. D. (2006). Research on RFID-based production logistics management techniques with application in garment industry. International technology and innovation conference (ITIC 2006), IET, 383-387.
- Watson, D. ve Fisher-Bogason, R. (2017). Greener textiles in hospitals: Guide to green procurement in the healthcare sector. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Weis, S.A. (2007). RFID (radio frequency identification): Principles and applications, System, 2(3), 1-23.
- Weybrecht, G. (2010). The sustainable MBA: The manager's guide to green business. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- WHO. 2018. Health-care waste. World Health Organization, Geneva.
- Woradit, K., Sassananan, S., Boonjun, S. ve Boonpratotong, A. (2020). Integrated RFID aperture and washing chamber shielding design for Real-Time cleaning performance monitoring in healthcare laundry system.
- Wu, D. L., Ng, W. W., Yeung, D. S. ve Ding, H. L. (2009). A brief survey on current RFID applications. International conference on machine learning and cybernetics, IEEE, 2330-2335.
- Wu, N. C., Nystrom, M., Lin, T. R. ve Yu, H. C. (2006). Challenges to global RFID adoption. Technovation, 26, 1317-1323
- Xiao, Q., Boulet, C. ve Gibbons, T. (2007). RFID security issues in military supply chains. The Second International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES'07), IEEE, 599-605.
- Yao, W., C. Chu C-H. ve Li Z. (2010). The use of RFID in healthcare: Benefits and barriers. IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications, Guangzhou, China, 128-134, doi: 10.1109/RFID-TA.2010.5529874.
- Yüksel, M.E. ve Zaim, A.H. (2009). RFID'nin kablosuz iletişim teknolojileri ile etkileşim, Akademik Bilişim, Şanlıurfa.

Zhai, C., Fu, H., Zhang, Q. ve Cao, X. (2020). Research on military supply support application based on RFID technology. IEEE 20th international conference on communication technology (ICCT), IEEE, 1620-1624.

Zhou, Z., Shangguan, L., Zheng, X., Yang, L. ve Liu Y. (2017, August). Design and Implementation of an RFID-Based Customer Shopping Behavior Mining System, IEEE/ACM Transactions on Networking, 25(4).

URL 1: <https://www.rfidhy.com/prospects-for-the-future-applications-of-rfid/>

URL 2: <https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2024/09/05/how-ai-and-rfid-can-impact-retail-inventory/>

URL 3: <https://www.altis.com.tr/tr/aktif-mi-pasif-mi/>

URL 4: <https://www.rfidmarket.com.tr>

URL 5: <https://www.rfidlabel.com/what-are-the-rfid-tag-memory-types/>

URL 6: <https://bembilgisayar.com/rfid/>

URL 7: <https://www.altis.com.tr/tr/rfid-nelerden-olusur/>

URL 8: <https://www.zebra.com/tr/tr/products/rfid/rfid-reader-antennas/an4x-series.html>

URL 9: <https://www.rfid-turkiye.com/Urunler/Pasif-RFID-Yazicilar#prettyPhoto>

URL 10: <https://www.altis.com.tr/tr/rfid-etiketi-secimi/>

URL 11: (<https://www.idplate.com/blog/how-are-rfid-tags-made/>)

URL 12: <https://www.encstore.com/blog/5515-rfid-tags-on-clothes-washable-rfid-tags>

URL 13: <https://www.rfidmarket.com.tr/gomulebilir-rfid-etiketler>

URL 14: <https://www.tex-bit.com/rfid-laundry-products/rfid-linen-tag/>

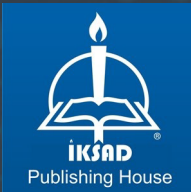
URL 15: <https://www.takipsan.com/solution/rfid-car-parking-smartgate-systems>

- URL 16: <https://www.rfidjournal.com/news/usdas-aphis-plans-revisions-to-electronic-animal-ids/198835/>
- URL 17: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/how-rfid-is-making-libraries-smarter/>
- URL 18: <https://www.ilgazi.com/blog/lojistik-sektorunde-rfid-teknolojisinin-kullanimi/>
- URL 19: <https://xerafy.com/wp-content/uploads/2022/07/Rectangle-99-5.jpg>
- URL 20: <https://www.identecsolutions.com/news/rfid-in-mining>
- URL 21: <https://www.linkedin.com/pulse/what-applications-rfid-technology-jewelry-industry-michelle-huang-7n20c>
- URL 22: <https://www.asiarfid.com/smart-museums.html>
- URL 23: <https://www.impinj.com/getmedia/7365b580-cb59-45c5-ba6b-56f39f829069/industrylanding-manufacturingautomotive-listpage.jpg?width=600&height=400&ext=.jpg>
- URL 24: <https://www.takipsan.com/blog-detail/how-does-rfid-work-in-fabric-tracking>
- URL 25. www.grivaonline.com
- URL 26. <https://www.gwrfid.com/rfid-for-healthcare/>
- URL 27: <https://qodenext.com/blog/what-does-rfid-mean-on-clothes/>
- URL 28: <https://www.rfidcard.com/rfid-in-fashion-sample-garment-control>
- URL 29: <https://www.inchz-iot.com/smart-retail-solution-using-rfid-system-in-malaysia/>
- URL 30: <https://kohantextilejournal.com/rfid-in-textile-industry-how-and-why/>
- URL 31: <https://www.nfcw.com/2019/03/19/362056/deathlon-adds-rfid-tags-to-make-in-store-self-checkout-easier-for-customers/>
- URL 32: <https://www.wrap.ngo/sites/default/files/2024-04/Textiles%20Waste%20Hotspots%20Report.pdf> (accessed on 19 December 2024).

URL 33: www.zetes.com/en/technologies-consumables/rfid-in-supply-chain 7

URL 34: <https://sharecloth.com/blog/reports/apparel-overproduction> (accessed on 19 December 2024).

RFID



ISBN: 978-625-378-156-9