

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYO FREKANSLI TANIMA (RFID)
TEKNOLOJİSİNİN TEDARİK ZİNCİRİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİ**

**DOKTORA TEZİ
Müh. Alp ÜSTÜNDAĞ**

Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

NİSAN 2008

**RADYO FREKANSLI TANIMA (RFID) TEKNOLOJİSİNİN
TEDARİK ZİNCİRİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

**DOKTORA TEZİ
Müh. Alp ÜSTÜNDAĞ
(507022102)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Nisan 2008**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet TANYAŞ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet Fahri ÖZOK (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (Y.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Murat BASKAK (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Ahmet BEŞKESE (B.Ş.Ü.)

NİSAN 2008

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. RFID Teknolojisi ve Tedarik Zinciri	1
1.2. Araştırma Probleminin Tanımı ve Önemi	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri	3
1.4. Çalışma Planı	4
2. RADYO FREKANSLI TANIMA (RFID) TEKNOLOJİSİ	5
2.1. RFID Teknolojisinin Gelişimi ve Tarihçesi	8
2.2. Otomatik Tanıma Sistemleri	10
2.3. Sistem Bileşenleri	13
2.3.1. Radyo Frekans (RF) Temelleri	14
2.3.2. Etiket	15
2.3.3. Okuyucu	22
2.3.4. Anten	26
2.3.5. Yazıcı	28
2.3.6. Yazılım	29
2.4. Standartlar	30
2.4.1. EPCGlobal ve Ağ Yapısı	32
2.4.2. ISO Standartları	36
2.5. Güvenlik ve Gizlilik	37
2.6. Proje Uygulama Aşamaları	41
2.7. Sistem Fayda ve Maliyetleri	45
2.8. Pazar ve Sektörel Uygulamalar	46
2.8.1. Perakende Sektörü	54
2.8.2. Savunma ve Havacılık Sektörü	58
2.8.3. Sağlık ve İlaç Sektörü	60
2.8.4. Otomotiv Sektörü ve İmalat Kontrol	63
2.8.5. Taşımacılık ve Lojistik Sektörü	67
2.8.6. Diğer Sektörel Uygulamalar	69

3. TEDARİK ZİNCİRİ VE RFID	72
3.1. Tedarik Zincirinde RFID Teknolojisinin Faydaları	74
3.1.1. Verimlilik	74
3.1.2. Doğruluk	76
3.1.3. Görünürlük	77
3.1.4. Güvenlik	79
3.2. Faktör İlişki Diyagramı	79
3.3. Akademik Çalışmalar	81
4. BENZETİM MODELİ	87
5. DENEY TASARIMI VE ARAŞTIRMA HİPOTEZLERİ	93
5.1. Parametreler	95
5.2. Bağımsız Faktörler ve Düzeyleri	97
5.3. Bağımlı Faktörler	97
5.4. Varsayımlar	98
5.5. Araştırma Hipotezleri	99
6. BENZETİM MODELİ SONUÇLARININ ANALİZİ	101
6.1. Ürün Değeri Etkisi	102
6.2. Temin Süresi Etkisi	106
6.3. Talep Belirsizliği Etkisi	109
6.4. Perakendeci, Dağıtıcı ve Üretici Düzeyinde RFID Etkisi	112
6.5. Araştırma Sonuçları	114
6.6. RFID Yatırım Değerlendirme Modeli	116
7. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	120
KAYNAKLAR	123
EKLER	132
A. Benzetim Modeli Kesitleri	132
B. Benzetim Modeli Sonuçları Veri Kümesi	136
ÖZGEÇMİŞ	140

KISALTMALAR

AIM	: Otomatik Tanıma ve Mobilite Birliği (Association for Automatic Identification and Mobility)
ALE	: Uygulama Seviyesi Olayları (Application Level Events)
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (American National Standards Institute)
AUTO-ID	: Otomatik Tanıma (Automatic Identification)
BPR	: İş Süreçleri Yeniden Yapılandırma (Business Process Reengineering)
CASPIAN	: Süpermarket Gizliliğine Saldırı ve Numaralandırma Karşıtı Tüketiciler (Consumers against Supermarket Privacy Invasion and Numbering)
CRM	: Müşteri İlişkileri Yönetimi (Customer Relationship Management)
DLA	: Savunma Lojistik Ajansı (Defense Logistics Agency)
DNS	: Alan İsim Sunucusu (Domain Name Server)
DoD	: Savunma Departmanı (Department of Defense)
EAS	: Elektronik Nesne İzleme (Electronic Article Surveillance)
EPC	: Elektronik Ürün Kodu (Electronic Product Code)
EPCIS	: EPC Bilgi Servisi (EPC Information Service)
EPIC	: Elektronik Gizlilik Bilgi Merkezi (Electronic Privacy Information Center)
ERP	: Kurumsal Kaynak Planlama (Enterprise Resource Planning)
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute)
FCC	: Federal İletişim Komisyonu (Federal Communications Commission)
FDA	: Gıda ve İlaç Örgütü (Food and Drug Administration)
GEN2	: Jenerasyon 2 (Generation 2)
GPS	: Global Pozisyonlama Sistemi (Global Positioning System)
GS1	: Global Standartlar
HF	: Yüksek Frekans
I/O	: Giriş / Çıkış (Input / Output)
IC	: Bütünleşik Devre (Integrated Circuit)
IFF	: Dost veya Düşman Tanıma (Identification of Friend or Foe)
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Standards Organization)
IT	: Bilgi Teknolojisi (Information Technology)
ITU	: Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union)
LF	: Düşük Frekans (Low Frequency)
NFC	: Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication)
OCR	: Optik Karakter Tanıma (Optic Character Recognition)
ONS	: Nesne İsim Sunucusu (Object Name Server)

PCMCIA	: Kişisel Bilgisayar Bellek Kartı Uluslararası Birliği (Personal Computer Memory Card International Association)
PDA	: Kişisel Dijital Asistan (Personal Digital Assistant)
PIN	: Kişisel Tanımlama Numarası (Personal Identification Number)
PML	: Fiziksel İşaretleme Dili (Physical Markup Language)
RF	: Radyo Frekansı (Radio Frequency)
RFID	: Radyo Frekanslı Tanıma (Radio Frequency Identification)
ROI	: Yatırımın Geri Dönüşü (Return on Investment)
RTLS	: Gerçek Zamanlı Konumlama Sistemi (Real Time Locating System)
UHF	: Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
WORM	: Tek Yazma Çoklu Okuma (Write Once Read Many)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	RFID ve barkod sistem karşılaştırması..... 12
Tablo 2.2	Enerji kaynağına göre RFID sistem karşılaştırması..... 19
Tablo 2.3	Farklı frekanslarda RFID sistem özellikleri 20
Tablo 2.4	RFID sistemlerin farklı malzemeler üzerindeki davranışı..... 21
Tablo 2.5	2006 yılı RFID etiket satışları (Das ve Harrop, 2007)..... 47
Tablo 2.6	Hastanelerde RFID uygulamaları ve faydaları (Wasserman, 2007b)..... 62
Tablo 2.7	Otomotiv Sektöründe RFID kullanım alanları..... 64
Tablo 3.1	Tedarik zinciri üzerinde sağlanan faydalar..... 73
Tablo 3.2	ANOVA Tablosu (Fleisch ve Tellkamp, 2005)..... 82
Tablo 3.3	Karşılaştırma tablosu (Lee ve diğ., 2004)..... 84
Tablo 5.1	Hata oranları..... 96
Tablo 5.2	Birim ürün süreç maliyetleri ve RFID etkisi..... 96
Tablo 5.3	Bağımsız faktörler ve düzeyleri..... 97
Tablo 6.1	Toplam maliyet faktörleri MANOVA analizi..... 102
Tablo 6.2	Ürün değeri etkisi ANOVA analizi..... 103
Tablo 6.3	Ürün değeri etkisi çoklu karşılaştırma analizi..... 103
Tablo 6.4	Ürün değeri bazında ortalama maliyet farkları..... 105
Tablo 6.5	Toplam maliyet değişkeni iki yönlü ANOVA analizi..... 105
Tablo 6.6	Temin süresi etkisi ANOVA analizi..... 106
Tablo 6.7	Temin süresinin etkisi çoklu karşılaştırma analizi..... 106
Tablo 6.8	Temin süresi bazında ortalama maliyet farkları..... 108
Tablo 6.9	Talep belirsizliği etkisi ANOVA analizi..... 109
Tablo 6.10	Talep belirsizliği etkisi çoklu karşılaştırma analizi..... 109
Tablo 6.11	Talep belirsizliği bazında ortalama maliyet farkları..... 111
Tablo 6.12	Perakendeci, dağıtıcı ve üretici toplam maliyet tasarruf farkları..... 112
Tablo 6.13	Perakendeci, dağıtıcı ve üretici maliyet farkları..... 113
Tablo 6.14	Perakendeci, dağıtıcı ve üretici MANOVA analizi..... 113
Tablo 6.15	Akademik çalışmaların karşılaştırması..... 115
Tablo 6.16	Yatırım değerlendirme analizi karşılaştırma..... 118
Tablo B.1	Perakendeci- RFID uygulaması maliyet tasarrufları 136
Tablo B.2	Dağıtıcı - RFID uygulaması maliyet tasarrufları 137
Tablo B.3	Üretici - RFID uygulaması maliyet tasarrufları 138
Tablo B.4	Toplam - RFID uygulaması maliyet tasarrufları 139

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : RFID sistemi (Üstündağ ve Tanyaş, 2007)	5
Şekil 2.2 : Otomatik tanıma sistemleri.....	11
Şekil 2.3 : Etiket, okuyucu ve anten bağlantısı (Finkenzeller, 2002).....	13
Şekil 2.4 : Dalga boyu.....	14
Şekil 2.5 : Dalga boyu ve frekans ilişkisi.....	15
Şekil 2.6 : Manyetik ve elektrik alan ilişkisi.....	15
Şekil 2.7 : RFID etiket (Luckett, 2004).....	16
Şekil 2.8 : Farklı etiket anteni tasarımları (www.alientechnology.com).....	16
Şekil 2.9 : Mikroçip ve anten birleşimi (www.otatraining.com).....	17
Şekil 2.10 : RFID etiket dönüştürme makinesi (www.worldlabel.com).....	17
Şekil 2.11 : RFID etiketlerin farklı kullanım şekilleri (Finkenzeller, 2002)....	18
Şekil 2.12 : RFID okuyucu sistemi (Lahiri, 2005).....	23
Şekil 2.13 : RFID okuyucu çeşitleri (www.autoidlabs.org).....	23
Şekil 2.14 : RFID anten çeşitleri (www.autoidlabs.org).....	26
Şekil 2.15 : RFID portal yapısı (www.futurestore.org).....	26
Şekil 2.16 : Anten polarizasyonu	27
Şekil 2.17 : Işıma örüntüsü (www.rfprop.com).....	28
Şekil 2.18 : RFID yazıcı ve etiketleme sistemi (www.italora.it).....	28
Şekil 2.19 : Dünya UHF spektrum kullanımı (www.otatraining.com).....	31
Şekil 2.20 : EPC kod yapısı (96 bit versiyon) (www.autoidlabs.org).....	32
Şekil 2.21 : EPC ağ yapısı (www.autoidlabs.org).....	33
Şekil 2.22 : RFID standartları (Knospe ve Pohl, 2004).....	37
Şekil 2.23 : Anten diyagramları (www.otatraining.com).....	44
Şekil 2.24 : Test laboratuvarı ölçümleme cihazları (www.flog.mb.uni - dortmund.de).....	44
Şekil 2.25 : Yansımaz oda (www.flog.mb.uni-dortmund.de).....	45
Şekil 2.26 : RFID etiket maliyeti (Kleist ve diğ., 2005).....	46
Şekil 2.27 : RFID pazar tahmini (Das ve Harrop, 2007).....	49
Şekil 2.28 : Ürün bazında RFID kullanım alanları (Gatzke, 2007).....	49
Şekil 2.29 : RFID yatırımlarının önündeki engeller (Gatzke, 2007).....	50
Şekil 2.30 : RFID öncelikli uygulama alanları (Malkoç, 2006).....	51
Şekil 2.31 : RFID çözümleri değer zinciri (Jong, 2005).....	52
Şekil 2.32 : Metro geleceğin mağazası	56
Şekil 2.33 : Kaufhof - Metro akıllı ayna uygulaması (Wessel, 2007).....	57
Şekil 2.34 : RFID destekli hasta izleme sistemi (www.supplyinsight.com)....	62
Şekil 2.35 : RFID – GPS destekli ürün izleme sistemi (www.microlise.com)	68
Şekil 2.36 : NFC cep telefonu uygulamaları (www.nxp.com).....	70
Şekil 3.1 : Faktör ilişki diyagramı	80
Şekil 3.2 : Gerçek ve kayıtlı stok seviyesi (Fleisch ve Tellkamp, 2005).....	82
Şekil 4.1 : Tedarik zinciri	87

Şekil 4.2	: Benzetim modeli karşılaştırma	88
Şekil 4.3	: Benzetim modeli iş akışı	89
Şekil 6.1	: Ürün değeri etkisi (toplam).....	103
Şekil 6.2	: Ürün değeri etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici).....	104
Şekil 6.3	: Temin süresi etkisi (toplam).....	107
Şekil 6.4	: Temin süresi etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici).....	107
Şekil 6.5	: Talep belirsizliğinin etkisi (toplam).....	110
Şekil 6.6	: Talep belirsizliği etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici).....	110
Şekil 6.7	: Maliyet tasarrufunun perakendeci, dağıtıcı ve üretici paylaşımı..	112
Şekil A.1	: Benzetim modelinde, perakendeciden alınan bir kesit	133
Şekil A.2	: Benzetim modelinde, perakendeci-dağıtıcıdan alınan bir kesit...	134
Şekil A.3	: Benzetim modelinde, dağıtıcı-üreticiden alınan bir kesit.....	135

SEMBOL LİSTESİ

P	: Ürün değeri
L	: Temin süresi
σ	: Talep dağılımı standart sapması
s	: Sipariş noktası
D_i	: Talep miktarı
D_{ort}	: Ortalama talep miktarı
EOQ	: Ekonomik sipariş miktarı
c_{sip}	: Parti başına sipariş maliyeti
c_{stok}	: Birim ürün dönemsel elde bulundurma maliyeti
z	: Toplam hata miktarı
u	: Yanlış yerleştirilen ürün miktarı
x	: Zarar görmüş ürün miktarı
y	: Çalınan ürün miktarı
v	: Eksik teslim edilen ürün miktarı
Q	: Gelen sipariş miktarı
α	: Yanlış yerleştirme oranı
β	: Ürün zarar görme oranı
γ	: Ürün çalınma oranı
δ	: Eksik teslim edilen ürün oranı
I_i	: Stok miktarı
$I_{gercek}, I_{gorunen}$	: Gerçek ve görünen stok miktarları
$C_{iscilik}, C_{stok} \dots$	: İşçilik, stok, sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyetleri
$C_{i1}, C_{i2}, \dots$	: Ürün kabul, yerleştirme, toplama, yükleme ve stok sayım süreç maliyetleri
$m_{i1}, m_{i2}, \dots$	: Birim ürün işçilik (süreç) maliyeti
N_i	: Süreç bazında işlem gören toplam ürün miktarı
$n(Q)$	: Sipariş sıklığı
λ	: RFID uygulamalı sistem oransal değişim faktörü
K_p, K_d, K_u	: RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem toplam maliyet farkı (perakendeci, dağıtıcı, üretici)
k_p, k_d, k_u	: Etiket maliyet paylaşım faktörleri (perakendeci, dağıtıcı, üretici)
A_p, A_d, A_u	: Yıllık RFID donanım amortisman ve bakım giderleri (perakendeci, dağıtıcı, üretici)
C_d, C_y, C_h	: RFID donanım, yazılım ve hizmet yatırım maliyetleri (perakendeci, dağıtıcı, üretici)
C_e	: Birim RFID etiket maliyeti
M_n	: Tedarik zincirinde yıllık hareket eden ürün miktarı
i	: İskonto oranı

RADYO FREKANSLI TANIMA (RFID) TEKNOLOJİSİNİN TEDARİK ZİNCİRİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZET

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID), etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan Otomatik Tanıma Sistemi'dir (Auto-ID). Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır. Okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar antenle buluşmakta ve etiket içindeki devreleri harekete geçirmektedir. Etiket dalgaları modüle ederek okuyucuya geri göndermekte ve okuyucu da yeni dalgayı dijital veri haline dönüştürmektedir.

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerinde sağladığı çok sayıda fayda bulunmaktadır. Bunlar zincirin daha sıkı izlenmesi ve yönetilmesi, stok yönetiminin daha az çalışan ile sağlanması, düşük işçilik maliyetleri, müşteri hizmet kalitesinin artması, fire oranlarında azalma ve müşteri davranışının daha iyi izlenmesi olarak sıralanabilir. RFID ile desteklenen tedarik zinciri uygulamalarında, zincirde etkinlik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik sağlanabilmektedir. Gerçek zamanlı stok ve lojistik bilgisi üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve perakendeci tarafından zincirin her aşamasında paylaşılmaktadır.

Bu çalışmada perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan iki sistem arasında oluşan maliyet farkları, benzetim modeli yardımı ile incelenmiştir. Tedarik zinciri boyunca hatalı sevkiyat, yanlış yerleştirme, çalınma ve zarar görme oranları göz önüne alınarak, kayıtlı ve gerçek stok miktarları belirlenmiştir. RFID teknolojisinin kullanımı ile doğruluk, süreç verimliliği, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde beklenen performans artışının, tedarik zinciri üzerinde sağladığı kazanım, kayıp satış, çalınma, elde tutma, sipariş ve süreç maliyet farkları esas alınarak hesaplanmıştır. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan kazanım üzerindeki etkisi, deneysel tasarım yapılarak araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre ürün değerinin yükselmesi ile birlikte toplam tedarik zinciri maliyet tasarrufu artış göstermektedir. Bu artış birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet farklarından kaynaklanmakla birlikte, tasarruf miktarı perakendeci seviyesinde daha yüksek, dağıtıcı ve üretici seviyesinde daha düşüktür. Zincir boyunca ortalama stok seviyesi azalmasına rağmen ürün değer artışından dolayı elde tutma maliyeti tasarrufunda artış gerçekleşmektedir. RFID uygulaması ile birlikte, kayıtlı ve gerçek stok seviyeleri birbirine yaklaşmakta, sipariş maliyetinde oluşan kayıp, ürün değer artışı ile birlikte yükselmektedir.

Temin süresi artışı, perakende seviyesinde maliyet tasarrufunu düşürmektedir. Bunun sebebi, yükselen temin süresi ile birlikte kayıp satış maliyet tasarrufundaki

azalmaz. Artan temin süresi ile birlikte çalınma maliyet tasarrufu da yükselmektedir. Yükselen stok seviyesi ile birlikte elde tutma maliyetinden beklenen tasarruf artmakta, yine stok seviyesinin artması ile bağlantılı olarak süreç maliyet tasarrufu da artış göstermektedir. Sipariş maliyetinde oluşan kayıp artan temin süresi ile azalmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte, sipariş maliyetinden doğan maliyet farkı da azalmaktadır.

Talep belirsizliğinin artması ile birlikte, RFID uygulanan tedarik zincirinin toplam maliyet tasarrufu azalmaktadır. Bunun sebebi sistemde daha çok kayıp satış oluşması ve toplam kayıp satış maliyetinde sağlanan tasarrufun azalmasıdır. Maliyet tasarrufundaki azalma, perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyelerinin her birinde görülmektedir. Belirsizliğin artması ile birlikte RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemdeki ortalama stok maliyet farkı azalmaktadır.

Bağımsız faktör olarak ürün değerinin RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, talep belirsizliği ve temin süresinden daha fazladır. Talep belirsizliğinin maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi de temin süresi etkisinden yüksektir. Bağımsız faktörlerin değişimi ile RFID uygulaması sonucu tedarik zinciri maliyet tasarrufunda oluşan değişimde, kayıp satış faktörü belirleyici rol oynamaktadır.

Maliyet tasarrufu müşteri ile birebir temas eden perakendeci seviyesinde, dağıtıcı ve üretici seviyesinden daha yüksek olmaktadır. Çalışma sonucunda tedarik zinciri kazanım oranına dayalı etiket maliyet paylaşımını esas alan RFID yatırım değerlendirme modeli önerilmektedir.

IMPACTS OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) TECHNOLOGY ON SUPPLY CHAIN

SUMMARY

Radio Frequency Identification (RFID) is an Automatic Identification (Auto-ID) system consisting of a microchip with a coiled antenna (tag) and a reader. Data and energy are transmitted without any contact between the tag and the reader. The reader sends out electromagnetic waves that form a magnetic field so the microchip's circuits are powered. The chip modulates the waves and sends back to the reader. The reader converts the new waves into digital data.

The supply chain processes gain many benefits from RFID technology. These are better managing and tracking of the supply chain, less time and lower cost for inventory management, lower labor requirement, less inventory shrinkage, improved customer service and better modeling of the customer behavior. RFID provides efficiency, accuracy, visibility and security on the supply chain. Real time inventory and logistics information is shared at any stage of the supply chain by the supplier, manufacturer, distributor and retailer.

In this study using a simulation model, the cost differences between an RFID applied and non-applied system are examined on a supply chain consisting of a retailer, distributor and producer. Considering misplacement, shipment error, theft and damage ratios, physical and system inventory levels are determined. The expected benefits obtained through the performance increase of efficiency, accuracy, visibility and security levels are calculated on an RFID integrated supply chain considering the lost sales, theft, inventory, order and labor cost factors. The influences of the product value, lead time and demand uncertainty factors are examined on an RFID integrated supply chain by using experimental design.

According to the research results, the total supply chain cost savings are increased through the raising product prices. This increase is predominantly based on the theft and lost sales cost savings due to the increase of the unit cost; however the savings at the retailer are higher than the savings at the distributor and producer. Despite the decrease of the inventory level on the supply chain, the total inventory cost savings are increased due to the raising product prices. The gap between the system and physical inventory level is decreased, thus the loss of the order costs are reduced.

The total retailer cost savings are increased through the increased lead time due to the decrease of the lost sales cost savings. Raising the lead time also increases the total theft cost savings. Through the increase of the inventory level on the supply chain, the total inventory and process cost savings are increased. The loss of the order costs are reduced by raising lead times due to the ascending inventory level.

The total supply chain cost savings are decreased through the raising demand uncertainty due to the increased lost sales. The decrease of the cost savings are noticed at each level of the supply chain. The increase of demand uncertainty causes the reduction of the inventory cost savings.

The influence of the product value on the total supply chain cost savings is higher than the influence of the demand uncertainty. The influence of the demand uncertainty on the total supply chain cost savings is higher than the influence of the lead time. However, the critical and sensitive dependent cost factor is the lost sales cost savings on the whole supply chain.

The total cost savings at retailer are higher than cost savings at distributor and producer. In the end of the study, an RFID investment evaluation model is proposed which is considering the sharing of the total cost of the tags according to the expected benefits of each member of the supply chain.

1. GİRİŞ

1.1. RFID Teknolojisi ve Tedarik Zinciri

Günümüz işletmeleri için tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve uygulanan tekniklerin zincir performansı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bu alanda karşılaşılan en önemli sorunların malzeme akışından değil, bilgi akışından kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Sipariş durumu, stok düzeyleri ve teslim süreleri ile ilgili doğru ve gerçek zamanlı bilginin eksikliği, tedarik zincirinde belirsizlik ve değişkenliği beraberinde getirmektedir. Bu nedenle etkin bir tedarik zinciri yönetiminde; doğru, tam ve gerçek zamanlı bilginin sağlanabilmesi önemlidir. Bu bilginin sağlanmasında Otomatik Tanıma Sistemleri'nin (Auto-ID) rolü büyüktür (McFarlane ve diğ., 2003).

Otomatik Tanıma Sistemleri içinde yer alan Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi'nin (RFID) önemi günümüzde gittikçe artmaktadır. RFID teknolojisi, etiket ve okuyucu arasındaki veri iletişiminin radyo dalgaları ile sağlandığı Otomatik Tanıma Sistemi'dir. Aslında bu teknolojinin geçmişi eski olmakla birlikte, yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ve maliyet azalması, bu teknolojinin kitlesel uygulamalar için hazır hale gelmeye başladığını göstermektedir. Dünya genelinde hızla artan uygulamaların, Türkiye'deki sanayi ve hizmet sektörünü de etkileyeceği açıktır.

Tedarik zinciri süreçlerinde ürün tanıma amaçlı olarak kullanılan barkod teknolojisi, günümüz koşullarında artık yetersiz kalmaktadır. Karmaşık süreçler içinde izleme ve kayıt işlemlerinin zorluğu, işçilik maliyetlerinin yüksekliği, zaman kayıpları ve etiket içinde saklanabilen veri kapasitesinin yetersizliği bu teknolojinin eksik/sakıncalı yanlarını oluşturmaktadır. Zaman içinde gittikçe ucuzlayan RFID teknolojisi, barkod teknolojisinin yetersizliklerini ortadan kaldırarak, iş süreçlerinin yeniden ele alınmasını sağlayacaktır.

RFID teknolojisi, tedarik zincirinde süreç verimliliğini, doğruluk, güvenlik ve görünürlük seviyelerini arttırmaktadır. Bu şekilde zincirin daha sıkı izlenmesi ve

yönetilmesi, stok yönetiminin daha az çalışan ile yürütülmesi, işçilik maliyetlerinin ve fire oranlarının azaltılması, müşteri hizmet kalitesinin artırılması ve müşteri davranışlarının daha iyi izlenmesi sağlanmaktadır. Gerçek zamanlı stok ve lojistik bilgisi üretici, dağıtıcı ve perakendeci tarafından zincirin her aşamasında paylaşılabilir.

1.2. Araştırma Probleminin Tanımı ve Önemi

Yatırım değerinin yüksekliği ve süreçlerin yeniden yapılandırılması, RFID yatırımlarının, firmalar açısından stratejik bir karar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. RFID uygulama başarısının sağlanması için öncelikle kapsamlı bir değerlendirme analizinin yapılması, teknoloji yatırımının gerektirdiği maliyetlerin ve sağladığı kazanımların en detaylı şekilde incelenmesi gereklidir. Tedarik zinciri üzerinde gerçekleşecek RFID yatırımında, zincir üyeleri arasındaki etkileşim, değerlendirme aşamasında gözönüne alınmalıdır.

Literatürde RFID teknolojisinin tedarik zincirindeki etkisi ile ilgili nicel çalışmalar ağırlıklı olarak stok yönetimi üzerinde yoğunlaşmıştır (**Delanuay ve diğ., 2007**). Gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farkın, RFID teknolojisi yardımı ile azaltılacağı varsayımı altında analizler gerçekleştirilmiş ve yeni modeller geliştirilmiştir (**Fleisch ve Tellkamp, 2005**). Kapalı ve açık çevrimli sistemler için RFID yatırım değerlendirmesi çalışmaları kısıtlı sayıda ve yetersizdir (**Doerr ve diğ., 2006; Bottani ve Rizzi, 2008**). Üçüncü bölümde yer alan literatür araştırması incelendiğinde, tedarik zincirinde RFID uygulamasının etkilediği maliyet faktörleri, zincir üyeleri arasındaki etkileşim ve fayda/maliyet analizi boyutları üzerine yeterli çalışma bulunmadığı görülecektir. RFID yatırımından beklenen kazanımın, tedarik zinciri özelliklerine bağlı olarak nasıl değişim gösterdiği ve bu değişimin perakendeci, dağıtıcı ve üretici üzerindeki yansımalarının ne olduğu, stratejik yatırım kararının verilmesinde çok büyük önem taşımaktadır.

Bütün bu faktörler gözönüne alındığında, RFID yatırımının tedarik zinciri üzerindeki etkilerinin, kurulan bir model yardımı ile kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekliliği açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde gerçekleşecek RFID yatırımının etkilediği maliyet faktörleri belirlenecek, maliyet tasarrufundan kaynaklanan kazanımlar ortaya koyulacak ve farklı zincir özelliklerinin bu maliyet faktörleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır.

Nihai olarak tedarik zinciri kazanım oranına dayalı etiket maliyet paylaşımını esas alan bir RFID yatırım değerlendirme modeli önerilecektir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

RFID teknolojisi, tedarik zincirinin süreç verimliliğini, görünürlük, güvenlik ve doğruluk seviyelerini yükseltmektedir. Otomasyon ile birlikte yanlış yerleştirme, yükleme ve işlem hatalarını ortadan kaldırmaktadır. Günümüz işletmelerinde kayıtlı ve gerçek stok seviyeleri arasındaki farkın yüksekliği, hatalı sipariş kararlarının verilmesine, yüksek güvenlik stoklarının tutulmasına ve maliyetlerin yükselmesine sebebiyet vermektedir. RFID teknolojisi yardımı ile stok bilgisinde oluşan hatalar azaltılabilmektedir.

RFID teknolojinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerinin ne şekilde oluştuğunu net ve açık bir şekilde ortaya koyabilmek, yatırım değerlendirme aşamasında bu etkilerin nasıl ele alınması gerektiğini belirlemek için, bu çalışmada aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır:

- RFID teknolojisi, tedarik zinciri genelinde hangi maliyet faktörlerini etkilemektedir? RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasında oluşan maliyet değişiminin boyutu nedir? RFID yatırımı ile hangi maliyet faktörlerinde daha fazla tasarruf sağlanmaktadır? Perakendeci, dağıtıcı ve üretici düzeyinde sağlanan maliyet tasarrufu ne şekilde oluşmaktadır?
- Bağımsız; “ürün değeri”, “temin süresi” ve “talep belirsizliği” faktörlerinin, RFID uygulamalı tedarik zincirindeki maliyet tasarrufu üzerindeki etkileri nelerdir? Hangi bağımsız faktör RFID uygulamalı tedarik zinciri üzerinde daha etkilidir?
- RFID uygulamasının sağladığı maliyet tasarrufu, perakendeci, dağıtıcı ve üretici arasında ne şekilde dağılmaktadır? RFID yatırımı kapsamında etiket maliyetinin paylaşımı ne şekilde gerçekleşmelidir?

Bu çalışma kapsamında perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan iki sistem arasında oluşan maliyet farkı, kurulacak benzetim modeli ile incelenecektir. Tedarik zinciri boyunca oluşan stok hataları gözönüne alınarak, görünen ve gerçek stok miktarları belirlenecektir. RFID teknolojinin kullanımı ile doğruluk, süreç verimliliği, güvenlik ve görünürlük

seviyelerinde beklenen performans artışının, tedarik zinciri üzerinde sağladığı maliyet tasarrufları hesaplanacaktır. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin RFID uygulamalı tedarik zinciri maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi araştırılacak, bu sonuçlardan yararlanılarak etiket maliyet paylaşımını gözönüne alan bir tedarik zinciri RFID yatırım değerlendirme modeli önerilecektir.

1.4. Çalışma Planı

Bölüm 2’de öncelikle RFID teknolojisinin gelişimi, tarihçesi ve sistem bileşenleri açıklanmıştır. Uygulama alanları belirtilmiş, gerçek sektörel uygulamalardan örnekler verilmiştir. Bu bölümde ayrıca standart, güvenlik ve gizlilik konuları irdelenmiş, RFID projesinin uygulama aşamaları tanımlanmıştır. Uygulama sonucu beklenen maliyet ve fayda noktaları vurgulanmıştır.

Bölüm 3’te RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerinde oluşturduğu etkiler tanımlanmış ve örneklerle açıklanmıştır. Buna ek olarak, RFID teknolojisinin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkileri üzerine yapılan akademik çalışmalar ele alınmıştır.

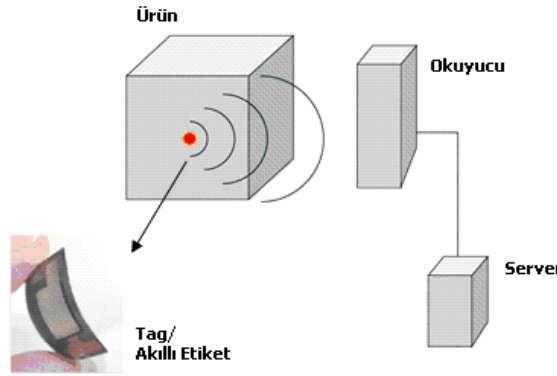
Bölüm 4’te RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini sayısal olarak değerlendirmek için kurulan benzetim modeli açıklanmıştır (Benzetim modeli için kullanılan yazılım ekran görüntüleri Ek-A’da verilmiştir).

Bölüm 5’te benzetim modelinde kullanılan parametreler ile bağımlı ve bağımsız faktörler tanımlanmıştır. RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini incelemek üzere kurgulanan deneysel tasarım açıklanmış, kullanılan faktör seviyeleri belirlenmiş ve araştırma hipotezleri geliştirilmiştir.

Bölüm 6’da benzetim modelinin çalıştırılması sonucunda elde edilen verilerin detaylı istatistiksel analizi yapılmış, sonuçlar yorumlanmıştır ve etiket maliyet paylaşımını gözönüne alan RFID yatırım değerlendirme modeli önerilmiştir. Ek-B’de analiz kapsamında kullanılan veri tabloları gösterilmiştir. Son olarak, Bölüm 7’de çalışmanın temel bulguları ve sonuçları özetlenmiştir.

2. RADYO FREKANSLI TANIMA (RFID) TEKNOLOJİSİ

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID), etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan Otomatik Tanıma Sistemi'dir (Auto-ID). Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır. Okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar antenle buluşmakta ve etiket üzerindeki devreleri harekete geçirmektedir. Etiket dalgaları modüle ederek okuyucuya geri göndermekte, okuyucu da yeni dalgayı dijital veri haline dönüştürmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: RFID sistemi (Üstündağ ve Tanyaş, 2007)

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemleri'nin (RFID) mobil ve kablosuz iletişim teknolojileri içindeki önemi giderek artmakta, farklı kullanım alanları ile çok sayıda sektörü etkileyeceği bilinmektedir. RFID, radyo dalgalarını kullanarak ürün ve malzemelerin tanınmasını sağlayan bir Otomatik Tanıma Sistemi'dir. **McFarlane ve Sheffi (2003)**, RFID tabanlı otomatik tanıma sistemlerini oluşturan elemanları şu şekilde tanımlamaktadır:

- Belirli bir ürün ya da malzemeye atanmış tekil kimlik bilgisi,
- Ürün ya da malzeme üzerine iliştilmiş, veri depolama kapasitesine sahip ve elektronik olarak çevresi ile iletişim kurabilen bir kimlik etiketi,

- Çok sayıda etiketten gelen sinyali yüksek bir hızda okuma ve doğru bir şekilde işleme yeteneğine sahip, RFID okuyucuları ve veri işleme sistemlerinden oluşan bir ağ yapısı,
- Çok sayıda ürün bilgisini depolama yeteneğine sahip, ağ içinde yer alan bir veya birden fazla veritabanı.

RFID etiketleri, yüksek miktarda bilgi depolayabilmekte, toplu halde hatasız ve hızlı bir şekilde okunup yazılabilmektedir. Farklı çevresel koşullar içinde kullanılabilmekte ve okuyucular sayesinde veri iletişimini uzak mesafelerden sağlayabilmektedir. RFID etiketinin okunabilmesi için, barkod gibi okuyucunun “görüş alanı” içinde değil, “etki alanı” içinde olması yeterli olabilmektedir. Bu özellikler RFID teknolojisinin, diğer Otomatik Tanıma Sistemleri’nden biri olan barkod teknolojisine olan üstünlükleri olarak gösterilmektedir. Veri iletişim / saklama standartlarının gelişmesi ve maliyetlerin azalması ile birlikte RFID kullanımının hızla yaygınlaşması beklenmektedir.

Barkod teknolojisi, malzemelerin etiketlenmesi ve otomatik tanımlanmasında günümüzün en yaygın teknolojisi olmasına rağmen bazı kısıt ve sakıncalara sahiptir. Karmaşık süreçler içinde izleme ve kayıt işlemlerinin zorluğu, işçilik maliyetlerinin yüksekliği, zaman kayıpları ve etiket içinde saklanabilen veri kapasitesinin yetersizliği bu teknolojinin eksik ve sakıncalı yanlarını oluşturmaktadır. Barkod sisteminin en önemli kısıtlarından biri de barkod etiketinin okuyucunun görüş alanı içinde olması zorunluluğudur. Barkod teknolojisinin insangücü olmadan kullanılması çok zordur. Birleşik Devletler Posta Servisi, her bir postanın barkod tanımlama işleminin gerçekleştirilebilmesi için okunabilme mesafesine getirme maliyetinin 0,04 dolar olduğunu belirlemiştir. Bu maliyet değeri yıllık paketleme sayısı (yaklaşık elli milyon) ve her paket için dağıtım merkezlerindeki ortalama barkod okunma sayısı ile çarpıldığında (paket başına ortalama üç kez) 6 milyon dolar elde edilmektedir. Bu maliyetin her yıl boşa olduğu anlaşılmaktadır (**Vrba ve diğ., 2005**). Barkod teknolojisinin bir diğer sıkıntısı, tekil ürün değil, ürün grubu için tanımlama numarası kullanmasıdır. Zaman içinde gittikçe ucuzlayan RFID teknolojisi, barkod teknolojisinin yetersizliklerini ortadan kaldırarak, iş süreçlerinin yeniden ele alınmasını sağlayacaktır.

RFID teknolojisi bugün perakende, lojistik, sağlık, otomotiv, savunma vb. birçok sektör içinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Birinci Körfez Savaşı'nda kaybolan ve izlenemeyen malzemeler, A.B.D. Ordusu'nu malzeme lojistiğinde RFID kullanımını zorunlu kılmaya yönlendirmiş, İkinci Körfez Savaşı'nda RFID ile lojistik görünürlüğün elde edilmesinde büyük faydalar sağlanmıştır. İngiltere Ordusu RFID teknolojisini 2003 yılında kullanmaya başlamıştır ve diğer NATO ortakları ile birlikte standartlar konusundaki uyum çalışmalarına devam etmektedir. Amerikan Savunma Bakanlığı ve büyük perakende zinciri Wal-Mart, 2005 itibarı ile ana tedarikçilerinin palet ve kutu bazında RFID uygulamasına geçmesi için yaptırım kararı almıştır **(Poirier ve McCollum, 2006)**.

İngiltere'nin en büyük süpermarket zinciri TESCO, ana dağıtım merkezinden 98 adet mağazasına yapılan dağıtımları Aralık 2004 itibarı ile RFID sistemi üzerinden takip etmeye başlamıştır, ayrıca ikinci fazda 2000 adet mağazasına yapılan dağıtımları RFID sistemi üzerinden takip etmeyi planlamaktadır. 2003 yılında Gillette 500 milyon RFID etiketi siparişı vermiş ve bu etiketleri ürün paketleri üzerinde kullanacağını duyurmuştur. Michelin, lastik içlerine yerleştirdiği RFID etiketleri ile ürün takip sistemi oluşturmuş, lastik bilgisini araç numarası ile ilişkilendirerek pilot çalışmalarına başlamıştır. Mastercard ve American Express, RFID teknolojisinin kullanıldığı kredi kartları testlerine; Avrupa Merkez Bankası ise, 2005 yılında yüksek değerli banknotlarda sahteciliği önlemek amacıyla RFID ile ilgili çalışmalarına devam etmektedir.

Pfizer, HF etiketler kullanarak bazı ilaçların takibi ve sahteciliğin engellenmesi için pilot çalışmalarını sürdürmektedir. Lojistik şirketi TNT Express, Çin'deki bir PC fabrikasından Almanya'daki dağıtım merkezine gönderilen kişisel dizüstü bilgisayar ve paletlerin takibinde RFID sisteminin kullanıldığı bir proje başlatmıştır. İlk fazda RFID teknolojisinin güvenli bir şekilde kullanılacağı kanıtlanmıştır, ikinci fazda ise verilerin tedarik zinciri üzerinde paylaşılması için çalışmalar sürdürölmektedir. Japonya'nın Yokohoma şehrindeki bir okulda, çocukların 2-2,5 km içindeki hareketleri aktif etiketler ile izlenmekte ve onlar için güvenli bir ortam sağlanmaktadır. Fransa'nın 150.000 nüfuslu Caen şehrinde yapılan pilot çalışmada, 200 kişinin cep telefonları ile 11 adet perakende noktasında RFID tabanlı ödeme terminalleri üzerinden işlem yapmaları sağlanmaktadır. New York Eyaleti Tarım ve

Hayvancılık Departmanı, 915 MHz UHF RFID etiketleri ile geyik nüfusunun takip edilmesi için proje başlatmıştır.

RFID pazarındaki gelişmeler, uygulama alanındaki hareketliliğin giderek arttığını göstermektedir. IDTechEx şirketi tarafından yayımlanan araştırma raporunda 2007 yılı başına kadar 3,8 milyar adet RFID etiketinin satıldığı ve bu satışların 600 milyon adedinin 2005 yılında, 1,02 milyar adedinin 2006 yılında gerçekleştiği bildirilmektedir. 2006 yılında, büyüklüğü \$1,48 milyar olan pazarın, 2017 yılında \$ 27,88 milyar olması beklenmektedir (**Das ve Harrop, 2007**).

Tüm bu gelişmeler, RFID sistem yatırımlarının firmalar açısından stratejik bir karar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yatırım değerinin yüksekliği ve süreçleri yeniden yapılandırma gerekliliği, bu teknoloji ile ilgili fayda/maliyet analizlerinin en ayrıntılı bir şekilde yapılması gerektiğine işaret etmektedir.

2.1. RFID Teknolojisinin Gelişimi ve Tarihçesi

RFID teknolojisi ilk olarak 1930'lu yılların başında telaffuz edilmeye başlansa da, geçmişi 1880'li yıllara dayanmaktadır. 1880'lerin başında elektromanyetik dalga teorisinde ilk gelişmeler sağlanmış, 1846'da İngiliz bilim adamı Michael Faraday ışık ve radyo dalgalarının elektromanyetik enerji oluşturduğunu ortaya koymuştur. 1864'le Maxwell, elektromanyetik teorisini geliştirmiş, 1887'de Alman fizikçi Hertz, radyo sinyallerinin gönderilip alınabilmesini başarmıştır. Hertz'in çalışmalarını Rus bilim adamı Alexander Popov izlemiş, 1897'de ise Marconi tarafından radyo icat edilmiştir (**Landt, 2005**).

20. yüzyıl başlarında, radyo dalgalarının yansıması ile objelerin yerinin tespit edilmesini sağlayan radarın bulunuşu ile birlikte, bu alandaki çalışmalar hızla devam etmiştir. Radar ilk olarak 2. Dünya Savaşı sırasında kullanılmaya başlanmış, 1937 yılında Amerikan Denizcilik Araştırma Laboratuvarı'nda düşman uçaklarının tespit edilmesinde kullanılan IFF sistemi geliştirilmiştir. Dost uçaklara yerleştirilen alıcı/verici işlevine sahip etiketlerin, yer okuyucu sistemlerine geri gönderdiği sinyaller ile düşman uçakların ayrımını yapılabilen IFF sistemler, bugünkü hava trafik kontrol sistemlerinin de temelini oluşturmaktadır.

Stockman (1948) tarafından radyo frekansı ile veri iletişiminin sağlanması konusunda yayımlanan makale, RFID teknolojisinin temelini oluşturan ilk çalışmalar

arasında sayılmaktadır. Entegre devre, mikro işlemci, bellek çipleri ve yazılım teknolojileri konularında sağlanan gelişmeler ile 1950'li yıllardan itibaren RFID teknolojisi hızla gelişmeye ve kullanım açısından yaygınlaşmaya başlamıştır. 1958 yılında Jack Kilby Texas Instruments bünyesinde ilk entegre devre sistemlerini geliştirmiştir.

Harrington'ın (1964), elektromanyetik teorisi ile ilgili yenilikçi çalışmalarını, RFID tabanlı yeni buluşlar izlemiştir. **Richardson (1963)**, radyo frekansı ile uzaktan kontrol edilen cihazlar, **Rittenback (1969)** radar ışınları ile haberleşme, **Vogelman (1968)** pasif veri gönderim teknikleri ile radar ışınlarının kullanımı, **Vinding (1967)** okuyucu-alıcı tanımlama sistemleri konularında buluşlar gerçekleştirmiştir.

1970'li yılların başında Sensormatic ve Checkpoint şirketleri özellikle hırsızlığa karşı geliştirilen EAS adlı ilk ticari uygulamalarını piyasaya sunmuşlardır. Malzeme ve ürünlerin elektronik olarak izlendiği EAS sistemlerinde, 1 bit etiketler kullanılmakta ve sistem sadece ürün/malzeme üzerinde etiketin var olup olmadığını kontrol ederek uyarı sinyali vermektedir. Özellikle giyim mağazalarında ve kütüphanelerde hırsızlığa karşı kullanılan, pil içermeyen, ucuz ve basit pasif etiketler içeren EAS sistemler, bugünkü RFID uygulamalarının temelini oluşturmuştur.

1970'li yıllarda RFID uygulamaları denetleme değil daha çok tanımlama amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Entegre devreler içeren RFID etiketler, imalat süreçlerinde ürün izleme, araç izleme, çiftlik hayvanlarının tanımlanması ve izlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. 1980'lerin başında demiryolu araçlarının izlenmesinde, 1990'larda Amerika, İtalya, Fransa, İspanya, Portekiz ve Norveç'te köprü ve otopanlarda otomatik ödemeli geçiş sistemlerinde kullanılmıştır. Aynı yıllarda RFID tabanlı giriş kontrol sistemleri de çeşitli endüstrilerde kendine yer bulmuştur. Güvenlik amaçlı olarak kapı girişlerinde gerekli kontrolün sağlanmasında bu sistemlerden yararlanılmaktadır. Özellikle otomobil üreticileri, araç motorlarının izinsiz çalıştırılmasını engellemek için RFID entegre anahtarlar kullanmaktadır.

1991 yılında, elektronik sistemler konusunda dünyanın en büyük şirketlerinden biri olan Texas Instruments, sadece RFID teknolojisine yönelik TI-RFID adlı yeni bir şirket kurmuştur. Bu şirket Amerika'da bu teknoloji ile ilgili yeni sistemlerin geliştirilmesine ve uygulamaların oluşmasına öncülük etmiştir.

1990'lı yıllara kadar RFID uygulamalarının çoğu düşük frekans (LF) ve yüksek frekans (HF) sistemlerden oluşmaktaydı. Bunlar daha çok giriş kontrol sistemleri, hayvan tanımlama ve izleme, havayolları bagaj izleme, ödeme ve müşteri sadakat kartları, otomobil hırsızlığının engellenmesi, elektronik parça izleme (EAS), doküman izleme ve spor aktiviteleri uygulamalarında kullanılıyordu. Bu sistemlerin veri okuma hızı ve menzili daha düşük olmakla birlikte, hız limitleri bu sistemlerde belirli bir zaman dilimi içinde yüzlerce etiket okutulabilmesini engellemektedir. 1990'ların sonunda ultra yüksek frekans pasif (UHF) etiketler, palet, kutu izleme, stok kontrol ve lojistik yönetimi gibi tedarik zinciri sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

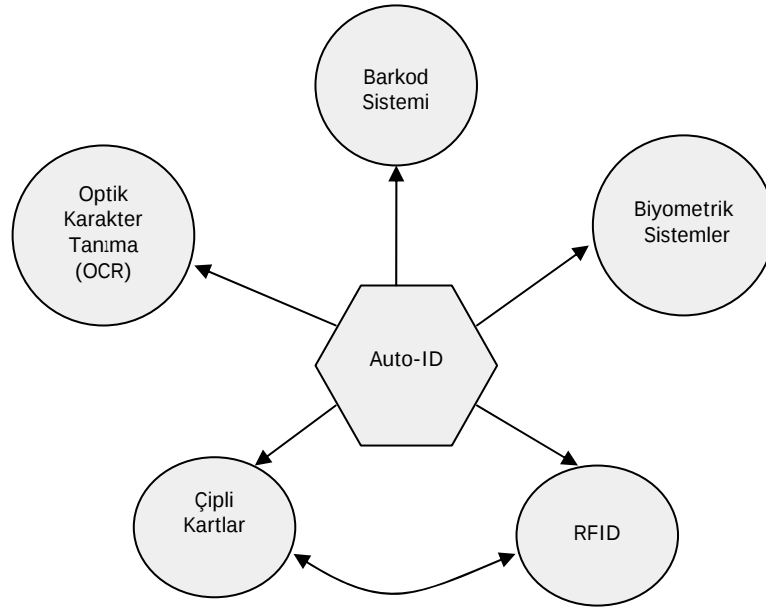
2000'li yıllarda, Wal-Mart ve Metro gibi büyük perakende zincirler, DoD gibi Amerikan hükümet kuruluşları tedarikçilerini RFID sistemlerini kullanmaları için yaptırım kararları almaya başlamıştır. Aynı yıllarda MIT Üniversitesi Auto-ID Laboratuvarı'nın girişimiyle Elektronik Ürün Kodu (EPC) standartlarının gelişmesi için çalışmalar hızlanmıştır. Tedarik zincirinde uluslararası standartların belirlenmesinde faaliyet gösteren GS1 kuruluşu, MIT, Cambridge, St. Gallen üniversiteleriyle işbirliği yaparak EPCGlobal organizasyonunu kurmuştur. Kâr amacı gütmeyen bu kuruluş, RFID standartlarının geliştirilmesi için faaliyet göstermektedir. EPC sisteminde her ürün, RFID etiketinde bulunan tekil bir numara ile izlenebilmekte, internet üzerindeki DNS yapısına benzer bir yapı olan ONS ile EPCIS ağ sistemi üzerinden ürün bilgilerine dünyanın her yerinden ulaşılabilir.

2.2. Otomatik Tanıma Sistemleri

Otomatik Tanıma Sistemleri, nesnelerin kimlik bilgilerinin otomatik bir şekilde toplanmasını sağlayan teknolojilerdir. Günümüzde beş farklı Otomatik Tanıma Sistemi'nden bahsedebiliriz (Şekil 2.2) (**Finkenzeller, 2002**).

- Optik Karakter Tanıma (OCR) Teknolojisi
- Biyometrik Sistemler (Göz, parmak izi tanıma)
- Barkod Teknolojisi

- Çipli Kartlar (Akıllı Kartlar)
- Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID)



Şekil 2.2: Otomatik tanıma sistemleri

Optik karakter tanıma sistemleri, el veya bilgisayar ile yazılmış farklı yazı tiplerinin makineler tarafından okunup anlaşılmasını sağlamaktadır. Ancak sistemin pahalı olması nedeniyle, kullanım alanı dar bir çerçevede kalmaktadır. Örneğin bankalarda çeklerin okutulup sisteme kayıt edilmesinde OCR teknolojisi kullanılmaktadır.

Biyometrikler, kullanıcının fiziksel ve davranışsal özelliklerini tanıyarak kimlik saptamak üzere geliştirilmiş bilgisayar kontrollü otomatik sistemlerdir. İnsan kimlik bilgisinin yüz, ses veya göz gibi biyolojik özelliklerden ortaya çıkarılmasında biyometrik sistemlerden yararlanılır.

Barkod, bir birim malın hangi ülkenin hangi işletmesinde üretildiğini veya ambalajlandığını, malın cinsini ve çeşitli özelliklerini tanımlamak amacıyla, önceden belirlenmiş kurallara uygun çeşitli kalınlıklarda bir dizi dikey paralel çizgi ve bu çizgiler arasında çeşitli genişlikte boşluklardan oluşan bir işaretleme yöntemidir. Normal olarak malın ambalajı üzerine basılan barkod, optik okuyuculu bir kalem yardımı ile veya bir ışın tarayıcısı ile okunabilen bir şifredir (**Malkoç, 2006**). Barkod sistemleri, ürün veya malzeme tanıma amaçlı olarak günümüzde en fazla kullanılan Otomatik Tanıma Sistemi'dir. Bu sistemler ucuz olmakla birlikte, RFID sistemleri karşısında yetersizlikleri bulunmaktadır (Tablo 2.1). Günümüzde çoğu zaman RFID

teknolojisinin barkod teknolojisinin alternatifi olduğu ifade edilse de, iki teknolojinin birlikte kullanıldığı birçok uygulama görülebilmektedir.

Tablo 2.1: RFID ve barkod sistem karşılaştırması

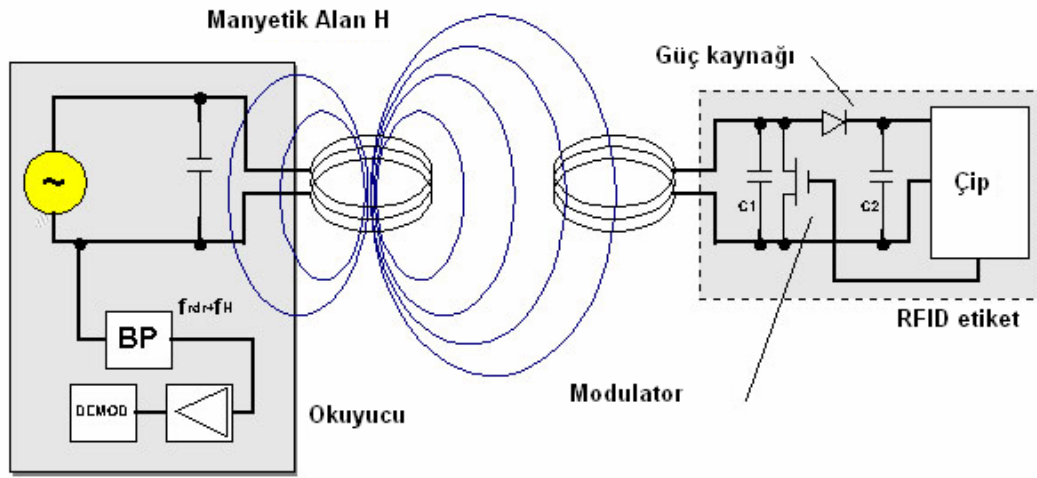
RFID Sistemi	Barkod Sistemi
Etiket ve okuyucu arasındaki veri değişimi hatasız olarak gerçekleşmektedir.	İlk okuma sırasında hata olasılığı her zaman vardır.
Etiket içinde tutulan bilgi değiştirilebilmektedir.	Bilgiyi değiştirmek için etiketi değiştirmek gerekmektedir.
RFID etiketleri içinde saklanabilen bilgi miktarı yüksektir.	Barkod etiketlerinde tutulan bilgi çok daha sınırlıdır.
RFID etiketleri içindeki bilgilerin okunabilmesi için, etiketin okuyucunun görüş alanı içinde olması gerekmektedir. Etki alanı prensibi vardır.	Barkod sistemlerinde etiket üzerindeki kodların lazer okuyucu tarafından okunabilmesi için, etiket kesinlikle okuyucunun görüş alanı içinde yer almalıdır.
RFID etiketleri, kirli ve nemli ortamlar içinde etkilenmemektedir.	Barkod sistemlerinde ise kirlenme ve yıpranma önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.
RFID sistemlerinde etiketler toplu şekilde (aynı anda 100-200 etikete kadar) okunabilmektedir.	Barkod sistemlerinde ise etiketlerin tek tek okunması gerekmektedir.
RFID etiketlerinin okuma hızı yüksektir.	Barkod sistemlerinde okuma hızı düşüktür.
Okuma uzaklığı çeşitli RFID sistemleri için çok yüksek olabilmektedir.	Okuma uzaklığı düşüktür.
Etiketlerin kopyalanması ve içeriğinin gözle okunabilmesi imkânsızdır.	Kolaylıkla kopyalanıp değiştirilebilmektedir.
Etiket okuma işi otomatik bir şekilde gerçekleşmekte ve işçilik maliyeti oluşmamaktadır.	Etiket okuma işi manuel bir şekilde gerçekleşmekte ve işçilik maliyeti oluşmaktadır.

Çipli kartlarda, mikroçip ve okuyucu arasında mekanik temas gerekmekte, zaman içindeki aşınma ve kirlenme, okuyucunun kartı tanımasında sorun çıkarabilmektedir. RFID sistemleri yapısı itibarı ile Otomatik Tanıma Sistemleri arasında en fazla çipli

kartlar ile benzerlik göstermekte, veri değişimi mekanik temas ile değil, radyo dalgaları ile gerçekleşmektedir (**Finkenzeller, 2002**).

2.3. Sistem Bileşenleri

RFID sistemleri, etiket (tag, transponder), okuyucu, okuyucuya bağlı antenler, bilgisayar ve sistem yazılımlarından oluşmaktadır. RFID sistemlerinin çalışma prensibinde veri transferi kilit noktayı oluşturur. Etiket ve okuyucu arasında anten aracılığı ile gerçekleşen veri iletişimine “bağlama (coupling)” adı verilir (Şekil 2.3).



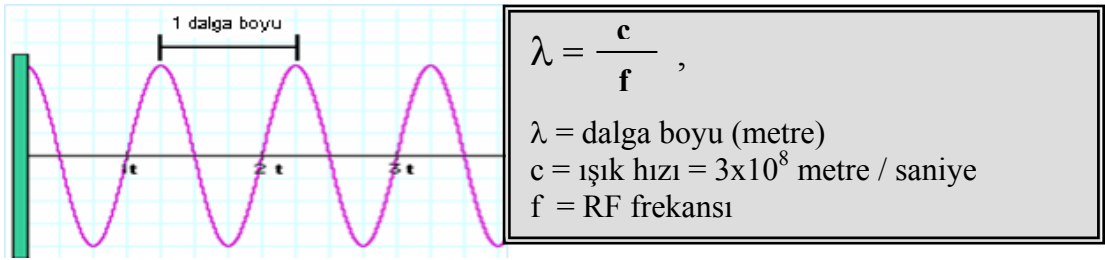
Şekil 2.3: Etiket, okuyucu ve anten bağlantısı (**Finkenzeller, 2002**)

RFID sistemlerinde bağlama iki türlü gerçekleştirilebilir: Elektromanyetik (geri serpm /backscatter) veya manyetik (indüktif). Hangi yöntemin kullanılacağı etiket maliyeti, büyüklüğü, okuma hızı ve uzaklığı gibi uygulama gereksinimlerine bağlı olarak belirlenir. İndüktif bağlama, genelde kısa mesafe RFID sistemlerinde giriş kontrol uygulamalarında kullanılır.

Genelde etiket ve okuyucu arasındaki veri iletişimi, geri serpm modülasyonu ile gerçekleşir. Bu yöntemde okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar antenle buluşmakta ve etiket içindeki devreleri harekete geçirmektedir. Etiket içinde yer alan kondansatör, okuyucudan gelen dalgalarındaki enerjiyi alır, mikroçip bu enerjiyi kullanarak dalgaları okuyucuya geri gönderir ve okuyucu da yeni dalgayı dijital veri haline dönüştürür (**Bhuptani ve Moradpour, 2005**).

2.3.1. Radyo Frekans (RF) Temelleri

Radyo Frekansı kavramı, yayılan elektromanyetik dalgaların frekansı için kullanılır. RF sinyallerinin frekansı 125 KHz'den (saniyede 125 bin çevrim), 5,8 GHz'e (saniyede 5,8 milyar çevrim) değişebilir. RF sinyalleri ışık hızında yayılır ve bir dalganın, birbirini takip eden aynı konumda olan iki noktası arasındaki mesafe dalga boyu olarak adlandırılır. Frekans, ışık hızının dalga boyuna oranı olarak ifade edilir (Şekil 2.4).

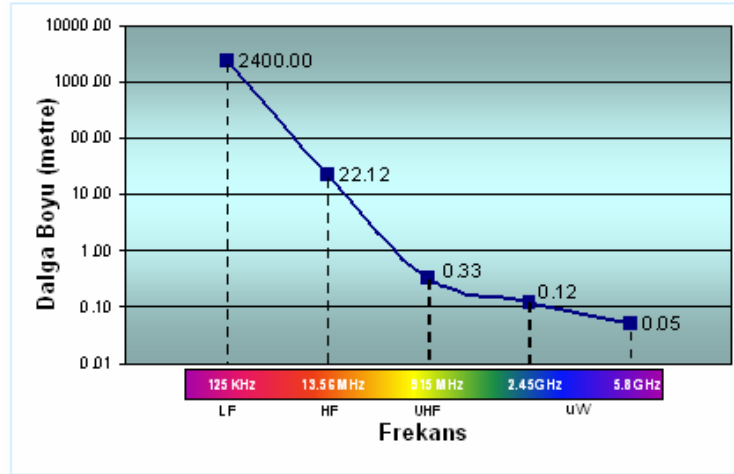


Şekil 2.4: Dalga boyu

RFID sistemleri farklı frekanslarda çalışabilmekte ve farklı özelliklere sahip olmaktadır. RFID sisteminin hangi frekansta seçilmesi gerektiğine, uygulamaların gereksinimleri gözönüne alınarak karar verilir. Temel olarak RFID sistemlerinin çalıştığı dört farklı frekanstan bahsedilebilir. Bu frekansların tanımlandığı aralıklar şu şekildedir (Finkenzeller, 2002):

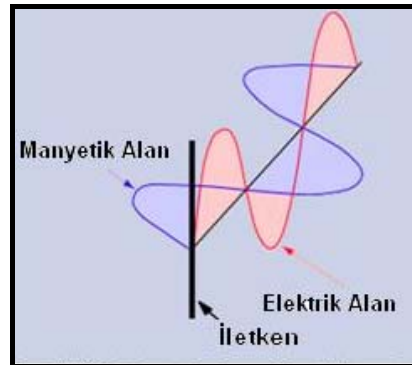
- Düşük Frekans (LF, 30 kHz-300 kHz)
- Yüksek Frekans (HF, 3 MHz-30MHz)
- Ultra Yüksek Frekans (UHF, 300 MHz – 3 GHz)
- Mikrodalga (>3 GHz)

RF dalgalarının frekansı arttıkça, dalga boyu azalır. Farklı frekanstaki dalga boyları Şekil 2.5'te görülebilmektedir.



Şekil 2.5: Dalga boyu ve frekans ilişkisi

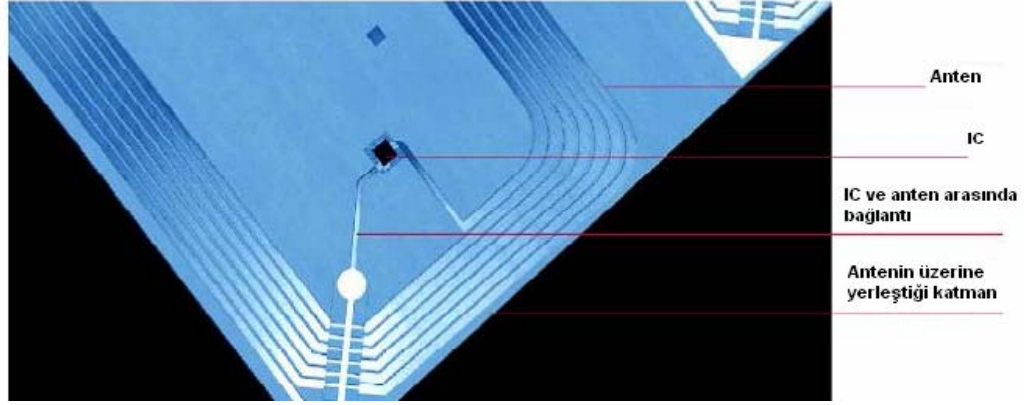
Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik olmak üzere iki alandan oluşmaktadırlar. RFID etiketler, frekansa bağlı olarak veri iletimi sırasında iki alandan birini kullanırlar. LF ve HF frekansları manyetik alanı kullanırken, UHF ve mikro dalga frekansları elektrik alanını kullanırlar (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Manyetik ve elektrik alan ilişkisi

2.3.2. Etiket

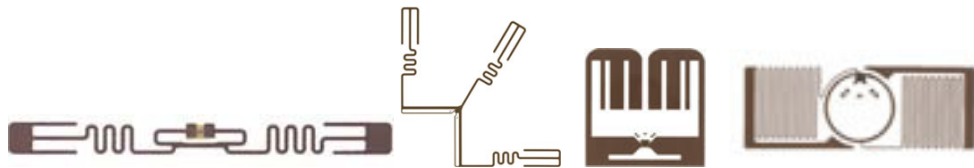
RFID sistemlerinde etiket, transponder olarak da adlandırılır. Transponder sözcüğü İngilizce’de verici (transmitter) ve cevap veren (responder) kelimelerinden oluşturulmuştur. Bugün hemen hemen bütün etiketler, bellek özelliği olan entegre devrelerden (IC), diğer bir ifade ile mikro işlemcili çiplerden oluşmaktadır. RFID etiketi, mikroçip, çevresel anten, anten ve mikroçipin üzerine yerleştiği katman ve yapıştırıcı yüzeyden oluşmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: RFID etiket (Luckett, 2004)

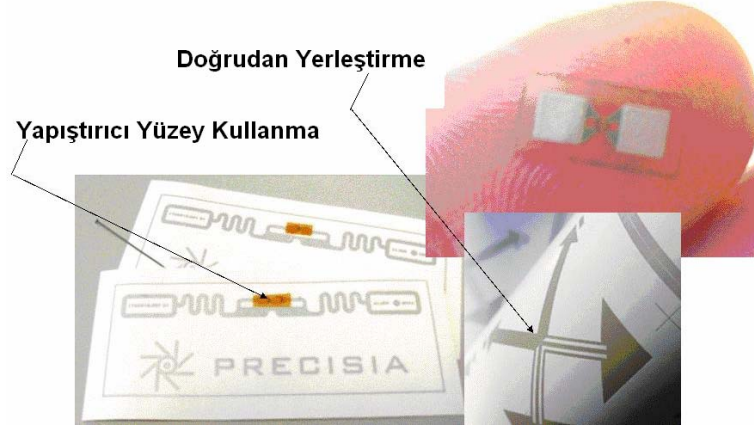
Mikroçip içermeyen etiketler, likit ve metal içerikli ürünlerin üzerinde daha iyi okunma performansına ve daha yüksek okunma mesafesine sahiptir. RF girişimlerinden daha az etkilenir, yüksek ısılarda daha etkin çalışır, kâğıt dokümanlara daha rahat yerleştirilebilir ve çok daha düşük maliyeti vardır. Mikroçip içeren etiketlerin en önemli özellikleri ise yüksek bellek kapasiteleri ve birden fazla etiketin aynı anda hatasız okunabilmesidir (anti-collision).

RFID etiket anteni, fotopolimer yüzeye önceden hazırlanmış bir kalıbın yakılması ya da damgalanması ile oluşturulabilir. Bu yöntemde yüksek iletkenliğe sahip bakır bir katman üretilir. Mürekkep püskürtme olarak adlandırılan diğer bir yöntemde ise karbon-gümüş karışımı iletken partiküller özel yüzeye püskürtülür. Bakır metalden oluşturulan antenler iletkenlik ve sağlamlık açısından daha iyi performansa sahiptir. Gümüş-karbon karışımı antenlerin iletkenliği ise daha zayıftır (bakır antenin % 93-96'sı), ancak daha hızlı bir üretim süreci ve daha düşük maliyeti vardır (bakır antenin %24-44'ü). UHF etiket antenleri genelde gümüş-karbon karışımı mürekkep püskürtme yöntemi ile elde edilir. Anten tasarımı da etiketin performansı ile doğrudan ilişkilidir. Temel olarak frekanslar da anten boyu ile farklılaşır. Çok uzun anten boyları, zayıflamış sinyalleri yakalayabilir. Daha büyük antenle daha yüksek okunma performansı sağlanabilir. Şekil 2.8'de farklı etiket anteni tasarımları görülmektedir.



Şekil 2.8: Farklı etiket anteni tasarımları (www.alientechnology.com)

Mikroçipler etiket anteni üzerine ya doğrudan yerleştirilir ya da yapıştırıcı bir yüzey kullanılarak eklenir. Yapıştırıcı yüzey kullanma, üretim süreci açısından daha kolay ancak daha maliyetlidir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Mikroçip ve anten birleşimi (www.otatraining.com)

Mikroçip ve anten birleşimi tamamlandıktan sonra, “inlay” olarak adlandırılan katman üretilmiş olur. Etiket dönüşüm makineleri yardımı ile etiketin yüzeyine yapışkan özelliği verilir ve nihai RFID etiketi üretilmiş olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: RFID etiket dönüştürme makinesi (www.worldlabel.com)

RFID etiketleri çok farklı biçimlerde şekillendirilebilir. 1-2 milimetreden 10 santimetreye kadar çapı olan, ortası oyuk, vidalanabilir küçük diskler şeklinde olabilir, hayvanların deri altına enjekte edilmek üzere, 12 milimetreden 32 milimetreye kadar uzunluğa sahip cam kapsüller şeklinde oluşturulabilir. Kapı giriş-çıkış kontrollerinde kullanılmak üzere bir saat içine yerleştirilebileceği gibi, bir süpermarkette ürünlerin üzerine yapıştırılabilen akıllı etiket şeklinde de olabilir. Otomatik ödeme sistemleri için plastik kartlara yerleştirilebilir, araç anahtarlarında güvenlik için kullanılabilir, tekstil ürünleri için dikilebilir özelliğe sahip olabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: RFID etiketlerin farklı kullanım şekilleri (Finkenzeller, 2002)

RFID etiketler, kullandıkları enerji açısından aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif etiketlerin kendi sahip oldukları bir enerji kaynağı yoktur. Okuyucunun oluşturduğu elektromanyetik alan içinde etiket aktive olur ve etikette saklanan veriler okuyucuya gönderilir.

Aktif etiketlerde ise destek bir pil bulunmaktadır. Bu şekilde etiket kendi enerjisini kendi üretir. Aktif etiketler çok daha pahalı olmakla birlikte 300 metreye kadar okunma uzaklığına sahiptir. Pasif etiketlerin ise okunma uzaklığı 5-10 metre arasında değişmektedir. Eğer destek pil sadece entegre devre için kullanılıyorsa, etiket yarı-pasif ya da yarı-aktif olarak adlandırılır.

Sadece okunma özelliğine sahip RFID etiketlerinin yanısıra, hem okunma hem de yazılma özelliğine sahip RFID etiketleri de bulunmaktadır. Etiketlin üzerine yazma mesafesi genelde okunma mesafesinin % 70'inden azdır (Kleist ve diğ., 2005). Okunma ve yazılma özelliğine sahip etiketler daha maliyetli olmakla birlikte, daha çok yeniden kullanılabilir taşıma paketleme sistemlerinde kullanılırlar. Bir defa yazılma çoklu okunma özelliğine sahip etiketler, WORM olarak adlandırılmaktadır.

Etiketlerin veri kapasiteleri 1 bit ile başlamakta kilobitlere kadar değişebilmektedir. Genelde mağazalarda güvenlik amaçlı olarak kullanılan EAS etiketleri 1 bit bellek kapasitesine sahiptir. Bu etiketler tekil bir kimlik numarası (ID) içermezler, 1 bit özelliği ile okuyucunun etki alanı içinde olup olmadığını belirten bir sinyal gönderirler. Bellek kapasiteli tipik RFID etiketler 16 bit ile başlar, aktif etiketler için

birkaç yüz kilobit kapasiteye kadar çıkabilir. EPCGlobal standartları çerçevesinde geliştirilen Gen2 standardındaki etiketler 256 bit bellek kapasitesine sahiptir.

RFID etiketler bellek özelliklerinin yanısıra sensor özelliği de taşıyabilirler. Genelde aktif olan bu etiketler sıcaklık, nem, hava basıncı, kimyasal ya da biyolojik özel maddelerin varlığı gibi çevresel durumları ölçerek kaydeder ve gerekli bildirimleri gerçekleştirirler. Tablo 2.2’de enerji kaynağına göre RFID sistem karşılaştırması yer almaktadır.

Tablo 2.2: Enerji kaynağına göre RFID sistem karşılaştırması

Etiket Tipi	Üstün Yanlar	Eksik/Sakıncalı Yanlar	Uygulama
Aktif	Daha yüksek okunma mesafesi, daha yüksek bellek kapasitesi ve sürekli sinyal gönderme	Pil bakımı gerektirmekte, boyutları büyük ve maliyeti yüksek	Yüksek değerli demirbaş izleme, konteynır izleme, araç izleme
Yarı-pasif	Daha yüksek okunma mesafesi, daha yüksek pil ömrü	Maliyet	Yeniden kullanılabilir konteynır ve varlık izleme
Pasif Okuma/Yazma	Daha yüksek ömür, çeşitli formlarda üretilebilme, silinebilir ve programlanabilir olması	Aktiften daha düşük okuma mesafesi	Kutu ve palet uygulamaları
Pasif tek yazma çoklu okuma (WORM)	Birim ürün tanımlaması için uygun	Sınırlı yeniden yazılabilme özelliği	Kutu ve palet uygulamaları
Pasif sadece okuma	En basit yaklaşım	İzleme sırasında verinin güncellenememesi, veri entegrasyonu ve talebe yönelik etiket oluşturulamaması	Kutu ve palet uygulamaları

RFID sistemleri frekans çeşidine göre farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. LF ve HF sistemler, kısa mesafe okuma menzili gerektiren uygulamalar için tercih edilirken, UHF sistemler daha uzak mesafede okuma gerektiren uygulamalarda yer almaktadır. Lojistik ve tedarik zinciri kontrol sistemlerinde UHF RFID sistemleri tercih edilmektedir. Ancak UHF frekansı için dünya üzerinde ortak bir standart geliştirilememiştir. Bu sistemler için Avrupa’da 865,6-867,6 MHz, Amerika’da 902–928 MHz, Japonya’da 953-954 MHz band aralığı kullanılmaktadır. Türkiye, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü’nün (ETSI) belirlediği standartlar

çerçevesinde UHF sistemleri için frekans kullanım aralığını belirlemiştir. Tablo 2.3'te farklı frekans aralıklarında kullanılan RFID sistemlerinin özellikleri ve uygulama alanları belirtilmiştir (Bhuptani ve Moradpour, 2005).

Tablo 2.3: Farklı frekanslarda RFID sistem özellikleri

Frekans	Özellikler	Uygulamalar
Düşük Frekans (LF) 135 KHz'den küçük	- 1980'lerden beri kullanım - İndüktif bağlama - Pasif sistem - Metal ve sıvılarda iyi performans - Düşük veri transfer hızı - Çok kısa okuma mesafesi (< 1) metre - Toplu okuma teknik olarak olanaklı ancak uygulama gerçekleştirilmemiş	- Hayvan tanıma, izleme - Endüstriyel otomasyon - Giriş kontrol
Yüksek Frekans (HF) 13,56 MHz	- 1990'lardan beri kullanım - Ortak dünya standartları - İndüktif bağlama - Pasif veya yarı-aktif sistem - Metal ve sıvılarda iyi performans - LF'den yüksek veri transfer hızı - LF'den daha uzak mesafede okuma özelliği (yaklaşık 1,7 metre) - Toplu okumada yüksek performans (100 etikete kadar – sistem ve çevre koşullarına bağlı olarak)	- Ödeme ve sadakat kartları (akıllı kartlar) - Giriş kontrol - Sahtecilik engelleme - Kitap, bavul ve giysi izleme - Akıllı raflar - İnsan izleme
Ultra Yüksek Frekans (UHF) 430 MHz (aktif) 860 - 930MHz (pasif)	- 1990'lardan beri kullanım - Bölgesel standart sorunları - Geri serpme (Backscatter) modülasyonu - Pasif ve aktif sistemler - Sıvı ve metallerde düşük performans - Hızlı veri transferi - HF'den daha uzak mesafede okuma (pasif için 6+ metre) - Aktif 433 MHz'de 100 metreye kadar okuma - Düşük etiket maliyetleri - Toplu okumada yüksek performans (500 etikete kadar – sistem ve çevre koşullarına bağlı olarak)	- Tedarik zinciri ve lojistik - Stok kontrol - Depo yönetimi - Demirbaş izleme
Mikro Dalga 2,45 GHz - 5,8 GHz	- Son 10-20 yıllık kullanım - Geri serpme (Backscatter) modülasyon - Aktif ve yarı aktif sistemler - Okuma mesafesinde UHF benzerliği - Sıvı ve metallerde düşük performans - Hızlı veri transferi - Toplu okumada yüksek performans (500 etikete kadar – sistem ve çevre koşullarına bağlı olarak)	- Giriş kontrol - Elektronik ödeme - Endüstriyel otomasyon

Farklı RFID sistemlerin, dalga geçirgenliği ve yansıtma özelliklerine göre çeşitli malzemeler üzerindeki etkisi Tablo 2.4'te yer almaktadır (**Lahiri, 2005**). RF-L dalga geçirgenliğine izin veren, RF-O dalgayı engelleyerek yansıtan, RF-A dalgayı soğuran, dalga enerjisini azaltarak geçiren özelliği sembolize etmektedir

Tablo 2.4: RFID sistemlerin farklı malzemeler üzerindeki davranışı

	LF	HF	UHF	Mikro Dalga
Elbise	RF-L	RF-L	RF-L	RF-L
Kuru Odun	RF-L	RF-L	RF-L	RF-A
Grafit	RF-L	RF-L	RF-O	RF-O
Sıvı	RF-L	RF-L	RF-A	RF-A
Metal	RF-L	RF-L	RF-O	RF-O
Motoryağı	RF-L	RF-L	RF-L	RF-L
Kağıt	RF-L	RF-L	RF-L	RF-L
Plastik	RF-L	RF-L	RF-L	RF-L
Şampuan	RF-L	RF-L	RF-A	RF-A
Su	RF-L	RF-L	RF-A	RF-A
Islak Odun	RF-L	RF-L	RF-A	RF-A

Her uygulama kendi içinde farklı RFID etiket kullanımını gerektirmektedir. Bu açıdan bakıldığında uygun etiket seçimi büyük önem arz etmektedir. Dünya üzerinde birçok etiket üreticisi bulunmaktadır. Bunlardan en büyükleri Alien Technologies, Rafsec, Intermec, Symbol-Motorola, Imprimj, Texas Instruments, Savi, NXP, Omron, AWID, Sirit, Wavetrend olarak sayılabilir.

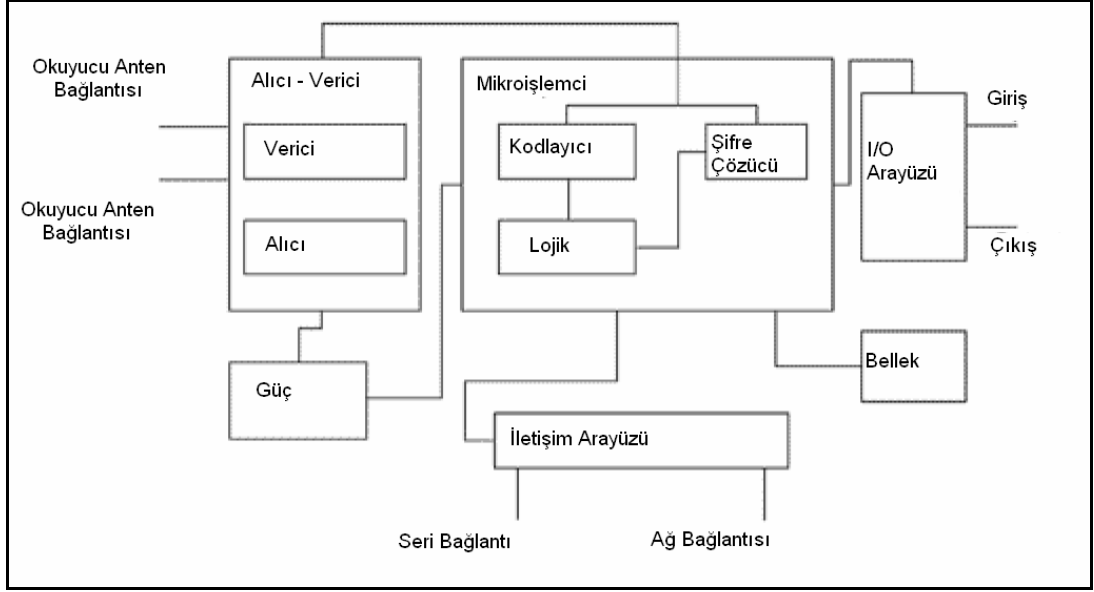
Tedarik zinciri uygulamalarında seçilecek RFID etiketine karar verilirken gözönüne alınması gereken kriterler şunlardır (**Kleist ve diğ., 2005**):

- **Duyarlılık:** Etiket, okuyucudan gelen enerjiyi en iyi şekilde kullanmalı ve geri gönderdiği sinyal yeterli güçte olmalıdır.
- **Yerleştirme:** Etiketın ürün, kutu veya paletin neresinde konumlandırılacağı okunma oranı ile doğrudan ilişkilidir.
- **Etiketın diğer etiketlere olan konumu:** Etiketler birbirlerine çok yakın konumlandırıldığı zaman sinyaller karışabilmektedir.
- **Şekil ve büyüklük:** Daha büyük etiketler daha yüksek okunma mesafesine sahiptir. Bazı kutu ya da ürünlerde etiketler için spesifik bir alan tahsis edilir, etiketin şeklini ve ölçülerini de buna göre belirlemek gerekir.

- **Okunma hızı:** Etiketın okunabilmesi, okuyucunun etki alanında ne kadar süre kaldığı ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin bir depo giriş sisteminde ya da konveyör üzerinde ürünler belirli bir hızda ilerlerken hatasız olarak okunabilmelidir.
- **Okunma sıklığı:** Bir etiket, okuyucunun etki alanı içinde ne kadar sık okunuyorsa hata olasılığı da o kadar azalır.
- **Veri özelliği:** Etiketler uygulamaya göre farklı büyüklükte ve içerikte veri içerebilir.
- **RF karışma (girişim):** Etiketlerin birbirine yakınlığı, paket malzemesinin cinsi ya da çevresel etkenler sebebi ile farklı okuyuculardan gelen sinyaller karışabilir.
- **Çevresel koşullar:** Buhar, nem, aşındırıcı kimyasallar ve soğuk, etiketin üzerindeki yapışkanlığı etkileyebilir.
- **Yeniden kullanılabilirlik:** Etiketler süreç içinde yeniden kullanılabilir.
- **Uluslararası taşımacılık ile ilgili düzenlemeler:** Küresel standartlar, özel frekans kullanımını gerektirebilir.
- **Toplu okuma özelliği (anti-collision):** Belirli bir alanda toplu halde okunması gereken etiket sayısı belirlenmelidir.
- **Okuyucu:** Okuyucunun, etiket standardını destekliyor olması gerekir.
- **Sensor bazlı kullanım:** İş süreçleri dahilinde ürünlerin son kullanım tarihi ve ortam sıcaklığı bilgilerinin izlenmesi gerekebilir.
- **Güvenlik:** Verinin gizliliği için şifreleme vb. güvenlik ihtiyaçları olabilir.

2.3.3. Okuyucu

RFID okuyucu, antenleri aracılığı ile kodlanmış dijital bilgiyi radyo dalgası formatında etikete gönderir ve aktive olmuş etiketten geri gönderilen sinyali alır. Hem etiket içindeki veriyi okuyabilir, hem de etiket üzerine veri yazabilir, bununla birlikte bir veya birden fazla frekans aralığını destekleyebilir. Okuyucu sistemi, alıcı, verici, bellek, kontrol işlemcisi, giriş / çıkış (I/O) arayüzleri ve antenlerden oluşur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: RFID okuyucu sistemi (Lahiri, 2005)

Okuyucular sabit, el terminali ve mobil olmak üzere üç çeşittir. Sabit okuyucular, duvarlara veya kapılara monte edilebilir, harici bir güç kaynağı vardır ve genelde birden fazla anten içerir. El terminallerinde anten, donanımın içine yerleştirilmiştir, genelde kablosuz ağ ile IT altyapısına bağlıdır, mobilitesi (taşınırılığı) yüksektir ve güç kaynağı olarak pil kullanılır. Mobil okuyucular, laptop PC'ler için PCMCIA kartları içerir, PDA özelliğine sahip olabilir, bir kısmında mobil telefon özelliği de bulunmaktadır. Ayrıca forklift gibi lojistik taşıma araçlarına monte edilerek de kullanılabilir. Kablosuz ağ üzerinden IT sistemine bağlanır, genelde bir pil veya araç aküsünden enerjisini alır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: RFID okuyucu çeşitleri (www.autoidlabs.org)

İki veya daha fazla etiket aynı anda okuyucuya sinyal gönderirse, bu işlem çarpışma (collision) olarak adlandırılır. Çarpışma sürecinde bir okuyucunun her etiketi belirli

bir zaman aralığında okuması sağlanır. Çarpışmanın engellenmesi (anti-collision) için probabilistik ve deterministik olmak üzere iki tür algoritma kullanılır.

Probabilistik algoritmalarında (asenkron), etiketler rassal olarak belirlenen zaman aralıklarında okuyucuya cevap verir. İşleyiş Aloha yapısı adı verilen bir sisteme dayanır. Sistemde veri paketlerinin transferinde bir düğüm noktası oluşturulur, eğer bu düğüm noktası doyumluğa ulaşmış ise çarpışma oluşmuş demektir. Böyle bir durumda veri paketinin transferi yeniden gerçekleştirilir. Okuyucu çarpışma oluşmayana dek sinyal göndermeye devam eder, sinyal gönderim süreci kesikli ya da sürekli olabilir. ISO 15693 standardı kesikli Aloha modunu içeren bir çarpışma engelleme (anti-collision) algoritmasını destekler. 13,56 MHz bandında yer alan sistemler genelde bu algoritmayı kullanır.

Deterministik algoritmalarda (senkron), okuyucu etiketleri tekil kimlik numaralarına göre sıralar. En basit deterministik yapı, ikili ağaç yürüyüşü olarak adlandırılır. Okuyucu, olası kimlik numaralarını arar. Tekil kimlik numarası bilgisine dayanan, zaman alıcı bir yöntemdir. Ağaç yapısı içindeki her düğümde, okuyucu belirli etiket numarasını arar. Bu algoritma genelde UHF sistemlerde kullanılır.

Okuyucuların, etiket yönetimi için kullandığı üç temel komut bulunmaktadır. Bunlar seçme (select), stok (inventory) ve giriş (access) olarak adlandırılmaktadır. Seçme komutunda hangi grup etiketlerin cevap vermesi gerektiği belirlenir. Örneğin sadece belirli bir özelliğe (özel bir tarih ya da imalatçı kodu) sahip etiketlerin okunması bu komut ile gerçekleştirilir. Stok komutu ile belirli bir grupta yer alan etiketlerin ayrıştırılması ve tekil numara bilgilerinin tanınması sağlanır. Giriş komutu, belirli bir etiketin üzerinde işlem yapılmasını sağlar. Giriş komutuna bağlı dört temel komut ile etiketin üzerinde farklı işlemler gerçekleştirilebilir.

- **Oku (read):** Etiketin içindeki farklı veri bloklarının okunabilmesini sağlar.
- **Yaz (write):** Etiketin üzerine spesifik bir verinin yazılabilmesini sağlar.
- **Öldür (kill):** Etiket kullanılamaz hale getirir.
- **Şifrele (lock):** Etiket şifrelenmesini sağlar.

Bu komutların yanısıra belirli özelliğe sahip etiketlerin toplu olarak okunması, yazılması ya da bilgilerinin silinmesi sağlanabilir.

Okuyucularda sinyal karışmasını engelleyen “yoğun okuyucu modu” (dense reader mode) adlı bir özellik bulunur. Her okuyucu birbirine yakın farklı frekans kanallarında çalışarak çakışma engellenir (frequency hopping). Bir okuyucu önce çevresinde çalışan başka bir okuyucu olup olmadığını belirler (listen before talk) ve sonra kendine bir frekans seçer. Örneğin Amerika UHF frekansı için 902 – 928 MHz band aralığını kullanmaktadır ve bu band aralığında okuyucunun sinyal gönderebileceği 50-60 kanal vardır.

Çok sayıda okuyucunun birbirine yakın ve aynı zamanda çalıştığı durumlarda sinyal karışıklığının meydana gelmesi yüksek bir ihtimaldir. Bunun sebebi; antenlerin büyüklüğü, çıkış gücü, antenler arasındaki uzaklık ya da yakın çevrede bir engelleyici siperin varlığı ya da yokluğu olabilir. Sinyal çakışmasını engellemek için bazı senkronizasyon yöntemleri kullanılır:

- **Yazılım senkronizasyonu:** Çok sayıda okuyucu tek bilgisayarda aynı iletişim arayüzüne bağlanırsa, bilgisayar her okuyucunun sinyalini farklı zaman aralıklarında gönderebilir.
- **Çoklu dağıtıcı:** Tek bir okuyucuya dağıtıcı üzerinden çok sayıda anten bağlanarak farklı zaman aralıklarında sinyal gönderilebilir.
- **Siper oluşturma:** Çıkış gücü fazla olan okuyucularda gücün azaltılması için kullanılabilir. Siper, çevredeki metal yüzeylerin performansı etkilememesi için bir engel olarak da kullanılabilir. Aynı zamanda yansımanın sağlanması için metal yüzeyler de siper olabilir. Siperin büyüklüğü belirlenirken antenin çevresinde oluşturduğu RF alan gözönüne alınmalıdır. Siper, anten yüzeyinin en az iki katı olmalı ve antenin çok yakınında bulunmamalıdır.

RFID uygulamalarında seçilecek okuyucuya karar verilirken gözönüne alınması gereken kriterler şunlardır:

- Frekans aralığı
- Farklı hava arayüz protokollerine sahip etiket çeşitlerini desteklemesi
- Ülkenin yerel düzenlemelerine uyum sağlaması (frekans-çıkış gücü)
- Etiket okuma ve yazma sürecinde kullandığı bellek kapasitesi
- Diğer ağ okuyucu ve bilgisayarları ile bağlantı için gerekli arayüzlerin bulunup bulunmadığı

- Çıkış gücü
- Farklı anten çeşitlerini desteklemesi ve değişik koşullar altında dinamik olarak ayarların yapılabilmesi
- Farklı bileşenler ile bağlantı için dijital giriş-çıkış ve kontrol devrelerinin varlığı
- Güncel firma yazılımları ile versiyonun yükseltilebilmesi

2.3.4. Anten

Anten, okuyucunun ürettiği radyo sinyallerini yayar. Uygulamaya özel olarak kapı geçiş sistemi ya da tünel şeklinde tasarlanabilir, depo kapısına veya forklift üzerine monte edilebilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: RFID anten çeşitleri (www.autoidlabs.org)

Antenin büyüklüğü, sistem frekansı ile ilişkilidir. Fiziksel görüntüsü her zaman gerçek büyüklüğünü göstermez, kaplandığı malzeme ya da muhafazası, anteni olduğundan büyük gösterebilir. Antenler kapı şeklinde iki taraflı olarak yerleştirildiğinde “portal” olarak adlandırılır (Şekil 2.15).



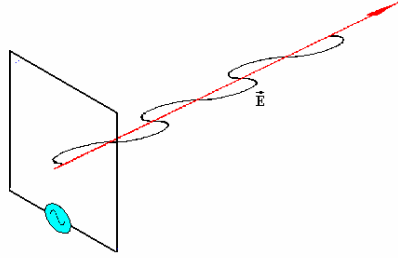
Şekil 2.15: RFID portal yapısı (www.futurestore.org)

Anten polarizasyonu, radyo dalgasının antenden ne şekilde yayılacağını belirler ve etiket okunma performansı ile doğrudan ilişkilidir. Doğrusal ve dairesel olmak üzere iki çeşit polarizasyondan bahsedilebilir. Okuyucu anteni ve etiket anteninin

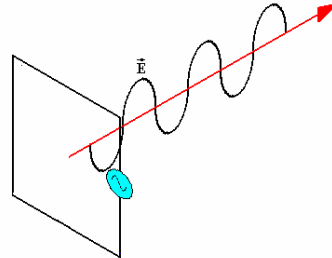
aynı polarizasyona sahip olması gerekmektedir. Aynı polarizasyona sahip olmadığı taktirde sinyal kaybına ve okuma mesafesinde azalmaya sebebiyet verir.

Doğrusal polarizasyonda, radyo dalgaları doğrusal olarak dikey veya yatay düzlemde yayılır. Genelde daha uzak okuma mesafesine sahiptir. Dairesel polarizasyonda, dikey ve yatay düzlemde radyo dalgaları daireysel olarak yayılır (Şekil 2.16).

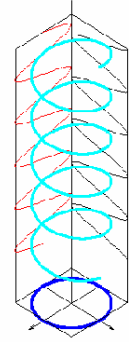
Yatay Doğrusal Polarizasyon



Dikey Doğrusal Polarizasyon



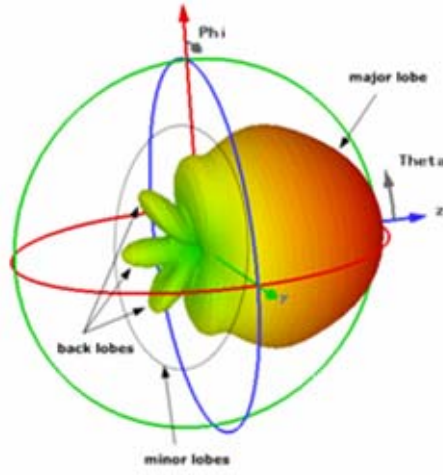
Dairesel Polarizasyon



Şekil 2.16: Anten polarizasyonu

Etiketin cinsi ve yapısı biliniyorsa doğrusal polarizasyonda anten kullanmak daha iyi sonuçlar verebilir, ancak uygulamalarda böyle bir kesin bilgi bulunmadığı için genelde üretici firmalar daireysel polarizasyona sahip antenleri tercih ederler.

Okuyucunun gönderim gücü sabit iken, yayınının (ışınım) antenin üzerinden geçişi sırasında bir güç yoğunlaşması yaşanır, bu duruma anten kazancı denir. RFID sisteminin etkin ışıma gücü hesaplanırken, vericinin gücüne, anten kazancı eklenir ve iletim hatlarında (kablo vb.) kaybedilen güç çıkarılır. Antenler ışıma sırasında çevresinde bir etki alanı oluşturur. RFID etiketinin aktif hale gelebilmesi için, bu ışıma örüntüsü içinde olması gerekmektedir. Şekil 2.17’de bir antenin üç boyutlu ışıma örüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.17: Işıma örüntüsü (www.rfprop.com)

2.3.5. Yazıcı

RFID yazıcı, akıllı etiketlerde bulunan RFID çiplerine bilgi yazmak üzere özel olarak tasarlanmış etiket yazıcısıdır. Yazıcı, çipi test eder; çipin üzerine yazar; daha sonra da, barkod ve diğer verileri içeren etiketi basar. Yazıcının hareketli süreçlerde (örn. konveyör sistemleri) adapte edilmesi için otomatik etiketleme otomasyon sistemleri kullanılabilmektedir (Şekil 2.18) (www.webermarking.com).



Şekil 2.18: RFID yazıcı ve etiketleme sistemi (www.italora.it)

RFID uygulamalarında kullanılacak otomatik etiketleme sistemine karar verilirken gözönüne alınması gereken kriterler şunlardır:

- **Hacim:** Aylık ya da haftalık periyotlarda uygulamanın gerçekleştirileceği kutu (ürün) adedi
- **Verim:** Otomasyon sisteminin uygulama açısından hızı, doğruluğu ve sağladığı işgücü kazancı

- **Uygulama yönetimi:** Okunma performansı açısından etiketin ürünün üstüne mi yoksa yan yüzeyine mi yapıştırılacağı ve yapıştırma sırasında ne kadar basınç uygulanacağı
- **Kalite yönetimi:** Yapıştırma anında etiketin çalışıp çalışmadığının test edilebilmesi
- **Temin süresi:** Yeni sistemin hızının temin süresi üzerindeki etkisi

Dünya üzerindeki büyük RFID yazıcı üreticileri arasında Avery Dennison/Paxar, Datamax, IBM, Intermec, Printronix, Sato America ve Zebra Technologies gibi firmalar bulunmaktadır.

2.3.6. Yazılım

RFID yazılımları etiket, okuyucu ve bilgisayar arasındaki ilişkiyi sağlayan üç farklı kategoride incelenebilir (**Bhuptani ve Moradpour, 2005**):

- Sistem yazılımı
- Ara katman yazılım
- Uygulama yazılımı

RFID sistem yazılımı, etiket ile okuyucu arasındaki etkileşimi sağlar. Etiket okuma/yazma, belirli bir zaman aralığında çok sayıda etiket okunması, hatalı verinin tespiti veya düzeltilmesi ile okuyucu-etiket arasında güvenlik amaçlı doğrulama işlemlerini gerçekleştirir. Genelde sistem yazılımları, RFID donanımı içinde hazır bulunmaktadır.

Ara katman yazılım, kurumsal kaynak planlama, depo ve tedarik zinciri yönetimi gibi uygulama yazılımları ile etiket, okuyucu ve yazıcı gibi RFID donanım sistemleri arasında köprü görevini üstlenir. Ortamda bulunan okuyucuları, sensorları ve yazıcıları izler. Ham veriyi toplar, işler, filtre eder, birleştirir ve istenilen formatta uygulama yazılımına iletir. EPCGlobal, ara katman yazılımların uygulama seviyesindeki işlemleri için ALE standartlarını, ISO ise bu yazılımlar ile ilgili olarak ISO/IEC 9126 standardını geliştirmiştir. SUN, SAP, IBM, Microsoft, Oracle, OAT Systems gibi birçok bilinen yazılım firması, bugün kendi ara katman yazılımlarını üretmişlerdir. ERP üreticileri, ürünlerinin RFID teknolojisi ile birlikte kullanılabilmesini sağlayabilmek için kendi ara katman yazılımlarını piyasaya

sunmuşlardır. Ara katman yazılımı seçiminde firmaların, iş akışlarını kolayca adapte edebileceği, esnek altyapısı olan yazılımları tercih etmesi önem arz etmektedir.

Uygulama yazılımları, anlamlı hale getirilmiş RFID verisini ara katman yazılımı aracılığı ile elde ederler. Stok kontrol, depo yönetimi, kurumsal kaynak planlama (ERP) vb. yazılımlar bu kategoride yer almaktadır.

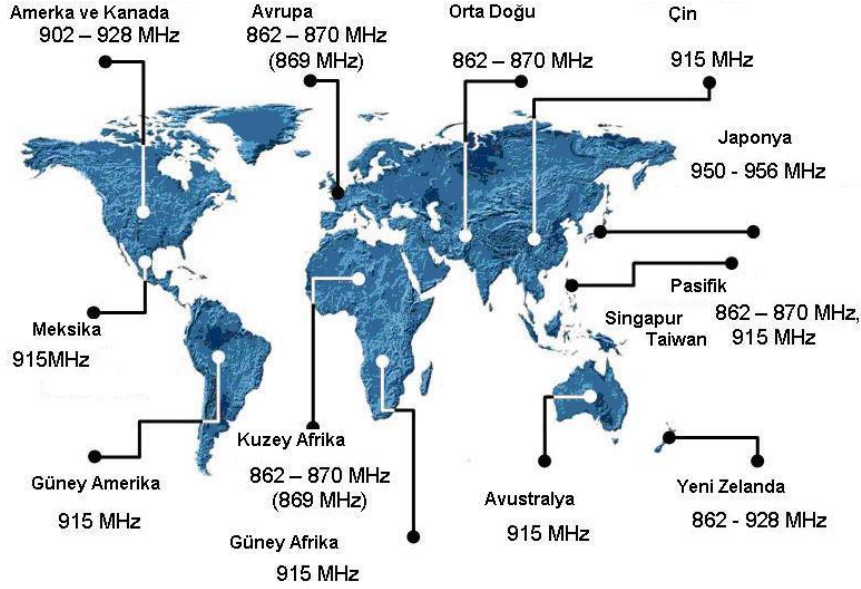
2.4. Standartlar

RFID sistemlerinde uluslararası standartların gelişmesi, uygulamaların yaygınlaşması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Ortak RFID standartlarının gelişmesi ile farklı üreticilerin okuyucu ve etiketleri arasında çalışabilme uyumunun sağlanması donanım maliyetlerini aşağı çekecektir.

Bugün özellikle UHF spektrumunda RFID standartlarının oluşturulması için iki uluslararası organizasyon, EPCGlobal ve ISO çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürmektedir. EPCGlobal, EPC Sınıf 1 Gen2 standardını 2004 yılı sonunda piyasaya sürmüştür. ISO ise 18000-6 standardını Ağustos 2004'te duyurmuştur. İki standardın birbiri ile uyum süreci 2006 yılı sonuna kadar devam etmiştir. EPC Gen2 standardı ile palet ve kutu seviyesinde yapılan pilot çalışmalarda başarılı sonuçlar ortaya çıkmış, ancak ürün seviyesinde yapılan çalışmalarda güvenlik konusunda bazı ihtiyaçların olduğu görülmüştür. Bu nedenle EPCGlobal'ın önümüzdeki yıllarda Gen3 standardını piyasaya sürmesi beklenmektedir. Uluslararası standart kuruluşları arasında ISO ve EPCGlobal'ın yanısıra AIM, ABD menşeli ANSI, FCC ve Avrupa menşeli ECC, ETSI gibi organizasyonlar da bulunmaktadır.

Ülkelerin UHF radyo spektrumu konusunda uyum içinde olmaması, standartların gelişmesinde zorluklar oluşturmaktadır. Amerika ve Kanada, UHF RFID sistemlerini 902 – 928 MHz band aralığında kullanırken, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) 865,6 ve 867,6 MHz band aralığını Temmuz 2004'te UHF RFID kullanımı için tahsis etmiştir. Japonya, Mayıs 2005'de yayınladığı genelgede UHF RFID sistemlerini 953 ve 954 MHz band aralığında kullanacağını açıklamıştır. Ülkemizde, Türk Telekomünikasyon Kurumu tarafından güncel Kısa Mesafe Erişimli Telsiz (KET) Yönetmeliği 17 Mart 2007 tarihli ve 26464 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmıştır. Buna göre 2 Watt çıkışlı UHF RFID sistemleri 865,6 ve 867,6 MHz band aralığını Avrupa ile uyumlu olarak kullanacaktır.

UHF spektrumunda farklı dünya ülkelerinin kabul ettiği band aralıkları Şekil 2.19’da yer almaktadır. Uluslararası Telekomünikasyon Kurumu (ITU), global radyo spektrumu açısından dünyayı üç bölgeye ayırmıştır. Birinci bölge Avrupa, Orta Doğu, Afrika, Rusya, ikinci bölge Amerika, üçüncü bölge Avustralya dahil olmak üzere diğer Asya ülkelerini kapsamaktadır.



Şekil 2.19: Dünya UHF spektrum kullanımı (www.otatraining.com)

RFID standartları, veri katmanı, fiziksel katman ve uygulama katmanı olarak üç kısımda incelenebilir (Knospe ve Pohl, 2004):

- **Veri katmanı:** Etiketlerin toplu halde okunabilme özelliği (anti-collision), veri içeriği ve etiket iletişim protokolü ile ilgili standartları içerir. Örneğin anti-collision algoritmalarının kalitesinin belirlenmesinde performans, menzil, band genişliği gereksinimleri, uygulama maliyetleri, gürültü - hata toleransları ve güvenlik gibi kriterler kullanılmaktadır (Weis ve diğ., 2003).
- **Fiziksel katman:** Hava arayüz fonksiyonlarını içerir. Hava arayüz protokolleri, etiketin nasıl aktive edildiği, etiket içinde verilerin nasıl depolandığı ve okuyucuya nasıl iletildiği ile ilgilenir. Etiket ve okuyucunun iletişim şeklini tanımlar, farklı üreticilerin ürünlerinin birbirleri ile uyum içinde çalışmasını sağlar.
- **Uygulama katmanı:** Belirli uygulamalarda standartların nasıl kullanılması gerektiğini belirler. Bu katman kapsamında yer alan uygunluk katmanı da

ürünlerin test sonuçlarına dayalı beklenen performans ve operasyon kriterlerini sağlayıp sağlamadığı ile ilgilenir.

2.4.1. EPCGlobal ve Ağ Yapısı

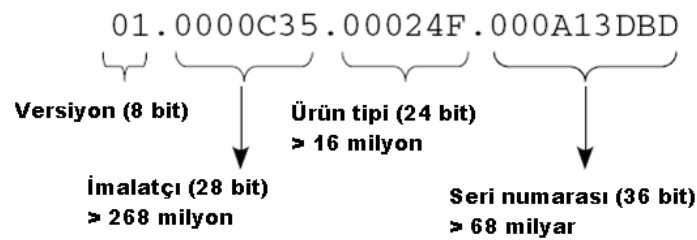
EPCglobal, tedarik zincirindeki bir ürünün küresel olarak, anında ve otomatik tanımlanması ve izlenmesi için var olan iletişim ağı altyapısını, RFID teknolojisi ve Elektronik Ürün Kodu (EPC) ile birleştiren küresel standartlar sistemidir.

RFID konusunda küresel standartların eksikliğini gidermek amacıyla 1999 yılında ABD'deki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (M.I.T.) ilk Auto-ID Merkezi kurularak çalışmalar başlatılmıştır. Dünyanın değişik yerlerindeki altı üniversitede bu merkezler kurulmuş, GS1 organizasyonu ve yüzü aşkın şirket tarafından da desteklenerek çalışmalar devam etmiştir.

Auto-ID Merkezleri, EPC ile numaralandırma biçimini ve tedarik zinciri verisinin bulunduğu EPCglobal ağını temel alan bir dizi çözüm ortaya koymuştur. 2003 yılında GS1 ve GS1 US arasındaki bir ortaklık ile EPCglobal organizasyonu kurulmuştur. EPCglobal organizasyonunun amacı EPCglobal ağı için küresel standartları geliştirmektir. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği bünyesindeki GS1 Türkiye, ülkemizin EPCglobal ve diğer GS1 Sistemi standartları konusundaki temsilcisidir.

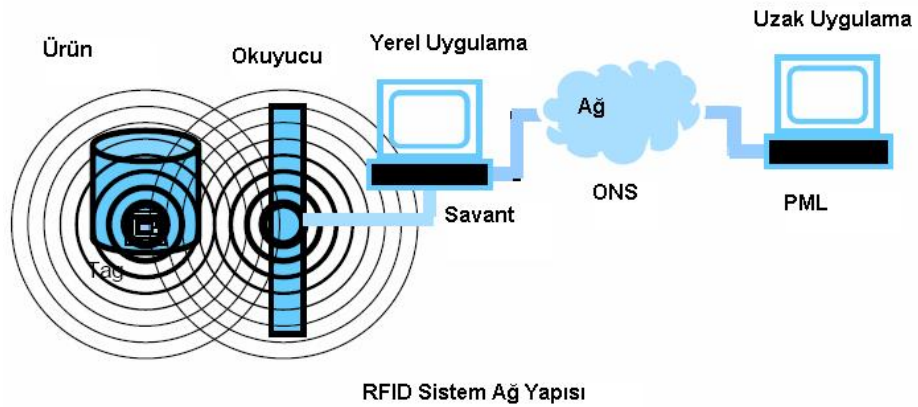
EPCGlobal, malzemelerin otomatik tanımlanması ve bunların elektronik ortamlardaki veritabanlarına aktarılması için EPC ağ yapısını oluşturmuştur. EPC ağ yapısı, aşağıdaki teknolojik bileşenleri içermektedir:

- **Elektronik Ürün Kodu (EPC):** Her bir malzeme için tek bir tanımlayıcı kod bulunmaktadır. Şekil 2.20'de gösterildiği gibi elektronik kod dört kısımdan oluşmaktadır: (a) EPC kod versiyonu, (b) üretici / imalatçı bilgisi (c) ürün tipi ve (d) ürünün seri numarası.



Şekil 2.20: EPC kod yapısı (96 bit versiyon) (www.autoidlabs.org)

- **Düşük maliyetli etiket ve okuyucular:** EPCGlobal'ın en çok kullanılan tasarımı, küresel tedarik zincirleri için oluşturulan Sınıf 1 düşük maliyetli, pasif ve sadece okunabilme özelliği olan türdür. EPC kodu için 64 ya da 96 bit kapasite tahsis edilmiştir. Boş etiketlerin tek seferlik yazılma özelliği bulunmaktadır. Etiketlerin üzerine yazılan EPC kodu bir daha değiştirilemez.
- **Savant:** Okuyucu altyapısı ile ana bilgisayar sistemi arasında konumlandırılmış ara katman yazılımıdır. Görevi, RFID okuyucularından gelen ham EPC verisini toplamak, süzmek (filtrelemek) ve birleştirerek ana işletim sistemine aktarmaktır.
- **Nesne İsim Servisi (ONS):** EPC kodunu malzemeyle ilgili daha çok bilginin bulunacağı, bir veya daha fazla internet adresine (URL) yönlendirmek için kullanılır. İnternet sisteminde kullanılan DNS'in, RFID sistemlerindeki karşılığı olarak tanımlanabilir. Ağ altyapısı içindeki birimler arasında veri iletişimi özel olarak geliştirilmiş PML yazılım dili ile gerçekleştirilir. Bu yazılım dilinin İnternet sistemlerindeki karşılığı XML'dir.
- **EPC Bilgi Servisi (EPCIS):** Tedarik zinciri üyelerinin, EPC verilerini standart bir ara yüzle kendi aralarında paylaşmalarını sağlayan ağ altyapısıdır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: EPC ağ yapısı (www.autoidlabs.org)

EPCGlobal kapsamında oluşturulan standartları şu şekilde belirtebiliriz:

- EPC Fiziksel Nesne Değişim Standartları
 - o Etiket Verisi Standardı

- o Etiket Verisi Çevrim Standardı
 - o Sınıf 1 Gen2 UHF Hava Arayüz Standardı
- EPC Altyapı standartları
 - o Okuyucu Protokolü Standardı
 - o Okuyucu Yönetimi Standardı
 - o Düşük Seviye Okuyucu Protokolü Standardı
 - o Uygulama Seviyesi Olayları (ALE) Standardı
 - o Nesne Adlandırma Hizmeti (ONS) Standardı
- EPC Veri Değişim Standartları
 - o EPC Bilgi Servisi (EPCIS) Standardı
 - o EPCglobal Sertifika Profili Standardı
 - o Elektronik Şecere (Soy) Standardı

EPCglobal, RFID etiketlerinin ve okuyucularının kullanılmasını küresel boyutta düzenlemek amacıyla sırayla UHF Sınıf 0, Sınıf 1 ve Sınıf 1 Gen2 standartlarını geliştirmiştir. Gen 2 standardı Aralık 2004'te onaylamıştır. UHF Sınıf 1 Gen2 standardı Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından EN 302 208 standardı olarak ve Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı tarafından ISO/IEC 18000-6C standardında kabul edilmiştir. EPCGlobal'in ISO standartları hava arayüzü protokollerini kullanmak yerine kendi standartlarını geliştirmesinin sebebi, açık tedarik zincirinde kullanılabilecek, daha ucuz, daha iyi performans gösteren, tek kullanımlık etiket tiplerinin oluşturulmasıdır. Özellikle UHF üzerinde çalışmaların yoğunlaşmasının sebebi, okuma / yazma menzilinin daha yüksek ve tedarik zincirine daha uygun olmasıdır.

EPCGlobal, etiket yeteneklerini ayrıştırmak için farklı sınıflar oluşturmuştur. Her üst sınıf, bir önceki sınıftan daha fazla özelliğe sahip olup, bir önceki sınıfın tüm özelliklerini içermektedir. EPC Gen1 pasif etiketleri için beş farklı sınıftan bahsedilebilir. Sınıf 0 etiketler, sadece okunabilme özelliğine sahip olmakla birlikte, elektronik kodu etiket üreticisi tarafından önceden yazılmıştır. Sınıf 1 etiketler, bir defa yazılıp çok defa okunabilmektedir (WORM). Sınıf derecesi 2, 3 veya 4 olan RFID etiketler yüksek kapasiteli aktif veya sensor tabanlı etiketlerdir.

Gen1 ve Gen2 arasındaki en büyük fark, Gen2’de global bir protokolün var olmasıdır. İlk jenerasyon Sınıf 1 ve Sınıf 0 EPC etiketleri, aynı okuyucu tarafından okunamıyordu. Ancak Gen 2 standardı bu bütünleştirmeyi sağlamıştır. Gen2’de veri kapasitesi 256 bit, saniyedeki okuma kapasitesi ideal durum için 1.700 etikettir. Ancak gerçekte okuyucuda hatasız toplu okuma için kullanılan algoritmalar ve diğer fonksiyonel özellikler devreye girdiğinde, saniyede okunan etiket miktarı bu değerin onda birine düşmektedir. Avrupa’da saniyede okunan etiket miktarı ideal durum için 600 adettir. Yazma hızı ise saniyede 7 etiketin üstündedir.

Gen2 sistemlerde okuma kalitesi yüksektir ve hatalı okuma oranı düşüktür. Gen2 etiketleri, Gen2 okuyucusuna bilinen belirli bir zaman aralığında cevap verir. Bu zaman aralığı saniyenin dört milyonda biri kadar bir süredir. Etiket cevap bu aralığın dışında kalırsa, okuyucu etiketin okunmasını iptal eder. Ayrıca etiket okuyucuya belirli bir dalga formunda veri gönderir, bu da okuyucunun Gen2 etiketini tanımasını sağlar.

Gen2 okuyucuları, veri iletişimini güvenli hale getirmek için okuma sırasında etiketten rassal sayı talep eder. Etiket bu sayıyı kontrol ederek okuyucuya cevap verir. Rassal sayı düzeneği, verilerin ve şifrenin korunmasını sağlar. Bu düzenek Q algoritması olarak adlandırılır. 32 bit “öldürme” şifresi de yetkilendirilmemiş bir kullanıcının etiketi kullanım dışı bırakmasını engeller.

EPC Gen2 etiketlerin bellek alanı 4 kısımdan oluşur:

- **Rezerv Bellek:** Erişim (access) ve kullanım dışı bırakma (öldürme- kill) şifrelerinin kullanımı için iki bölümden oluşur. Her bölüm 32 bit olmak üzere toplam 64 bit bellek alanına sahiptir.
- **EPC Bellek:** 32 bitlik kısmı protokol kontrolü için, 96 bitlik kısmı her ürüne atanan EPC kodu için oluşur. Toplam 128 bit kapasite içerir.
- **Etiket Tanımlama Belleği:** 12 bit içeren bu bellek, etiketin modelini, ISO tanımlama ve gizlilik numaralarını içerir.
- **Kullanıcı Belleği:** 32 bit içeren bu kısım özel verilerin kaydı için opsiyonel olarak kullanılır. Kullanıcı tarafından tanımlanır.

Gen2 etiketleri tedarik zincirinde kitlesel kullanımlar için tasarlandığı ve daha küçük bir kalıp ve çip içerdiği için malzeme maliyeti de ucuzdur.

2.4.2. ISO Standartları

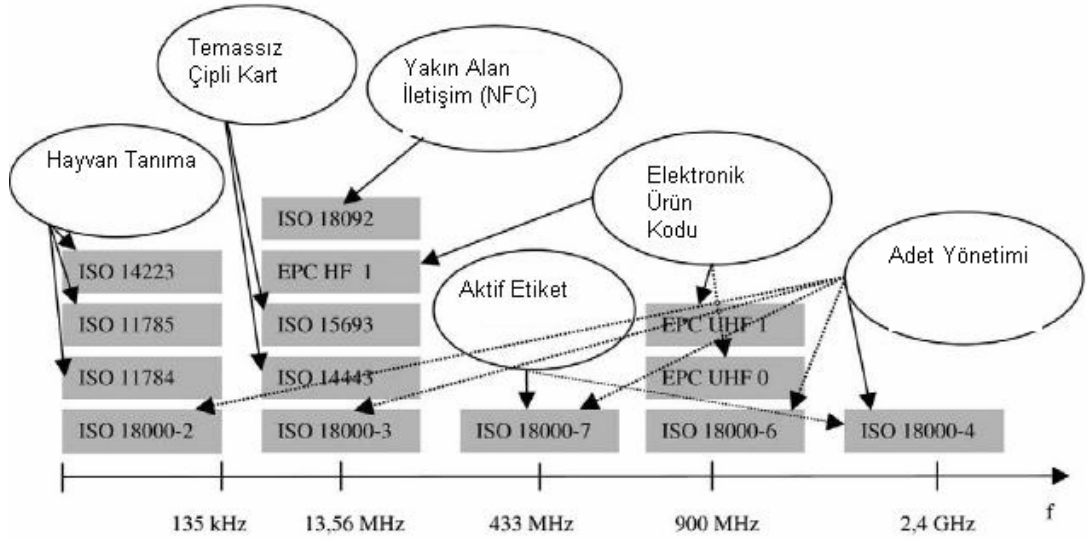
ISO, ödeme sistemlerinden hayvan izleme işlemlerine kadar birçok konuda RFID standardı geliştirmiştir. ISO 11784, etiket içinde verinin nasıl yapılandırılması gerektiğini belirtmekte, ISO 11785 hava arayüz protokolünü tanımlamaktadır ISO 14223 ve ISO 18000-2 hayvan izleme standartlarını içermektedir. Tüm bu standartlar 135 kHz altındaki frekans bandı için tasarlanmıştır.

ISO 14443 ödeme sistemleri ve temassız akıllı kartlar (proximity kart) için tanımlanmıştır. Bu sistemlerde etiket okuyucudan yaklaşık 10 cm uzaklıkta çalışmaktadır. ISO 15693 yakın temas kartların hava arayüz, toplu okunabilme ve iletişim protokollerini tanımlar. ISO 18092, 13,56 MHz band aralığındaki yakın alan iletişim (NFC) protokolü için tasarlanmıştır. ISO 18047, RFID cihazlarının belirli bir standarda uygunluk testini, ISO 18046 RFID okuyucu ve etiketlerin performans testlerini tanımlamaktadır.

ISO 18000, farklı frekans aralıklarında adet bazında ürün yönetimi için hava arayüz ve iletişim protokollerini tanımlar. Bu kapsamda 7 adet ISO 18000 standardı vardır. ISO 18000-1 referans mimariyi tanımlar. ISO 18000-2 düşük frekans (<135 kHz), ISO 18000-3 yüksek frekans (13,56 MHz), ISO 18000-4 mikrodalga 2,45 GHz, ISO 18000-5 mikrodalga 5,8 GHz için tanımlanmıştır. ISO 18000-7, aktif etiket 433 MHz için tasarlanmıştır. ISO 18000-6, ultra yüksek frekans (860-930 MHz) standardını tanımlar. Şekil 2.22 EPCGlobal ve ISO standartlarını özetlemektedir.

ISO'nun tedarik zinciri uygulamaları ile ilgili RFID standartları şu şekildedir:

- ISO 17358 – Uygulama Gereksinimleri
- ISO 17363 – Nakliye Konteynırları
- ISO 17364 – Yeniden Kullanılabilir Taşıma Birimleri
- ISO 17365 – Taşıma Birimleri
- ISO 17366 – Ürün Paketleme
- ISO 17367 – Ürün Etiketleme
- ISO 10374.2 - RFID Nakliye Konteynır Tanımlama



Şekil 2.22: RFID standartları (Knospe ve Pohl, 2004)

2.5. Güvenlik ve Gizlilik

Modern toplumlarda insanlar, kişisel bilgilerini daha sıkı kontrol altında tutmakta ve paylaşımı konusunda daha hassas davranmaktadırlar. Kişi, kendisi ile ilgili bazı bilgileri, mahremiyeti veya özeli olarak nitelendirmekte, saklı kalmasını istemektedir.

Elektronik Gizlilik Bilgi Merkezi (EPIC), gizlilik kavramını dört sınıfta kategorize etmektedir (www.epic.org):

- **Bilgi (Veri) Gizliliği:** Kişinin vergi, satınalma vb. kişisel bilgi kayıtlarını saklı tutmak istemesi
- **Bedensel Gizlilik:** Kişinin kan, idrar veya genetik vb. beden ile ilgili test bilgilerini saklı tutmak istemesi
- **İletişim Gizliliği:** Kişinin başkaları ile iletişimini gizli bir şekilde gerçekleştirmek istemesi
- **Bölgesel Gizlilik:** Kişinin çalışma yeri veya kamusal alanda kimlik kontrolü ya da video gözetimi istememesi

RFID teknolojinin kullanımı, EPIC tarafından belirlenmiş kişinin gizlilik haklarını bazı durumlar için tehdit edebilmektedir. Örneğin RFID okuyucuları yardımı ile, süpermarkette bir kişinin alışveriş bilgisinin izlenmesi bilgi gizliliği açısından,

hastanede kişinin sağlık ile ilgili bilgilerinin izinsiz olarak elde edilmesi bedensel gizlilik açısından, yollarda araçların izlenmesi bölgesel gizlilik açısından tehdit oluşturabilmektedir. Özellikle İngiltere'nin 28 milyon aracın yollarda takip edilmesi üzerine başlattığı proje, bu konunun ne boyutlarda olduğunu gözler önüne daha iyi sermektedir **(Korkmaz ve Üstündağ, 2007)**.

RFID teknolojisinin kullanımı ile birlikte, bilgilerin izinsiz bir şekilde elde edilmesi tehdit oluşturmaktadır. RFID ile oluşan bu tehditler şu şekilde sıralanabilir **(Henrici ve Müller, 2004; Thompson ve diğ., 2006)**:

- RFID etiketleri, özel olarak tasarlanmış RFID okuyucuları tarafından izinsiz olarak okunabilir. Bu şekilde kişinin özel ve önemli bilgileri elde edilebilir. Güvenlik düzeyi düşük kredi kartları için bu tehdit ortaya çıkabilir.
- Stratejik noktalara yerleştirilen RFID okuyucuları ile kişiler veya cisimler takip altına alınabilir. Örneğin kişinin sürekli yanında bulundurduğu RFID etiketli bir cisim ile kişi kolaylıkla takip edilebilir.
- Yetkisiz ve izinsiz olarak özel RFID etiketleri tasarlanabilir, bazı sistemlere izinsiz giriş yapılabilir. Bu yöntem etiket klonlama olarak da adlandırılmaktadır. Özel bir binaya veya araca izinsiz giriş yapılması, hatta aracın immobilizasyon sistemine izinsiz giriş yapılarak çalıştırılması, bu tehdide örnek olarak gösterilebilir.
- Özel geliştirilen RFID cihazı ile RFID sorguları oluşturup, sistemin bloke edilmesi sağlanabilir. Pasaport okuyucuları veya ödeme sistemlerinde bu teknoloji kullanılabilir.
- Faraday kafesi veya sinyal karıştırma yöntemleri kullanılarak, sistem fonksiyonları çöktürülebilir.
- RFID virüs olarak adlandırılan özel virüslü etiketler oluşturularak yazılım ve merkezi işletim sistemlerine virüs bulaştırılabilir. Bu şekilde sistemde açıklar oluşturulabilir.

RFID pilot çalışmalarının yaygınlaşması ile birlikte, bazı sivil toplum örgütleri de karşıt çalışmalara başlamıştır. CASPIAN adlı sivil toplum örgütü bu konuda yoğun bir şekilde çaba göstermekte olup, Benetton, Gillette gibi bazı büyük firmalara karşı boykot kampanyası yürütmektedir. Aynı kuruluş, ayrıca büyük perakende şirketi

Metro'nun, müşterilerin bilgisi dışında RFID içeren sadakat kartı uygulamasını da engellemiştir (www.spychips.com, www.boycottbenetton.com).

RFID konusunda tehdit algısının yükselmesi ile birlikte, başlangıç aşamasında üç temel çözüm önerisi geliştirilmiştir:

- **Öldürme “kill” komutu:** Etiket, gönderilen “öldürme” komutu ile hiç bir şekilde yeniden aktive edilememektedir. Ancak bu uygulama; akıllı buzdolabı, akıllı fırın gibi ürünlerin kullanımını engellemektedir. Ürün yaşam çevrimi içinde RFID ile izleme projeleri sürdürülürken, bu yöntemin geçerliliği çok bulunmamaktadır.
- **Faraday kafesi:** Bu yöntemde, radyo sinyallerini engelleyici metal kutu veya folyo kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem maliyet ve kullanım kolaylığı açısından ancak değerli ürünler için geçerlidir.
- **Sinyal karıştırma:** Karıştırıcı sinyaller gönderilerek yetkilendirilmemiş okuyucuların bloke edilmesi sağlanabilir. Ancak bu yöntem, ortamdaki tüm okuyucuları etkileyebileceğinden çok tercih edilmemektedir.

Bu temel önerilerin yanısıra düzenleyici ve teknik başka yöntemler ve yaklaşımlar da geliştirilmiştir.

Garfinkel (2002), RFID teknolojisi kullanımında tüketicilerin kişisel haklarının korunması gerektiğini belirtmiş ve haklarla ilgili bildiri hazırlamıştır:

- Bir ürünün RFID etiket içerip içermediğinin tüketici tarafından bilinmesi
- Bir ürün satın alındıktan sonra tüketici isteğine bağlı olarak etiketin çıkarılması, işlevinin ortadan kaldırılması ya da yok edilmesi
- Etiket çıkarıldıktan ya da işlevsiz hale getirildikten sonra tüketicinin diğer haklarını kaybetmemesi (örneğin ürün iadesi)
- Etiket içinde hangi bilginin saklandığının tüketici tarafından bilinmesi, eğer bu bilgi yanlış ise istek doğrultusunda düzeltilmesi
- Etiket nereden, ne zaman ve hangi amaçla okunduğunun tüketici tarafından bilinmesi

Güvenlik ve gizlilik çerçevesinde önerilen teknik çözüm ve yöntemler, verinin şifrelenmesi (kriptoloji), okuyucu ve etiket arasında yetkilendirme (otorizasyon) mekanizmasının kurulması vb. olarak gösterilebilir.

Şifrelenen verinin etiket içinde depolandığı uygulamalarda (kriptoloji) üç temel yöntemden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi genel şifre uygulamasıdır. Bu uygulamada etiket, tedarikçi ürününe bağlı olarak genel bir şifre ve kendisine özel tekil bir şifre içerir. Okuma işlemi sırasında, etiket ve okuyucu birbirlerini karşılıklı olarak bu şifreler yardımı ile onaylar ve yetkilendirir. İletişim sırasında etiket içindeki EPC verisinin izinsiz olarak elde edilmesi, etiketin tekil şifresini bilmeden çok zordur. Kısa zaman periyodu içinde bunu gerçekleştirme olasılığı düşüktür. İkinci yöntem kilit (hash lock) yaklaşımı olarak adlandırılır. Bu uygulamada etiket kilitlidir. Her etiket bir y değeri (meta-ID) içerir. Etiket kilidinin açılması ve içindeki EPC verisini göndermesi için, okuyucunun $y = h(x)$ olmak üzere, x olarak ifade edilen PIN numarasını etikete göndermesi gerekir. Üçüncü yöntem ikinci yöntemin geliştirilmiş şeklidir ve rassal kilit yaklaşımı olarak adlandırılır. Bu uygulamada etiket içinde rassal sayı üretici bulunur, meta-ID değeri sürekli değişen rassal bir sayıdır. Buna göre etiketin kilidini açacak PIN numarası da sabit bir fonksiyona bağlı olarak değişir. Okuyucu arka veritabanında yer alan PIN değerleri ile doğru numarayı bularak etiketi açar.

Yukarıda bahsedilen üç uygulamanın da sıkıntılı yanları bulunmaktadır. Genel şifre uygulaması çok fazla hesaplama gücü gerektirdiğinden, etiket maliyeti ve boyutu yüksektir, ürün bazında RFID uygulaması için elverişli değildir. Kilit uygulamasında karşılıklı bir onay-yetki işlemi bulunmadığından korsan (hacker), etiketin meta-ID numarasını ele geçirebilir ve kilidi çözmek için uygun PIN numarası oluşturabilir. Ayrıca bu yöntemde, etiket sabit bir meta-ID numarası yayımladığı için kişinin nerede olduğu kolaylıkla saptanabilir. Rassal kilit yaklaşımında ise rassal sayı üretici gerekliliği, etiket maliyetini arttırmaktadır. Bu yüzden ürün bazında RFID kullanımı için uygulanabilirliği zayıftır.

Uzmanlar tarafından geliştirilen şifreleme ve yetkilendirme mekanizmaları genelde Gen1 veya Gen2 pasif etiketler içindir. Çünkü önemli olan kitlesel uygulamalarda kullanılabilecek güvenli etiketlerin oluşturulabilmesidir. Daha yüksek kapasiteli etiketler için güvenli sistemlerin oluşturulmasında bir sorun yoktur.

Yetkilendirme mekanizması çerçevesinde **Henrici ve Müller (2004)** tarafından geliştirilen yöntem, kısıtlı etiket kaynakları için elverişlidir. Bu yöntemde kilit fonksiyonu $h(x)$ etiketin içinde yer almakta, rassal sayı üretici ve şifre yönetim süreci, okuyucu tarafından kontrol edilen arka veritabanında yer almaktadır. Referans

veritabanı olarak adlandırılan bu yöntemde, rassal sayı, okuyucu tarafından etikete gönderilmekte ve etiket her seferinde yeni bir meta-ID oluşturmaktadır. Bu şekilde karşılıklı yetkilendirme gerçekleşmekte ve esas veri yönetimi işlemi arka veritabanında yürütülmektedir. Bu yöntem basit olmakla birlikte sakıncası, karmaşık sorgular oluşturan kaçak RFID cihazlarına direnç göstermemesidir.

Juels ve diğ. (2003), Ayoade (2005), Solanas ve diğ. (2007), Hui ve diğ. (2005), Munilla ve Peinado (2007), Chien ve Chen (2007) yaptıkları çalışmalarda otorizasyon prensibini esas alan yeni yöntemler geliştirerek RFID veri güvenliğinin sağlanması konusunda çaba göstermişlerdir. Aslında tüm bu yöntemler incelendiğinde, hiç birinin tek başına yeterli olmadığı fark edilmektedir. Hangi yöntemin daha uygun olduğunu belirleyebilmek için uygulama alanı (açık tedarik zinciri veya sağlık kuruluşu gibi kapalı özel bir sistem), etiket cinsi (hesaplama ve bellek kapasitesi), operasyonel güvenilirlik, performans, operasyon süresi ve kullanım kolaylığı kriterlerinin gözönüne alınması gerekmektedir.

2.6. Proje Uygulama Aşamaları

RFID teknolojisi, firmaların iş süreçlerini yeniden şekillendirmekte, farklı bir bilgi teknolojisi altyapısı kazandırmaktadır. Bununla birlikte süreç verimliliğini, güvenlik, doğruluk ve görünürlük seviyelerini arttırmaktadır. Maliyet tasarrufları artış göstermekte ve müşteri tatmini yükselmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde RFID uygulamalarının stratejik bir karar olarak algılanması gerekmektedir.

RFID uygulama projesi öncesinde hazırlık aşaması yer almaktadır. Bu aşamada firma içinde teknoloji ile ilgili genel bilinçlendirme ve eğitim çalışması yapılır. Üst/orta düzey yöneticilerle, mühendis ve diğer çalışanlarla yapılan toplantılarda ve tartışma ortamlarında, firmanın RFID projesinden beklentileri detaylı bir şekilde ortaya koyulur, stratejik hedefler belirlenir. Uygulama çalışmasını gerçekleştirecek proje ekibi oluşturulur. Proje ekibi içinde firmanın bilgi teknolojileri, üretim, operasyon, lojistik vb. farklı bölümlerinden yönetici ve çalışanlar, ayrıca dışarıdan destek verecek RFID proje uzman, danışman veya sistem bütünleştiricileri yer alır. Uygulama projesi temel olarak altı aşamadan oluşur:

- **Veri toplama:** Bu aşamada, şirket yapısını açıklayan organizasyon şemaları, süreç diyagramları, operasyon planları, performans oranları, malzeme, makine, teçhizat ve işçilik ile ilgili veriler toplanır.
- **Mevcut süreç analizi:** Bu aşamada var olan süreçler incelenmekte ve potansiyel RFID uygulama noktaları belirlenmektedir. Süreç diyagramları oluşturulur. Ayrıca kritik performans faktörleri belirlenmekte, bu faktörlerin mevcut durum değerleri hesaplanmaktadır. Bunun dışında RFID uygulamasını etkileyebilecek operasyon kısıtlarını (alan, hacim, ekipman dayanıklılığı), çevresel koşulları (sıcaklık, nem, elektromanyetik alan vb.), elektrik ve ağ altyapısını belirlemek üzere saha analizleri gerçekleştirilir. Firmanın bilgi teknolojisi altyapısı da bu analiz kapsamında incelenir.
- **Yeni süreç ve çözümlerin tasarımı:** Bu aşamada RFID uygulamalı yeni süreçler tasarlanarak diyagramları oluşturulmaktadır. Uygun donanım ve yazılım altyapısı belirlenmektedir. Etiket ve okuyucu tipleri için seçim yapılırken, süreçler gözönüne alınarak proje uygulaması ile ilgili sorulara cevap aranır:
 - o Etiket boyutları ve şekli nasıl olmalı?
 - o Çevresel koşullara karşı özel bir koruma (nem, sıcaklık vb.) gerekiyor mu?
 - o ISO veya EPC gibi özel standart beklentisi var mı?
 - o Süreç içinde toplu okuma gerçekleştirilecek mi?
 - o Okuma uzaklığı nedir? Okumanın yanısıra yazma işlemi olacak mı?
 - o Okuma sırasında ürünün hareket hızı ne olacak?
 - o Sistem hangi frekans aralığında kullanılacak?
 - o Yeniden kullanılabilir etiketler mi yoksa tek kullanımlık etiketler mi tercih edilecek?
 - o Etiketler hangi seviyelerde kullanılacak (ürün, kutu veya palet)?
 - o Etiket ürünün üzerinde nereye yerleştirilecek?
 - o Etiket pasif mi, aktif mi yoksa yarı aktif mi olacak?
 - o Sabit okuyucular mı yoksa el terminalleri mi kullanılacak?

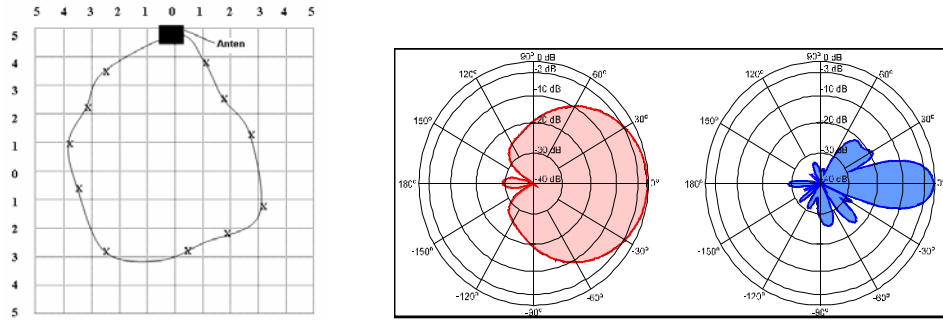
- o Okuyucu antenleri sabit mi olacak yoksa bir araç veya forklift üzerine monte mi edilecek? Ne tip antenler kullanılacak?

Tüm bu sorular süreçle bağlantılı olarak daha da çoğaltılabilir. Donanım ve yazılım altyapısı için seçenekler oluşturulurken, mali tablonun da bu aşamada netleştirilmesi gerekir. Başabaş noktası, maliyet/fayda analizleri, yatırımın geri dönüşü (ROI) hesapları ve risk analizleri bu bölümde gerçekleştirilir. Bu aşama esas olarak RFID proje konseptinin oluşturulduğu, yol haritasının çıkarıldığı ve proje beklentilerinin detaylı analizlerle ortaya koyulduğu bölümdür.

- **Test çalışması:** Belirlenen farklı etiket, okuyucu, yazıcı, yazılım çeşitleri ve ağ yapısı laboratuvar veya özel olarak oluşturulmuş ortamlarda test edilmektedir. Hangi etiket tiplerinin daha iyi okunma performansı gösterdiği, etiketin ürün üzerine ne şekilde yerleştirileceği, okuyucu ve anten yerleşimlerinin ne şekilde yapılması gerektiği bu aşamada belirlenir. Hazırlanan test raporunda gözönüne alınacak faktörler şu şekildedir:

- o Farklı etiket çeşitleri
- o Palet, kutu, ürün seviyesinde etiket kullanımı
- o Etiketin, üzerine yerleştirildiği nesne üzerindeki konumu
- o Nesne üzerindeki etiketlerin birbirlerine uzaklığı
- o Etiketin üzerine yerleştirildiği nesnenin paketlenme malzemesi
- o Etiketin üzerine yerleştirildiği nesnenin içeriği
- o Farklı okuyucu anten çeşitleri, yerleştirme şekli ve sayısı
- o Sistemde aynı anda okunacak toplam etiket sayısı
- o Etiketin üstüne yerleştirildiği nesnenin sistem içindeki hareket hızı
- o RF sinyal karışma durumu
- o RFID yazıcı için etiket tasarımı (Barkodlu RFID etiket opsiyonu)
- o Mevcut kurumsal kaynak planlama veya depo yönetimi yazılımı ile RFID sistem etkileşimi ve ağ tasarımı

RFID sisteminin sağlıklı çalışmasında en önemli faktör veri okuma oranı ve doğruluğunun %100 olmasıdır. Bu nedenle doğru tasarımın gerçekleştirilebilmesi için test aşaması büyük önem içermektedir. Etiket yüzeyinin ve yerleşim doğrultusunun anten yüzeyi ve polarizasyonu ile paralel olması okuma oranını arttırmaktadır. Farklı anten yerleşimlerinin oluşturduğu okuma menzillerini belirlemek için, iki boyutlu diyagramlar kullanılabileceği gibi özel olarak hazırlanmış üç boyutlu yazılımlardan da yararlanılabilir. (Şekil 2.23)



Şekil 2.23: Anten diyagramları (www.otatraining.com)

Çift polariteye sahip etiketler okunma açısından daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Tekstil, plastik, tahta, kâğıt malzemeler RF dalgalarına karşı geçirgenlik özelliğine, metal yüzeyler RF dalgalarını yansıtmaya, likit içerik de soğurma özelliğine sahiptir. Metal yüzey ve likit içeriklerin UHF RFID okuma performansını düşürmesi açısından özel etiket tasarımlarının kullanılması daha uygun olabilir. Ayrıca metal kapaklı nesnelerde etiket ile nesne yüzeyi arasında hava boşluğu bırakmak gerekmektedir. Tasarım, sinyal karışmalarını engelleyici şekilde oluşturulmalıdır. Test laboratuvarlarında, ortamdaki RF sinyallerini, dalga rezonansını, band genişliğini, elektrik ve manyetik alan güçlerini belirlemek için ölçümleme cihazları kullanılır. (Şekil 2.24)



Şekil 2.24: Test laboratuvarı ölçümleme cihazları (www.flog.mb.uni-dortmund.de)

Dış etkenlerden yalıtılmış, yansısız odadan yararlanılarak optimum RFID etiketi uygulama noktası belirlenebilir. (Şekil 2.25)



Şekil 2.25: Yansısız oda (www.flog.mb.uni-dortmund.de)

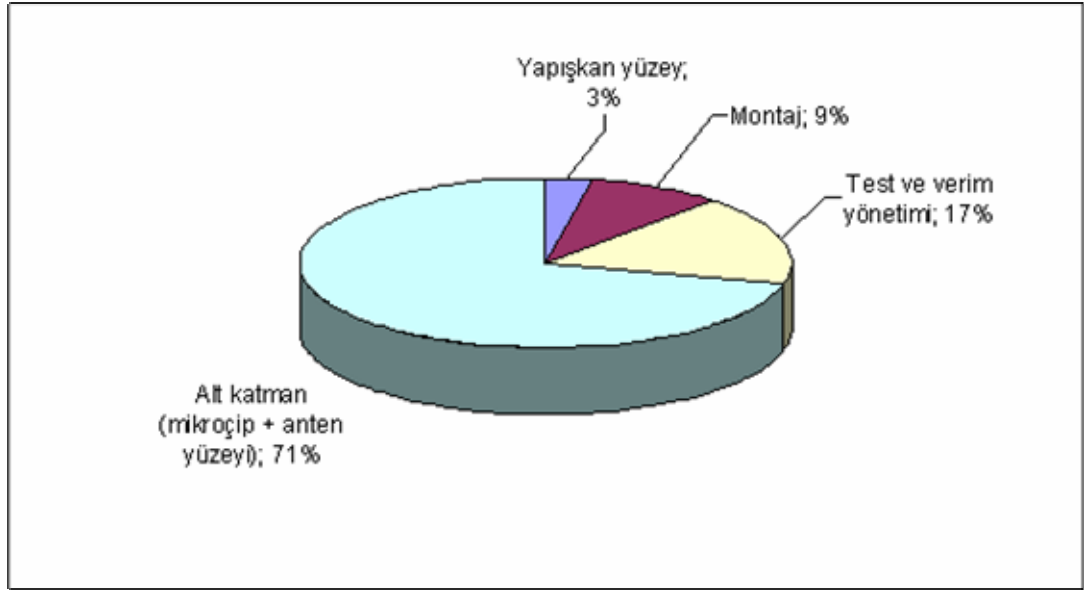
- **Pilot çalışma:** Bu aşamada gerçek uygulamaya yakın ve ölçülebilir bir sistem oluşturulur. Firmanın seçilmiş süreçlerinde, belirli bir ürün hacmini ya da çeşidini kapsayacak şekilde sistem kurulumları gerçekleştirilerek çalışma başlatılır. Gerçek ortamda birimler arası veri transferi sağlanarak, sonuçlar ölçülür ve büyük ölçekli uygulama için referans veriler elde edilir.
- **Sistem entegrasyonu:** Bu aşamada uygun sistem entegratörü firma seçilerek sistem kurulumu gerçekleştirilir. Bütün yazılım, donanım, ağ sistemi kurulumu ve konfigürasyonu tamamlanır. Çıktılardan yararlanılarak sistem hataları, eksikleri ortadan kaldırılır. Uygulama ekibine gerekli eğitimler verilir.

2.7. Sistem Maliyet ve Faydaları

RFID uygulamalarında maliyet üç temel alanda incelenebilir: Donanım, yazılım ve hizmetler. Donanım maliyetleri; etiket, okuyucu, anten, bilgisayar, yazıcı ve ağ ekipmanlarından oluşmaktadır. Yazılım maliyetleri; ara katman yazılım ve diğer uygulama yazılımlarının, iç kaynaklar ile hazırlanması ya da dışarıdan satın alınması olarak gösterilebilir. Hizmet maliyetleri içinde, kurulum ve sistem bütünleştirme, eğitim, destek, bakım ve süreç yenileme (BPR) maliyetleri yer alır.

RFID etiket maliyeti; mikroçip ve antenin oluşturduğu alt katman (inlay), yapışkan yüzey, montaj ve test maliyetlerinden oluşmaktadır. Mikroçip ve anten yüzeyini içeren katman maliyetin %71'ini oluştururken, %100 okunma oranının

sağlanabilmesi için yürütülen test ve verim prosedürleri, toplam maliyetin %17'sini oluşturmaktadır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26: RFID etiket maliyeti (Kleist ve diğ., 2005)

RFID teknolojisinin sağladığı faydalar iki alanda incelenebilir. Birinci temel fayda, maliyetlerde sağlanan tasarruflardır. Süreç otomasyonu ve verimlilik artışı ile işçilik maliyetlerinde; doğruluk, görünürlük ve güvenlik seviyelerindeki artış ile stok, kayıp satış ve çalınma maliyetlerinde azalma sağlanmaktadır. İkinci temel fayda ise hata oranlarının azalması ve ürün bulunabilirliğinin artması ile müşteri memnuniyetinde ve dolayısı ile gelirlerde sağlanan artıştır.

RFID teknolojisinin iş süreçlerinde hangi seviyede uygulanacağı, sağlanacak faydanın belirlenmesi açısından önemli bir faktördür (Patil, 2004). Palet seviyesinden ürün seviyesine geçerken görünürlük ile beraber maliyetler de artmaktadır. Ürün seviyesinde sağlanan kazanımlar, palet veya kutu seviyesinden daha fazla olmakla birlikte, oluşan maliyetlere katlanmanın uygunluğu firma yöneticilerinin vereceği bir karardır. Palet ya da kutu seçenekleri ile RFID uygulamasına başlamak ve zaman içinde ürün seviyesine geçişi gerçekleştirmek, alınan kararlardan biri olabilir.

2.8. Pazar ve Sektörel Uygulamalar

IDTechEx şirketinin raporuna göre 2007 yılı başı itibarı ile son 60 yılda satılan toplam RFID etiket sayısı 3,752 milyar adettir. Bu satışların sadece % 27'si 2006

yılında, %19'u 2005 yılında gerçekleşmiştir. 2006 yılında satılan 1,02 milyar etiketin % 35'ini RFID kartları oluşturmaktadır. Pazar büyüklüğü açısından RFID kartlarını, savunma ve hayvan izleme uygulamaları takip etmektedir (Das ve Harrop, 2007).

Tablo 2.5: 2006 yılı RFID etiket satışları (Das ve Harrop, 2007)

	Adet (milyon)	Satış Değeri (milyon \$)
İlaç	15	3,5
Diğer sağlık	10	5,1
Perakende giyim	50	10
Tüketici ürünleri	10	2,5
Lastik	0,1	0,1
Posta ile ilgili	0,5	0,3
Kitaplar	50	17,3
İmalat parçaları ve gereçleri	10	4
Arşivleme (doküman)	8	2,6
Savunma	10	200
Palet/kutu	200	34
Akıllı kart/ödeme kartları	350	770
Akıllı bilet/banknot/doküman	65	13
Havayolu bagaj izleme	25	5
Nakliyat	10	10
Hayvanlar	70	140
Araçlar	2,5	23,8
İnsanlar	0,5	9,5
Otomotiv immobilizer	46	46
Pasaport	25	100
Diğer etiket uygulamaları	65	87,1
Toplam	1.023	1.484

A.B.D.'de perakendecilerin aldığı yaptırım kararlarına ve Gen2 teknolojisinin getirdiği yeniliklere rağmen, 2006 yılında ancak 200 milyon adet etiketin satılması, kullanıcı firmaların teknik sorunlarını tam anlamıyla çözemesinden dolayı (metal ve sıvıda okuma problemi gibi) yatırım kararı almakta zorlandığını göstermektedir. IDTechEx raporuna göre 2005 yılı sonunda, etiket birim maliyetinin yüksek hacimler için 10 sentler civarına düşmesi, etiket tedarikçilerinin milyonlarca adet etiket sipariş etmesini sağlamıştır. Ancak 2006'da beklenen talep düşük çıkınca, kapasite fazlası oluşmuştur. 2007 yılında kutu/palet bazında kullanım adedinin 420 milyon, 2009 yılında ise 1 milyar adet olması, pazardaki genel büyümenin doğrusal değil, sıçramalı gerçekleşmesi beklenmektedir (Das ve Harrop, 2007).

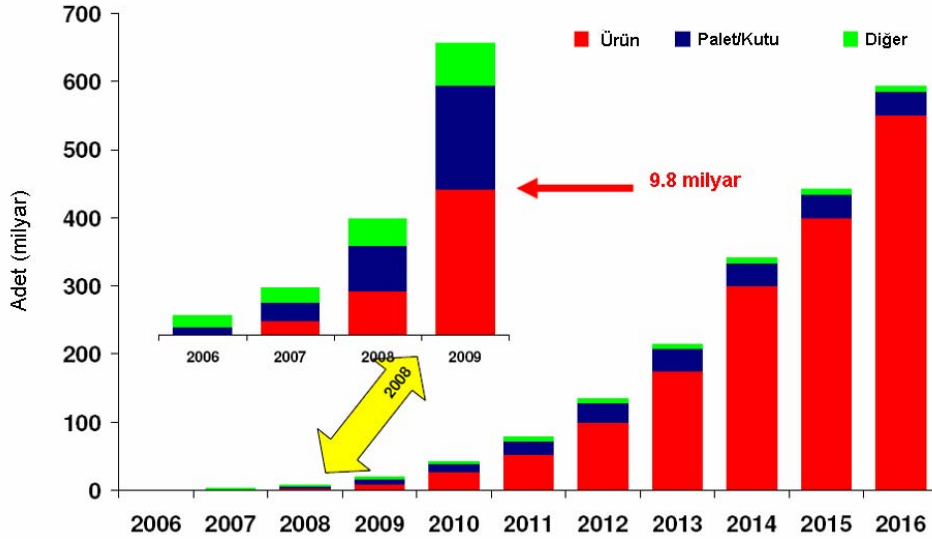
Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü (FDA) 2005 yılı içinde ilaç paketlerinde RFID kullanımı ile ilgili bağlayıcı kararlar almış, ancak frekans konusunda yaşanan belirsizlik yüzünden kararlar uygulanamamıştır. Önce HF kullanımı tercih edilmiş,

2006 ortalarında yakın alan UHF kullanımı sözkonusu olmuştur. Pfizer, GFK ve Purdue Pharma gibi firmaların yoğun çabalarına rağmen, 2006'da bu endüstride beklenen talep gerçekleşmemiştir.

Havayolu şirketleri bagaj izleme konusunda UHF standardında karar kılmış, birçok şirket bu konuda çalışmalarına başlamıştır. 2006 yılı içinde toplam satılan RFID etiket sayısı 25 milyonu bulmuştur.

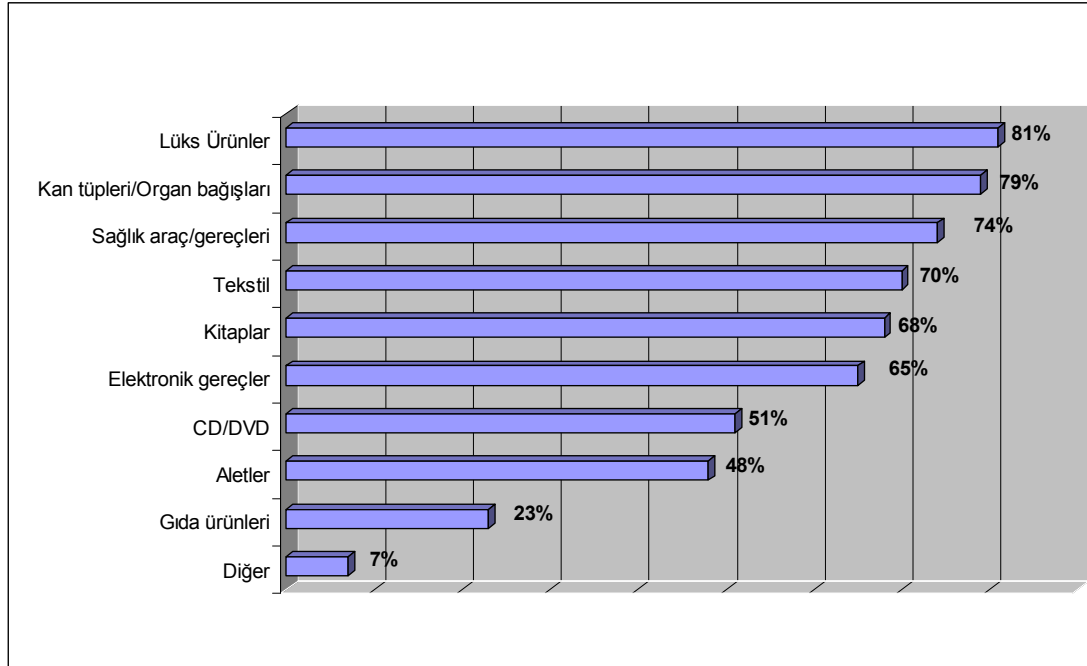
Perakende giyim pazarında, ürün bazında RFID kullanımı açısından olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Marks&Spencer, 2007 sonuna kadar ürün bazında RFID etiket kullanımını 42 mağazadan 120 mağazaya çıkartacağını açıklamıştır. Tesco ve Best Buy gibi büyük perakende şirketleri, DVD ve bilgisayar oyunlarında ürün bazlı RFID kullanımı sayesinde raf stoklarında sağlanan görünürlük ile birlikte satışlarının % 5-20 oranında arttığını bildirmiştir.

Sonuç olarak IDTechEx raporuna göre, 2007 yılı içinde toplam 1,71 milyar RFID etiketinin satılması ve pazar değerinin, donanım ve entegrasyon dahil olmak üzere tüm dünyada 4,96 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. RFID kartlarının pazardaki hâkimiyetini sürdürmesi ve 1,97 milyar dolar değer oluşturması beklenmektedir. Kartlar hariç olmak üzere A.B.D. pazarın %58,4'ünü, Avrupa %33'ünü oluşturacaktır. 2017'de pazar değerinin 27,88 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. RTLS gibi (aktif RFID bazlı gerçek zamanlı konum belirleme sistemi) yeni pazarların oluşması ve bu pazarların 6 milyar doların üzerine çıkması beklenmektedir. Şekil 2.27'de ürün/palet bazında RFID kullanımı ile ilgili pazar tahmini yer almaktadır (**Das ve Harrop, 2007**).



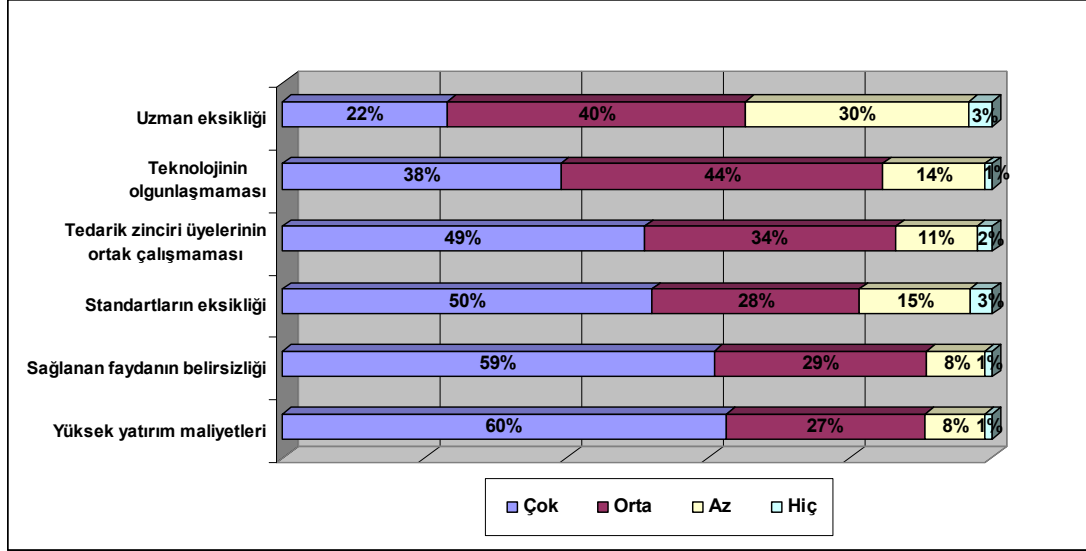
Şekil 2.27: RFID pazar tahmini (Das ve Harrop, 2007)

Almanya genelinde sanayi ve hizmet sektöründe RFID teknolojisinden beklentilerin belirlenebilmesi için yürütülen araştırma çalışmasında, adet bazında RFID kullanımı için uygun ürün tiplerinin neler olabileceği, anket kapsamında uzmanlara sorulmuştur. Anketi cevaplayanların %81'i lüks ürünleri adet bazında RFID kullanımı için uygun görürken, %74'ü sağlık araç gereçlerini ve %65'i ise elektronik gereçleri uygun bulmuştur (Şekil 2.28) (Gatzke, 2007).



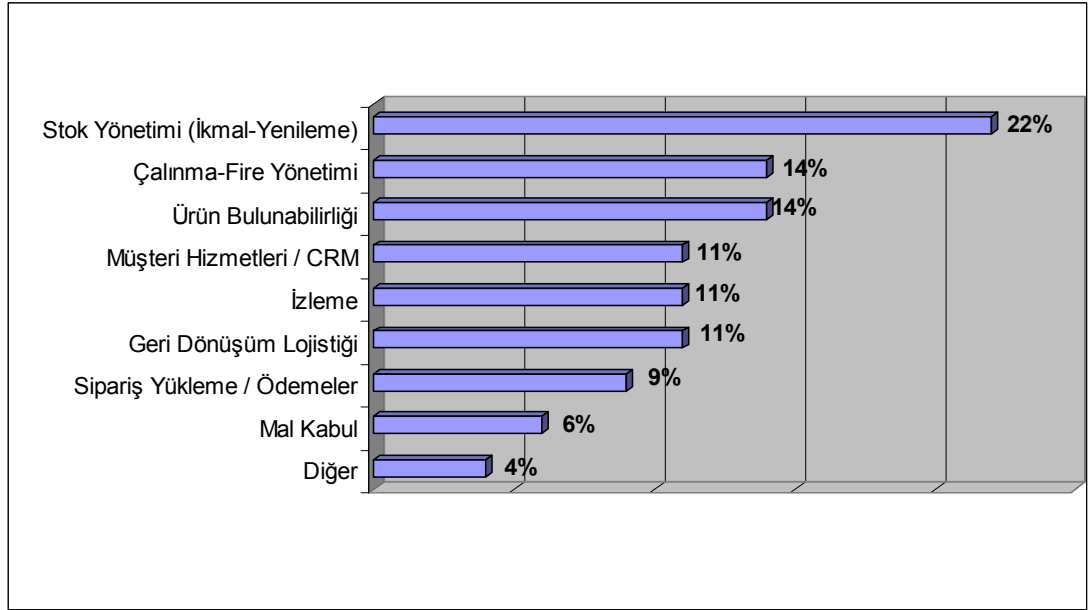
Şekil 2.28: Ürün bazında RFID kullanım alanları (Gatzke, 2007)

Aynı anket çalışmasında RFID yatırımının önündeki engeller ve etkileri dörtlü ölçek dahilinde (çok-orta-az-hiç) uzmanlara sorulmuştur. Cevaplayanların % 60'ı yüksek yatırım maliyetleri, %59'u sağlanan faydanın belirsizliği, % 50'si standartların eksikliği faktörlerini RFID yatırımlarının önündeki engeller olarak tanımlamış ve verilen kararda çok etkili olduğunu belirtmiştir. Tedarik zinciri üyelerinin birlikte çalışmaması faktörünü anketi cevaplayanların %49'u çok etkili, %34'ü orta etkili ve %11'i az etkili bir engel olarak tanımlamıştır (Şekil 2.29).



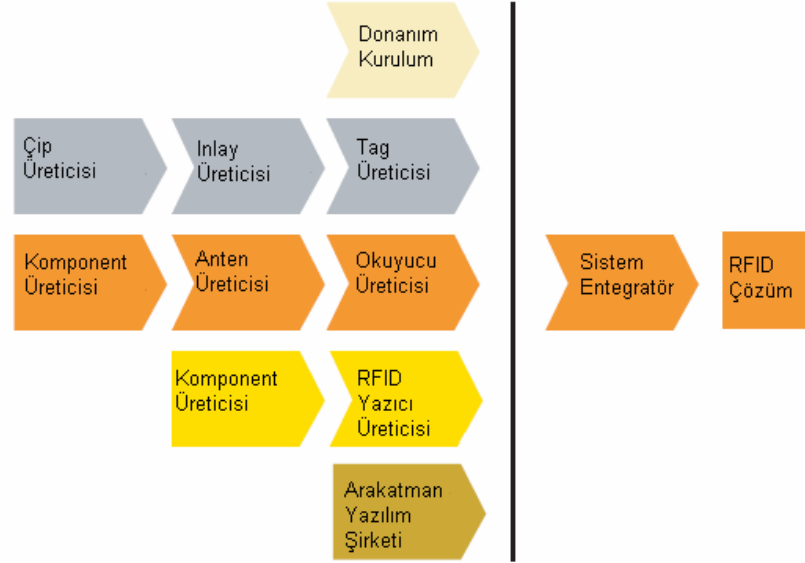
Şekil 2.29: RFID yatırımlarının önündeki engeller (Gatzke, 2007)

Uluslararası araştırma şirketi Gartner'ın 2004'de yayımladığı araştırma raporunda RFID uygulamaları için öncelikli tercih edilen alanlar arasında % 22 faktör ağırlığı ile stok yönetiminin, % 14 ile çalınma-fire yönetiminin ve ürün bulunabilirliğinin yer aldığı belirtilmiştir (Şekil 2.30). İzleme, tersine lojistik, sipariş yükleme ve mal kabul bu alanları izlemektedir (Malkoç, 2006).



Şekil 2.30: RFID öncelikli uygulama alanları (Malkoç, 2006)

LogicaCMG şirketi tarafından RFID donanım sektörü için hazırlanan raporda, değer zinciri Şekil 2.31’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Gelecekte donanımların özelleştirilmiş uygulamalara yönelik olarak üretileceği açıklanmıştır. Depo operasyonları için tasarlanmış RFID okuyucu ve sensorları içinde bulunduran entegre RFID portal çözümleri, forklift okuyucuları, el terminali okuyucular, havacılık endüstrisine yönelik bagaj izleme için tasarlanmış tünel okuyucular, metal yüzeyler, çelik kafes ve dizüstü bilgisayarlar için tasarlanmış etiketler, plastik poşetlere rahatlıkla uygulanabilecek özel etiketler ve havacılık endüstrisi için tasarlanmış özel etiketler, bu uygulamalar arasında belirtilmiştir (Jong, 2005).



Şekil 2.31: RFID çözümleri değer zinciri (Jong, 2005)

Sensorların ve RFID etiketlerinin birlikte kullanımı, önümüzdeki dönemde daha fazla önem kazanacaktır. Özellikle basınç, nem, sıcaklık gibi çevresel değerlerin izlendiği uygulamalarda genelde pil destekli aktif RFID etiketler kullanılmaktadır. Bunlar boyut, maliyet ve yaşam süresi açısından bazı sıkıntılar getirmekle birlikte, bu konudaki araştırmalar devam etmektedir. Brightwell grubunun önümüzdeki yıllarda piyasaya süreceği RFID mikroçip, çok küçük titreşimleri elektrik enerjisine dönüştürebilmekte, pil gereksinimi olmadan, enerjiyi kendi içinde depolayabilmektedir. Maliyet, boyut ve yaşam süresi açısından daha uygun olması beklenen bu etiketler, gıda soğuk zincir lojistiği, kargo hasar tespiti, ilaç ve özel koşullar gerektiren malzemelerin lojistiği, savunma endüstrisi gibi alanlarda kullanılabilecektir.

RFID sektörü gelişimini sürdürürken, donanım maliyetleri de zaman içinde düşüş göstermektedir. 2007 yılı itibarı ile EPC Gen2 pasif RFID etiket maliyetleri sipariş miktarına göre 0,10 ve 0,40 dolar arasında değişebilmektedir. Aktif özelliğe sahip, metal yüzeylerde kullanım için tasarlanmış ya da sıcaklık gibi özel koşullara dayanıklı RFID etiket maliyetleri 40-50 dolara kadar çıkabilmektedir.

Diğer RFID donanım maliyetleri şu şekildedir:

- RFID etiket yazıcı: 4.000 – 8.000 dolar

- RFID yüksek hız etiket aplikatörü: 15.000 – 25.000 dolar
- EPC uyumlu anten: 250 – 600 dolar
- EPC uyumlu okuyucu: 500 – 2.500 dolar

Avrupa Birliği tarafından Haziran 2007’de yayımlanan RFID raporunda imalat/üretim, taşımacılık/lojistik, perakende tüketici ürünleri, kamu taşımacılığı, sağlık, sahteciliğin engellenmesi, bilet/ödeme sistemleri, ulusal güvenlik ve tersine lojistik, RFID uygulamaları için öncelikli ve önemli alanlar olarak belirlenmiştir (www.rfidconsultation.eu/).

Dünyada RFID konusunda sağlanan gelişmelerin hızlanmasında, perakende, sağlık ve savunma sektörü içinde yer alan kuruluşların aldığı yaptırım kararları çok etkili olmaktadır.

Tedarik zinciri boyunca yılda 6 milyar kutu hareketi bulunan Wal-Mart tarafından, Haziran 2003’te alınan kararla, en büyük 100 tedarikçinin Ocak 2005’e kadar palet ve kutu seviyesinde RFID kullanımına geçmesi istenmiştir. Ayrıca 37 tedarikçi bu çalışmaya gönüllü olarak katılmıştır. Tedarikçilerin bir bölümü geçişi tümüyle, bir bölümü kısmen tamamlayabilmiştir. Ağustos 2003’te alınan yeni bir kararla Ocak 2006 sonuna kadar kalan diğer tüm tedarikçilerin geçiş sürecini tamamlamaları istenmiştir. Procter&Gamble, Coca-Cola, Gillette, Kraft Foods, Nestle ve Unilever’de ilk pilot çalışmalar hemen başlatılmıştır (**Poirier ve McCollum, 2006**).

Amerikan Savunma Bakanlığı (DoD), Eylül 2003’te tedarikçilerine gönderdiği bildiride Ocak 2005’e kadar kutu, palet ve bazı ürünler bazında RFID uygulamasına geçilmesi konusunda direktif vermiştir. Tüm tedarikçiler Mayıs 2004’te ilk uygulama projelerine başlamıştır. İngiltere menşeli Tesco, tedarikçilerine kutu seviyesinde RFID uygulamasına geçiş için Eylül 2004 tarihini bildirmiştir. Metro AG, en büyük 100 tedarikçisine Kasım 2004’te palet ve taşıma paketlerinde RFID uygulamasının başlatılması kararını bildirmiştir (**Poirier ve McCollum, 2006**). Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü (FDA) 2003 yılında yayımladığı raporda 30 milyar dolar arasında bir pazar olan sahteciliğin engellenmesi için 2007 yılının sonuna kadar RFID çözümlerine geçilmesi gerektiği konusunda bildiri yayımlamıştır.

2.8.1. Perakende Sektörü

Perakende sektörü, RFID teknolojisinin yaygınlaşması açısından çok önemli bir yere sahiptir. Özellikle Wal-Mart, Metro ve Tesco gibi büyük zincirlerin tedarikçilerine uyguladıkları yaptırım kararları ve yürütülen projeler RFID pazarının gelişimini büyük ölçüde etkilemektedir.

Wal-Mart'ın 2003'te aldığı yaptırım kararı, RFID etiketlerinin Texas dağıtım merkezinde palet ve kutu bazında kullanımını ve seçili bazı ürünler için adet bazında etiketlemeyi içeriyordu. 1 Ocak 2005 itibarı ile 53 tedarikçi tarafından RFID etiketli palet ve kutu bazında yükleme süreci başlatıldı. 94 diğer tedarikçi ilk geçiş aşamasını ancak ay sonunda tamamlayabildi. 2005 Mart başında 5,6 milyon RFID okuması ile 23.753 palet ve 663.912 kutu ürün bazında takip ediliyordu. Wal-Mart çalışmayı 3 dağıtım merkezi ve 140 mağaza için genişletme kararı aldı **(Kleist ve diğ., 2005)**.

Wal-Mart ilk çalışmalarını Gen2 etiket teknolojisini beklemek yerine EPC uyumlu Gen1 teknolojisi ile başlattı. Palet etiketinin 3 metre uzaklıkta bir antenden en az üç defa okunabilmesi başarılı bir performansı ifade ediyordu. Dakikada 183 metre hareketli bir süreçte kutu ve paletlerden %100 okuma performansı bekleniyor, etiketlerin kutuların 6 farklı yüzeyinde de okunabilmesi gerekiyordu. RFID portal yapıları mağaza arka depo ve dağıtım merkezlerinde giriş ve çıkış hatlarına kurulmuştu. Kutular mağazanın satış alanına girerken okunuyor, satış bilgileri ile raf stokları takip ediliyordu. İlgili ürünler, depo görevlilerinin kullandığı el terminalleri yardımı ile arka depoda kolayca tespit edilip satış alanına iletliyordu. Wal-Mart, bugün Gen2 teknolojilerinden yararlanarak ürün seviyesinde RFID pilot çalışmalarını sürdürmektedir **(Kleist ve diğ., 2005)**.

AT. Kearney tarafından perakendecilik sektörü ile ilgili hazırlanan bir raporda, RFID teknolojisinin kullanımı ile depolama maliyetlerinin %10, işçilik maliyetlerinin % 7,5 oranında düşeceği ifade edilmektedir. SAP 2003 raporunda perakendeci depolarında mal kabul maliyetlerinde %20-30, toplama maliyetlerinde %40-50 azalma olacağı belirtilmektedir. Mağaza içi mal kabulünde %65, stoklamada %25, dönemsel sayımda %25 maliyet düşüşü sağlanacağı bildirilmektedir **(Lee ve Özer, 2005)**.

RFID teknolojisinin kullanımı ile perakende zinciri boyunca tahmin hataları, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalacaktır. Bu şekilde depolarda tutulan stok

miktarları düşecektir. Stoklarda fire; çalınma, malzemenin zarar görmesi, sahtecilik, yanlış yerleştirme ya da işlem hatalarından kaynaklanmaktadır. Firenin yüksekliği gerçek ve kayıtlı stok miktarları arasında farka yol açmakta, stokta bulunmama ve kayıp satış durumlarına sebebiyet vermektedir. RFID teknolojisi iki şekilde bu soruna çözüm sağlamaktadır. Bunlardan ilki görünürlüğün sağlanması ile gerçek stok miktarlarına daha yakın değerler elde edilmesi, stok yenilemenin doğru miktar ve zamanlama ile gerçekleştirilmesidir. İkincisi stokların daha doğru izlenmesi ile işlem hatalarının azalması ve bu şekilde yanlış yerleştirmelerin, sahteciliğin engellenmesi ve firelerin azaltılmasıdır.

Amerika’da perakende sektörü için yapılan bir araştırmada hırsızlık, kaçak ve stok kayıplarının, toplam gelirin % 4-5’i arasına denk geldiği, 30 milyar dolarlık bir zararın oluştuğu belirtilmektedir. Perakende sektörü stokta bulunmama durumu, dünya genelinde gelirin %8,3’ü kadar bir kayıp oluşturmaktadır (**Poirier ve McCollum, 2006**). 11 milyar dolarlık ciroya sahip bir zincir için bu rakam 300 milyon dolar olmaktadır. Wal-Mart’ın yaptığı bir çalışmada RFID teknolojisine geçiş ile sağlanan kazanımlar şu şekilde tahmin edilmiştir (**Poirier ve McCollum, 2006**):

- Hırsızlık ve fire kayıpları: 575 milyon dolar
- İşçilik maliyeti: 6,8 milyar dolar
- Depo malzeme izleme maliyeti: 300 milyon dolar
- Stokta bulunmama maliyeti: 600 milyon dolar
- Envanter maliyeti: 180 milyon dolar

Avrupa’nın en büyük perakende zinciri Metro, Almanya Rheinberg’de “Geleceğin Mağazası” kavramı ile bir alışveriş mağazası açmıştır. Mağazada RFID teknolojisinin kullanım alanları müşterilere tanıtılmakta, IBM, SAP, Intel ve diğer büyük enformasyon teknolojisi firmaları burada yapılan çalışmalara destek vermektedir. Mağazanın depo giriş, çıkış ve ödeme noktalarına RFID geçiş sistemleri yerleştirilmiştir. Bazı ürünler için raf stokları RFID teknolojisi ile izlenmektedir. Tedarikçiler, elektronik sistem dâhilinde ürün stoklarını izleyebilmektedir. Bireysel Alışveriş Asistanı olarak adlandırılan el bilgisayarları ile müşteriler ürünlerin yerini kolayca bulabilmekte ve bu ürünlerle ilgili ayrıntılı bilgilere ulaşabilmektedir. Mobil Asistan denilen el bilgisayarları ile mağaza görevlileri, mağaza ve depodaki ürünlerin envanter bilgilerine ve diğer bilgilere ulaşabilmektedir. Taşıma sepetlerinde yer alan

okuyucular ile müşteri, alışveriş bilgisini izleyebilmektedir. Enformasyon terminallerinde müşteriler RFID etiketli ürünler ile ilgili detaylı bilgi alabilmektedir. Akıllı tartı ve akıllı reklâm panoları mağaza içinde yer alan diğer yeniliklerdir. Müşteri, kredi kartı ile otomatik geçiş sistemini kullanarak kasiyer olmadan ödeme yapabilmektedir, böylece mağaza çıkış işlemleri daha kısa sürede ve beklemeden gerçekleştirilebilmektedir. Mağaza çıkışında deaktivatör denilen bir cihaz yardımı ile müşteriler isteğe bağlı olarak ürünlerde yer alan RFID etiketlerini fonksiyon dışı bırakabilmektedir (Şekil 2.32)(www.futurestore.org).



Şekil 2.32: Metro geleceğin mağazası

Metro Grubu'nun tekstil zincirini oluşturan Kaufhof mağazalarında Gen2 UHF etiketler ile ürün bazında RFID kullanımına geçilmiştir. Eylül 2007'de başlayan pilot çalışmada 2.000 metrekarelik bir alanda 30.000 adet ürün, 60 okuyucu ve 100 anten yardımı ile izlenmektedir. Etiket ve antenler yakın alan operasyonlar için ayarlanmıştır. Stok yönetiminin yanı sıra, elde edilen veriler müşteri ilişkileri yönetimi (CRM) kapsamında kullanılmaktadır. "Hangi ürünler müşteri tarafından bir arada denenmiş?", "Hangi ürün kombinasyonları birlikte satın alınmış?" gibi bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Ayrıca ürünler hangi yerleşim alanında daha çok satılmakta, ürünün kasaya ulaşmasına kadar geçen süre gibi bilgiler de veritabanına kaydedilmektedir. UHF RFID Gen2 teknolojileri kullanılarak ürünlerin dağıtım merkezinden satış mağazalarına kadar izlendiği bu uygulamanın dünya üzerinde ilk olduğu vurgulanmaktadır. Akıllı ayna adı verilen uygulama ile müşteri, soyunma odalarında ürün hakkında detaylı bilgi alabilmekte, fiyat ve kampanya bilgilerinden haberdar olabilmektedir (Şekil 2.33). Müşteri, birden fazla ürünle içeri girdiğinde her

ürün hakkında detaylı bilgi aynı anda ekranda belirmektedir. Akıllı ekranlarda ürün paketini açmaya gerek kalmadan ölçü bilgileri rahatça öğrenilebilmektedir. Mağaza çalışanları ellerindeki el terminalleri ile istenilen ölçüdeki ürünleri kolayca bulabilmektedir (Wessel, 2007).



Şekil 2.33: Kaufhof - Metro akıllı ayna uygulaması (Wessel, 2007)

Genel olarak perakende zincirinde RFID kullanımı ile sağlanacak faydaları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Sipariş gönderimlerinde sağlanan doğruluk ile güvenlik stoklarında azalma, talep tahminlerinde doğruluk,
- Mağaza içi yerleşimin gerçek zamanlı veriler ile daha iyi yapılması,
- Satış noktası etkinliğinin artması, çıkış kontrollerinde doğruluk,
- Geliştirilmiş tersine lojistik faaliyetleri,
- Raf ve depo seviyesinde daha doğru ve hızlı stok takibi,
- Stok izlemede daha az zaman ve daha düşük maliyet,
- Tedarikçi ödemelerinin ve yüklemelerinin otomatikleştirilmesi,
- İşçilerin daha etkin kullanılması, işçilik maliyetlerinde azalma,
- Yeniden kullanılabilir ekipman ve demirbaşların daha etkin yönetimi,
- Sahteciliğin engellenmesi.

2.8.2. Savunma ve Havacılık Sektörü

Amerikan Savunma Bakanlığı'na (DoD) bağlı Savunma Lojistik Birimi (DLA), dünya üzerindeki ikinci en büyük dağıtım ağına sahip kuruluştur. 22.000 sivil ve askeri personeli ile 48 eyalet ve 28 farklı ülkede faaliyet göstermekte olup, günlük 8.200 siparişi karşılamaktadır. 5,2 milyon çeşit malzeme hareketi, 18 büyük dağıtım deposu ve 45.000 tedarikçisi bulunmaktadır. Tedariği sağlanan malzemeler arasında ayakkabıdan çoraba, silahlı araçlardan, kan plazması ve cephaneye kadar çok çeşitli malzemeler bulunmaktadır (**Poirier ve McCollum, 2006**).

1991 yılında 1. Körfez Savaşı sırasında Orta Doğu'ya gönderilen konteynırların üçte biri kaybolmuş veya sayılamamıştır. Amerikan Savunma Bakanlığı özellikle 1. Körfez Savaşı'nın ardından lojistik süreçlerin iyileştirilmesi için çalışmalara başlamıştır. Ana dağıtım merkezleri ve birimler arasında, palet seviyesindeki taşımalarda aktif RFID sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. 2 Ekim 2003 tarihinde 23.000'in üzerinde tedarikçi için RFID uygulamasına ve tekil tanımlama sistemine geçiş kararı alınmıştır. Şubat 2005 tarihinden itibaren palet, kutu ve bazı ürünler için pasif RFID uygulamasına geçilmiştir. Öncelik, değeri yüksek malzemelere verilmiş, görünürlüğün artması ile güvenlik stoklarında azalma sağlanmıştır. Önemli takım ve teçhizatlar da RFID ile izlenmeye başlanmıştır. Ordunun konuşlandığı bölgelerde, çevresel koşulların zorluğu, pasif RFID etiket okuma oranlarını negatif yönde etkilese de Amerikan Savunma Bakanlığı, pasif RFID sistemlerin diğer otomatik tanımlama sistemleri ile birlikte kullanımını desteklemektedir (**Poirier ve McCollum, 2006**).

İkinci Körfez Savaşı'nda kullanılan RFID sistemleri ile demirbaş görünürlüğü en üst seviyeye çıkarılmış, operasyon yeri ve özel görevler için stoklara bağımlılık azalmıştır. Irak'ta yaralı askerlerin hastanelere transferinde hasta ile ilgili bilgi akışının hızlı ve doğru sağlanması için pilot çalışma başlatılmıştır. Hastaların kollarına takılan 1024 kB veri kapasitesine sahip etiketler ile hasta bilgileri (kan, alerji durumu, teşhis ve tedavi bilgileri vb.) kaydedilmiştir. Bu şekilde farklı sağlık birimlerine yönlendirilen hastalara doğru ve zamanında müdahale yapılabilmektedir

Amerikan Deniz Kuvvetleri tersine lojistik kapsamında yılda 500.000 adedin üzerinde kırık ve bozuk parçayı geri çağırılmaktadır. Irak'ta bu konu ile ilgili olarak yürütülen pilot çalışmada, mevcut barkod izleme sistemi üzerine RFID sistemi

entegre edilerek 200 milyon dolar değerindeki kırık parça geri getirilmiştir. Barkod sistemi ile %97,1'lik veri doğruluğu gözlemlenirken, RFID sistemi ile bu değer %99,6'ya ulaşmıştır. Amerikan Deniz Kuvvetleri bunun dışında değerli yedek parçaların konteynırlar içinde kullanılamaz hale gelmesini engellemek için RFID tabanlı sensor sistemi çalışması başlatmıştır. Sıcaklık, nem ve hava basıncını sürekli takip eden RFID sistemi için 150.000 dolarlık bir pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. **(Roberti, 2005).**

Genel açıdan bakıldığında RFID sistemlerinin ordu lojistiğinde sağlayacağı faydalar şu şekilde sıralanabilir:

- Operasyon planlarının daha etkin yürütölmesi,
- Kuvvetlerin doğru ve zamanında yönlendirmesi,
- Önceden hazır olma ve bilgi güvenilirliği,
- Lojistik merkezlerde ve operasyon sahalarında stokların gerçek zamanlı izlenmesi,
- Daha az güvenlik stokları ile alışma,
- Bakım, teçhizat ve geri çağırma operasyonlarının etkin yürütölmesi.

Havacılık endüstrisinde dünyanın iki büyük uçak üreticisi olan Airbus ve Boeing, üretim ve depolama süreçlerinde RFID uygulamalarına başlamıştır. Airbus, 2006 yılında başladığı pilot çalışmada, tekerlek, fren ve ilgili ekipmanların tedariğini RFID etiketli taşıma kutuları ile sağlamaktadır. Airbus'ın Fransa'daki fabrikasında gerçekleştirilen uygulamada, %100 envanter doğruluğu, mal kabul süreçlerinde %75 zaman kazanımı, çevrim süresi ve envanter seviyelerinde azalma sağlanmıştır **(Wasserman, 2007a).**

Havayolu şirketleri de RFID teknolojisinin farklı süreçlerde kullanımını öngören pilot çalışmalar başlatmıştır. Frankfurt havaalanı, bakım süreçlerini etkinleştirmek için RFID kullanımına geçmiştir. 2003 yılında başlatılan çalışmanın ilk evresinde yangın söndürme cihazı vb. ekipmanların yeri, sayısı ve acil durumlarda hangi teknik personel tarafından kullanıldığı RFID sistemleri ile izlenmeye başlanmıştır. **(Legner ve Thiesse, 2006).**

Hong Kong havaalanında, RFID sistemler ile bagajların konveyör üzerinde izlenmesi ve yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu konuda akademik çalışmalar da

yürütülmektedir. **Wong ve diğ. (2006)**, bu havaalanında RFID anten yerleşimlerini gözönüne alarak, personelin yer aldığı noktalarda oluşan elektromanyetik alan kuvvetini hesaplamış ve konuyu insan güvenliği açısından ele almıştır. **Sagahyroon ve diğ. (2007)**, yolcu ve konum bilgisini eşleştiren bir RFID takip sistemi geliştirmiştir. Sistemde yolcunun ve bagajının aynı uçakta olduğu ve olmadığı durumlar kolaylıkla izlenebilmektedir.

İngiltere’de yer alan bir üniversite ve Avrupalı bir konsorsiyumun beraber geliştirdiği Optag adlı proje kapsamında, panoramik kameralar ve uçuş kartlarına eklenen 10-20 metreden okunma özelliğine sahip aktif 5,8 GHz RFID etiketler kullanılmaktadır. Bu şekilde yolcuların havaalanı içindeki konumunun, okuyucular sayesinde 1 metrelik hata payı ile tespit edilmesi planlanmaktadır (**Wessel, 2006a**).

2.8.3. Sağlık ve İlaç Sektörü

Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü (FDA), ilaç tedarik zincirinde RFID kullanımı konusunda bağlayıcı kararlar alarak, kaçak ilaç kullanımının önüne geçmek istemektedir. RFID teknolojisi yardımı ile ilaçların elektronik soyağacının oluşturulması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. 2004 yılında Wal-Mart’ta ilk pilot çalışmalar başlamıştır. 327 milyar dolar büyüklüğü olan bu endüstride, sahte ilaç pazarı 30 milyar dolar değere sahiptir. Sahtecilik oranının yüksekliği, sektör açısından tedarik zincirinin güvenli hale getirilmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. İlaçların elektronik soyağacının çıkarılması ve tedarik zincirinin her geçiş noktasında, ilaçların geçerli bir noktadan teslim alındığına dair sertifikasyon oluşturulması planlanmaktadır. FDA, 2004 yılında yayımladığı kılavuzda, test, fizibilite ve pilot çalışmalarının nasıl yürütülmesi gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Ancak ilaç sektörü açısından HF ve UHF kullanımı konusundaki belirsizlik devam etmekle birlikte, iki teknoloji için de pilot çalışmalar sürdürülmektedir. Purdue Pharma, GlaxoSmithKline ve Johnson&Johnson pilot çalışmalarına başlamıştır (**Kleist ve diğ., 2005**). Pfizer, Viagra şişelerinde kullandığı HF etiketler ile tedarik zinciri boyunca sahteciliği engellemeye çalışmaktadır. Toptancı ve perakendecilerde Philip I-Code arayüz protokolünü içeren okuyucular bulunmakta ve RFID etiket içindeki EPC kodu sadece bu okuyucular ile okunabilmektedir. İlaç sektörü için hazırlanmış SupplyScape adı verilen bir yazılım ile EPC kodun geçerliliği merkezi sistemden sorgulanmakta ve onay verilmektedir.

Aynı sistem, ilaçların taşındığı UHF etiketli palet ve kutularda da uygulanmaya başlamıştır (**O'Connor, 2006a**).

Hastanelerde kullanılan yüksek maliyetli ekipman ve cihazların izlenmesi ve yerinin belirlenmesi, RFID sistemleri ile sağlanabilmektedir. Amerika'da Brigham Women's Hastanesi tarafından 6000 tıbbi cihazın RFID sistemleri ile takip edildiği ve bu yatırımdan yılda 300.000 dolar kâr beklendiği bildirilmektedir. Hastane ve sağlık sektörü açısından RFID yatırımı diğer sektörlere göre daha kolay ölçülebilmekte ve daha hızlı geri dönüş sağlamaktadır. Hastanelerde demirbaşların izlenmesi ve yerlerinin belirlenmesi amacı ile gerçek zamanlı konum belirleme sistemleri (RTLS) kurulmaktadır. Bu sistemler, mevcut kablosuz ağ sistem altyapısında aktif RFID etiketlerin kullanılması ile oluşturulmaktadır. ABI Araştırma Kurumu'nun yaptığı çalışmaya göre sağlık endüstrisi, özellikle pahalı cihazların kaybolmasını engelleyebilmek için, 2006 yılında demirbaş izleme ve konum belirleme sistemleri için toplam 20,8 milyon dolar RFID yatırımı gerçekleştirmiştir. 2011 yılında bu yatırımın 155 milyon dolara ulaşması beklenmektedir (**Wasserman, 2007b**). RFID uygulaması ile cihazların konumları gerçek zamanlı olarak bilinebilmekte, cihazları ihtiyaç duyulan yere ulaştırabilmek için gerekli süre azalmaktadır. Dolayısı ile hemşire ve diğer görevliler hastalarla daha çok ilgilenebilmekte ve hizmet kalitesi artmaktadır. Bunun dışında bulundurulması gereken cihaz veya ekipmanlar için envanter seviyesi azalmaktadır.

RFID teknolojisinin hastanelerdeki diğer bir kullanım alanı da hastaların izlenmesidir. İlk olarak SARS virüsüne yakalanan hastaların, hastane içinde izlenmesi amacı ile Asya'da kullanılan sistem, Amerika ve Avrupa'da da kullanılmaya başlanmıştır. Alzheimer hastalarının hastane içinde izlenmesi için bu teknolojiden yararlanılmaktadır. Ayrıca kalp hastalarının monitörlerine bağlanan RFID etiketler ile görevliler anlık olarak uyarılabilmektedir. İngiltere Birmingham'da 2007 yılı başında cerrahi operasyon geçiren hastaların yeri ve durumu hastalara takılan kol bantları ile izlenmeye başlanmıştır. RFID teknolojisi ile hastalara uygulanan tedaviler, operasyon sonuçları doktorlar tarafından bu şekilde kolaylıkla takip edilmektedir (Şekil 2.34). Bunun dışında kan torba ve tüpleri de RFID sistemleri ile izlenebilmektedir. Uygulama hataları ortadan kalkmakta ve kan stokları gerçekçi bir şekilde takip edilmektedir (**Wasserman, 2007b**).



Şekil 2.34: RFID destekli hasta izleme sistemi (www.supplyinsight.com)

Hastanelerde ilaç, tıbbi cihaz, malzeme ve hasta izleme açısından RFID kullanım alanları ve beklenen faydalar Tablo 2.6’da yer almaktadır.

Tablo 2.6: Hastanelerde RFID uygulamaları ve faydaları (Wasserman, 2007b).

Uygulama	Faydalar	İş Akışı
Hastanelerde tıbbi malzeme ve cihazların gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve konumunun belirlenmesi	Demirbaşların bulunmasında zaman kazanımı ve atıl sürelerin azalması. Kullanım verimliliğinin artması, envanter seviyesinde azalma	Cihazlar için otomatik rota belirleme, otomatik sinyaller, uyarılar oluşturma. Demirbaşların hareketinde, ilgili süreçlerin otomatik olarak tetiklenmesi
Hastaların hastane içindeki konumlarının belirlenmesi, tıbbi durumlarının izlenmesi	Hastalara hızlı ve kaliteli hizmet verilmesi, hastane görevlileri açısından işlem sürelerinin kısılması	Hasta tanımlama, tedavi ve cerrahi operasyon bilgilerinin elektronik ortamda izlenmesi
İlaç envanter izleme ve tarihçe oluşturma	-Güvenlik seviyesinin artması ve sahteciliğin engellenmesi -Hastanelerde klinik vakalara hızlı cevap verebilme yeteneği	Otomatik hızlı veri elde etme ve ürün tarihçesinin doğrulanması
Kan ürünleri yönetimi	Güvenlik ve klinik vakalara hızlı cevap verebilme yeteneği	Otomatik hızlı veri elde etme ve ürün tarihçesinin doğrulanması

2.8.4. Otomotiv Sektörü ve İmalat Kontrol

İmalat ve üretim otomasyonu açısından RFID teknolojisinin en çok kullanıldığı alan olarak otomotiv sektörü gösterilebilir. Otomotiv sektörü tedarik zinciri; hammadde/parça tedarikçisi, lojistik servis sağlayıcı, üretici, bayi ve servis istasyonlarından oluşmaktadır. Tedarikçi, otomotiv montajında kullanılan hammadde veya parça üretimini gerçekleştirmekte, lojistik servis sağlayıcı, otomotiv değer zinciri genelinde taşıma ve depolama hizmeti vermektedir. Üretici, müşterinin satın aldığı aracın üretimi ve montajını gerçekleştirmekte; bayi, araç, yedek parça ve aksesuar satış işlerini yürütmektedir. Servis istasyonları da tamir ve bakım işlemlerinden sorumludur.

RFID teknolojisi, diğer tedarik zincirleri gibi ancak zincirin her halkasında uygulandığı zaman gerçek anlamda fayda sağlamaktadır. Verilerin zincir üzerindeki paylaşımının belirlenmiş standartlar dahilinde gerçekleştirilmesi, üretilen her parçanın etiketlenmesi tedarik sürecinde tam görünürlüğü sağlanmasında ideal durum olarak gösterilebilir. Parça tedarikçisi etiketleme işlemini uygulamaya koyarken, üretim süreçlerini değiştirmekte ve etiket maliyetine katlanmaktadır. Depo yönetiminde iyileşme sağlarken, dağıtımı hızlandırmaktadır. Bu senaryoda etiketleme maliyeti parça tedarikçisi açısından yük oluşturmaktadır. Parçalar etiketlenmiş ve hazır olarak geldiği için, üretici tarafından üstlenilen maliyet, okuyucu altyapısının kurulması ve mevcut IT altyapısına entegre edilmesidir.

Strassner ve Fleisch (2003), otomotiv değer zinciri üzerindeki RFID uygulama kavramını üç farklı grupta incelemektedir: Parça izleme, demirbaş yönetimi ve araçla ilgili uygulamalar.

Parça izleme, tedarik zincirinde stok yönetimi, orijinal parça kullanımı, hırsızlık kontrolü, montaj, bakım, ürün geri çağırma, geri dönüşüm gibi satış sonrası hizmetler açısından fayda sağlamaktadır. Bu süreçte RFID etiketleri yeniden kullanılabilir değildir ve açık bir çevrim sözkonusudur. Bu nedenle tedarik zincirinin her halkasında standartlaştırılmış RFID altyapısını gerektirmektedir. Demirbaş yönetiminde, firma içinde yer alan konteynır, araç/gereç ve ekipman gibi varlıkların izlenmesi sözkonusudur ve kapalı bir çevrimden sözedilebilir. Araç tanıma, giriş kontrol, lastik basınç izleme, araçla ilgili uygulamalar sınıfında sayılmaktadır (Tablo 2.7).

Tablo 2.7: Otomotiv Sektöründe RFID kullanım alanları

Parça izleme	Demirbaş yönetimi	Araç ile ilgili uygulamalar
- Stok Yönetimi - Orijinal parça doğrulama - Hırsızlık Kontrol - Montaj - Bakım - Ürün Geri Çağırma - Geri Dönüşüm	- Konteynır Yönetimi - Araç/gereç Yönetimi	- Araç Tanıma - Giriş Kontrol - Lastik Basınç İzleme

Parça izleme sürecinde iki farklı yöntem kullanılabilir. Birinci yöntemde her parça için ayrı bir RFID etiket kullanılır. Bu parçalar, araç kimlik (ID) numarası ile ilişkilendirilir. İkinci yöntemde ise etiket, parçaların taşındığı palet ya da konteynırlarda kullanılır. Bu yöntemde birden fazla parça, konteynır ya da paket üzerindeki etiketler ile izlenir. Özellikle yeniden kullanılabilir taşıma sistemleri için parça izleme süreci çok daha düşük maliyet ile sağlanabilir. Bu şekilde stok yönetimi açısından malzemelerin depolara giriş ve çıkışları, montaj istasyonları arasındaki geçişleri izlenebilir.

Demirbaşların yönetimi kapsamında kapalı çevrim içinde konteynır, palet ya da diğer taşıyıcı birimlerin etkin bir şekilde izlenmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde, taşıma konteynırlarında rota hataları azalmakta, kargo terminallerinde konteynırların daha hızlı elleçlenmesi, kaynakların daha etkin kullanımı ve konteynırların yeniden kullanıma daha hızlı hazırlanması sağlanabilmektedir. Gönderim yerleri etikette saklanabilmekte, RFID barkod etiketine göre daha fazla dayanıklılık göstermektedir. Üretim sürecinde kullanılan araç, gereç ve ekipman kullanımlarının izlenmesi ile yanlış konumlandırma engellenebilmekte ve eksikliklerin kontrol edilmesi sağlanmaktadır.

Araçla ilgili uygulamalar kapsamında araç konum belirleme, otomatik geçiş ve lastik basınç izleme sistemleri sayılabilir. Araçta bulunan RFID etiketi ile aracın fabrika üretim bandındaki veya park sahası içindeki yeri belirlenmekte, hırsızlık kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca araç kullanımı sırasında, köprü, otopark gibi geçişlerde otomatik ödeme yapılabilmektedir. Anahtarda bulunan RFID immobilizasyon sistemi

ile araç içi güvenlik kontrolü sağlanmaktadır. Her lastik için verilen ayrı kimlik (ID) numarası ile lastik basınç değerleri izlenmektedir.

Dünyanın en büyük otomobil üreticilerinden Daimler Chrysler, tedarikçisi Lear Corporation ve Bremen Üniversitesi tarafından 2006 yılında Bremen fabrikasında başlatılan pilot çalışmada, Mercedes SLK araç koltuklarının üretim ve lojistik süreçleri RFID destekli olarak izlenmekte ve optimize edilmektedir. Süreç dahilinde yeniden kullanılabilir taşıma kapları ve koltuklar RFID etiketler ile izlenmektedir (www.biba.uni-bremen.de). Stuttgart'daki fabrikada, depo ve üretim sahası arasındaki kanban sisteminin otomasyonu kapsamında RFID projesi başlatılmıştır (**Collins, 2006**). BMW ve Siemens tarafından München fabrikasında başlatılan pilot çalışmada otomobil, karoserinin montajı sırasında izlenmekte, üretim kontrol, dokümantasyon ve kalite kontrol süreçleri RFID destekli olarak optimize edilmektedir (www.siemens.com/rfid). Ford firması da aynı şekilde araçların montaj hattı boyunca RFID destekli olarak izlenmesi ile ilgili 2005 yılında pilot çalışma başlatmıştır.

RFID teknolojisindeki gelişmeler, imalat kontrol sistemlerini de etkilemiştir. Bu bakış açısı ile **McFarlane ve diğ. (2003)**, imalat kontrol sistemlerini üç bölümde incelemektedir:

- **Geleneksel imalat kontrol sistemleri:** Karar verme sürecinin hiyerarşik düzende çalıştığı, çizelge ve zaman planlarının önceden belirlendiği bir yapıya sahiptir. Bu yapı dahilinde müşteri siparişleri, ana planlama merkezinde işleme alınmakta, detaylı çizelge ve planlar oluşturulmaktadır. Hammadde ve kaynak kullanımı, önceden belirlenmiş çizelgeler ile gerçekleştirilmektedir.
- **RFID sistemleri ile geliştirilmiş geleneksel imalat kontrol sistemleri:** Ürün kimlik bilgisi tanımlıdır. Gerçek zamanlı ve doğru ürün kimlik bilgisi, sipariş gecikmelerini, üretim ve depo operasyonlarındaki hataları azaltmaktadır. Sipariş durum bilgisi, ürün kimlik bilgileri ile dinamik olarak belirlenmekte, ekipman ve ürün bilgileri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.
- **Dağıtık akıllı imalat kontrol sistemleri:** Bu sistemde kontrol sistem kararları birden fazla karar verici tarafından verilir. Karar verme bileşenleri

karar verme sürecinde işbirliği ve esneklik içinde hareket eder. Etkin karar verme sürecinde, tek karar verme bileşeninin gerekli tüm bilgilere erişim imkânı bulunmamaktadır. Tüm karar verme elemanları, üretim ortamındaki fiziksel elemanlarla bağlantılıdır (makineler, ürünler, parçalar ve müşteri siparişleri). Bu sistemler dâhilinde kararlar, yazılım ajanları tarafından verilir. Yazılım ajanları, bağımsız olarak karar verebilen, çevre elemanlar ve diğer ajanlardan kaynaklanabilecek değişimlere cevap verebilen farklı yazılım birimleridir. Dağıtık imalat kontrol sistemlerinde akıllı ürün kavramı şu şekilde tanımlanmaktadır:

- o Tekil kimlik bilgisine sahiptir.
- o Kendi çevresi ile etkin bir şekilde iletişim kurabilme yeteneği vardır.
- o Kendisi ile ilgili verileri depolayabilir.
- o Kendi özelliklerini, üretim gereksinimlerini vb. ortaya koyabilen özel bir dile sahiptir.
- o Bir süreç içinde kendi kaderi ile ilgili karar verir veya verilecek karara katkıda bulunur.

RFID sistemlerinin kullanıldığı dağıtık akıllı imalat kontrol sistemlerinde önceden belirlenmiş ayrı bir çizelge ve rota bulunmamaktadır. Farklı müşteriler için çok sayıda sipariş emri aynı anda yerine getirilebilmekte, RFID yardımı ile sipariş tarihçesi takip edilebilmektedir. Üretimde esneklik sözkonusudur ve müşteriye özel ürün özelleştirmesi, gerçek zamanlı olarak üretim sırasında yerine getirilebilmektedir.

Vrba ve diğ. (2005), EPC ağ yapısını odak alarak yaptıkları çalışmada, RFID teknolojisini ajan tabanlı kontrol sistemleri ile bütünleştirmek için, standart ajan iletişim mekanizmaları ile EPC verisini diğer ajanlara aktaracak özel aracı ajanların oluşturulması gerektiğini bildirmektedir. EPC verilerinin RFID okuyucuları vasıtasıyla tek bir yerde toplandığı merkezi Savant yapısını, ajan tabanlı sistemler için önermemekle birlikte, RFID ajanlarının merkezi bir veritabanından elde ettikleri verileri diğer ajanlara dağıtmaya çalıştığında, esnekliğin önemli ölçüde azaldığını belirtmektedir. Bu çalışmada dağıtık yapı tasarımlar üç bölümde incelenmiştir:

- **Hücre düzeyinde dağıtım:** Savant yapısının, her biri montaj, paketlenme, malzeme taşıma gibi fabrikanın farklı operasyonları için hizmet eden farklı sunuculara ayrıldığı yapıdır.
- **Makine düzeyinde dağıtım:** Savant işlevselliğinin, RFID bilgisinin gerçek zamanlı kontrol operasyonlarına aktarılması için PLC seviyesinde dağıtılmış türevleridir.
- **Ajan düzeyinde dağıtım:** RFID okuyucularından veri toplayabilen, filtreleyebilen ve kendi hafızasında gerçek zamanlı olarak depolayabilen her bir RFID ajanına Savant işlevselliği kazandırılan yapıdır. RFID ajanları bu yapıda diğer ajanlar için gerekli EPC verisini, herhangi bir merkezi veritabanı ya da arabulucuya gerek kalmadan temin edebilmektedir. **Vrba ve diğ. (2005)**, bu tasarımı önermekte ve çalışmalarında bu bağlamda bir uygulama gerçekleştirmektedir.

RFID teknolojisinin üretim yönetimi ve kontrol sistemlerinde kullanımı, günümüzde önemli bir yer tutarken, birçok uzman konu ile ilgili literatüre katkıda bulunmaya devam etmektedir. **Qiu (2007) ve Liu ve diğ. (2004)**, RFID destekli ajan tabanlı dağıtık sistem yapıları tasarlamış ve örnek uygulamalar gerçekleştirmiştir. **Erkayhan (2007)**, ürün yaşam çevrim yönetimi bakış açısı ile ürünün planlama aşamasından başlayarak üretim, satış ve geri dönüşümünü içeren bir enformasyon yönetim sistemi tanımlamıştır. **Zhou ve diğ. (2007)**, RFID, Bluetooth ve Internet teknolojilerini kullanarak uzaktan kontrollü üretim yönetimi sistemi tasarlamıştır. **Budak ve diğ. (2007)**, RFID teknolojisi ile gerçek zamanlı üretim izleme ve analiz sistemi oluşturmuştur. **Huang ve diğ. (2007a)**, sabit hücreler arasında dolaşarak çalışan işçilerin konu edildiği bir RFID tabanlı üretim kontrol sistemi tasarlamıştır. **Thiesse ve Fleisch (2007)**, RTLS destekli karmaşık imalat süreçlerinde çizelgeleme problemlerine odaklanmakta ve benzetim modeli yardımı ile sağlanan performans artışını ölçümlemeye çalışmaktadır.

2.8.5. Taşımacılık ve Lojistik Sektörü

Lojistik ve taşımacılık sektörü açısından ürün ve malzemelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve görünürlüğün artırılması açısından RFID teknolojisinin önemi büyüktür. Taşıma araçlarında, konteynırlarda ve paletlerde, ürün ve malzemenin takibi RFID teknolojisi ile çok daha etkin bir şekilde sağlanabilmektedir. RFID

teknolojisi, GPS ve sensor teknolojileri ile birlikte kullanıldığında, izleme saha kısıtı taşımadığı gibi çevresel koşulların değişimi de ürünün hareketi ile birlikte takip edilebilmektedir (Şekil 2.35).



Şekil 2.35: RFID – GPS destekli ürün izleme sistemi (www.microlise.com)

Dünyanın en büyük palet ve konteynır havuzlarına sahip olan, bunları firmalara kiralayan ve üçüncü parti lojistik işi yapan CHEP, yeniden kullanılabilir paletlerini UHF Gen2 RFID etiketleri ile izleme kararı almış, Avon ve Procter & Gamble şirketleri ile pilot çalışmalara başlamıştır (**O'Connor, 2006b**). Kutu ve palet havuz şirketi olan EuroPool da plastik kasaların taşınmasında UHF Gen2 RFID uygulamasına geçmiştir. Uluslararası Şangay Limanı'nda konteynır giriş ve çıkış bilgileri ile konumları, RFID destekli olarak izlenmektedir. Aktif RFID etiketleri ve GPS teknolojisinin birlikte kullanıldığı sistemde, konteynırların açılıp açılmadığı gibi güvenlik bilgileri de takip edilmektedir (**Bacheldor, 2007**). Singapur Limanı'nda RFID teknolojisi yardımı ile 3 boyutlu haritalama gerçekleştirilmekte, konteynırların etkin ve doğru yerleşimi sağlanmaktadır (**D'Hont, 2004**). Deutsche Post-DHL, 2006 yılında başladığı pilot çalışmada posta konteynırlarını yeniden kullanılabilir, düğme şeklinde HF RFID etiketlerle izlemeye başlamıştır. Ayrıca sensörlü RFID etiket kullanımı ile soğuk zincir ürünleri için güvenli taşımacılık altyapısı oluşturmuştur (**Wessel, 2006b**). Çin Ulusal Posta şirketi, Symbol firması ile yürüttüğü pilot çalışmada, ekspres posta torbalarını, dağıtım merkezi ve şubeler arasında yeniden kullanılabilir RFID etiketleri ile izlemeye başlamıştır. Pilot çalışma ile birlikte % 20 verimlilik artışı sağlanmış ve işçilik maliyetleri azalmıştır. Symbol bu uygulamanın yıllık \$40.000 maliyet kazancı sağladığını ve 5-6 senede yatırımın geri döneceğini belirtmiştir (**Bacheldor, 2006**).

Taşımacılık ve lojistik süreçlerinde elde edilen gerçek zamanlı ürün/malzeme bilgisi ile lojistik karar destek sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. **Chow ve diğ. (2006)**, bir depo sahasında RFID teknolojisi kullanımı ile gelen siparişler için gerçek zamanlı kaynak tahsisi ve rota optimizasyonu gerçekleştiren bir sistem oluşturmuştur. **Ngai ve diğ. (2007)**, Hong Kong’da bir konteynır depolama sahası için RFID tabanlı karar destek sistemi tasarlamıştır.

2.8.6. Diğer Sektörel Uygulamalar

RFID teknolojisinin, inşaat, gıda, elektronik, eğitim vb. birçok sektör içinde uygulama alanı bulunmaktadır. **Ergen ve Akıncı (2007)**, inşaat sektörü için yaptıkları araştırmada, prefabrik yapı elemanları, boru parçalarının teslim alınması ve inşaat sahalarında izlenmesi ile ilgili kullanılan RFID teknolojilerini bellek kapasitesi ve özelliği, okunma uzaklığı, etiket cinsi kriterlerine göre tanımlamıştır. Bunun yanı sıra, proje dahilinde kullanılan ekipman ve çeşitli materyallerin saha içindeki konumunun belirlenmesi açısından RFID uygulaması tasarlamış, yapılan saha testlerinde aktif UHF RFID teknolojilerinin başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. **Yagi ve diğ. (2005)** , **Goodrum ve diğ. (2006)** inşaat sahalarında malzeme, ekipman izlenmesi ve stoklanması ile ilgili bilgi sistemleri oluşturmuşlar, çevresel koşulların etkilerini incelemişlerdir. **Song ve diğ. (2006)**, inşaat alanlarında boruların stoklanması ve izlenmesi ile ilgili uygulama çalışması gerçekleştirmiştir. **Sommerville ve Craig (2005)** yaptıkları çalışmada akıllı bina kavramı içinde RFID teknolojisinin yerini ve önemini belirtmektedir. **Lu ve diğ. (2007)**, inşaat sahalarında araçların izlenmesi ve yönlendirilmesi ile ilgili RFID, GPS ve Bluetooth teknolojilerini içeren bir sistem tasarlamıştır.

Yakın alan iletişim olarak adlandırılan NFC teknolojisi, özellikle cep telefonu ve tüketici elektroniği ürünlerinde kullanılmaktadır. Genelde 13,56 MHz frekansında çalışmakla birlikte ISO 18092 standardına uyumludur. Kart ve okuyucu özelliği aynı cihaz içinde bulunmakta, bu şekilde temassız akıllı kart uygulamalarından farklılaşmaktadır. Farklı cihazlar arası iletişim olanağı bulunmakta ve veri transfer hızı ortalama 424 kilobit/saniye olmaktadır. Cep telefonları, dizüstü bilgisayar, el bilgisayarları ve MP3 cihazlarda kullanılmakta, bilgi paylaşımı, karşılıklı veri transferi, ödeme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Samsung, Nokia firmaları şimdiden NFC entegre ürünlerini piyasaya sunmuşlardır (Şekil 2.36).



Şekil 2.36: NFC cep telefonu uygulamaları (www.nxp.com)

Müze ve sergi uygulamalarında PDA cihazları ile bütünleştirilen RFID okuyucu özelliği ile ziyaretçiler; ilgilendikleri eserlerle ilgili çok daha görsel, işitsel ve yazılı bilgi elde edebilmektedir. Münster Üniversitesi, LF sistemler kullanan PDA cihazları ile coğrafya müzesi için bir pilot çalışma başlatmıştır (www.uni-muenster.de/geomuseum). **Huang ve diğ. (2007b)**, müzeler için veri madenciliği ve korelasyon teknikleri içeren yazılım altyapısı kullanarak RFID tabanlı bir bilgilendirme ve yönlendirme sistemi tasarlamıştır. Bu tarz sistemler ayrıca eğitim kurumlarında öğrenciler için görsel ve işitsel eğitim amaçlı olarak kullanılabilmektedir (**Tatsumi ve diğ., 2004**).

Gıda sektöründe soğuk zincir uygulamalarının yanısıra gıda izlenebilirliği konusundaki çalışmalar da hız kazanmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği'nin gıda izlenebilirliği konusunda 2005 yılında yürürlüğe giren kanunu, bu alandaki çalışmaları hızlandırmıştır. **Wang ve diğ. (2006)**, kablosuz ağ ve sensor teknolojilerinin gıda endüstrisindeki yerini anlatan bir makale yayımlamıştır. **Perez-Aloe ve diğ. (2007)**, peynircilik endüstrisinde üretim ve kalite kontrol süreçlerini kapsayan bir izleme sistemi tasarlamıştır. **Jedermann ve diğ. (2006)**, meyve endüstrisi için RFID, sensor teknolojileri ve yazılım ajanlarını kullanan bir lojistik izleme sistemi oluşturmuştur. **Ngai ve diğ. (2008)**, Hong Kong'da bir suşi restoranı için hazırladıkları uygulama projesinde, hazır suşi tabaklarını konveyör hattı üzerinde izlemektedir. Garsonlar, ellerindeki PDA cihazları ile siparişi girmekte,

eğer istenen çeşit hazır ise hemen konveyör üzerinden almakta ve ID numarasını okutmaktadır. Sistemdeki her suşi tabağı HF RFID etiketi ile izlenmektedir. Sistem stok ve personel sistemi ile bağlantılı olarak çalışmakta, hangi çeşitlerin daha çok tercih edildiği, bir çeşidin konveyörde ne kadar beklediği, bir tabağın hangi mutfak personeli tarafından hazırlandığı ve mevcut stok miktarları izlenmektedir. Garsonlar ellerindeki PDA ekranından konveyör hattı üzerindeki çeşitleri görebilmekte, istenen çeşit hazır değil ise siparişi doğrudan arka mutfığa iletmektedir.

RFID teknolojisi; kütüphanecilik, hayvancılık gibi alanlarda önemli bir yer tutmaktadır. Bugün spor müsabakalarında koşucunun hızı ve diğer bilgilerinin anlık olarak elde edilip, el bilgisayarı veya cep telefonuna aktarılmasını sağlayan sistemler tasarlanmaktadır. Kayak pistlerinde, kayaklara yerleştirilen çipler ile kişinin pist üzerindeki konumu ve rotası izlenebilmektedir. Belediyelerde çöp toplama işlerinin optimize edilebilmesi için, caddelerdeki çöp kutularına RFID etiketler yerleştirilmekte ve çöp kamyonlarında özel okuyucular bulundurulmaktadır. Bu sayede sıklık, boşaltma zamanı ve boşaltılan yük miktarı gibi bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Böylece adil vergilendirme açısından da fayda sağlanmaktadır.

İzleme ve konum belirleme açısından süreçlere getirdiği faydalar, RFID teknolojisinin, birçok alanda kullanımını mümkün kılmaktadır. Farklı teknolojiler ile birlikte kullanımı, uygulamalarda yaratıcı çözümleri beraberinde getirmektedir. Firmaların RFID teknolojisi uygulamalarını salt donanım yatırımı olarak algılaması, beklenen faydanın sağlanmasını engellemektedir. RFID teknolojisi gerçek zamanlı verinin elde edilmesi ile firma açısından daha doğru kararların verilmesini sağlamakta ve otomasyon açısından süreç verimliliğini arttırmaktadır.

3. TEDARİK ZİNCİRİ VE RFID

Tedarik zinciri, herhangi bir ürünün hammadde halinden nihai ürün haline gelip müşteriye sunulana kadar geçirdiği tüm süreçlerdeki işletmeler topluluğu olarak tanımlanabilir (Sarı, 2006). RFID teknolojisi, tedarik zinciri üzerinde, ürünlerin veya malzemelerin birim, kutu veya palet seviyesinde izlenmesinde büyük faydalar sağlamaktadır. Süreç verimliliği artmakta, işçilik maliyetleri azalmakta, artan görünürlük ile birlikte ürün bulunabilirliği ve tedarik zincirindeki koordinasyon artmaktadır. Tahmin hataları, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalmakta, depolarda tutulan stok miktarları düşmektedir. Doğruluk seviyesinin artması, zincir üyelerinin daha etkin kararlar verebilmesini sağlamaktadır. Güvenlik seviyesinin yükselmesi ile birlikte ürün çalınma oranları düşmektedir. Stokta bulunmama ve kayıp satış oranları azalmakta, nihai anlamda müşteri memnuniyeti artmaktadır.

Günümüzde, stoklarda oluşan fireler, perakendeci ve imalatçılar için büyük sorun oluşturmaktadır. Stoklarda oluşan fire; çalınma, malzemenin zarar görmesi, sahtecilik, yanlış yerleştirme ya da işlem hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu durum gerçek ve kayıtlı stok miktarları arasında farklılığa neden olmakta ve stokta bulunmama, kayıp satış gibi sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. RFID teknolojisi ile bu sorunlara çözüm sağlanmakta, görünürlüğün artması ile birlikte gerçek stok miktarlarına daha yakın değerler elde edilmekte, ürün tedariki çok daha doğru gerçekleştirilmekte ve daha az stokta bulunmama durumu oluşmaktadır. Stokların daha doğru izlenmesi ile işlem hataları azalmakta, yanlış yerleştirmeler engellenmekte, sahtecilik ortadan kalkmakta ve fire miktarları azalmaktadır.

Schutzberg (2004), tarafından tüketim ürünleri tedarik zinciri ile ilgili yayımlanan raporda, üretici, lojistik servis sağlayıcı ve perakendeci açısından RFID teknolojisinin sağladığı faydalar şu şekilde belirtilmiştir (Tablo 3.1):

Tablo 3.1: Tedarik zinciri üzerinde sağlanan faydalar

Üretici	Lojistik Servis Sağlayıcı	Perakendeci
Sipariş yükleme zamanlarında azalma	Daha iyi sipariş teslim oranları	Mağaza içi yerleşimin gerçek zamanlı veriler ile daha iyi yapılması
Sipariş gönderimlerinde doğruluk	Fire oranlarının azalması	Satış noktası etkinliğinin artması, çıkış kontrollerinde doğruluk
Perakendeciden daha iyi tüketici satış verisi sağlanması	Yönetim ve insan hatalarında azalma	Geliştirilmiş tersine lojistik faaliyetleri
Düşük sahtecilik	Düşük işçilik gereksinimleri	Raf ve depo seviyesinde daha doğru ve hızlı stok takibi
Tedarikçi stoklarının daha iyi yönetilmesi	Stok izlemede daha az süre kullanımı ve daha düşük maliyet	Stok seviyelerinde optimizasyon
Ürün güvenliği için yapılan geri çağrıların kolaylaşması	İş sıralamada daha fazla etkinlik	Tedarikçi ödemelerinin ve yüklemelerinin otomatikleştirilmesi
Daha doğru talep planlama	Etkin operasyonlar ile kapasite artışı	İşçilik maliyetlerinde azalma
Daha düşük güvenlik stokları	Hata kaynaklı cezai ödemelerin azalması	Yeniden kullanılabilirlik kapsamında daha etkin yönetim
İşçilerin daha etkin kullanılması		Gri pazarların daha etkin izlenmesi
Yanlış teslimlerin azalması ile daha düşük cezai ödemeler		

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerinin tam anlamıyla belirlenebilmesi için nicel ve nitel faktörlerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Tedarik zincirinin üyeleri, zincir üzerindeki RFID yatırımından farklı boyutlarda etkilenebilir. RFID uygulaması ile birlikte süreçlerde sağlanan fayda dört seviyede incelenebilir:

- Verimlilik
- Doğruluk
- Görünürlük
- Güvenlik

RFID uygulaması, belirlenen bu dört seviyede sisteme maliyet avantajı ile kazanımlar sağlamaktadır. RFID teknolojisi yatırımlarının geri dönüşü hesaplanırken, bu seviyelerde oluşan etkilerin her zincir üyesi için detaylı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bölümde RFID teknolojisinin verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik seviyelerindeki etkileri incelenmekte ve aralarındaki ilişki bir diyagram yardımı ile açıklanmaktadır. Bu teknolojinin, tedarik zincirindeki etkilerinin sayısal olarak değerlendirilmesi üzerine yürütülen akademik çalışmalar açıklanmakta, çalışma alanı içindeki boşluklar vurgulanmaktadır.

3.1. Tedarik Zincirinde RFID Teknolojisinin Faydaları

3.1.1. Verimlilik

RFID teknolojisinin süreçlere entegre edilmesi ile birlikte otomasyon sağlanmakta ve süreçler yeniden yapılandırılmaktadır. Aşağıda belirtilen altı temel strateji kullanılarak verimliliğin artışı sağlanmaktadır (**Mannel, 2006**):

- **Segmentasyon:** Veri tanımlamaları yolu ile sınıflama,
- **Basitleştirme:** Süreç adımlarının elimine edilmesi ya da basitleştirilmesi,
- **Paralel yürütme:** Belirli adımların eş zamanlı olarak yürütülmesi,
- **Senkronizasyon:** Süreçlerin eş zamanlama ile sıralı olarak uyum içinde yürütülmesi,
- **Taşıma boyutunda farklılaştırma:** Daha büyük yükleme birimleri (örn. beş yerine sekizerli gruplar) kullanarak süreç için gerekli sürenin azaltılması,
- **Hızlandırma:** Otomasyon sayesinde süreç için gereksinim duyulan sürenin azalması.

RFID entegrasyonu ile birlikte lojistik süreçler, daha az personel ile çok daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. RFID teknolojisinin temel lojistik süreçler olan ürün kabul, yerleştirme, stok sayım, toplama ve yükleme süreçlerindeki etkileri şu şekilde açıklanabilir:

- **Ürün Kabul:** Süreç kapsamında kontrol aşamasının basitleştirilmesi, işlerin paralel yürütülmesi ile süreç için gerekli sürenin kısaltılması sağlanmaktadır. RFID teknolojisi ile manuel işlemler azaltılmakta, özellikle ürün kimlik bilgilerinin RFID geçiş sistemi üzerinden toplu bir şekilde okutulması sağlanabilmektedir. Bu şekilde işlem hata oranları azalmakla birlikte, süreç hızlanmakta, toplanan veriler ana sisteme (depo yönetim sistemi vb.) otomatik olarak aktarılabilmektedir. Özellikle çapraz-sevkiyat (cross-dock)

uygulamalarında ürünün, daha kabul aşamasında iken açık bir sipariş sevkiyatı için yükleme noktasına götürülmesi gerekip gerekmediği belirlenebilmektedir. Zarar görmüş ürünler, bir kenara alınarak RFID teknolojisi yardımı ile hızlı bir şekilde tekrar tanımlanabilmektedir. Konveyör geçiş sistemi kullanıldığı durumlarda, RFID teknolojisi ile süreç çok daha hızlanmakta, okuma hataları yüksek oranda azalmaktadır.

- **Ürün yerleştirme:** Depolama alanında, forklift gibi taşıma araçlarına yerleştirilen okuyucular sayesinde raflardaki ve ürünlerin üzerindeki RFID etiketleri otomatik olarak okutulmakta, yanlış yerleştirme olasılığı ortadan kaldırılmaktadır. Okutma işlemi personel tarafından RFID el terminalleri ile de gerçekleştirilebilir. Raf üzerindeki okuyucular ile yerleştirme esnasında sistem kaydı otomatik olarak sağlanabilir. Etiketlerin sağlamlığı, her türlü çevresel koşul altında başarılı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.
- **Ürün toplama:** Depolama raflarına RFID okuyucuları entegre edilebileceği gibi sadece paketleme ve kontrol istasyonlarında RFID geçiş sistemleri kurulabilir. Birinci seçenek pahalı bir çözüm olmakla birlikte, raf üzerindeki ürün hareketleri gerçek zamanlı ve hatasız olarak izlenebilir. Bu seçenekte personelin çalışma performansı da ayrıca ölçülmüş olur, siparişin ne kadar zamanda hazır hale getirildiği belirlenir. Bu işlem barkod okuyucular ile de gerçekleştirilebilir ancak RFID sistemi ile manuel okumalar ortadan kaldırılmış olur. İkinci seçenekte sipariş için toplanan ürünlerin doğruluğu kontrol edilir ve onaylanır.
- **Stok sayım:** Stok sayımı için işletmelerde genelde yüksek işgücüne gereksinim duyulmaktadır. RFID sistemi yardımı ile stok sayım işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir. İlk yöntemde raflara RFID okuyucular entegre edilebilir. Hangi rafta hangi ürünün olduğu gerçek zamanlı olarak takip edilebilir. Ancak bu yöntem çok fazla sayıda RFID okuyucu gerektirdiğinden, yatırımın finansal boyutu da yüksektir. İkinci yöntemde ise RFID el terminalleri kullanılarak, stok sayım işlemi hızlandırılabilir. Bu yöntemde yatırımın maliyeti birinci yönteme göre çok daha azdır.
- **Yükleme:** Siparişler hazırlandıktan sonra ürünler depo çıkış kapılarından araçlara yüklenir. Çıkış kapılarına kurulan RFID sistemleri ile hem yükleme

bilgileri sipariş bilgileri ile karşılaştırılır, hem de siparişin doğru araca yüklenip yüklenmediği kontrol edilir. Yükleme belgeleri otomatik olarak sistemden çıkartılır. Toplu okuma sayesinde işgücü açısından yüksek maliyet tasarrufu sağlanır.

Yukarıda açıklanan temel süreçler dışında, sipariş hatası ya da geri dönüşü istenen sorunlu ürünler için uygulanan işlemler de RFID teknolojisi ile daha hızlı hale getirilebilir. Özellikle gıda ve ilaç endüstrisi için ürün tarihçesinin bilinmesi (ürün izlenebilirliği) çok büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bir perakende mağaza için ürünlerin kasadan geçmesi otomatize edilebilmektedir. Kasalara entegre edilen RFID okuyucular sayesinde bekleme süreleri azalmakta, işlemler hızlanmaktadır.

Stok sayım süreci için artan süreç verimliliğine örnek verelim. Yıllık ortalama stok seviyesi 2 milyon ürün olan bir hipermarkette, RFID uygulaması ile ürün başına 5 saniyelik bir kazanım elde ettiğimizi varsayalım. Saatlik ücretin 15 YTL (0,0042 YTL/saniye) olduğu ve yılda 2 defa stok sayımı gerçekleştirildiği düşünülürse, beklenen yıllık kazanç ortalama 84.000 YTL ($0,0042 \times 5 \times 2.000.000 \times 2$) olmaktadır.

3.1.2. Doğruluk

Süreç kalitesi olarak da nitelendirebileceğimiz doğruluk seviyesinin artması, RFID uygulaması ile birlikte, ürün kabul, yerleştirme, stok sayım, toplama ya da yükleme süreçlerindeki işlem hatalarının azalması ile sağlanmaktadır.

Genelde ürün kabul ya da yerleştirme sırasında oluşan hatalar ancak stok sayım ya da sipariş hazırlama sürecinde fark edilebilmektedir. Ürün toplama sırasında yapılan hatalar yükleme sırasında, yükleme sırasında fark edilemeyen hatalar da ancak müşterinin siparişi geri göndermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu işleyiş gerçek ve kayıtlı stoklar arasında fark oluşturmakta ve stokta bulunmama durumu ortaya çıkmaktadır. İşletme açısından daha çok güvenlik stoğu bulundurmamak gerekmektedir.

RFID uygulaması ile birlikte ortalama stok seviyesi düşmekte, toplam stok elde bulundurma, bulundurmama ve kayıp satış maliyetleri azalmaktadır. Ayrıca geri dönen siparişlerden kaynaklanan ek işlem maliyetleri de düşmektedir. Hata oranlarının düşmesi ile birlikte ürün bulunabilirliği ve müşteri memnuniyeti artmakta, bu da işletme açısından gelir artışı sağlamaktadır.

Ürün kabul, yerleştirme, toplama, stok sayım ve yükleme süreçlerinde, RFID uygulaması ile oluşan hataların azalması doğruluk seviyesini arttırmakta, işletmenin personel üzerindeki iş yükü ve dolayısı ile işçilik maliyetleri azalmaktadır.

Örneğin; RFID uygulaması gerçekleştirilen ve yılda 10 milyon adet ürün hareketi bulunan bir hipermarkette toplama süreci sırasında oluşan hata oranlarının % 3'den % 0,5'e düştüğünü varsayalım. Hatalı ürün toplama işleminde oluşan ürün başına ek işlem süresinin 2 dakika olduğunu ve saatlik ücretin 15 YTL (0,0042 YTL/saniye) olduğunu varsayarsak, yıllık ortalama kazanç 126.000 YTL ($10.000.000 \times 0,025 \times 2 \times 60 \times 0,0042$) olarak elde edilecektir.

RFID uygulaması ile birlikte yıllık ortalama tutulan 1.000.000 adet ürün stok miktarının %1 azaldığını, her ürünün 20 YTL olduğu ve yıllık stok elde bulundurma maliyetinin bu değer % 7'si olduğunu varsayarsak, yılda elde edilen kazanç 14.000 YTL ($1.000.000 \times 0,01 \times 20 \times 0,07$) olacaktır.

3.1.3. Görünürlük

Tedarik zinciri üzerinde hareket eden bir ürünün veya malzemenin, işletme sınırları içinde ve ötesinde, yer ve durum bilgisinin elde edilebilme özelliği, görünürlük olarak adlandırılmaktadır. RFID teknolojisinin kullanımı ile birlikte gerçek zamanlı veri elde edilmekte, görünürlük seviyesi ve ürün bulunabilirliği artmaktadır. Geleceğe yönelik daha doğru tahmin ve planlama yapılabilmekte, ürün ve bunların taşındığı palet, kutu gibi lojistik ekipmanların izlenmesi ve geri dönüşümün sağlanması kolaylaşmaktadır.

Görünürlüğün yüksek olması, işletmelerin stokta bulunmama oranını da azaltmaktadır. Perakende sektörü için dünya genelinde yapılan bir araştırmada bir ürünün ortalama stokta bulunmama oranı yaklaşık %8 olarak belirlenmiştir. Ürünlerin stokta bulunmadığı durumların %72'sinin perakende mağazasının kendisinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu durumların %34'ü ürünün geç sipariş edilmesinden veya hiç sipariş edilmemesinden, %13'ü hatalı tahminlerden, % 25'i de arka depolardaki stoklarda var olup rafta bulunmamasından kaynaklanmaktadır (Angerer, 2004). Perakende sektörü için yapılan başka bir araştırmada, ortalama bir mağazanın stokta olmayan ürünlerin bulunması için haftada 800 dolar harcadığı belirlenmiştir. Bu durum 100 mağaza için yıllık ortalama 4,1 milyon dolar maliyet değeri oluşturmaktadır. Aynı araştırmaya göre bir perakende müşterisinin aradığı her

13 üründen biri rafta bulunmamaktadır. Promosyon ürünleri için bu değer 7 olarak belirtilmektedir. Stokta bulunmayan ürünlerin yarısından çoğu 24 saatten fazla bir süre raflarına yerleştirilmemektedir (**Roberti, 2007**).

Ürün görünürlüğünün artması müşteri memnuniyetini arttırmakta, stokta bulunmama durumundan kaynaklanan satış kaybını azaltmakta ve gelirleri yükseltmektedir. Ürün görünürlüğünün artması, tedarik zinciri üyeleri arasındaki veri paylaşımı ve verinin hangi seviyede izlendiği ile doğrudan ilişkilidir. Palet ve kutuların RFID etiketleri ile izlenmesi stokta bulunmama durumunu azaltmakta, ancak ürün seviyesindeki izleme ile RFID teknolojisinin daha büyük etki oluşturacağı bilinmektedir. Gelecekte özellikle perakende mağazalarda uygulanacak akıllı raf sistemleri ile ürün stokları gerçek zamanlı olarak izlenebilecektir.

Amerika'nın en büyük perakende zinciri Wal-Mart'ta yapılan pilot çalışmada, 24 mağazada ürün bulunabilirliği incelenmiştir. Bu mağazaların 12 tanesinde mağaza girişine ve mağaza arka depo ile raf bölümleri arasındaki geçişe RFID okuyucular yerleştirilmiştir. Günlük olarak aynı zamanda gerçekleştirilen raf kontrollerinde, haftalık ortalama eksik olan 444 ürün adedinin, RFID sistemine sahip mağazalarda 328'e düştüğü fark edilmiştir. Ürün bulunabilirliğinde %26 oranında bir artış gözlemlenmiş, test koşullarında oluşan diğer unsurlar hesaba katıldığında bu oranın gerçekte %16 olacağı belirtilmiştir (**Hardgrave, 2005**). Almanya'nın en büyük perakende grubu Metro'da yapılan benzer bir çalışmada bu oranın %9-16 olduğu açıklanmıştır (www.metrogroup.de).

Wal-Mart'ta yapılan çalışmayı esas alırsak, %8'lik ortalama kayıp üzerinde %16'lık bir azalma, stokta bulunmama kaynaklanan kayıp oranını (8×84) %6,7'ye çekmektedir. Bu oran satış geliri üzerinden % 1,3'lük bir kazanç olarak kendini göstermektedir. Örneğin yılda 100 milyon YTL satış geliri bulunan ve %10 kâr payına sahip bir hipermarket için yılda 130.000 YTL bir kazanç ortaya çıkmaktadır.

Görünürlük aynı zamanda tedarik zinciri üyelerinin tahmin yeteneğini de arttırmaktadır. İşletmeler genelde güvenlik stok seviyelerini yüksek tutmakta, tedarik zinciri üzerinde bu davranış, zincir boyunca kamçı etkisi oluşturmakta ve tutulan stok miktarlarını arttırmaktadır. Görünürlük artışı ile birlikte elde tutulan stok

miktarları ve stok maliyetleri azalmaktadır. Bu şekilde ürün izlenebilirliği artmakta, bu da müşteri tatminini arttırmaktadır.

3.1.4. Güvenlik

“Centre for Retail” araştırma kurumunun 2005 yılında perakende sektörü için yayımladığı raporda, yıllık ortalama stok kayıplarından oluşan finansal zararın Almanya’da 5 milyar Euro, Avrupa genelinde ise 30 milyar Euro olduğu belirtilmektedir. Zararın %50’sinin müşteri hırsızlığından, %30’unun çalışan hırsızlığından, %6,5’inin tedarikçilerden, geri kalanın da diğer sebeplerden kaynaklandığı açıklanmaktadır. Perakende mağazalarda hırsızlığın engellenebilmesi için görüntü izleme ve elektronik parça izleme (EAS) gibi çeşitli güvenlik sistemleri kullanılmaktadır (www.retailresearch.org). RFID teknolojisi ile benzerlik gösteren EAS sistemleri, bu yöntemlerden en fazla tercih edilendir. 1 bit bellek özelliğine sahip EAS etiketleri ile ürünün aktif güvenlik alanı içinde olup olmadığını belirten bir uyarı mekanizması oluşturulmaktadır.

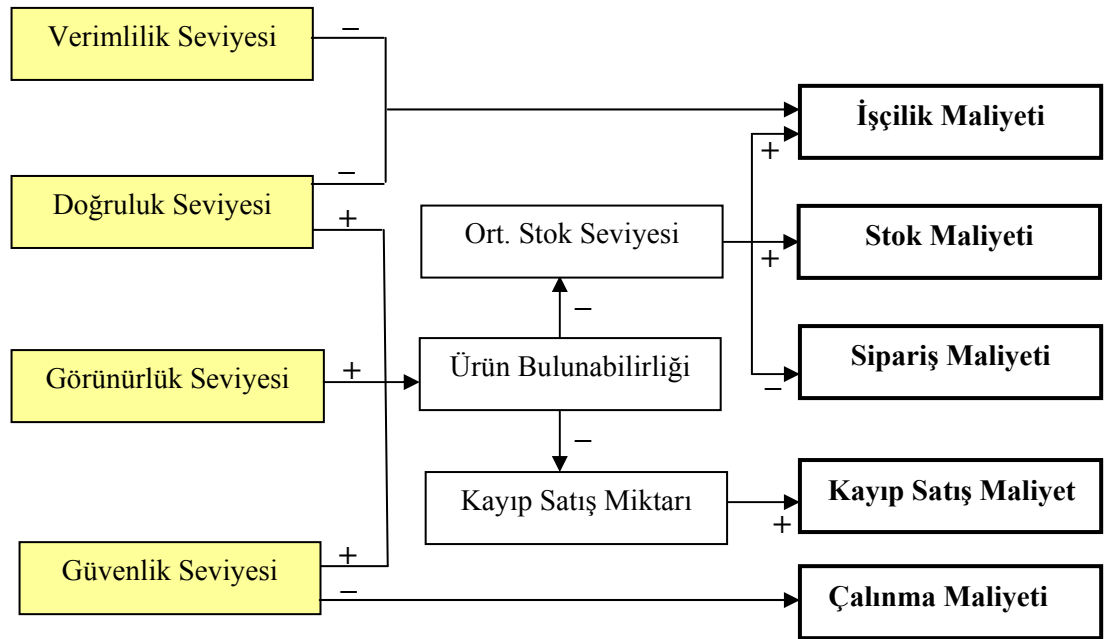
Özellikle ürün seviyesinde kullanılan RFID sistemler firmanın güvenlik seviyesini arttırmakta, bu da çalınmadan kaynaklanan maliyetleri azaltmaktadır. Dolaylı olarak gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalmakta, ürün bulunabilirliği, müşteri tatmini ve satış gelirleri artmaktadır.

RFID teknolojisi, çalınma oranını azaltmakla birlikte sahte ürün pazarını da engellemektedir. “Gesamttextil” kurumunun, Alman tekstil ve ayakkabı sektörü için 2000 yılında hazırladığı bir araştırma raporunda, sahte ürün pazarının sektörü yılda 1,2 milyar Euro zarara uğrattığı belirtilmektedir (www.gesamttextil.de). Özellikle tekstil sektöründe orijinal olmayan ürünlerin oluşturduğu pazarın büyüklüğü gözönüne alındığında, RFID teknolojisinin bu alanda çok büyük etki yapacağı görülmektedir.

3.2. Faktör İlişki Diyagramı

RFID teknolojsi ile verimlilik, doğruluk, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde sağlanan değişim, işletme bazındaki maliyet ve satış geliri faktörlerini etkilemektedir. Otomasyon ile birlikte süreç verimliliği ve doğruluk seviyesi artmakta, işçilik maliyetleri düşmektedir. Doğruluk, görünürlük ve güvenlik seviyesinin artması ile birlikte, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalmakta,

ürün bulunabilirliği artmaktadır. Dolayısı ile ortalama stok seviyesi düşmekte, işçilik ve stok (elde tutma) maliyetleri azalmakta, sipariş maliyeti artmaktadır. Güvenlik seviyesinin yükselmesi ile birlikte çalınma maliyeti azalmaktadır. Tüm bu ilişkilerin ve maliyet faktörlerinin yer aldığı diyagram Şekil 3.1’de yer almaktadır. Bunun dışında doğruluk, görünürlük ve güvenlik seviyelerinin artışı, müşteri tatmin düzeyi ve gelir seviyesini yükselmektedir, ancak bu ilişki aşağıdaki diyagramda gösterilmemiştir.



Şekil 3.1: Faktör ilişki diyagramı

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için, diyagramda belirtilen faktörler arasındaki ilişkileri iyi tanımlamak, her faktörü sayısal parametrelerle ilişkilendirerek nihai maliyet ve kazanç değişimlerini ortaya koymak gerekmektedir. Bu bağlamda görünürlük ve ürün bulunabilirliği, kayıp satış miktarı veya stokta bulunmama oranı ile ilişkilendirilirken; doğruluk seviyesi, ürün kabul, toplama ve yükleme ve stok sayım süreçleri sırasında oluşan hata oranları ile ilişkilendirilebilir. Otomasyondan kaynaklanan verimlilik artışı ve hataların azalması, işçilik (adam*saat) ihtiyacındaki azalma, güvenlik seviyesindeki artış da çalınma oranındaki azalma ile ölçülebilir.

İlişki diyagramında görüldüğü üzere, RFID teknolojisinin etkisi, işçilik, stok (elde tutma), sipariş, kayıp satış ve çalınma olmak üzere beş maliyet faktöründeki değişim ile ölçülebilmektedir.

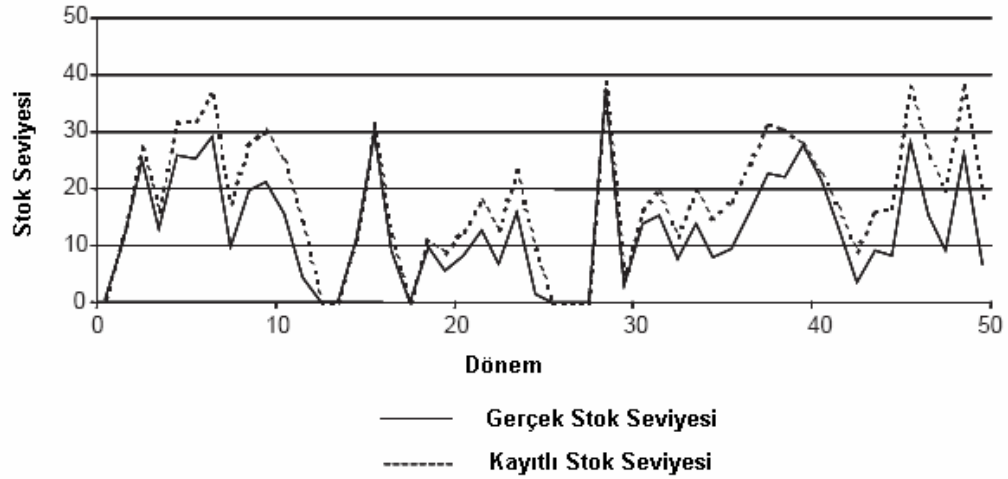
3.3. Akademik Çalışmalar

Literatürde RFID teknolojsinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini inceleyen nicel çalışmalar, ağırlıklı olarak envanter yönetimine odaklanmıştır. Gerçek ve kayıtlı stoklar arasında oluşan farkın zincir performansı üzerindeki etkilerini incelemek üzere çeşitli model ve analizler gerçekleştirilmiş, RFID teknolojisi ile sağlanan faydalar ortaya koyulmuştur. Bazı çalışmalarda ise teknolojinin maliyet ve fayda boyutunu içeren yatırım değerlendirme modelleri karşımıza çıkmaktadır.

Delanuay ve diğ. (2007), stok bilgisinde oluşan hata kaynaklarını, işlem, yanlış teslimat, fire (çalıntı ya da zarar görmüş) ve tedarikçi kaynaklı olmak üzere dört ayrı kalemden incelemiştir. Çalışmada ürünün çalınması, kullanım tarihinin geçmesi veya hasar görmesi fire olarak tanımlanmakta ve bu firelerin sistem kaydı düzeltilmediği sürece fiziksel stoklarda gözüktüğü belirtilmektedir. İşlem hataları, gerçekte olmayan fiziksel bir hareketin, artı veya eksi olarak fiziksel stoklarda gözükmemesine sebep olan hatalar olarak tanımlanmaktadır. Yanlış yerleştirme hatalarının ise gerçekte fiziksel stoklarda var olan ancak ürünün yanlış raflarda konumlandırılmasından kaynaklanan hatalar olduğu belirtilmektedir.

Kang ve Gershwin (2005), ürünlerin çalınması ve zarar görmesinden kaynaklanan hatalı stok bilgisinin kayıp satış oranı üzerindeki etkisinin yüksek olacağını benzetim modeli yardımı ile incelemiştir. Bu çalışmada %1'lik bir hatanın gelirlerde %17'lik bir kayba sebep olabileceği gösterilmiştir. Stok bilgisinde oluşan hataların etkisini azaltmak için önerilen yöntemler arasında güvenlik stoğunun arttırılması, stok sayımlarının sıkça gerçekleştirilmesi ve Auto-ID teknolojilerinin kullanımı gösterilmektedir.

Fleisch ve Tellkamp (2005), hatalı stok bilgisi kaynakları olan işlem hatası, yanlış teslimat, çalıntı ve satılamayan (zarar görmüş) ürün oranı faktörlerinin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkilerini benzetim modeli yardımı ile incelemiştir. Çalışmada gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki fark ve stokta bulunmama durumu, parasal olmayan performans ölçütleri, kayıp satış faktörünü içeren ve içermeyen maliyet de parasal performans ölçütü olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.2). Stok bilgisinin belirli dönemlerde düzeltildiği ve düzeltmenin gerçekleşmediği durumlar için hata kaynaklarındaki oransal değişimin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkileri ANOVA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 3.2: Gerçek ve kayıtlı stok seviyesi (Fleisch ve Tellkamp, 2005)

Düzeltilmenin yapılmadığı durumda bağımsız hata faktörü çalınma oranı %1,5'den %1,1'e düşürüldüğünde en fazla etkinin kayıp satış faktörünü içeren maliyet faktöründe olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ürün değerinden kaynaklanan çalınma maliyetinin diğer maliyet faktörlerinin yüzde ellisini oluşturması olarak gösterilmektedir. Satılamayan ürün faktörünün etkisinin de en fazla kayıp satış faktörünü içeren maliyet faktörü üzerinde olduğu ortaya koyulmuştur. Süreç kalitesi olarak tanımlanan yanlış yerleştirme oranının, stokta bulunmama oranı ve maliyet faktörleri üzerinde anlamlı etkisi olduğu görülmektedir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: ANOVA Tablosu (Fleisch ve Tellkamp, 2005)

Bağımsız Değişken	Değer	Bağımlı Değişken	F değeri	P(sig)
Çalınma oranı (0,015)	0,011	Stok hatası	7,597	0,009*
	0,012	Elde bulunmama	5,319	0,027*
	0,011	Kayıp satış hariç maliyet	8,360	0,006*
	0,013	Kayıp satış dahil maliyet	24,152	0,000*
Satılamayan ürün oranı (0,002)	0	Stok hatası	0,178	0,675
	0	Elde bulunmama	0,003	0,954
	0	Kayıp satış hariç maliyet	2,039	0,161
	0	Kayıp satış dahil maliyet	15,966	0,000*
Süreç Kalitesi	0,6	Stok hatası	4,415	0,042*
	1	Elde bulunmama	1,918	0,174
	0,2	Kayıp satış hariç maliyet	18,032	0,000*
	0,4	Kayıp satış dahil maliyet	9,948	0,003*

Stok düzeltilmesinin gerçekleştiği durumda ise çalınma oranının elde bulunmama oranı ve maliyet faktörleri üzerinde anlamlı etkisi olduğu görülürken, satılamayan ürün oranı faktörünün bağımlı faktörler üzerinde anlamlı etkisi olmadığı

belirlenmiştir. Süreç kalitesinin ise sadece maliyet faktörü üzerinde anlamlı etkisi olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda stoklardaki hataların elde bulundurmama ve maliyet faktörleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma oranı faktörünün tedarik zincirini en fazla etkilediği, işlem hatası ve yanlış teslimat oranları ile tanımlanan süreç kalite faktörünün toplam maliyeti etkilediği ancak stokta bulunmama oranı üzerindeki etkisinin çok fazla olmadığı ortaya çıkmıştır. Satılamayan ürün oranının tedarik zinciri performansı üzerinde fazla etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Lee ve diğ. (2004), RFID teknolojisinin imalatçı, dağıtıcı ve perakendeciden oluşan tedarik zinciri üzerindeki etkisinin ölçülebilmesi için benzetim modeli geliştirmiştir. Çalışmada stok ikmal politikalarındaki değişimin, diğer bir ifade ile sipariş noktası ve hedef stok miktarı (s, S) değerlerindeki değişimin RFID teknolojisinin uygulandığı ve uygulanmadığı zincir performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Perakendeci seviyesinde fire oranının %1,6 olduğu varsayılmış, RFID teknolojisinin kullanılmadığı, sipariş yenileme noktasının $s=36$, hedef stok miktarının $S=48$ olduğu durumda üç aylık dönem içinde kayıp satış miktarı 2.086, ortalama stok miktarı 22,58 olarak hesaplanmıştır. RFID teknolojisinin kullanıldığı durumda ise kayıp satış miktarı %99 azalırken ortalama stok miktarı 27,11 olmuştur. Sipariş noktası $s=26$, hedef stok miktarı $S=38$ olduğunda ise kayıp satış miktarı 1.627, ortalama stok seviyesi 17,24 olarak hesaplanmıştır.

Aynı çalışmada mağaza raflarında RFID teknolojisinin kullanımı ile stok seviyelerinde oluşan değişim ve kayıp satış miktarları ölçülmüştür. RFID teknolojisinin kullanılmadığı durumda günde sadece bir defa raf kontrolü yapıldığı, RFID'li durumda otomatik olarak sürekli raf kontrolü yapıldığı varsayılmıştır. Birinci durumda RFID uygulaması ile birlikte mevcut stok yönetim politikası ($s=12$, $S=24$) sürdürüldüğünde kayıp satış miktarlarının %99 seviyesinde azaldığı görülmektedir (Tablo.3.3). İkinci durumda sadece raf stokları için stok yönetim politikası ($s=6$, $S=18$) değiştirildiğinde raf ortalama stokları azalmakta ancak arka depo stokları arttığı için toplam stok seviyesi değişmemektedir. Üçüncü durumda ($s=6$, $S=18$) stok politikası arka depo için de uygulandığında toplam ortalama stok seviyesi 27,40'dan 21,49'a düşmektedir.

Tablo 3.3: Karşılaştırma tablosu (Lee ve diğ., 2004)

	RFID'siz sistem	RFID'li sistem -1	RFID'li sistem-2	RFID'li sistem-3
(s,S) politikası	s=12 S=24	s=12 S=24	s=6 S=18	s=6 S=18
Raf kayıp satış miktarı	480	7	7	79
Raf ortalama stok	13,24	17,13	11,75	11,17
Arka depo ort. stok	13,99	9,80	15,20	9,83
Perakendeci toplam ort. stok	27,73	27,41	27,40	21,49

Rekik ve diğ. (2007), perakende mağazada yanlış yerleştirmeden kaynaklanan hataların fark edilemediği, hataların bilinerek kararların verildiği ve RFID teknolojisinin kullanıldığı durumları stok optimizasyon modeli kullanarak karşılaştırmıştır.

Rekik ve diğ. (2008), diğer bir çalışmada, imalatçı ve perakendeciden oluşan tedarik zincirinde hataların bilinerek kararların verildiği ve RFID teknolojisinin kullanıldığı durumları merkezi ve merkezi olmayan zincir yapıları için stok optimizasyon modeli kullanarak karşılaştırmıştır.

Lee ve Özer (2005), görünürlük ve koruyucu önlemlerle sağlanan iki kazanım faktörünü gözönüne alan bir stokastik optimizasyon modeli geliştirmiştir. Çalışmada görünürlük kazanımı, stok ikmalinin daha doğru zamanlama ile gerçekleştirilmesinden sağlanan kazanım olarak tanımlanmıştır. Koruyucu önlem kazanımı ise müşteri talebinin daha doğru izlenmesi ile fire oranlarının azaltılması olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda stok kontrolleri için belirli bir periyod beklenmeden hatalar önceden düzeltilebilmektedir.

Saygın (2006), raf ömrü az, zamana duyarlı ürünlerin, RFID destekli süreçlerde gerçek zamanlı olarak izlendiği durum için envanter tahmin modeli geliştirmiştir.

Kok ve diğ. (2008), fire ve hata oranlarını gözönüne alarak uygun birim etiket maliyetini hesaplayan başabaş noktası analizini gerçekleştirmiştir.

Bottani ve Rizzi (2008), Elektronik Ürün Kodu (EPC) uygulamalı RFID teknolojisinin, hızlı tüketim ürünleri tedarik zinciri üzerindeki ekonomik etkisini araştırmıştır. Çalışmada imalatçı, dağıtıcı ve üreticiden oluşan zincirde EPC bilgisinin zincirin tüm üyeleri tarafından paylaşıldığı ve paylaşılmadığı durumlar için, palet ve kutu seviyesinde RFID kullanımını içeren fizibilite analizi, anket

yöntemi ile elde edilen veriler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Palet seviyesindeki kullanımda zincirin her üyesi için pozitif bir kazanım olduğu belirtilmiştir.

Wang ve diğ. (2007), çekme sistemli stok yönetiminin uygulandığı TFT-LCD endüstrisi tedarik zincirinde, RFID teknolojisinin envanter maliyetleri üzerindeki etkisini benzetim modeli yardımı ile incelemiştir. Farklı sipariş miktarı ve sipariş noktası (s,S) değerleri için RFID teknolojisi kullanımı ile envanter maliyetlerinde azalma ve envanter çevrim oranında artış oluştuğu belirtilmiştir. RFID teknolojisinin kullanımı ile tedarik zinciri toplam maliyetinde %6,19 azalma, envanter devir hızında %7,60 oranında artış sağlanmaktadır.

Doerr ve diğ. (2006), depolama süreçlerinde RFID uygulaması için fayda-maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada Monte Carlo benzetim yöntemi kullanılarak nicel değerlendirmeye yapılmış ve sonuçlar nitel faktörler ile bütünleştirilmiştir. İşçilik maliyet tasarrufları, donanım ve yazılım yatırımları, test, uygulama, bakım maliyetleri gözönüne alınarak beklenen faydanın incelenmesi için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Kim ve diğ. (2008), bir otomobil montaj fabrikasında, üretimi tamamlanan araçların RFID destekli olarak yükleme alanına taşınması ve izlenmesi süreçlerinin, benzetim modeli yardımı ile performans değerlendirmesini gerçekleştirmiştir.

Hou ve Huang (2006), yayımcılık endüstrisi tedarik zincirinde RFID uygulaması için nicel maliyet analizi gerçekleştirmiş, farklı büyüklükteki yayımcılık kuruluşlarının ürün, kutu ve palet bazlı RFID uygulamalarda yüklenecekleri finansal yükleri hesaplamıştır. Sektör araştırması ile üretim, dağıtım ve perakende fonksiyonlarının farklı ilişkiler içinde çalıştığı altı model belirlenmiştir. Sektör yıllık gelir ve ortalama yayın sayısına göre bölümlenmiştir.

Patil (2004), çalışmasında palet, kutu ve ürün seviyesinde aşamalı olarak yapılan yatırımların değerlendirilmesinde, gerçek opsiyonlar (real options) modelleme tekniğini önermiş ve varsayımsal bir uygulama gerçekleştirmiştir.

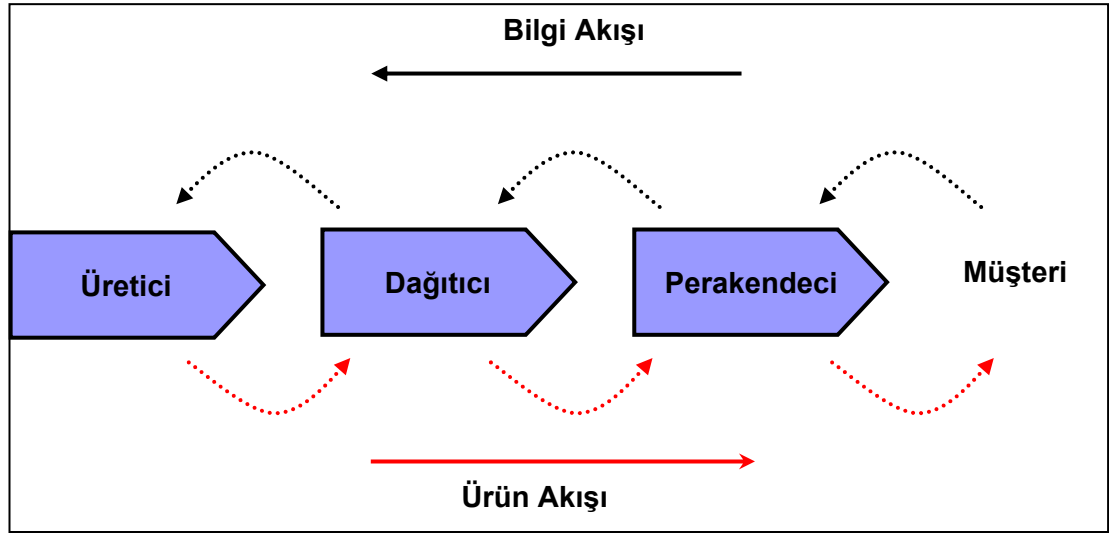
Subirana ve diğ. (2003), örnek bir depo operasyonu için RFID uygulamasını süreç bazlı değerlendirme yöntemi ile analiz etmiş, mevcut ve tasarlanan durum arasındaki performans farklarını, maliyet/fayda analizinde girdi olarak kullanmıştır.

Literatürde incelenen çalışmaların ağırlıklı olarak envanter yönetime, bir kısmının maliyet/fayda analizine odaklandığı görülmektedir. Tedarik zinciri üzerinde

gerçekleştirilecek RFID yatırımından beklenen maliyet tasarrufunun, zincir özelliklerine bağı olarak nasıl değişim gösterdiği, bu değişimin perakendeci, dağıtıcı ve üretici üzerindeki yansıması, stratejik yatırım kararının verilmesinde çok büyük önem taşımaktadır. Bütün bu faktörler gözönüne alındığında, RFID yatırımının tedarik zinciri üzerindeki etkilerinin kurulan bir model yardımı ile kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekliliği açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu doktora çalışmasında perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zinciri üzerindeki RFID yatırımının etkilediği maliyet faktörleri belirlenecek, maliyet değişiminden kaynaklanan tasarruflar ortaya koyulacak ve ürün değeri, temin süresi, talep belirsizliği bağımsız faktörlerinin maliyet faktörleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Nihai olarak da tedarik zinciri kazanım oranına dayalı etiket maliyet paylaşımını esas alan bir RFID yatırım değerlendirme modeli önerilecektir.

4. BENZETİM MODELİ

İncelenen tedarik zinciri; üretici, tedarikçi ve perakendeci olmak üzere üç aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. Müşteri talebine göre, perakendeci dağıtıcıyı, dağıtıcı da üreticiyi tetiklemektedir. Bilgi akışı müşteriden üreticiye doğru oluşurken, ürün akışı da üreticiden perakendeciye doğru gerçekleşmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Tedarik zinciri

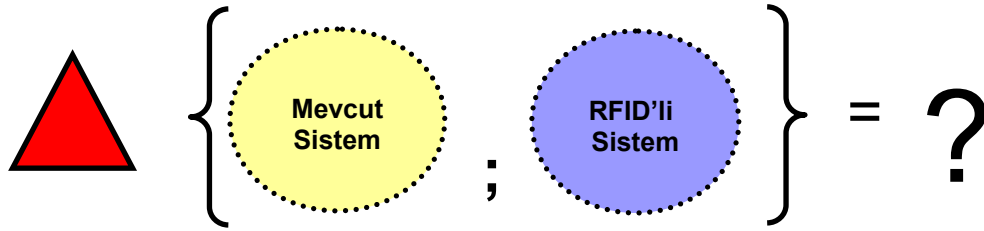
Benzetim modeli Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Perakendeci, dağıtıcı ve üretici açısından RFID teknolojisinin beş temel lojistik süreç üzerinde uygulanacağı varsayılmıştır: Ürün kabul, ürün yerleştirme, stok sayım, ürün toplama, ürün yükleme.

Depo giriş ve çıkış noktalarında RFID geçiş sistemlerinin yer aldığı, ürün bazında RFID uygulamasının olduğu ve görevlilerin RFID el terminalleri ile işlem yaptığı varsayılmaktadır. Tasarlanan yapıda ürün kabul ve ürün yükleme işlemlerinde RFID geçiş sistemleri yardımı ile toplu okuma gerçekleştirilmektedir. Ürün yerleştirme, stok sayım ve ürün toplama işlemleri, rafların ve ürünlerin üzerindeki RFID etiketlerinin RFID el terminalleri ile okutulması yöntemi ile tamamlanmaktadır. Perakendeci seviyesinde RFID geçiş sisteminin arka depo giriş/çıkış ve ön satış sahasının çıkışında yer aldığı varsayılmakta, raf ve arka depo stokları bir arada değerlendirilmektedir.

Modelde yanlış yerleştirilen, yanlış yüklenen, zarar gören ve çalınan ürünlerden kaynaklı gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki fark, tedarik zincirinin üç üyesi için de gözönüne alınmaktadır. Şekil 3.1'deki faktör ilişki diyagramında belirtilen ilişkiler esas alınarak, RFID teknolojisinin verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik etkisi, işçilik, stok (elde bulundurma), sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyet faktörlerindeki değişim ile ölçülmektedir.

Modelde yanlış yerleştirme, yanlış yükleme, zarar görme ve çalınma olarak tanımlanan hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID teknolojisinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durum için farklı değerler taşımaktadır. Hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID entegre durum için otomasyon kaynaklı olarak azalmaktadır.

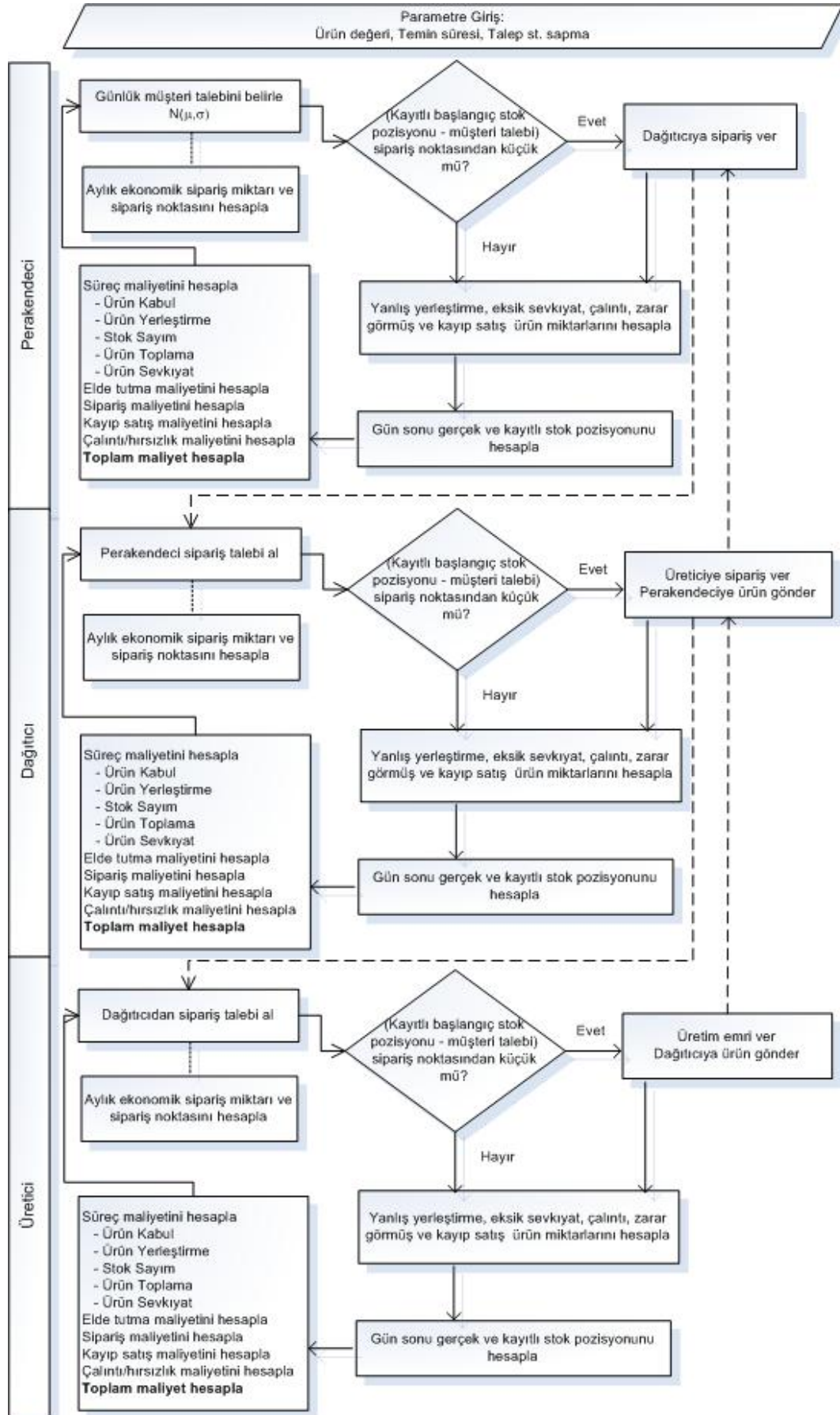
Bağımsız faktör olarak belirlenen ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği değişkenlerinin farklı seviyeleri için RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem aynı müşteri talebinin etkisinde çalıştırılmaktadır. İki sistem arasındaki oluşan performans farkı ölçülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Benzetim modeli karşılaştırma

İki sistem de ekonomik sipariş miktarı ve sipariş noktası esasına göre çalışmakta, günlük müşteri talebini karşılamaktadır. Model perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyesinde, işçilik, stok (elde bulundurma), sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyetlerini RFID uygulanan ve uygulanmayan durum için hesaplamakta ve maliyet değişimlerini belirlemektedir.

Şekil 4.3 ürünün üreticiden müşteriye ulaşınca kadar olan süreci içeren benzetim modeli iş akışını göstermektedir.



Şekil 4.3: Benzetim modeli iş akışı

Benzetim modelinde başlangıç parametreleri girildikten sonra, tüketici müşteri talebi, dağılıma uygun olarak belirlenmektedir. Ekonomik sipariş miktarı ve noktası da bu talebe bağlı olarak tespit edilmekte, kayıtlı ve gerçek stok düzeyleri hesaplanmaktadır. Azalan stok seviyesine bağlı olarak dağıtıcıya sipariş verilmektedir. Yanlış yerleştirme, eksik sevkiyat, çalıntı, zarar görmüş ve kayıp satış ürün miktarları hesaplanmakta, işçilik (süreç), elde tutma, sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyetleri bu değerlere bağlı olarak belirlenmektedir. Aynı akış dağıtıcı ve üretici düzeyinde tekrarlanmakta ve maliyet değerleri tedarik zinciri boyunca hesaplanmaktadır. Benzetim modeli RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemde farklı parametre değerleri için çalışmakta ve maliyet faktörleri arasındaki fark hesaplanmaktadır.

Benzetim modelinde kullanılan parametre ve değişkenler aşağıda açıklanmaktadır:

- **Ürün değeri (P):** Ürünün maliyet değerini ifade etmektedir. Bağımsız değişken olarak model içinde yer almaktadır. Deney tasarımı ve araştırma hipotezleri kapsamında tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.
- **Temin süresi (L):** Tedarik zinciri üyeleri arasında ürünün temini için gerekli süreyi ifade etmektedir. Bağımsız değişken olarak model içinde yer almaktadır. Deney tasarımı ve araştırma hipotezleri kapsamında tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.
- **Talep dağılımı standart sapması (σ):** Müşteri talebindeki belirsizlik oranını ifade etmektedir. Bağımsız değişken olarak model içinde yer almaktadır. Deney tasarımı ve araştırma hipotezleri kapsamında tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.
- **Sipariş noktası (s):** Aylık ortalama talep (D_{ort}) ve temin süresine (L) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Her tedarik zinciri üyesi için aylık bazda değişmekle birlikte, kayıtlı (görünen) stok pozisyonu bu noktanın altına düştüğünde, ekonomik sipariş miktarı kadar ürün otomatik olarak sipariş edilmektedir.

$$s = L * D_{ort} \quad (4.1)$$

- **Ekonomik sipariş miktarı (EOQ) :** Kayıtlı (görünen) stok pozisyonu, sipariş noktasının altına düştüğünde, ilgili ayın ekonomik sipariş miktarı tetiklenir. Ekonomik sipariş miktarı, ortalama talep (D_{ort}), sipariş partisi başına sipariş maliyeti (c_{sip}) ve birim başına dönemsel elde bulundurma maliyeti (c_{stok}) faktörlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$EOQ = \sqrt{(2 * D_{ort} * c_{sip}) / c_{stok}} \quad (4.2)$$

- **Toplam hata miktarı (z) :** Kayıtlı (görünen) stoklarla, gerçek stoklar arasında fark oluşturan [yanlış yerleştirilen (u) , zarar görmüş (x) , çalınan (y) ve eksik teslim edilen (v)] ürün miktarlarının toplamıdır.

$$z = u + x + y + v \quad (4.3)$$

- **Yanlış yerleştirilen ürün miktarı (u):** Gelen siparişin depo raflarına yerleştirilmesi sırasında oluşan hataları göstermek için kullanılacaktır. Gelen sipariş miktarının yanlış yerleştirme oranı (α) ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

$$u = Q * \alpha \quad (4.4)$$

- **Zarar görmüş ürün miktarı (x):** Depo raflarına yerleştirilen ürünlerin bir kısmı yerleştirme sırasında veya başka sebeplerle zarar görmekte, son kullanım tarihi geçebilmektedir. Satılamaz hale gelen bu ürünlerin miktarı, raflara yerleştirilen ürünlerin (β) zarar görme oranı ile çarpılması sonucu elde edilmektedir

$$x = Q * \beta \quad (4.5)$$

- **Çalınan ürün miktarı (y):** Depodan çalınan ürün miktarını belirtmektedir. Bu ürünlerin miktarı, stoklara giren ürünlerin çalınma oranı (γ) kadarını oluşturmaktadır.

$$y = Q * \gamma \quad (4.6)$$

- **Eksik teslim edilen ürün miktarı (v):** Tedarikçiden eksik gönderilen ürün miktarıdır. Eksik teslim alınan ürünler sistem tarafından fark edilememekte, stoklarda kayıtlı gözükmemektedir. Gelen sipariş miktarının eksik teslimat oranı (δ) sonucu çarpılması ile elde edilmektedir.

$$v = Q * \delta \quad (4.7)$$

- **Kayıtlı (görünen) ve gerçek stok miktarı:** Stoklarda oluşan hatalardan dolayı sistemde kayıtlı olarak görünen stoklar ile gerçek stoklar arasında fark oluşmaktadır. Gün içinde başlangıç stoğu I_{i-1} ile müşteri talebi D_i arasındaki farka, gelen sipariş miktarı Q_i eklendiğinde görünen gün sonu stoğu hesaplanmaktadır (4.8a). Hatalar arındırıldığında gerçek gün sonu stok değerine ulaşılabilir (4.8b).

$$I_i^{görünen} = I_{i-1} - D_i + Q_i \quad (4.8a)$$

$$I_i^{gerçek} = I_{i-1} - D_i + Q_i * [1 - (\alpha + \beta + \gamma + \delta)] \quad (4.8b)$$

Sistem sipariş emirlerini görünen stok pozisyonuna göre vermekte, kayıp satışlar ise gerçek stok pozisyonuna göre oluşmaktadır. Stok sayım zamanında bu farklar görülmekte, yanlış yerleştirilen ürünler doğru yerlerine taşınmakta sistem kaydı düzeltilmektedir. Bu şekilde görünen ve gerçek stoklar birbirine eşit olmaktadır (4.8c).

$$I_i^{görünen} = I_i^{gerçek} \quad (4.8c)$$

- **Toplam maliyet:** Çalışmada mevcut ve RFID uygulamalı sistem arasındaki maliyet farkı inceleneceğinden, RFID entegrasyonunun etki edeceği maliyet faktörleri işçilik (süreç) $C_{iscilik}$, stok (elde tutma) C_{stok} , sipariş $C_{siparis}$, çalıntı $C_{calınma}$ ve kayıp satış $C_{kayipsatis}$ olarak beş ana kalemden belirlenmiştir. Toplam maliyet, perakendeci, dağıtıcı ve üretici açısından ayrı ayrı incelenecektir.

$$C_{top} = C_{iscilik} + C_{stok} + C_{siparis} + C_{kayipsatis} + C_{calınma} \quad (4.9)$$

- **İşçilik maliyeti:** Toplam işçilik (süreç) maliyeti, ürün kabul C_{i1} , ürün yerleştirme C_{i2} , stok sayım C_{i3} , ürün toplama C_{i4} ve ürün yükleme C_{i5} olmak üzere beş maliyet kaleminden meydana gelmektedir (4.10a). Her aşama ortalama birim ürün işçilik maliyetleri m_i ve işlem gören ortalama ürün miktarlarına N_i bağlı olarak belirlenmektedir (4.10b). Stok sayım işleminin incelenen dönem içindeki sıklığı, maliyet hesaplanırken bu aşamada gözönüne alınmaktadır.

$$C_{isilik} = C_{i1} + C_{i2} + C_{i3} + C_{i4} + C_{i5} \quad (4.10a)$$

$$C_{i1} = m_{i1} * N_{i1} \quad (4.10b)$$

- **Stok (elde tutma) maliyeti:** Gün sonu gerçek stok miktarının ürünün günlük ortalama elde tutma maliyetine c_{stok} bağlı olarak belirlenmektedir. Gerçek stok miktarına, yanlış yerleştirme ve zarar görmüş ürün miktarı dahil edilerek bulunmaktadır.

$$C_{stok} = \sum_i c_{stok} * (I_i^{gercek} + u_i + x_i) \quad (4.11)$$

- **Kayıp satış maliyeti:** Ortalama birim kayıp satış maliyeti ve kayıp satış miktarına bağlı olarak belirlenmektedir.

$$C_{kayip} = \sum_i c_{kayip} * maks(0; D_i - I_{i-1}^{gercek} - Q_i) \quad (4.12)$$

- **Sipariş maliyeti:** Ortalama birim sipariş maliyeti ve sipariş sıklığına $n(Q)$ bağlı olarak belirlenmektedir.

$$C_{siparis} = c_{sip} * n(Q) \quad (4.13)$$

- **Çalınma maliyeti:** Ortalama ürün maliyeti (P) ve toplam çalınan ürün miktarına bağlı olarak belirlenmektedir.

$$C_{calinma} = P * \sum_i y_i \quad (4.14)$$

Maliyet hesabı tedarik zincirinin her üyesi için (perakendeci, dağıtıcı ve üretici) tekrarlanmaktadır. Çalışmada RFID uygulamalı durumun ölçümlenebilmesi için hata

miktarı ve işçilik maliyetleri ile ilgili λ parametreleri değiştirilerek ikinci bir model oluşturulmuştur. Bu şekilde RFID uygulamasının, gerçek ve görünen stoklar arasındaki farklar ile işçilik ve diğer maliyet kalemleri üzerindeki etkisi ölçümlenebilmektedir.

$$I_i^{gerçek} = I_{i-1} - D_i + Q_i * [1 - (\lambda_1 \alpha + \lambda_2 \beta + \lambda_3 \gamma + \lambda_4 \delta)] \quad (4.15a)$$

$$C_{iscilik} = \lambda_{i1} C_{i1} + \lambda_{i2} C_{i2} + \lambda_{i3} C_{i3} + \lambda_{i4} C_{i4} + \lambda_{i5} C_{i5} \quad (4.15b)$$

Çalışmada her tedarik zinciri üyesi seviyesinde tüm maliyet faktörleri için mevcut ve RFID uygulamalı durum arasındaki fark sayısal olarak belirlenmektedir.

$$K_{toplam} = C_{mevcut} - C_{RFID} \quad (4.16)$$

Perakende, dağıtıcı ve üretici açısından maliyet kalemleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$K_{toplam} = K_p + K_d + K_u \quad (4.17)$$

5. DENEY TASARIMI VE ARAŞTIRMA HİPOTEZLERİ

Bu bölümde RFID teknolojisinin tedarik zinciri performansı üzerindeki etkilerini incelemek üzere hazırlanan deney tasarımı açıklanacaktır. Bölüm 4’de detaylandırılan benzetim modelinde kullanılacak parametrelerin değerleri belirlenecektir. Deney tasarımında kullanılan bağımsız ve bağımlı faktörler tanımlanacak ve açıklamalı bilgiler verilecektir. Bu bölümde ayrıca benzetim modeli sonuçlarının analizinde test edilmek üzere araştırma hipotezleri geliştirilecektir.

5.1. Parametreler

Modelde, müşteri talebi, hata oranları, birim süreç, stok, kayıp satış ve parti sipariş maliyetleri belirlenmiştir. Bu parametrelerden hata oranları ve birim süreç maliyet değerleri, mevcut durum ve RFID uygulamalı durum için farklılaşmaktadır.

Müşteri talebi, tedarik zincirinde perakendecinin karşılaştığı talep yapısını ifade etmektedir. Tedarik zinciri envanter yönetimi ile ilgili birçok çalışmada, talep yapısının normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır (**Fleisch ve Tellkamp, 2005**). Bu çalışma çerçevesinde de tüketici müşteri talep yapısı, günlük ortalaması 1000 adet olan normal dağılım olarak belirlenmiştir. Farklı talep belirsizliklerinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi, değişen standart sapma düzeyleri ile test edilmiştir.

ABD perakende sektörü için yapılan bir araştırmada firma bazında hatalı teslimat oranı %0,25, çalınma oranı %1,5, zarar görmüş ürün oranı %0,2 yanlış yerleştirme oranı %2 olarak belirlenmiştir (**Hollinger ve Davis, 2001**). Bu çalışma çerçevesinde de hata oranları için aynı değerler baz alınmış ancak güvenlik seviyesinin daha yüksek olduğu varsayılarak, çalınma oranı daha düşük tutulmuştur. RFID uygulamalı modelde zarar görmüş ürün oranı değişmemekle birlikte, diğer hata oranlarının sıfır seviyesine düşürüleceği varsayılmıştır (Tablo 5.1). Bu şekilde RFID teknolojisinin kullanımı ile görünen ve gerçek stoklar arasındaki farkların minimum seviyeye düşmesi beklenmektedir.

Tablo 5.1: Hata oranları

Hata Oranları	α (yanlış yerleştirme)	β (zarar görmüş)	γ (çalınma)	δ (eksik ürün sevkiyat)
Mevcut Sistem	% 2	% 0,2	% 0,5	% 0,25
RFID'li Sistem	% 0	% 0,2	% 0	% 0

Almanya’da depolarına yıllık ortalama dört yüz bin ortalama ürün girişi bulunan ve lojistik işlemlerini altı personel ile yürüten bir perakende tekstil firmasında yapılan araştırmada, süreç bazında birim ürün depolama maliyetleri şu şekilde belirlenmiştir: Ürün kabul 0,015 dolar, ürün yerleştirme 0,03 dolar, stok sayım 0,015 dolar, ürün toplama 0,06 dolar, ürün yükleme aşaması 0,03 dolar. Aynı araştırmada ürün bazında RFID etiket uygulamasının gerçekleştirildiği ve depo işlemleri için RFID geçiş sistemi ve el terminallerinin kullanıldığı durumda, otomasyon kaynaklı olarak beklenen işgücü maliyet tasarrufları sırasıyla % 30-60, % 20-40, % 85-100, % 30-50, ve %45-60 olarak belirtilmiştir (**Mannel, 2006**). Bu çalışmada ortaya çıkan bulgular, **Lee ve Özer (2005)** çalışmasında belirtilen oranlar baz alınarak depolama süreçleri için modelde kullanılan parametre değerleri Tablo 5.2’de yer almaktadır.

Tablo 5.2: Birim ürün süreç maliyetleri ve RFID etkisi

Depolama Süreçleri	Ürün Kabul	Ürün Yerleştirme	Stok Sayım	Ürün Toplama	Ürün Yükleme
Birim Maliyet (\$/ürün)	0,015	0,03	0,015	0,06	0,03
RFID işgücü maliyet tasarrufu	% 50	% 30	% 95	% 40	% 50

Toplam maliyete etki eden birim kayıp satış maliyeti, ürünün kabul edilen kâr oranı %5, parti sipariş maliyeti 40 dolar ve başlangıç stoğu 4.000 birim olarak belirlenmiştir. Birim elde tutma maliyeti hesaplanırken yıllık faiz oranı %5 esas alınmıştır. RFID teknolojisinin tedarik zinciri üyeleri üzerindeki etkisinin, aralarındaki ilişkinin de gözönüne alınarak ölçülebilmesi için, modelde her üye için aynı parametre değerleri kullanılmıştır.

5.2. Bağımsız Faktörler ve Düzeyleri

Deney tasarımı için üç temel bağımsız faktör belirlenmiştir. Bunlar ürün değeri, müşteri talebindeki belirsizlik ve temin süresidir. Bağımsız faktörler ve faktörlerin düzeyleri ile ilgili açıklamalar aşağıda yer almaktadır:

- **Ürün Değeri:** RFID teknolojisinin farklı ürün değeri seviyeleri için tedarik zinciri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Pareto kuralı esas alınarak deneysel tasarım için belirlenen ürün değerleri 5, 15 ve 80 dolardır. RFID etiketini üzerinde taşıyan ürünün hangi maliyet faktörleri üzerinde etkili olduğu belirlenecektir.
- **Müşteri Talep Belirsizliği:** Nihai müşteri talebinde görülen belirsizliği ifade etmektedir. Talep dağılımındaki standart sapma değerinin farklılaştırılması ile ölçümlenecektir. Bu belirsizlik kapsamında, RFID teknolojisinin uygulamalı tedarik zinciri üzerindeki etkisi gözlemlenecektir. Deneysel tasarım için belirlenen standart sapma seviyeleri % 10, % 30 ve % 50'dir.
- **Temin Süresi:** Tedarik zincirinde siparişin verilmesi ve teslim alınması arasında geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Farklı temin süresi seviyeleri için RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi incelenecektir. Bu amaçla seçilen temin süresi seviyeleri 2, 4 ve 6 gündür.

Bağımsız faktörler ve düzeyleri Tablo 5.3'te yer almaktadır.

Tablo 5.3: Bağımsız faktörler ve düzeyleri

Bağımsız Faktörler	Düzy 1	Düzy 2	Düzy 3
Ürün Değeri (\$)	5	15	80
Talep Belirsizliği	% 10	% 30	% 50
Temin Süresi (gün)	2	4	6

5.3. Bağımlı Faktörler

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkisini belirlemek için beş temel bağımlı maliyet faktörü belirlenmiştir. Bölüm 3'te yer alan faktör ilişki diyagramı esas alınarak verimlilik, görünürlük, doğruluk ve güvenlik seviyelerindeki değişimin zincir üzerindeki etkileri incelenecektir. Bu bağlamda RFID uygulanan ve

uygulanmayan durum arasındaki işçilik, stok (elde tutma), kayıp satış, çalınma ve sipariş maliyet farkları bağımlı faktörler olarak seçilmiştir. Bu beş maliyet faktörünün toplamı, toplam maliyet faktörü olarak adlandırılmıştır. Her maliyet faktörü; zincir genelinde ve perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyesinde ayrı ayrı ele alınacaktır.

- **İşçilik maliyeti:** Ürün kabul, yerleştirme, toplama, yükleme ve stok sayım süreçlerinin toplam maliyeti, işçilik maliyetini oluşturmaktadır. Bu maliyet kalemi giriş/çıkış yapan ürün miktarı ve ortalama stok seviyesinden etkilenmektedir.
- **Stok maliyeti:** Gün sonu gerçek stok seviyesine göre belirlenmektedir.
- **Kayıp satış maliyeti:** Müşteri talebinin karşılanamadığı durumlarda oluşan maliyettir. Satılamayan ürün değerinin belirli bir yüzdesi üzerinden hesaplanmaktadır.
- **Sipariş maliyeti:** İnceleme periyodu içinde verilen toplam sipariş sayısı ve birim sipariş maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır.
- **Çalınma maliyeti:** Depo içindeki ürünlerin güvenliğinin sağlanamamasından ötürü çalınması sebebiyle oluşan maliyettir.
- **Toplam maliyet:** İşçilik, elde tutma, kayıp satış, sipariş ve çalınma maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır.

5.4. Varsayımlar

- Benzetim modelinde perakendecinin karşıladığı müşteri talebi normal dağılıma göre oluşmakta, verilen sipariş miktarı, ekonomik sipariş miktarı (EOQ) yöntemine göre hesaplanmaktadır.
- Tedarik zinciri tek seviyelidir, perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşmaktadır.
- Zincirde tek tip ürün hareketi olduğu, hata oranlarının zincirin her üyesi için eşit olduğu ve RFID teknolojisinin kullanımı ile sıfır hata düzeyinin oluşacağı varsayılmaktadır.

- RFID uygulaması ürün seviyesinde gerçekleştirilmekte, operasyonel anlamda yalnızca ürün kabul, yerleştirme, stok sayım, toplama ve yükleme temel lojistik süreçlerini etkilemektedir.
- Stok sayım ayda bir defa gerçekleştirilmekte, görünen ve kayıtlı stok miktarları bu noktada eşitlenmektedir.
- Kayıp satış maliyeti hesaplanırken, ürün kâr oranı gözönüne alınmaktadır.
- RFID uygulamasının nitel faydaları ve bu faydaların etkisi ile dolaylı olarak sağlanan gelir artışı modelde göz önüne alınmamıştır.

5.5. Araştırma Hipotezleri

Çalışma kapsamında kurulan benzetim modeli ile tedarik zinciri üzerinde RFID uygulamasının sağlayacağı maliyet tasarruflarının sayısal olarak ortaya koyulması hedeflenmektedir. Geliştirilen araştırma hipotezleri ile ürün değeri, talep belirsizliği ve temin süresi faktörlerinin, RFID uygulamasının tedarik zinciri üzerinde sağlayacağı maliyet tasarruflarını ne şekilde etkileyeceği incelenecektir. Bölüm 3’de tedarik zinciri ve RFID konusu ile ilgili yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde odak noktalarının genelde stok yönetimi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmada ise tedarik zinciri boyunca yapılacak RFID yatırımının, zincirin tümü ve her üyesi üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelenecek, maliyet boyutunda sağlanan tasarruflar ortaya koyulacak ve çıktılar önerilen yatırım değerlendirme modeline girdi oluşturacaktır.

Araştırma kapsamında ürün değerinin yükselmesi ile birlikte, RFID sayesinde zincir boyunca sağlanan güvenlik seviyesinde artış ve dolayısı ile çalınma maliyetlerinde sağlanacak tasarrufun artması beklenmektedir. Ürün görünürlüğünün artması ve genel stok seviyelerinde yaşanacak azalmanın etkisi ile toplam elde tutma maliyetinde sağlanacak tasarruf yükselecektir. Aynı şekilde kayıp satış maliyeti ve toplam maliyet faktörlerinde sağlanan tasarruf da artacaktır.

Müşteri talebindeki belirsizliğin artışı ile birlikte, RFID uygulaması ile kayıp satış maliyetlerinden sağlanacak tasarrufun azalma eğilimi göstermesi beklenmektedir. Bu bağlamda RFID uygulaması ile birlikte tedarik zincirinde ürün bulunabilirliği artacak ancak beklenen toplam maliyet tasarrufunu azalacaktır. Talep belirsizliğinin oluşturduğu negatif etki, zincir üyeleri arasında farklılık gösterecektir.

Temin süresinin artışı ile tedarik zinciri genelinde tutulan genel stok seviyesinin yükselmesi beklenmektedir. RFID uygulamalı tedarik zinciri genelinde toplam elde tutma maliyetindeki tasarrufun artması, ancak perakendeci seviyesinde kayıp satış maliyet tasarruflarının ve dolayısı ile toplam maliyet tasarruflarının azalması beklenmektedir.

Tüm bağımsız faktörler ve bağımlı maliyet faktörleri ile ilgili olarak birçok araştırma hipotezi geliştirmek mümkündür. Bu çalışma kapsamında, benzetim modeli sonuçları kullanılarak istatistiksel analizleri gerçekleştirilecek 9 araştırma hipotezi belirlenmiştir. Bu hipotezler şu şekilde ifade edilmektedir:

- **Hipotez 1:** Ürün değerindeki artış RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet tasarrufunu arttırmaktadır.
- **Hipotez 2:** Ürün değerindeki artış RFID uygulamalı tedarik zincirindeki kayıp satış maliyet tasarrufunu arttırmaktadır.
- **Hipotez 3:** RFID uygulamalı tedarik zincirinde, ürün değeri faktörünün toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, temin süresi faktöründen daha fazladır.
- **Hipotez 4:** Temin süresindeki artış ile RFID uygulamalı tedarik zincirinde perakendeci düzeyinde toplam maliyet tasarrufunu azaltmaktadır.
- **Hipotez 5:** Temin süresindeki artış; RFID uygulamalı tedarik zincirindeki süreç maliyet tasarrufunu arttırmaktadır.
- **Hipotez 6:** Talep belirsizliğindeki artış; RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet tasarrufunu azaltmaktadır.
- **Hipotez 7:** Talep belirsizliğindeki artış; RFID uygulamalı tedarik zincirindeki kayıp satış maliyeti tasarrufunu azaltmaktadır.
- **Hipotez 8:** RFID uygulamalı tedarik zincirinde, talep belirsizliğinin toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, temin süresinin oluşturduğu etkiden daha fazladır.
- **Hipotez 9:** RFID uygulaması ile perakendeci, üretici ve dağıtıcıdan daha yüksek maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

6. BENZETİM MODELİ SONUÇLARININ ANALİZİ

RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini incelemek için, Bölüm 5’de açıklanan deney tasarımı Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliğinden oluşan bağımsız faktörler toplam 27 (3X3X3) kombinasyonda çalıştırılmıştır. Her deney kombinasyonu, rassal değişkenlerden kaynaklanan hataları azaltabilmek için toplam 250 defa koşturulmuştur. 360 gün (1 yıl) için çalıştırılan benzetim modelinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan durum arasında çalınma, stok, sipariş, kayıp satış ve süreç maliyetleri bazında oluşan farklar, tedarik zincirinin geneli ve her üyesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aylık bazda yapılan incelemelerden, benzetim modelinde başlangıç etkisinin oluşmadığı görülmüştür.

Benzetim modelinde elde edilen sonuçlar SPSS istatistiksel analiz yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada Tek değişkenli Varyans Analizi (ANOVA)’nin yanısıra bağımlı faktörler arasındaki ilişkileri gözönüne alabilmesi yönünden Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA) kullanılmıştır.

Öncelikle hangi bağımsız faktörler veya bağımsız faktör grubunun tedarik zinciri üzerinde etkisi olduğunu incelemek için MANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve sonrasında bağımlı faktörler üzerinde anlamlı etkisi olduğu bilinen her bağımsız faktör için ANOVA analizi yapılmıştır. Tedarik zinciri toplam maliyet faktörleri seviyesinde gerçekleştirilen MANOVA analizinde oluşan SPSS çıktısından bir kesit Tablo 6.1’de yer almaktadır.

Tablo 6.1’de görüldüğü üzere p (sig.) anlamlılık seviyesi tüm testlerde 0,05’in altında oluşmuştur. Bu sonuca göre ürün değeri, temin süresi ve talep dağılımı değişkenlerinin ve kombinasyonlarının, toplam maliyet faktörleri bağımlı değişkenleri üzerinde anlamlı etkisi olduğu söylenebilir. Bu analiz için sıkça referans alınan Wilks’ Lambda testine göre, ürün değeri değişkeninin model üzerindeki etkisinin (0,95) diğer değişkenlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 6.1 : Toplam maliyet faktörleri MANOVA analizi

Bağımsız Faktör		F	P (Sig)	Etki Değeri
Ürün Değeri	Pillai's Trace	3.585	0,00	0,73
	Wilks' Lambda	27.041	0,00	0,95
	Hotelling's Trace	162.122	0,00	0,99
	Roy's Largest Root	323.202	0,00	1,00
Temin Süresi	Pillai's Trace	833	0,00	0,38
	Wilks' Lambda	995	0,00	0,43
	Hotelling's Trace	1.168	0,00	0,47
	Roy's Largest Root	2.086	0,00	0,61
Talep Dağılımı	Pillai's Trace	558	0,00	0,29
	Wilks' Lambda	724	0,00	0,35
	Hotelling's Trace	903	0,00	0,40
	Roy's Largest Root	1.784	0,00	0,57
Ürün Değeri * Temin Süresi	Pillai's Trace	439	0,00	0,25
	Wilks' Lambda	794	0,00	0,36
	Hotelling's Trace	1.367	0,00	0,50
	Roy's Largest Root	5.179	0,00	0,79
Ürün Değeri * Talep Dağılımı	Pillai's Trace	301	0,00	0,18
	Wilks' Lambda	524	0,00	0,27
	Hotelling's Trace	856	0,00	0,39
	Roy's Largest Root	3.404	0,00	0,72
Temin Süresi * Talep Dağılımı	Pillai's Trace	136	0,00	0,09
	Wilks' Lambda	156	0,00	0,10
	Hotelling's Trace	176	0,00	0,12
	Roy's Largest Root	646	0,00	0,32
Ürün Değeri * Temin Süresi * Talep Dağılımı	Pillai's Trace	102	0,00	0,11
	Wilks' Lambda	128	0,00	0,13
	Hotelling's Trace	160	0,00	0,16
	Roy's Largest Root	735	0,00	0,47

6.1. Ürün Değeri Etkisi

Bu bölümde ürün değerinin RFID uygulamalı tedarik zinciri üzerindeki etkisini incelemek üzere ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda oluşan Tablo 6.2’de tüm maliyet faktörleri için p değeri 0,05’in altındadır. Bu bağlamda ürün değeri gruplarının, maliyet faktörleri açısından anlamlı farklılık oluşturduğu söylenebilmektedir. Tablo 6.3’de Tukey testi kapsamında farklı ürün değeri gruplarının toplam maliyet ve kayıp satış faktörü üzerindeki etkisi görülmektedir. Farklı ürün değeri ikili grupları arasındaki tüm karşılaştırmalar için p değerinin 0,05’in altında olması nedeniyle tüm gruplar arasında toplam maliyet açısından anlamlı farklılık olduğu görülmektedir.

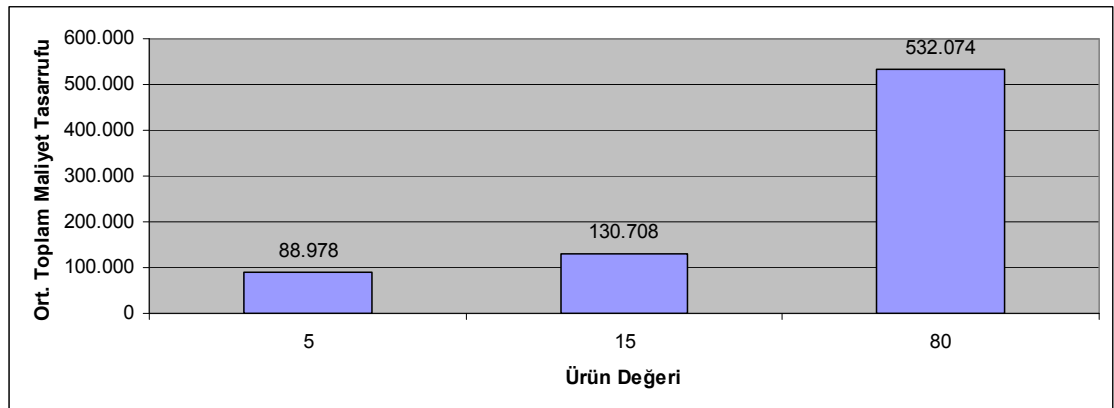
Tablo 6.2: Ürün değeri etkisi ANOVA analizi

	F	P (Sig)
Çalınma	68479	0,00
Süreç	4094	0,00
Elde Tutma	1196	0,00
Sipariş	3922	0,00
Kayıp Satış	3178	0,00
Toplam Maliyet	18607	0,00

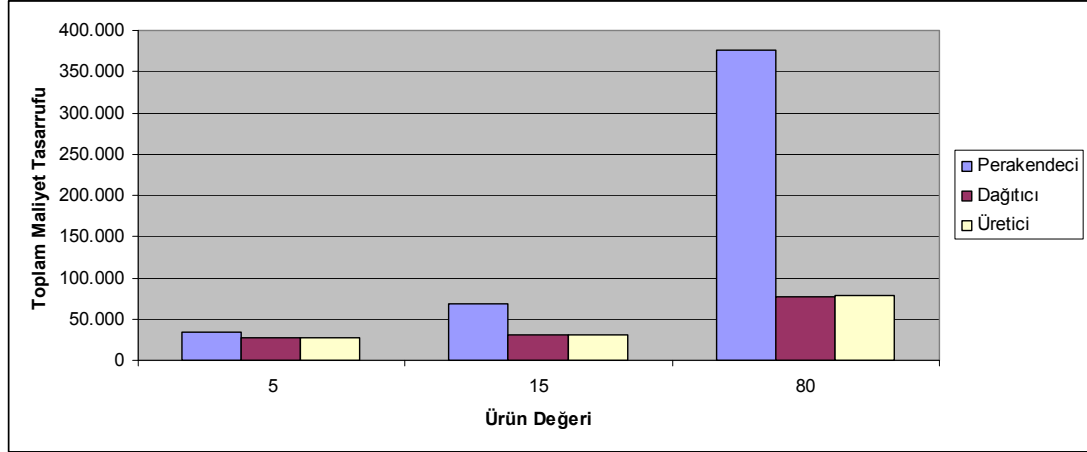
Tablo 6.3: Ürün değeri etkisi çoklu karşılaştırma analizi

Bağımlı Değişken	Test	(I) Ürün Değeri	(J) Ürün Değeri	Ortalama Farkı	P (Sig)	95% Güvenilirlik	
						Alt Limit	Üst Limit
Toplam Maliyet	Tukey	5	15	-41.730	0,00	-47.676	-35.784
			80	-443.096	0,00	-449.042	-437.149
		15	5	41.730	0,00	35.784	47.676
			80	-401.366	0,00	-407.312	-395.420
		80	5	443.096	0,00	437.149	449.042
			15	401.366	0,00	395.420	407.312
Kayıp Satış Maliyeti	Tukey	5	15	-12.365	0,00	-18.323	-6.406
			80	-181.339	0,00	-187.298	-175.381
		15	5	12.365	0,00	6.406	18.323
			80	-168.975	0,00	-174.933	-163.016
		80	5	181.339	0,00	175.381	187.298
			15	168.975	0,00	163.016	174.933

RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan ortalama toplam maliyet tasarrufu, artan ürün değeri ile birlikte yükselmektedir (Şekil 6.1). Ürün değeri seviyesi 5 dolardan 80 dolara yükselirken, yıllık ortalama beklenen toplam maliyet tasarrufu 88.978 dolardan 532.074 dolara çıkmaktadır.

**Şekil 6.1:** Ürün değeri etkisi (toplam)

Perakendeci, dağıtıcı ve üretici açısından ayrı ayrı inceleme yapıldığında üç seviyede de yükselmenin yaşandığı, ancak en büyük artışın perakendeci seviyesinde olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Ürün değeri etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici)

Toplam maliyet tasarrufunda sağlanan artış, birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet tasarruflarından kaynaklanmaktadır (Tablo 6.4). Ürün değerindeki artış ile birlikte, ortalama stok seviyesi düşmekte ancak birim elde tutma maliyetinin artmasından dolayı toplam elde tutma maliyeti tasarrufu da artış göstermektedir.

Birim elde tutma maliyetinin artmasından dolayı verilen sipariş miktarı (EOQ) ve genel stok seviyesi azalmakta, bu da süreç maliyet tasarrufunu ters yönde etkilemektedir. Süreç maliyeti depolara giriş ve çıkış yapan ürün miktarına bağlı olduğu için, bu alandaki maliyet tasarrufu ters yönde eğilim göstermektedir. Ürün değeri seviyesi 5 dolardan 80 dolara yükselirken, yıllık ortalama beklenen toplam süreç maliyet tasarrufu 58.795 dolardan 37.407 dolara düşmektedir.

RFID uygulamalı tedarik zincirinde görünen stok seviyesi gerçek stok seviyesine yaklaştığından, sistem daha çok sipariş vererek müşteri talebini karşılama eğilimine girmektedir. Bu noktada artan ürün değeri ile birlikte, toplam sipariş maliyetindeki kayıp da artmaktadır.

ANOVA analizi sonucunda oluşan Tablo 6.3'e göre, RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam ve kayıp satış maliyet tasarrufları, artan ürün değeri ile birlikte yükselmektedir. Bu sonuç da Hipotez 1 ve Hipotez 2'nin doğruluğunu desteklemektedir.

Tablo 6.4: Ürün değeri bazında ortalama maliyet farkları

	Ürün Değeri	Ortalama
Çalınma	5	24.173
	15	63.871
	80	306.016
	<i>Toplam</i>	<i>131.354</i>
Süreç	5	58.795
	15	48.688
	80	37.407
	<i>Toplam</i>	<i>48.297</i>
Elde Tutma	5	171
	15	257
	80	3.591
	<i>Toplam</i>	<i>1.340</i>
Sipariş	5	-198
	15	-510
	80	-2.315
	<i>Toplam</i>	<i>-1.007</i>
Kayıp Satış	5	6.036
	15	18.401
	80	187.375
	<i>Toplam</i>	<i>70.604</i>
Toplam Maliyet	5	88.978
	15	130.708
	80	532.074
	<i>Toplam</i>	<i>250.587</i>

Ürün değeri, temin süresi ve talep dağılım belirsizliği bağımsız faktörlerinin toplam maliyet farkı üzerindeki etkisini ölçmek üzere yapılan iki yönlü ANOVA analizi sonucunda (Tablo 6.5), ürün değeri faktörü etki derecesinin (0,97) en yüksek seviyede olduğu, bunu talep dağılım belirsizliği (0,43) ve temin süresi (0,12) faktörlerinin izlediği görülmektedir. Bu bağlamda RFID uygulamalı tedarik zincirinde, ürün değeri faktörünün toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisinin temin süresi faktöründen daha fazla olduğunu belirten Hipotez 3'ün de doğruluğu kabul edilmektedir.

Tablo 6.5: Toplam maliyet değişkeni iki yönlü ANOVA analizi

Bağımlı değişken: Toplam Maliyet	F	P (Sig)	Etki Değeri
Ürün Değeri	97.934	0,00	0,97
Temin Süresi	444	0,00	0,12
Talep Dağılımı	2.486	0,00	0,43
Ürün Değeri * Temin Süresi	1.112	0,00	0,40
Ürün Değeri * Talep Dağılımı	2.613	0,00	0,61
Temin Süresi * Talep Dağılımı	722	0,00	0,30
Ürün Değeri * Temin Süresi * Talep Dağılımı	643	0,00	0,43

6.2. Temin Süresi Etkisi

Temin süresinin RFID uygulamalı tedarik zinciri üzerindeki etkisini incelemek üzere ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda oluşan Tablo 6.6'da tüm maliyet faktörleri için p değeri 0,05'in altındadır. Bu bağlamda temin süresi gruplarının maliyet faktörleri bazında anlamlı farklılık oluşturduğu söylenebilmektedir.

Tablo 6.6: Temin süresi etkisi ANOVA analizi

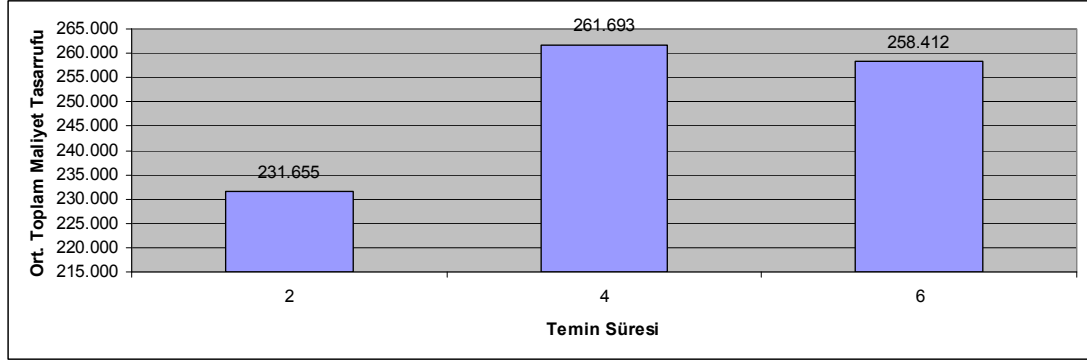
	F	P (Sig)
Çalınma	31	0,00
Süreç	133	0,00
Elde Tutma	198	0,00
Sipariş	138	0,00
Kayıp Satış	3,5	0,03
Toplam Maliyet	30,6	0,00

Tablo 6.7'de Tukey testi kapsamında farklı temin süresi gruplarının süreç ve toplam maliyet faktörü üzerindeki etkisi görülmektedir. Süreç maliyeti açısından tüm temin süresi grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Temin süresi 2-4 ve 2-6 ikili grup karşılaştırmasında p değeri 0,05'in altında olması nedeniyle bu gruplar arasında toplam maliyet faktörü açısından anlamlı farklılık bulunmaktadır. Ancak temin süresi 4-6 ikili grup karşılaştırması için anlamlı bir farklılık görülmemektedir.

Tablo 6.7: Temin süresinin etkisi çoklu karşılaştırma analizi

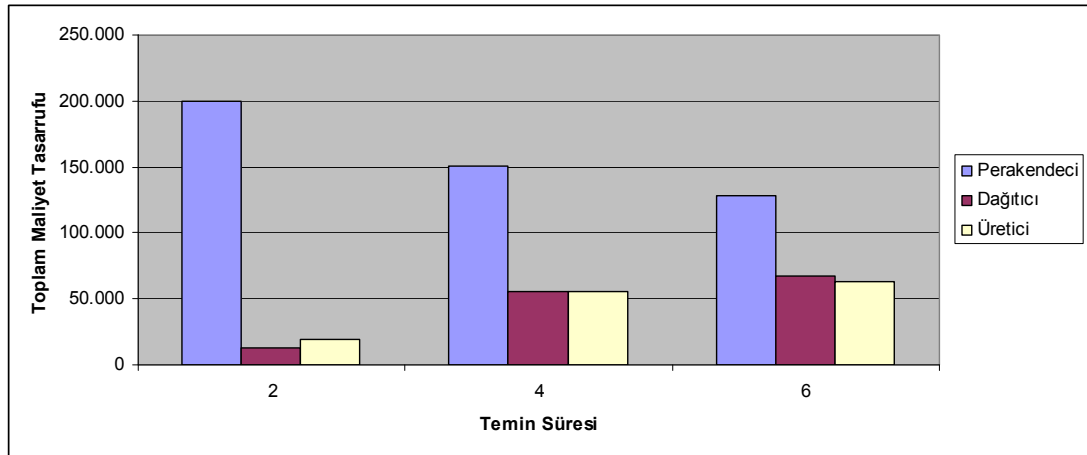
Bağımlı Değişken	Test	(I) Temin Süresi	(J) Temin Süresi	Ortalama Farkı	P (Sig)	95% Güvenilirlik	
						Alt Limit	Üst Limit
Toplam Maliyet	Tukey	2	4	-23.161	0,00	-32.041	-14.282
			6	-27.595	0,00	-36.474	-18.715
		4	2	23.161	0,00	14.282	32.041
			6	-4.433	0,47	-13.313	4.446
		6	2	27.595	0,00	18.715	36.474
			4	4.433	0,47	-4.446	13.313
Süreç Maliyeti	Tukey	2	4	-4.163	0,00	-4.972	-3.354
			6	-5.374	0,00	-6.183	-4.565
		4	2	4.163	0,00	3.354	4.972
			6	-1.211	0,00	-2.020	-402
		6	2	5.374	0,00	4.565	6.183
			4	1.211	0,00	402	2.020

RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan toplam maliyet tasarrufu, Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Temin süresi 2 gün için, oluşan toplam maliyet tasarrufu yıllık ortalama 231.655 dolar olmakla birlikte artan temin süresi ile toplam maliyet tasarrufu yükselmektedir. Ancak temin süresi 4 ve 6 gün için toplam maliyet farkları arasında anlamlı bir farklılık görülmemektedir.



Şekil 6.3: Temin süresi etkisi (toplam)

Perakendeci, dağıtıcı ve üretici için toplam maliyet tasarrufları açısından ayrı ayrı inceleme yapıldığında, temin süresi yükselirken perakendeci seviyesinde azalma, dağıtıcı ve üretici seviyesinde ise artış gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 6.4). Tüketicilere hizmet sunan perakendeci, artan temin süresi ile birlikte daha çok kayıp satış yaşamakta, bu durum dağıtıcı ve üretici düzeyinde pozitif etki oluşturmaktadır.



Şekil 6.4: Temin süresi etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici)

Toplam maliyet tasarrufundaki en yüksek oranı, çalınma ve kayıp satış maliyet tasarrufları oluşturmaktadır (Tablo 6.8). Kayıp satış maliyeti açısından temin süresi grupları arasında Tukey testinde anlamlı bir farklılık görülmemektedir. Ancak tedarik zinciri üyesi bazında inceleme yapıldığında, perakendecide yükselen temin

süresi ile birlikte kayıp satış maliyet tasarrufunda azalma, dağıtıcı ve üreticide artış farkedilmektedir. Çalınma maliyeti depoya giriş yapan ürün hacminin artmasından dolayı artan temin süresi ile birlikte yükselmektedir.

Tablo 6.8: Temin süresi bazında ortalama maliyet farkları

	Temin Süresi	Ortalama
Çalınma	2	114.435
	4	137.596
	6	142.030
	<i>Toplam</i>	<i>131.354</i>
Süreç	2	45.118
	4	49.281
	6	50.492
	<i>Toplam</i>	<i>48.297</i>
Elde Tutma	2	400
	4	2.186
	6	1.433
	<i>Toplam</i>	<i>1.340</i>
Sipariş	2	-1.332
	4	-972
	6	-718
	<i>Toplam</i>	<i>-1.007</i>
Kayıp Satış	2	73.035
	4	73.602
	6	65.176
	<i>Toplam</i>	<i>70.604</i>
Toplam Maliyet	2	231.655
	4	261.693
	6	258.412
	<i>Toplam</i>	<i>250.587</i>

Artan temin süresi ile birlikte elde tutma ve süreç maliyet farkları da artmaktadır. Temin süresi 4 ve 6 gün için birbirine yakın maliyet farkları göze çarpmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte elde tutma maliyetinden beklenen maliyet tasarrufu artmakta, stok seviyesi ile bağlantılı olan süreç maliyet tasarrufu yükselmektedir. Bu çalışmada temin süresi 2 günden 6 güne çıkarken, süreç maliyet farkı ortalaması 45.000 dolardan 50.000 dolara yükselmektedir (Tablo 6.8).

Sipariş maliyetinde oluşan kayıp, artan temin süresi ile azalmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte, sipariş maliyetinden doğan maliyet farkı da azaltmaktadır.

ANOVA analizi ile elde edilen sonuçlarda (Tablo 6.7), temin süresinin artışı ile birlikte süreç maliyet tasarrufunun arttığı görülmekte, bu da Hipotez 5'in doğruluğunu desteklemektedir. Temin süresinin artışı ile birlikte toplam maliyet tasarrufunda üretici ve dağıtıcı bazında artış yaşanmakta ancak perakendeci bazında

azalma olduğu görülmektedir (Şekil 6.4). Bu bağlamda Hipotez 4'ün de doğruluğu desteklenmektedir.

6.3. Talep Belirsizliği Etkisi

Talep belirsizliğinin RFID uygulamalı tedarik zinciri üzerindeki etkisini incelemek üzere ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda oluşan Tablo 6.9'da çalınma hariç olmak üzere diğer tüm maliyet faktörleri için p değeri 0,05'in altındadır. Bu bağlamda talep belirsizliği gruplarının çalınma hariç olmak üzere diğer maliyet faktörleri bazında anlamlı farklılık oluşturduğu söylenebilmektedir.

Tablo 6.9: Talep belirsizliği etkisi ANOVA analizi

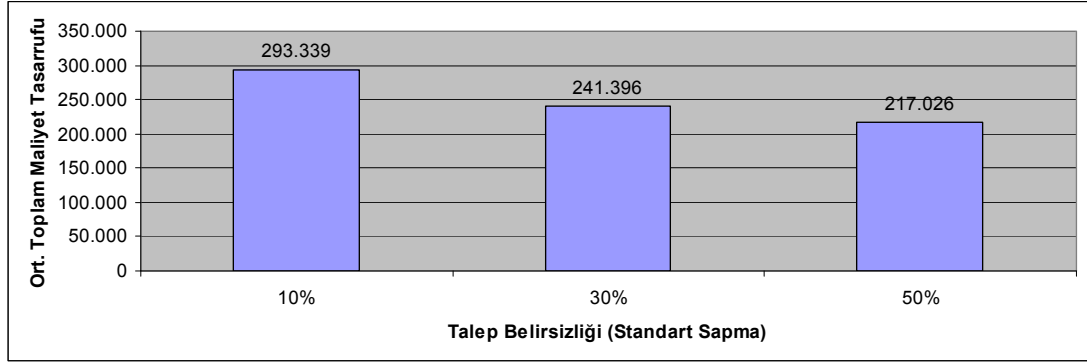
	F	P (Sig.)
Çalınma	1	0,37
Süreç	19	0,00
Elde Tutma	386	0,00
Sipariş	123	0,00
Kayıp Satış	226	0,00
Toplam Maliyet	74	0,00

Tablo 6.10'da Tukey testi kapsamında farklı talep standart sapma değerlerinin toplam maliyet faktörü üzerindeki etkisi görülmektedir. Farklı standart sapma değerleri ikili grupları arasındaki tüm karşılaştırmalar için p değerinin 0,05'in altında olması nedeniyle tüm gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 6.10).

Tablo 6.10: Talep belirsizliği etkisi çoklu karşılaştırma analizi

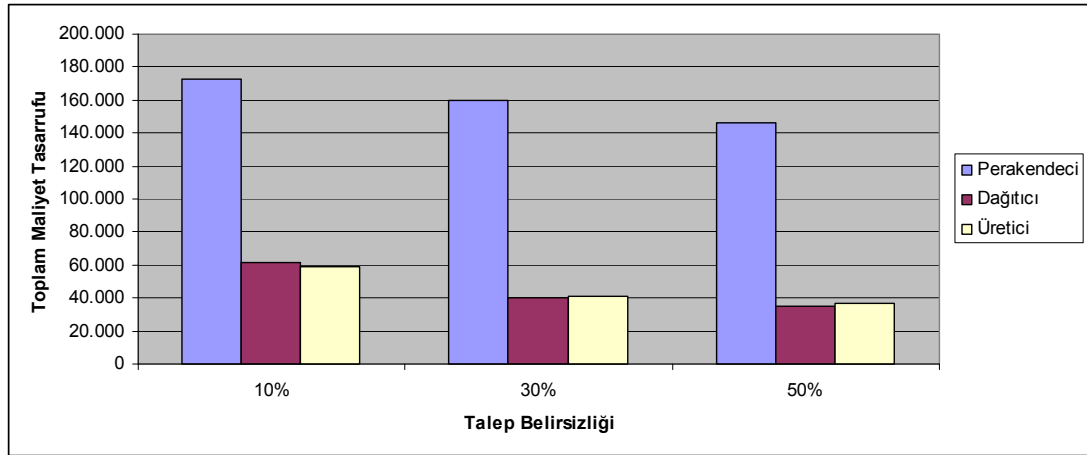
Bağımlı Değişken	Test	(I) Talep Belirsiz.	(J) Talep Belirsiz	Ortalama Farkı	P (Sig)	95% Güvenilirlik	
						Alt Limit	Üst Limit
Toplam Maliyet	Tukey	10	30	51.943	0,00	36.928	66.957
			50	76.313	0,00	61.298	91.327
		30	10	-51.943	0,00	-66.957	-36.928
			50	24.370	0,00	9.355	39.384
		50	10	-76.313	0,00	-91.327	-61.298
			30	-24.370	0,00	-39.384	-9.355
Kayıp Satış Maliyeti	Tukey	10	30	49.151	0,00	41.113	57.190
			50	71.254	0,00	63.216	79.292
		30	10	-49.151	0,00	-57.190	-41.113
			50	22.103	0,00	14.065	30.141
		50	10	-71.254	0,00	-79.292	-63.216
			30	-22.103	0,00	-30.141	-14.065

RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan ortalama toplam maliyet tasarrufu, Şekil 6.5'te gösterilmektedir. Talep belirsizliğinin artışı ile toplam maliyet tasarrufu azalmaktadır. %10 talep standart sapması ile ortalama 293.339 dolar olan ortalama toplam maliyet tasarrufu, %30 talep standart sapması ile 217.026 dolara düşmektedir.



Şekil 6.5: Talep belirsizliğinin etkisi (toplam)

Perakendeci, dağıtıcı ve üretici açısından ayrı ayrı inceleme yapıldığında, talep belirsizliği yükselirken perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyesinde maliyet tasarrufunda azalmanın gerçekleştiği farkedilmektedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6: Talep belirsizliği etkisi (perakendeci, dağıtıcı, üretici)

Toplam maliyet tasarrufundaki en yüksek payı, çalınma ve kayıp satış maliyet tasarrufları oluşturmaktadır (Tablo 6.11). Farklı talep belirsizliği değerleri için Tukey testi sonuçlarına göre, çalınma maliyetleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasında oluşan toplam kayıp satış maliyet farkı ise artan talep belirsizliği ile azalmaktadır. Bunun sebebi yükselen talep belirsizliği ile birlikte RFID uygulanan sistemde daha çok kayıp satış oluşmakta, toplam kayıp satış maliyetinde sağlanan tasarruf düşme eğilimine

girmektedir. Çalışma kapsamında %10 talep belirsizliği durumunda 110.739 dolar olan ortalama kayıp satış maliyeti, %30 belirsizlikte 39.485 dolara düşmektedir.

Belirsizliğin artması ile birlikte RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemdeki ortalama stok seviyesi artmakta, ancak elde tutma maliyeti açısından iki durum arasında oluşan maliyet farkı azalmaktadır. Süreç maliyet tasarrufunda anlamlı bir değişim görülmemekle birlikte, azalan sipariş sayısı ile birlikte sipariş maliyetinden doğan kayıp azalmaktadır.

Tablo 6.11: Talep belirsizliği bazında ortalama maliyet farkları

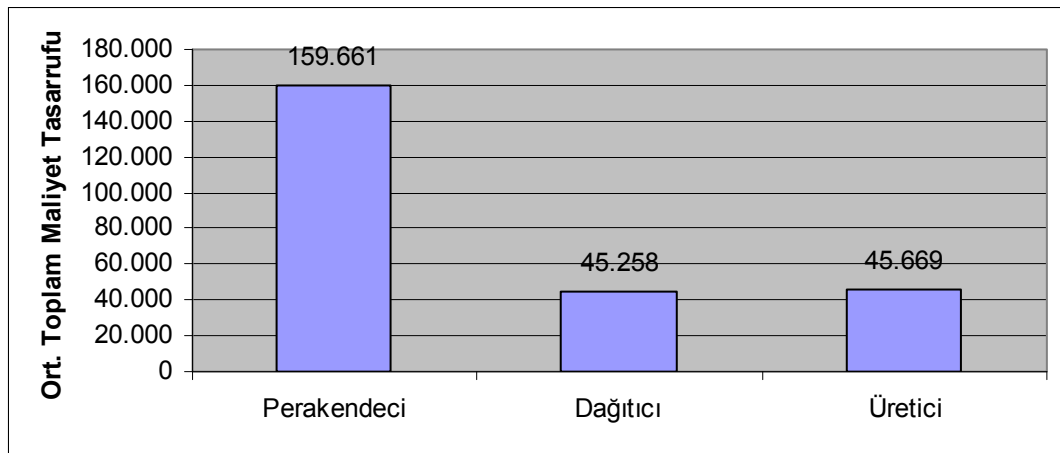
	Temin Süresi	Ortalama
Çalınma	% 10	134.081
	% 30	131.280
	% 50	128.699
	<i>Toplam</i>	<i>131.354</i>
Süreç	% 10	47.171
	% 30	48.401
	% 50	49.318
	<i>Toplam</i>	<i>48.297</i>
Elde Tutma	% 10	2.666
	% 30	1.093
	% 50	261
	<i>Toplam</i>	<i>1.340</i>
Sipariş	% 10	-1.319
	% 30	-966
	% 50	-738
	<i>Toplam</i>	<i>-1.007</i>
Kayıp Satış	% 10	110.739
	% 30	61.588
	% 50	39.485
	<i>Toplam</i>	<i>70.604</i>
Toplam Maliyet	% 10	293.339
	% 30	241.396
	% 50	217.026
	<i>Toplam</i>	<i>250.587</i>

Nihai olarak ANOVA analizi sonucunda oluşan Tablo 6.10, talep belirsizliğindeki artışın RFID uygulamalı tedarik zincirindeki toplam maliyet ve kayıp satış maliyet tasarrufunu azalttığını göstermekte, Hipotez 6 ve Hipotez 7'nin doğruluğunu desteklemektedir. Ürün değeri, temin süresi ve talep dağılım belirsizliği bağımsız faktörlerinin toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisini ölçmek üzere yapılan iki yönlü ANOVA analizinde (Tablo 6.5), talep dağılım belirsizliği etki derecesi 0,43 ve temin süresi 0,12 olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda RFID uygulamalı tedarik zincirinde, talep belirsizliğinin toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisinin, temin

süresinin oluşturduğu etkiden daha fazla olduğunu belirten Hipotez 8'in doğruluğu desteklenmektedir.

6.4. Perakendeci, Dağıtıcı ve Üretici Düzeyinde RFID Etkisi

Bu bölümde RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam maliyet tasarrufunun, perakendeci, dağıtıcı ve üretici arasındaki dağılımını incelemek üzere t testi gerçekleştirilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde yapılan t-testi sonuçlarına göre toplam maliyet tasarrufunun, ortalama değerlere göre en çok perakendeci düzeyinde olduğu, onu üretici ve dağıtıcının izlediği belirlenmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Maliyet tasarrufunun perakendeci, dağıtıcı ve üretici paylaşımı

Tedarik zinciri üyeleri arasında maliyet farkı ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunduğu, t-testi sonuçlarında p değerlerinin 0,05'in altında çıkması ile anlaşılmaktadır. Perakendeci ve diğer tedarik zinciri üyeleri arasındaki maliyet farkı ortalamaları çok daha yüksek olmakla birlikte, dağıtıcı ve üretici arasındaki ortalama farkları daha düşük düzeyde bulunmaktadır (Tablo 6.12). Bu sonuçlar Hipotez 9'u desteklemektedir.

Tablo 6.12 : Perakendeci, dağıtıcı ve üretici toplam maliyet tasarruf farkları

	Fark Ortalaması	Alt Limit	Üst Limit	t	Sig. (P)
Perakendeci- Dağıtıcı	114.403	110.168	118.639	52,95	0,00
Perakendeci- Üretici	113.992	109.904	118.080	54,66	0,00
Dağıtıcı- Üretici	-411	-789	-34	-2,14	0,03

Ortalama farkları Tablo 6.13'te yer alan maliyet faktörleri için t-testi gerçekleştirilmiş ve p değerleri 0,05'in altında oluşmuştur. Ortalama değerleri

incelendiğinde, perakendecide oluşan farkın büyük oranda kayıp satış faktöründen kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.13: Perakendeci, dağıtıcı ve üretici maliyet farkları

	FARK ORTALAMASI				
	Çalınma	Süreç	Elde Tutma	Sipariş	Kayıp Satış
Perakendeci- Dağıtıcı	1.696	4.170	-1.331	-69	109.938
Perakendeci- Üretici	3.114	4.020	-1.265	-130	108.253
Dağıtıcı- Üretici	1.419	-150	66	-61	-1.684

Ürün değeri, temin süresi ve talep dağılımı faktörlerinin, tedarik zinciri üyeleri üzerindeki etkilerinin perakendeci, dağıtıcı ve üretici düzeyinde belirlenebilmesi için MANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 6.14’te oluşan sonuç tablosunda p değerlerinin 0,05’in altında çıkmasından dolayı tüm bağımsız faktör ve kombinasyonların, tedarik zinciri üyeleri üzerinde anlamlı etkisi bulunduğu görülmektedir. Ürün değeri faktörünün etkisi, en fazla perakendeci üzerinde olmakla birlikte, temin süresi ve talep dağılımı faktörlerinin etkisi en fazla dağıtıcı ve üretici üzerindedir. Temin süresi ve talep belirsizliğinin artışı, tedarik zinciri performansını düşürmekte, üretici ve dağıtıcı seviyesinde daha yüksek etki oluşturmaktadır.

Tablo 6.14: Perakendeci, dağıtıcı ve üretici MANOVA analizi

Bağımsız faktör	Bağımlı Değişken: Toplam Maliyet	F	Sig. (P)	Etki Değeri
Ürün Değeri	Perakendeci	33.928	0,00	0,91
	Dağıtıcı	2.563	0,00	0,43
	Üretici	4.005	0,00	0,54
Temin Süresi	Perakendeci	1.281	0,00	0,28
	Dağıtıcı	2.864	0,00	0,46
	Üretici	2.706	0,00	0,45
Talep Dağılımı	Perakendeci	170	0,00	0,05
	Dağıtıcı	699	0,00	0,17
	Üretici	707	0,00	0,17
Ürün Değeri * Temin Süresi	Perakendeci	1.233	0,00	0,42
	Dağıtıcı	3.878	0,00	0,70
	Üretici	3.871	0,00	0,70
Ürün Değeri * Talep Dağılımı	Perakendeci	129	0,00	0,07
	Dağıtıcı	837	0,00	0,33
	Üretici	854	0,00	0,34
Temin Süresi * Talep Dağılımı	Perakendeci	35	0,00	0,02
	Dağıtıcı	281	0,00	0,14
	Üretici	231	0,00	0,12
Ürün Değeri * Temin Süresi * Talep Dağılımı	Perakendeci	42	0,00	0,05
	Dağıtıcı	245	0,00	0,23
	Üretici	193	0,00	0,19

6.5. Araştırma Sonuçları

Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi deneysel tasarım gerçekleştirilerek araştırılmış ve Bölüm 5'te belirlenen hipotezlerin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre ürün değerinin yükselmesi ile birlikte toplam tedarik zinciri maliyet tasarrufu artış göstermektedir. Bu artış birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet farklarından kaynaklanmakla birlikte, tasarruf miktarı perakendeci seviyesinde daha yüksek, dağıtıcı ve üretici seviyesinde daha düşüktür. Zincir boyunca ortalama stok seviyesi azalmasına rağmen, ürün değer artışından dolayı elde tutma maliyeti tasarrufunda artış gerçekleşmektedir. Ürün değeri faktörünün RFID uygulamalı tedarik zinciri maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinden daha fazladır. Talep belirsizliğinin maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi de temin süresi etkisinden yüksektir.

Temin süresi artışı, perakende seviyesinde maliyet tasarrufunu düşürmektedir. Bunun sebebi, yükselen temin süresi ile birlikte kayıp satış maliyet tasarrufundaki azalmadır. Artan temin süresi ile birlikte çalınma maliyet tasarrufu da yükselmektedir. Yükselen stok seviyesi ile birlikte elde tutma maliyetinden beklenen tasarruf artmakta, yine stok seviyesinin artması ile bağlantılı olarak süreç maliyet tasarrufu da artış göstermektedir. Sipariş maliyetinde oluşan kayıp, artan temin süresi ile azalmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte, sipariş maliyetinden doğan maliyet farkı da azaltmaktadır.

Talep belirsizliğinin artması ile birlikte RFID uygulanan tedarik zinciri toplam maliyet tasarrufu azalmaktadır. Bunun sebebi sistemde daha çok kayıp satış oluşması ve toplam kayıp satış maliyetinde sağlanan tasarrufun düşmesidir. Maliyet tasarrufundaki azalma, perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyelerinin her birinde görülmektedir. Belirsizliğin artması ile birlikte RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemdeki ortalama stok maliyet farkı azalmaktadır.

RFID uygulamalı tedarik zincirinde maliyet tasarrufu, perakendeci, dağıtıcı ve üretici düzeyinde farklılık göstermektedir. Maliyet faktörleri içinde kayıp satış, belirleyici

rol oynamaktadır. İncelenen bağımsız faktörlerin niteliği ve modelin yapısı açısından, bu çalışma Bölüm 3'te açıklanan diğer akademik çalışmalardan farklılaşmaktadır (Tablo 6.15).

Tablo 6.15: Akademik çalışmaların karşılaştırması

Akademik Çalışma	İncelenen durum	Bağımlı faktörler	Uygulama odağı ve kullanılan teknikler
Lee ve diğ. (2004)	- Sipariş miktarı, sipariş noktası (s,S)	- Ortalama stok seviyesi, kayıp satış miktarı, gecikmeli sipariş oranı	- Stok performans analizi - Benzetim modeli - Tedarikçi - perakendeci
Fleisch ve Tellkamp (2005)	- Hata faktörleri	- Kayıp satış miktarı, stokta bulunmama, stok doğruluğu	- Stok performans analizi - Benzetim modeli - Üretici-dağıtıcı-tedarikçi
Kang ve Gerschwin (2005)	- Hata faktörleri (çalınma oranı)	- Kayıp satış miktarı, stokta bulunmama	- Stok performans analizi - Benzetim modeli
Lee ve Özer (2005)	- Hata faktörleri	- Maliyet faktörleri	- Maliyet analizi - Stokastik model
Rekik ve diğ. (2007), (2008)	- Hata faktörleri (yanlış yerleştirme)	- Sipariş miktarı	- Stok optim. modeli - Üretici- perakendeci
Saygın (2006)	- RFID uygulanan ve uygulanmayan durum	- Ort. servis düzeyi Stokta bulunmama - Ort. stok seviyesi	- Envanter tahmin modeli - Stok performans analizi - Benzetim modeli
Kok ve diğ. (2008)	- Hata faktörleri	- Etiket birim maliyeti	- Maliyet / fayda analizi - Stokastik model - Üretici-perakendeci
Bottani ve Rizzi (2008)	- Palet ve kutu seviyesinde RFID - EPC bilgisinin paylaşılması	- Donanım yatırım maliyeti - Stok, süreç maliyet tasarrufları	- Maliyet / fayda analizi - Deterministik model - Anket çalışması - Üretici-dağıtıcı-tedarikçi
Wang ve diğ. (2007)	- Sipariş miktarı, sipariş noktası (s,S)	- Stok maliyet tasarrufları - Stok devir hızı	- Stok performans analizi - Envanter maliyet analizi - Benzetim modeli - Üretici-dağıtıcı-tedarikçi
Doerr ve diğ. (2006)	- Maliyet faktörleri	- ROI (yatırımın geri dönüş oranı)	- Maliyet / fayda analizi - Monte – Carlo modeli - Çok kriterli karar verme
Üstündağ (2007) -Doktora çalışması	- Ürün değeri - Temin süresi - Talep belirsizliği	- Maliyet faktörleri: İşçilik (süreç), stok, kayıp satış, sipariş, çalınma	- Maliyet / fayda analizi - Benzetim modeli - Üretici-dağıtıcı-tedarikçi

6.6. RFID Yatırım Değerlendirme Modeli

RFID yatırımlarının değerlendirilmesinde, gerçek kazanımları ortaya koyabilmek için, sayısal ve sayısal olmayan tüm faktörleri iyi belirlemek gerekmektedir. RFID teknolojisinin etkilediği faktör sayısının çok olması, yatırımın değerlendirilmesi açısından zorluk oluşturmaktadır. RFID uygulaması, tedarik zinciri genelinde düşünüldüğünde, yapı daha da karmaşık bir şekil almakta, maliyet/fayda analizlerini gerçekleştirmek zorlaşmaktadır. Geleneksel nakit akış iskontolama ve şimdiki değer analizleri, RFID yatırım kararlarının verilmesinde sınırlı ve yetersiz kalabilmektedir (Patil, 2004).

Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin, RFID uygulamalı tedarik zinciri beklenen kazanımın üzerinde anlamlı etki oluşturduğu, daha önceki bölümlerde gerçekleştirilen analizlerde gösterilmiştir. Bölüm 6.4'te zincir genelinde sağlanan maliyet tasarrufunun; perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyesinde eşit dağılmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bölümde tüm bu analiz ve sonuçların gözönüne alındığı bir RFID yatırım değerlendirme modeli önerilecektir.

Bölüm 2.7'de detaylı bir şekilde açıklandığı üzere, RFID uygulamalarında maliyet üç ana kalemden incelenmektedir: Donanım, yazılım ve hizmetler. Donanım maliyetleri; etiketler, okuyucular, antenler, bilgisayarlar, yazıcılar ve ağ ekipmanlarından, yazılım maliyetleri; ara katman ve diğer uygulama yazılımlarından, hizmet maliyetleri de; kurulum, sistem entegrasyonu, eğitim vb. faaliyetlerden oluşmaktadır. Etiket maliyeti donanım maliyetleri içinde sayılmakta ancak sabit bir yatırım olmamakla birlikte, sistemde yer alan ürün, kutu veya palet sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ürün seviyesinde RFID uygulaması, tedarik zinciri açısından düşünüldüğünde, etiket maliyetinin zincir üyeleri tarafından paylaşımı sözkonusu olmaktadır.

Önerilen yatırım değerlendirme modelinde, etiket maliyetinin zincir üyeleri arasındaki paylaşımı, beklenen kazanım oranına göre gerçekleşmektedir. RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasındaki maliyet farklarından oluşan perakendeci (K_p), dağıtıcı (K_d) ve üretici (K_u) kazanımları, etiket maliyeti paylaşım faktörünün (k) belirlenmesinde kullanılmaktadır. Önerilen modelde her zincir üyesi, beklediği kazanım oranında etiket maliyetini karşılayacaktır. Perakendeci, dağıtıcı ve üretici için maliyet paylaşım faktör oranları şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$k_p = \frac{K_p}{K_p + K_d + K_u} \quad (6.1a)$$

$$k_d = \frac{K_d}{K_p + K_d + K_u} \quad (6.1b)$$

$$k_u = \frac{K_u}{K_p + K_d + K_u} \quad (6.1c)$$

Tedarik zinciri üyeleri farklı sayıda RFID okuyucu ve ek donanım kullanarak, sistemde sağlayacağı faydayı arttırmak isteyebilir. Bu bağlamda maliyet paylaşım faktörü hesaplanırken; donanım yıllık amortisman ve bakım giderlerinin de hesaba katılması gerekir. Yıllık donanım amortisman giderini ve bakım giderlerini A olarak tanımlırsak, perakendeci için maliyet paylaşım faktörü k'_p şu şekilde hesaplanabilir:

$$k'_p = \frac{K_p - A_p}{(K_p + K_d + K_u) - (A_p + A_d + A_u)} \quad (6.2)$$

Tedarik zincirinin bir üyesi için uygulanacak yatırım değerlendirme modelinde, donanım maliyeti C_d , yazılım maliyeti C_y , hizmet maliyeti C_h , yıllık ürün miktarı M , iskonto oranı i ve birim etiket maliyeti C_e olarak ifade edilirse, perakendeci için t yılda elde edilmesi beklenen kazancın şimdiki değeri P şu şekilde hesaplanır:

$$P = -(C_d + C_y + C_h) + \sum_{n=1}^t \frac{[K_{pn} - k_{pn} * (C_e * M_n)]}{(1+i)^n} \quad (6.3)$$

Tedarik zincirinde etiket maliyetinin eşit olarak dağıldığı 3 üyeli zincirde, perakendeci için t yılda elde edilmesi beklenen kazancın şimdiki değeri P' şu şekilde hesaplanır:

$$P' = -(C_d + C_y + C_h) + \sum_{n=1}^t \frac{[K_{pn} - \frac{1}{3} * (C_e * M_n)]}{(1+i)^n} \quad (6.4)$$

Tedarik zinciri genelinde yapılan RFID yatırımının gerçekçi değerlendirilebilmesi için, çalışma kapsamında incelenen bağımlı ve bağımsız faktörlerin gözönüne alınması gerekmektedir. Bu bağlamda önerilen modelde ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği gözönüne alınarak süreç, elde tutma, sipariş, kayıp satış ve çalınma

maliyetlerinden oluşan toplam maliyet tasarrufu benzetim modeli yardımı ile hesaplanmaktadır.

Yılda ortalama 360.000 ürünün hareket gördüğü varsayılan tedarik zincirinde, sabit donanım, yazılım ve hizmet yatırım değeri her zincir üyesi için 150.000 dolar, birim etiket maliyeti 0,15 dolar, yıllık iskonto oranı %4 kabul edildiğinde, yatırımın perakendeci için 5 yılda beklenen ortalama şimdiki kazanç değeri, (6.3) ve (6.4) kullanılarak farklı ürün değeri, temin süresi ve talep dağılımı faktörleri için Tablo 6.16’da hesaplanmıştır.

Tablo 6.16: Yatırım değerlendirme analizi karşılaştırma

Ürün Değeri	Temin Süresi	Talep Dağılımı	Perakende Kazanç K_p	k_p	Şimdiki Değer P (6.3)	Şimdiki Değer P' (6.4)
5	2	10%	\$34.152	0,37	-\$87.908	-\$78.094
5	4	10%	\$33.806	0,37	-\$89.457	-\$79.636
5	6	10%	\$35.930	0,41	-\$89.464	-\$70.178
15	2	10%	\$71.176	0,48	\$50.459	\$86.729
15	4	10%	\$69.326	0,48	\$43.727	\$78.494
15	6	10%	\$70.212	0,73	-\$13.281	\$82.439
80	2	10%	\$573.930	0,79	\$2.215.199	\$2.324.900
80	4	10%	\$378.245	0,59	\$1.391.173	\$1.453.749
80	6	10%	\$273.633	0,44	\$962.428	\$988.031
5	2	30%	\$33.416	0,37	-\$90.076	-\$81.372
5	4	30%	\$33.283	0,37	-\$91.601	-\$81.962
5	6	30%	\$33.635	0,38	-\$92.766	-\$80.396
15	2	30%	\$74.055	0,50	\$59.463	\$99.546
15	4	30%	\$66.428	0,46	\$34.532	\$65.592
15	6	30%	\$67.178	0,65	-\$7.633	\$68.931
80	2	30%	\$294.909	0,94	\$937.513	\$1.082.750
80	4	30%	\$351.338	0,63	\$1.263.462	\$1.333.963
80	6	30%	\$303.442	0,50	\$1.081.447	\$1.120.738
5	2	50%	\$33.384	0,37	-\$90.746	-\$81.512
5	4	50%	\$33.328	0,37	-\$91.467	-\$81.764
5	6	50%	\$33.747	0,39	-\$94.030	-\$79.899
15	2	50%	\$68.262	0,47	\$40.998	\$73.759
15	4	50%	\$64.493	0,47	\$23.652	\$56.977
15	6	50%	\$62.690	0,55	-\$1.988	\$48.950
80	2	50%	\$267.760	0,68	\$877.556	\$961.889
80	4	50%	\$323.554	0,69	\$1.125.357	\$1.210.271
80	6	50%	\$264.702	0,51	\$905.102	\$948.275

Tablo 6.16’da görüldüğü üzere maliyet tasarruf oranına göre paylaşım faktörünün hesaplandığı durumda (6.3), perakendeci için RFID yatırımının şimdiki değeri, etiket maliyetinin eşit dağıldığı varsayımına göre (6.4) daha düşük çıkmaktadır. Bunun sebebi perakendeci için beklenen kazanç değerinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca

ürün değeri yükseldikçe, beklenen şimdiki değerler (6.3) ve (6.4) arasındaki farkın yükseldiği görülmektedir.

Önerilen bu model, tedarik zinciri üyeleri arasındaki etkileşimi, hata oranlarını, ürün değeri, talep belirsizliği ve temin süresi faktörlerini gözönüne alarak kapsamlı bir fayda/maliyet analizine olanak sağlamaktadır. Özellikle etiket maliyetinin zincir üyeleri arasındaki paylaşımı açısından RFID yatırımlarına yeni bir boyut kazandırmaktadır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında perakendeci, dağıtıcı ve üreticiden oluşan tedarik zincirinde, RFID uygulanan ve uygulanmayan iki durum arasında oluşan maliyet farkları, Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak hazırlanan benzetim modeli ile incelenmiştir. Tedarik zinciri boyunca hatalı sevkiyat, yanlış yerleştirme, çalınma ve zarar görme oranları gözönüne alınarak görünen ve gerçek stok miktarları belirlenmiştir. RFID teknolojisinin kullanımı ile doğruluk, süreç verimliliği, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde beklenen performans artışının tedarik zinciri üzerinde sağladığı kazanım, kayıp satış, çalınma, stok (elde tutma), sipariş ve süreç maliyet farkları esas alınarak hesaplanmıştır. Ürün değeri, temin süresi ve talep belirsizliği faktörlerinin RFID uygulamalı tedarik zincirinde sağlanan kazanım üzerindeki etkisi deneysel tasarım gerçekleştirilerek araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre ürün değerinin yükselmesi ile birlikte toplam tedarik zinciri maliyet tasarrufu artış göstermektedir. Bu artış, birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet farklarından kaynaklanmakla birlikte, kazanım miktarı perakendeci seviyesinde daha yüksek, dağıtıcı ve üretici seviyesinde daha düşüktür. Zincir boyunca ortalama stok seviyesi azalmasına rağmen ürün değer artışından dolayı elde tutma maliyeti tasarrufunda artış gerçekleşmektedir. Birim elde tutma maliyetinin artmasından dolayı verilen sipariş miktarı ve genel stok seviyesi azalmakta, bu da süreç maliyet tasarrufunda azalma eğilimi oluşturmaktadır. RFID uygulaması ile birlikte, görünen ve gerçek stok seviyeleri birbirine yaklaşmakta, sipariş maliyetinde oluşan kayıp, ürün değer artışı ile birlikte yükselmektedir.

Temin süresi artışı, perakendeci seviyesinde maliyet tasarrufunu düşürmekte, üretici ve dağıtıcının toplam maliyet tasarruflarını arttırmaktadır. Bunun sebebi, perakendeci seviyesinde, yükselen temin süresi ile birlikte kayıp satış maliyet tasarrufunda azalma, dağıtıcı ve üretici seviyesinde artış oluşmasıdır. Tedarik zinciri genelinde giriş ve çıkış yapan toplam ürün hacminin artmasından dolayı artan temin süresi ile birlikte çalınma maliyet tasarrufu da yükselmektedir. Yükselen stok seviyesi ile

birlikte elde tutma maliyetinden beklenen tasarruf artmakta, yine stok seviyesinin artması ile bağlantılı olarak süreç maliyet tasarrufu da artış göstermektedir. Sipariş maliyetinde oluşan kayıp, artan temin süresi ile azalmaktadır. Yükselen stok seviyesi ile birlikte, sipariş maliyetinden doğan maliyet farkı da azalmaktadır.

Talep belirsizliğinin artması ile birlikte RFID uygulanan tedarik zinciri toplam maliyet tasarrufu azalmaktadır. Bunun sebebi; sistemde daha çok kayıp satış oluşması ve toplam kayıp satış maliyetinde sağlanan kazanımın düşmesidir. Maliyet tasarrufundaki azalma, perakendeci, dağıtıcı ve üretici seviyelerinin her birinde görülmektedir. Belirsizliğin artması ile birlikte RFID uygulanan ve uygulanmayan sistemdeki ortalama stok seviyesi artmakta, ancak elde tutma maliyeti açısından iki durum arasında oluşan maliyet farkı azalmaktadır. Sipariş maliyetinde oluşan kayıp, artan talep belirsizliği ile birlikte azalmakta, süreç maliyet tasarrufunda anlamlı bir değişim görülmemektedir.

Bağımsız faktör olarak ürün değerinin RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, talep belirsizliği ve temin süresinden daha fazladır. Talep belirsizliğinin maliyet tasarrufu üzerindeki etkisi, temin süresi etkisinden yüksektir. Maliyet tasarrufu, müşteri ile bire-bir temas eden perakendeci seviyesinde, dağıtıcı ve üretici seviyesinden daha yüksek olmaktadır. Bağımsız faktörlerin değişimi sonucu, RFID uygulaması ile tedarik zinciri maliyet tasarrufunda oluşan değişimde, kayıp satış faktörü belirleyici rol oynamaktadır.

Araştırma sonuçları, RFID uygulamasının tedarik zinciri üzerindeki kazanımının hesaplanması aşamasında, zincir üyeleri arasındaki etkileşimin gözönüne alınması gerektiğini göstermiştir. Benzetim modeli çıktıları, oluşturulan yatırım değerlendirme modeline girdi oluşturmuş ve zincir üyeleri arasındaki etkileşim hesaba katılarak perakendeci seviyesinde yatırımın şimdiki değeri hesaplanmıştır. Çalışmada etiket maliyetinin, zincir üyeleri arasında, beklenen maliyet tasarruf oranında ve eşit paylaşıldığı iki farklı durum için sonuçlar karşılaştırılmıştır. Paylaşım faktörünün maliyet tasarruf oranına göre hesaplandığı durumda, perakendeci için yatırımın şimdiki değeri daha düşük oluşmuştur.

Son olarak bu çalışmada eksik noktalara ve gelecekte yapılacak çalışmalara değinmek gerekmektedir. Bu çalışmada oluşturulan modelde, tedarik zincirinde RFID uygulaması ile sağlanacak müşteri tatmini ve gelir artışı hesaba katılmamıştır.

Bunun dışında RFID uygulaması ile sağlanacak nitel kazanım faktörleri değerlendirme modeline eklenebilir. Tedarik zinciri seviyesi genişletilerek, her seviyede iki veya daha fazla üyenin yer aldığı durumlar inceleme kapsamına alınabilir. Tek kullanımlı etiket yerine, yeniden kullanılabilir etiket yatırımı için model revize edilebilir.

Bu çalışma özellikle RFID teknolojisi ve uygulamaları kapsamında detaylı bilgi vermekte, işletmelerin RFID uygulaması kapsamında sağlayacakları kazanımları detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Tedarik zinciri genelinde RFID yatırımının değerlendirilmesi açısından akademik ve iş çevrelerine önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Angerer, A.,** 2004. Out of Stock: Ausmaß, Ursachen und Lösungen, *Logistik Inside*, **7**, 16.
- Ayoade, J.,** 2005. Security implications in RFID and authentication processing framework, *Computers & Security*, **25**, 207-212.
- Bacheldor, B.,** 2007. Euro Pool System Tags Reusable Crates, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/3501/1/1/>.
- Bacheldor, B.,** 2006. China Post Deploys EPC RFID System to Track Mailbags , *RFIDJournal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2487/1/1/>.
- Bottani, E. and Rizzi, A.,** 2008. Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the Fast Moving Consumer Goods supply chain, *International Journal of Production Economics*, **112**, 548-569.
- Bhuptani, M. and Moradpour, S.,** 2005. RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems. Sun Microsystems Press. New Jersey.
- Budak, E., Çatay, B., Tekin, İ., Yenigün, H., Abbak and M., Drannikov, S.,** 2007. Design of an RFID-based Manufacturing Monitoring and Analysis System, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 259-264.
- Chien, H. and Chen, C.,** 2007. Mutual authentication protocol for RFID conforming to EPC Class 1 Generation 2 Standards, *Computer Standards & Interfaces*, **29**, 254-259.
- Chow, K.H., Choy, K.L., Lee W.B. and Lau, K.C.,** 2006. Design of a case based resource management system for warehouse operations, *Expert Systems with Applications*, **30**, 561-576.
- Collins, J.,** 2006. DaimlerChrysler Putting RFID Tags in Kanban Cards , *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2405/>.
- Das, R. and Harrop P.,** 2007. RFID Forecasts, Players & Opportunities 2007-2017, IDTechEx Ltd, Cambridge, UK.

- Delanuay, C., Sahin, E. and Dallery Y.,** 2007. A literature review on investigations dealing with inventory management with data inaccuracies, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 20-26.
- Doerr, K.H., Gates, W.R. and Mutty J.E.,** 2006. A hybrid approach to the valuation of RFID/MEMS technology applied to ordnance inventory, *International Journal of Production Economics*, **103**, 726-741.
- D'Hont, S.,** 2004. The Cutting Edge of RFID Technology and Applications for Manufacturing and Distribution, Texas Instruments TIRIS.
- Ergen, E., Akıncı, B.,** 2007. An Overview of Approaches for Utilizing RFID in Construction Supply Chain, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 7-11.
- Erkayhan, S.,** 2007. The Use of RFID enables a holistic Information Management within Product Lifecycle Management (PLM), *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 346-349.
- Fleisch, E. and Tellkamp C.,** 2005. Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain, *International Journal of Production Economics*, **95**, 373-385.
- Finkenzeller, K.,** 2002. RFID Handbook. Wiley Press. New-York.
- Garfinkel, S.,** 2002. An RFID Bill of Rights, *Technology Review*, **105**, 35.
- Gatzke, M.,** 2007. RFID Umfrage 2006: Wohin geht der Markt, *Ident*, **8**, 66-68.
- Goodrum, P. M., McLaren, M. A. and Durfee, A.,** 2006. The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites, *Automation in Construction*, **15**, 292-302
- Harrington, R.F.,** 1964. Theory of loaded scatterers, *Proc. Inst. Elect. Eng.*, **111**, 617-623.
- Hardgrave, B.,** 2005. Does RFID Reduce Out of Stock Costs? A Preliminary Analysis, **WP058-1105**, University of Arkansas, USA.
- Henrici, D. and Müller, P.,** 2004. Tackling security and privacy issues in radio frequency identification devices, *Second International Conference PERVASIVE 2004*, Vienna, Austria, April 21-23, 219-224.
- Hollinger, R.C. and Davis, J.L.,** 2001. National retail security survey, Report, Department of Sociology and the Center for Studies in Criminology and Law, University of Florida.

- Hou, J. and Huang, C.,** 2006. Quantitative performance evaluation of RFID applications in the supply chain of the printing industry, *Industrial Management & Data Systems*, **106**, 96-120.
- Hui, P., Wong, K. and Chan A.** 2005. Cryptography and authentication on RFID passive tags for apparel products. *Computers in Industry*, **57**, 342-349.
- Huang, G.Q., Zhang, Y.F. and Jiang, P.Y.,** 2007a. RFID-based wireless manufacturing for walking-worker assembly islands with fixed-position layouts, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **23**, 469–477.
- Huang, Y, Chuang W., Chang Y. and Sandnes F.E.,** 2007b. Enhanced Interactivity in Learning-Guide Systems with RFID, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 7-11.
- Jedermann, R., Behrens, C., Westphal, D. and Lang, W.,** 2006. Applying Autonomous Sensor Systems in Logistics – Combining Sensor Networks, RFIDs and Software Agents, Sensors and Actuators, *Sensors and Actuators A: Physical*, **132**, 370-375.
- Jong, E.,** 2005. RFID hardware survey 2005: Is UHF technology ready for European adoption?, LogicaCMG, Amstelveen, Netherlands.
- Juels A., Rivest, R.L. and Szydlo, M.,** 2003, The Blocker Tag: Selective Blocking of RFIDTags for Consumer Privacy, *10th ACM Conference on Computer and Communication Security*, October 27–30, Washington, DC, USA.
- Kang, Y. and Gershwin, S.,** 2005, Information inaccuracy in inventory systems: stock loss and stockout, *IIE Transactions*, **37**, 843-859.
- Kim, J., Tang, K., Kumara, S. R. T., Yee, S. T. and Tew, J.,** 2007. Value analysis of location-enabled radio frequency identification information on delivery chain performance, *International Journal of Production Economics*, **112**, 403-415.
- Kleist R. A., Chapman T. A., Sakai D.A., Jarvis, B.S.,** 2005. RFID Labeling: Smart Labeling Concepts & Applications for the Consumer Packaged Goods Supply Chain. Printronix Inc Press. Irvine.
- Knospe, H. and Pohl, H.,** 2004. RFID Security. *Information Security Technical Report*, **9**, 39-50.

- Kok A.G., Donselaar K.H. and Woensel, T.,** 2008. A Break-even Analysis of RFID Technology for Inventory sensitive to Shrinkage, *International Journal of Production Economics*, **35**,11-18.
- Korkmaz, E. and Üstündağ, A.,** 2007. Standards, Security & Privacy Issues about Radio Frequency Identification (RFID), *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 332-341.
- Lahiri, S.,** 2005. RFID Sourcebook. IBM press. Massachusetts.
- Landt, J.,** 2005. The History of RFID, *IEEE Potentials*, **24**, 8-11.
- Lee, H. and Özer, Ö.,** 2005. Unlocking the value of RFID, Working Paper, Stanford University.
- Lee, Y.M., Cheng, F. and Leung, Y.T.,** 2004, Exploring the impact of RFID on supply chain dynamics, *Proceedings of the 36th conference on Winter simulation*, Washington, D.C, 1145-1152.
- Legner, C. and Thiesse, F.,** 2006. RFID-Based Facility Maintenance at Frankfurt Airport, *IEEE Pervasive Computing*, **5**, 34-39.
- Liu, M.R., Zhang, Q.L., Ni, M.L. and Tseng M.M.,** 2004. An RFID-Based Distributed Control System for Mass Customization Manufacturing, *3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, Hong-Kong, 18-20 September, 1039–1049.
- Lu, M., Chen, W., Shen, X., Lam, H. and Liu, J.,** 2007. Positioning and tracking construction vehicles in highly dense urban areas and building construction sites, *Automation in Construction*, **16**, 282-290.
- Luckett, D.,** 2004. The supply chain, *BT Technology Journal*, **22**, 50-55.
- Malkoç, E.,** 2006. Depo Yönetim Sistemlerinde Kullanılan Otomatik Tanıma ve Veri Toplama Teknolojileri İle RFID Etiketleme, *Yüksek Lisans Tez*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mannel, A.,** 2006. Prozessorientiertes Modell zur Bewertung der ökonomischen Auswirkungen des RFID-Einsatzes in der Logistik, *Doktorarbeit*, Dortmund Universität, Fachgebiet Logistik, Dortmund.
- McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y. and Ashton, K.,** 2003. Auto-ID systems and intelligent manufacturing control, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **16**, 365-376.

- McFarlane, D. and Sheffi, Y.,** 2003. The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations, *The International Journal of Logistics Management*, **1**, 14-17.
- Munilla, J. and Peinado, A.,** 2007. HB-MP: A further step in the HB-family of lightweight authentication protocols, *Computer Networks*, **9**, 2262-2267.
- Ngai, S.M.T., Cheng, T.C.E, Au, S. and Lai, K.,** 2007. Mobile commerce integrated with RFID technology in a container depot, *Decision Support Systems*, **43**, 62-76.
- Ngai, E.W.T., Suk, F.F.C. and Lo, S.Y.Y.,** 2008. Development of an RFID-based Sushi management system: The case of a Conveyor-belt Sushi Restaurant, *International Journal of Production Economics*, **112**, 630-645.
- O'Connor, M.C.,** 2006a. Pfizer Using RFID to Fight Fake Viagra, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2075/1/1/>.
- O'Connor, M.C.,** 2006b. CHEP Announces New RFID-Enabled Container-Tracking Service, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2728/1/1/>.
- Patil, M.,** 2004. Investments in RFID: A Real Options Approach, Patni Computer Systems, Mumbai, India.
- Perez-Aloe, R., Valverde, J.M., Lara A., Carillo, J.M., Roa, I. and Gonzalez, J.,** 2007. Application of RFID tags for the overall traceability of products in cheese industries, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 7-11.
- Poirier C.C. and McCollum, D.,** 2006. RFID Strategic Implementation and ROI : a practical roadmap to success. J. Ross Publishing. Florida.
- Qiu, R.,** 2007. RFID-enabled Automation in Support of Factory Integration, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **23**, 677-683.
- Rekik, Y., Sahin, E. and 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**, 246-278.
- Rekik, Y., Jemai, Z., Sahin and E., Dallery, Y.,** 2007. Improving the performance of retail stores subject to execution errors: coordination versus RFID technology, *OR Spectrum*, **29**, 597-626.

- Richardson, R.**, 1963. Remotely activated radio frequency powered devices, *U.S. Patent*, No: 3098971.
- Rittenback, O.**, 1969. Communication by radar beams, *US Patent*, No: 3460139.
- Roberti, M.**, 2007. Can RFID solve out-of-stocks?, *RFID Journal*, **4**, 6-7.
- Roberti, M.**, 2005. Navy Tracks Broken Parts From Iraq, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/1982/>.
- Sagahyroon, A., Al-Ali, A., Sajwani, F., Almhri, A. and Shahin, I.**, 2007. Assesing Feasibility of Using RFID Technology in Airports, *Proceedings of the 1st RFID Eurasia Conference*, Istanbul, Turkey, 5-6 September, 27-31.
- Sarı, K.**, 2006. Ortaklaşa Planlama, Tahmin ve İkmal Yönteminin Tedarik Zinciri Performansına Etkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saygın, C.**, 2006. Adaptive inventory management using RFID data, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **32**, 1045-1051.
- Schutzberg, L.**, 2004. Radio Frequency Identification (RFID) in the Consumer Goods Supply Chain, Rock-Tenn Company Report, Norcross, USA.
- Solanas, A., Domingo-Ferrer, J., Martinez- Belleste, A. and Daza, V.**, 2007. A distributed architecture for scalable private RFID tag identification, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, **51**, 2268-2279.
- Sommerville, J. and Craig, N.**, 2005. Intelligent buildings with radio frequency identification devices, *Structural Survey*, **23**, 282-290.
- Song, J., Haasa, C.T., Caldas, C., Ergen, E. and Akinci, B.**, 2006. Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects, *Automation in Construction*, **15**, 166-177.
- Stockman, H.**, 1948. Communication by Means of Reflected Power, *Proceedings of the IRE [Institute of Radio Engineers]*, 1196-1204.
- Strassner, M. and Fleish, E.**, 2003. The Promise of Auto-ID in Automotive Industry, Auto-ID Labs Reserch Papers www.autoidlabs.org/uploads/media/IBM-AUTOID-BC-001.pdf.
- Subirana, B., Eckes, C., Herman, G., Sarma, S. and Barrett, M.**, 2003. Measuring the Impact of Information Technology on Value and

Productivity using a Process-Based Approach: The case for RFID Technologies, CCS Working Paper No: 223, MIT Sloan School of Management, USA.

- Tatsumi, H., Murai, Y., Miyakawa, M. and Tokumasu M.,** 2004. Use of Bar Code and RFID for the Visually Impaired in Educational Environment, *9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, July 5-6, Paris, France, 583-588.
- Thompson D. R., Di J., Sunkara H., and Thompson, C.,** 2006. Categorizing RFID privacy threats with STRIDE, *Proc. ACM Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS)*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, July 12-14.
- Thiesse, F. and Fleisch, E.,** 2007. On the Value of Location Information to Lot Scheduling in Complex Manufacturing Processes. *International Journal of Production Economics*, in press.
- Üstündağ, A. And Tanyaş, M.,** 2007. Evaluating Radio Frequency Identification Investments Using Fuzzy Cognitive Maps. *Journal of Multi-Valued Logic & Soft Computing*, **14**, 277-295.
- Vinding, J.P.,** 1967, Interrogator-responder identification system, *US Patent*, No: 3299424.
- Vogelman, J. H.,** 1968. Passive data transmission techniques using radar echos, *US Patent*, No: 3391404.
- Vrba, P., Macůrek, F. and Mařík, V.,** 2005. Using Radio Frequency Identification in Agent-Based Manufacturing Control Systems, in *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing*, pp. 176 – 187, Eds. Mařík, V., Brennan, R.W. & Pěchouček, M., Springer Verlag, Heidelberg.
- Wang N., Zhang N. and Wang M.,** 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry--Recent development and future perspective, *Computers and Electronics in Agriculture*, **50**, 1-14.
- Wang, S., Liu, S. and Wang, W.,** 2007. The simulated impact of RFID-enabled supply chain on pull-based inventory replenishment in TFT-LCD industry, *International Journal of Production Economics*, **112**, 570-586.
- Wassserman, E.,** 2007a. Airbus Grand Plans for RFID, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/3661/1/80/>.
- Wasserman, E.,** 2007b. A Healthy ROI, *RFID Journal*, **4**, 21-27.

- Weis, S., Sarma, S., Rivest, R. and Engels, D.,** 2003. Security and Privacy Aspects of Low-Cost Radio Frequency Identification Systems, *Security in Pervasive Computing*, **2802**, 201-212.
- Wessel, R.,** 2007. Metro Group's Galeria Kaufhof Launches UHF Item-Level Pilot, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/3624/>.
- Wessel, R.,** 2006a. Airport Monitoring System Combines RFID With Video, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2658/1/1/>.
- Wessel, R.,** 2006b. Environmental Concerns Lead Deutsche Post to RFID, *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2912/1/1/>.
- Wong, Y.F., Wu, P.W.K., Wong, D.M.H., Chan, D.Y.K, Fung, L.C. and Leung, S.W.,** 2006. RFI assessment on human safety of RFID system at Hong Kong International Airport, *17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, EMC-Zurich 2006, 108 – 111.
- Yagi, J., Arai, E. and Arai, T.,** 2005. Parts and packets unification radio frequency identification application for construction, *Automation in Construction*, **14**, 477– 490.
- Zhou, S., Ling, W. and Peng, Z.,** 2007. An RFID-based remote monitoring system for enterprise internal production management, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **33**, 837-844.
- www.alientechnology.com
- www.otatraining.com
- www.worldlabel.com
- www.autoidlabs.com
- www.futurestore.org
- www.rfprop.com
- www.webermarking.com
- www.italora.it
- www.epic.org
- www.spychips.com
- www.boycottbenetton.com
- www.flog.mb.uni-dortmund.de
- www.rfidconsulatiton.eu

www.supplyinsight.com

www.biba.uni-bremen.de

www.siemens.com/rfid

www.microlise.com

www.nxp.com

www.uni-muenster.de/geomuseum

www.metrogroup.de

www.retailresearch.org

www.gesamttextil.de

EKLER

A. Benzetim Modeli Kesitleri

Bu bölümde RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkilerini incelemek için Crystall Ball yazılımı kullanılarak kurgulanan benzetim modelinden bazı kesitler verilmiştir. Bu kesitler yardımı ile modelin nasıl oluşturulduğu ve çalışma prensibi anlaşılabilir. Model kapsamında RFID uygulanan durum için farklı parametreler kullanılmakta ve iki durum arasında oluşan maliyet farkları hesaplanmaktadır.

Comment 2321

</

Şekil A.1: Benzetim modelinde, perakendeciden alınan bir kesit

BB5 =SUM(BT51:BT410)																																											
AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	DAĞITICI										ÜRETİCİ																			
1	Top. Kabul Mal:	\$4.362	Çalınma Mal:	\$45.000																																							
2	Bir. Yerleş. Mal:	\$8.723	Süreç Mal:	\$39.462																																							
3	Bir. Stok Say. Mal:	\$595	Stok Mal:	\$2.389																																							
4	Bir. Toplama Mal:	\$17.188	Sipariş Mal:	\$2.600																																							
5	Bir. Yükleme:	\$8.594	ayrık Satış Mal:	\$3.810																																							
6			Toplam Mal:	\$93.262																																							
7																																											
														DAĞITICI										ÜRETİCİ																			
														Görünen										Gerçek										Görünen									
8	Sipariş Verildiği	Gün Sonu	Gerçek Gün	Son	Son	Son	Son	Son	Son	Son	Son	Son	Son																														
9	Stok	Stok	Birikimli	Yanlış	Yanlış	Siparişin	Yanlış	erleştirmeler	Stok	Stok	Eksik	Stok	Stok																														
10	Pozisyonu	Pozisyonu	Yanlış	Yanlış	Gün	Göleceği	Gün	erleştirmeler	Yanlış	Yanlış	Stok	Stok	Stok																														
11	FALSE	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000																														
12	TRUE	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
13	FALSE	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
14	FALSE	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
15	FALSE	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
16	FALSE	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
17	TRUE	4445	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
18	FALSE	4445	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
19	FALSE	4445	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
20	FALSE	4445	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
21	FALSE	4445	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
22	TRUE	4563	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
23	FALSE	4563	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
24	FALSE	4563	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
25	FALSE	4563	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
26	FALSE	4563	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
27	TRUE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
28	FALSE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
29	FALSE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
30	FALSE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
31	FALSE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														
32	FALSE	4681	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327	4327																														

Şekil A.3: Benzetim modelinde, dağıtıcı - üreticiden alınan bir kesit

B. Benzetim Modeli Sonuçları Veri Kümesi

Benzetim modelinin çalıştırılması sonucunda elde edilen ve istatistiksel analizlerde kullanılan deney sonuçlarından bir kısmı Tablo B.1, B.2, B.3 ve B.4’de gösterilmektedir.

Tablo B.1: Perakendeci- RFID uygulaması maliyet tasarrufları

Deney	Ürün Değeri	Temin Süresi	Talep Dağılımı	PERAKENDECI MALİYET FARKLARI (NORMAL-RFID)					
				Çalınma	Süreç	Stok	Sipariş	Kayıp S.	Toplam
1	5	2	10	7.865	20.251	-97	-80	8.231	36.170
2	5	2	10	8.065	20.360	-51	-40	5.523	33.856
251	5	4	10	8.120	20.521	-111	-160	9.425	37.796
252	5	4	10	7.855	20.037	-120	-120	10.334	37.986
501	5	6	10	8.115	20.153	-77	-80	6.449	34.560
502	5	6	10	7.820	19.572	-133	-120	10.470	37.609
751	15	2	10	19.335	17.006	-346	-440	50.905	86.460
752	15	2	10	22.575	18.689	-214	-280	31.279	72.049
1001	15	4	10	19.320	17.181	-328	-400	48.431	84.203
1002	15	4	10	22.650	18.765	-239	-240	28.686	69.623
1251	15	6	10	24.855	20.185	79	-40	9.223	54.302
1252	15	6	10	23.520	19.248	-174	-200	24.938	67.332
1501	80	2	10	101.920	16.222	-689	-1.160	321.520	437.812
1502	80	2	10	61.600	11.665	-1.783	-2.600	713.728	782.610
1751	80	4	10	101.920	16.057	-704	-1.200	325.684	441.757
1752	80	4	10	109.760	16.918	-382	-920	252.636	378.012
2001	80	6	10	126.560	18.537	-709	-520	147.176	291.043
2002	80	6	10	135.520	19.663	-385	-120	43.124	197.802
2251	5	2	30	8.550	21.625	-59	-40	4.485	34.561
2252	5	2	30	8.190	20.489	-130	-80	6.778	35.247
2501	5	4	30	8.615	21.995	18	0	-48	30.579
2502	5	4	30	8.675	21.697	11	0	942	31.326
2751	5	6	30	8.440	22.221	65	40	-1.691	29.076
2752	5	6	30	7.595	19.808	-122	-120	8.712	35.873
3001	15	2	30	26.175	21.208	170	80	-7.691	39.941
3002	15	2	30	21.135	17.779	-279	-360	40.331	78.606
3251	15	4	30	19.695	16.951	-398	-440	53.710	89.518
3252	15	4	30	21.810	18.345	-248	-320	36.317	75.904
3501	15	6	30	22.200	18.653	-359	-320	35.824	75.997
3502	15	6	30	24.210	20.279	-19	-40	6.737	51.166
3751	80	2	30	96.320	15.989	-1.043	-1.200	329.296	439.361
3752	80	2	30	67.680	12.739	-2.123	-2.240	608.020	684.076
4001	80	4	30	107.840	17.114	-631	-840	230.012	353.495
4002	80	4	30	82.560	14.437	-1.463	-1.600	432.956	526.890
4251	80	6	30	121.760	18.156	-542	-480	134.668	273.562
4252	80	6	30	124.800	18.705	3	-240	88.212	231.481
4253	80	6	30	113.920	18.001	-280	-400	111.476	242.717
4501	5	2	50	8.845	22.752	90	0	-1.351	30.336
4502	5	2	50	8.190	20.973	-53	-80	4.973	34.002
4751	5	4	50	7.260	18.671	-234	-200	13.617	39.114
4752	5	4	50	9.200	22.621	-58	0	1.238	33.000
5001	5	6	50	8.545	21.754	-43	-80	4.231	34.407
5002	5	6	50	7.350	20.343	-40	-80	5.970	33.543
5251	15	2	50	21.480	19.146	-30	-80	8.531	49.047
5252	15	2	50	21.180	18.700	-171	-200	23.681	63.190
5501	15	4	50	23.715	20.185	-217	-80	18.668	62.271
5502	15	4	50	23.895	19.627	-293	-160	20.866	63.935
5751	15	6	50	23.655	19.982	-158	-80	12.661	56.060
5752	15	6	50	20.985	18.057	-634	-400	48.879	86.887
6001	80	2	50	81.920	14.089	-2.236	-1.880	509.576	601.469
6002	80	2	50	94.240	15.708	-1.525	-1.040	272.420	379.803
6251	80	4	50	117.840	18.307	-1.288	-720	213.872	348.011
6252	80	4	50	91.760	15.898	-1.271	-1.000	274.552	379.939
6501	80	6	50	128.320	19.524	-879	-160	44.648	191.453
6502	80	6	50	114.080	18.019	-577	-480	141.016	272.058

Tablo B.2: Dağıtıcı- RFID uygulaması maliyet tasarrufları

Deney	Ürün Değeri	Temin Süresi	Talep Dağılımı	DAĞITICI MALİYET FARKLARI (NORMAL-RFID)					
				Çalınma	Süreç	Stok	Sipariş	Kayıp S.	Toplam
1	5	2	10	7.865	19.017	116	-80	465	27.383
2	5	2	10	8.065	20.441	113	-40	530	29.109
251	5	4	10	7.850	16.939	198	-160	596	25.423
252	5	4	10	7.585	17.034	198	-120	530	25.227
501	5	6	10	7.845	17.302	192	-80	745	26.004
502	5	6	10	7.550	15.984	264	-120	772	24.449
751	15	2	10	19.335	10.459	680	-440	1.070	31.104
752	15	2	10	22.575	14.620	539	-280	1.206	38.660
1001	15	4	10	19.320	10.591	870	-400	1.520	31.900
1002	15	4	10	22.650	14.696	594	-240	2.045	39.745
1251	15	6	10	20.190	18.758	562	80	-13.021	26.569
1252	15	6	10	20.700	17.358	1.691	80	-27.806	12.023
1501	80	2	10	98.560	7.659	3.615	-1.160	7.264	115.938
1502	80	2	10	61.600	-4.859	7.302	-2.520	-10.576	50.947
1751	80	4	10	101.920	8.041	5.632	-1.200	4.852	119.245
1752	80	4	10	109.760	10.458	4.707	-920	6.448	130.454
2001	80	6	10	126.560	15.019	3.964	-520	6.612	151.635
2002	80	6	10	134.400	18.089	2.471	-160	18.528	173.328
2251	5	2	30	8.550	21.375	65	-40	492	30.442
2252	5	2	30	8.190	19.876	-13	-120	834	28.767
2501	5	4	30	8.350	21.309	80	0	165	29.903
2502	5	4	30	8.410	21.311	57	0	500	30.278
2751	5	6	30	8.160	21.162	104	40	643	30.110
2752	5	6	30	7.330	15.936	249	-120	577	23.971
3001	15	2	30	26.175	21.513	269	80	1.300	49.337
3002	15	2	30	21.135	12.802	564	-360	1.280	35.421
3251	15	4	30	19.695	10.149	950	-440	1.406	31.760
3252	15	4	30	21.330	12.574	786	-320	1.337	35.707
3501	15	6	30	18.405	12.497	-1.153	-240	-6.493	23.017
3502	15	6	30	20.475	18.475	573	40	-3.673	35.891
3751	80	2	30	86.320	7.504	1.176	-800	-109.948	-15.748
3752	80	2	30	67.680	-941	3.044	-1.560	-181.508	-113.285
4001	80	4	30	107.840	10.904	3.955	-760	-15.696	106.243
4002	80	4	30	82.560	3.719	6.174	-1.600	3.508	94.361
4251	80	6	30	115.040	13.683	2.116	-720	71.064	201.183
4252	80	6	30	111.440	14.817	95	-600	102.216	227.967
4253	80	6	30	106.400	14.741	3.417	80	-126.536	-1.898
4501	5	2	50	8.845	23.504	98	0	156	32.602
4502	5	2	50	8.190	20.137	42	-80	486	28.775
4751	5	4	50	7.260	14.319	223	-200	761	22.364
4752	5	4	50	8.915	22.015	90	0	844	31.865
5001	5	6	50	8.275	18.529	61	-80	914	27.699
5002	5	6	50	7.350	16.986	151	-80	572	24.979
5251	15	2	50	21.030	16.022	104	-120	5.589	42.624
5252	15	2	50	21.180	14.844	421	-200	977	37.222
5501	15	4	50	23.715	17.278	377	-40	-2.729	38.602
5502	15	4	50	23.895	17.201	-31	0	-12.540	28.525
5751	15	6	50	19.920	17.322	17	0	-3.856	33.404
5752	15	6	50	19.620	12.563	-575	-200	-22.852	8.556
6001	80	2	50	79.680	3.095	229	-920	-253.552	-171.467
6002	80	2	50	84.320	8.562	93	-440	-157.264	-64.729
6251	80	4	50	114.240	13.276	1.769	-400	-79.604	49.281
6252	80	4	50	85.440	7.389	1.990	-1.080	9.324	103.063
6501	80	6	50	119.600	16.580	738	-400	72.308	208.826
6502	80	6	50	101.840	12.754	2.579	-560	27.592	144.205

Tablo B.3: Üretici - RFID uygulaması maliyet tasarrufları

Deney	Ürün Değeri	Temin Süresi	Talep Dağılımı	ÜRETİCİ MALİYET FARKLARI (NORMAL-RFID)					
				Çalınma	Süreç	Stok	Sipariş	Kayıp S.	Toplam
1	5	2	10	7.865	19.022	116	-80	421	27.344
2	5	2	10	8.065	20.458	123	-40	363	28.969
251	5	4	10	7.850	16.959	209	-160	375	25.233
252	5	4	10	7.585	17.050	205	-120	394	25.113
501	5	6	10	7.845	17.318	199	-80	501	25.783
502	5	6	10	7.550	16.003	280	-120	509	24.222
751	15	2	10	19.335	10.466	688	-440	815	30.864
752	15	2	10	22.575	14.625	542	-280	1.079	38.540
1001	15	4	10	19.320	10.601	898	-400	881	31.300
1002	15	4	10	22.650	14.708	621	-240	1.298	39.037
1251	15	6	10	15.510	16.332	-337	40	5.232	36.777
1252	15	6	10	18.345	18.922	470	320	-23.273	14.784
1501	80	2	10	94.080	7.148	3.649	-1.160	8.192	111.909
1502	80	2	10	61.600	-4.431	6.970	-2.440	-10.552	51.148
1751	80	4	10	101.920	8.045	5.704	-1.200	3.668	118.136
1752	80	4	10	109.760	10.467	4.842	-920	4.504	128.653
2001	80	6	10	126.560	15.022	4.022	-520	5.768	150.852
2002	80	6	10	133.280	17.771	2.893	-200	17.632	171.377
2251	5	2	30	8.550	21.385	68	-40	386	30.349
2252	5	2	30	8.190	18.998	19	-120	685	27.772
2501	5	4	30	8.350	21.327	88	0	80	29.844
2502	5	4	30	8.410	21.331	70	0	327	30.138
2751	5	6	30	8.160	21.184	118	40	211	29.713
2752	5	6	30	7.330	15.963	267	-120	320	23.759
3001	15	2	30	26.175	21.516	263	80	1.277	49.312
3002	15	2	30	21.135	12.807	569	-360	1.031	35.181
3251	15	4	30	19.695	10.153	961	-440	890	31.258
3252	15	4	30	21.330	12.581	804	-320	769	35.163
3501	15	6	30	16.530	12.307	-1.268	-40	-22.595	4.934
3502	15	6	30	17.190	17.306	1.030	40	4.565	40.130
3751	80	2	30	77.440	8.169	726	-560	-67.620	18.156
3752	80	2	30	67.680	2.663	292	-880	-181.804	-112.049
4001	80	4	30	107.840	11.278	3.638	-680	-16.840	105.237
4002	80	4	30	82.560	3.728	6.314	-1.600	1.724	92.725
4251	80	6	30	109.440	11.907	4.257	-920	59.412	184.096
4252	80	6	30	96.960	11.226	1.893	-1.000	120.432	229.511
4253	80	6	30	96.480	15.919	1.655	280	-53.136	61.198
4501	5	2	50	8.845	23.504	94	0	156	32.598
4502	5	2	50	8.190	20.137	39	-80	486	28.772
4751	5	4	50	7.260	14.319	218	-200	761	22.358
4752	5	4	50	8.915	22.047	108	0	293	31.362
5001	5	6	50	8.275	18.538	64	-80	869	27.665
5002	5	6	50	7.350	17.006	163	-80	244	24.682
5251	15	2	50	21.030	15.590	254	-120	1.019	37.773
5252	15	2	50	21.180	14.847	422	-200	851	37.101
5501	15	4	50	23.715	17.808	233	0	-3.572	38.184
5502	15	4	50	23.895	19.245	-607	160	-13.112	29.581
5751	15	6	50	17.115	16.575	196	40	-4.364	29.561
5752	15	6	50	16.815	13.661	-705	-160	-9.770	19.841
6001	80	2	50	77.440	7.356	-1.702	-280	-168.564	-85.750
6002	80	2	50	75.520	10.277	-1.277	0	-121.208	-36.688
6251	80	4	50	110.640	14.636	105	-80	-70.316	54.986
6252	80	4	50	81.280	6.636	2.272	-1.080	-408	88.699
6501	80	6	50	114.080	14.834	2.926	-560	49.272	180.552
6502	80	6	50	91.760	11.130	3.915	-640	13.328	119.494

Tablo B.4: Toplam - RFID uygulaması maliyet tasarrufları

Deney	Ürün Değeri	Temin Süresi	Talep Dağılımı	TOPLAM MALİYET FARKLARI (NORMAL-RFID)					
				Çalınma	Süreç	Stok	Sipariş	Kayıp S.	Toplam
1	5	2	10	23.595	58.290	134	-240	9.117	90.897
2	5	2	10	24.195	61.258	185	-120	6.416	91.934
251	5	4	10	23.820	54.418	297	-480	10.396	88.451
252	5	4	10	23.025	54.121	283	-360	11.257	88.326
501	5	6	10	23.805	54.774	315	-240	7.694	86.347
502	5	6	10	22.920	51.559	411	-360	11.751	86.281
751	15	2	10	58.005	37.931	1.023	-1.320	52.790	148.428
752	15	2	10	67.725	47.935	867	-840	33.563	149.250
1001	15	4	10	57.960	38.373	1.439	-1.200	50.831	147.403
1002	15	4	10	67.950	48.170	976	-720	32.028	148.404
1251	15	6	10	60.555	55.276	303	80	1.434	117.648
1252	15	6	10	62.565	55.529	1.987	200	-26.141	94.139
1501	80	2	10	294.560	31.028	6.575	-3.480	336.976	665.659
1502	80	2	10	184.800	2.375	12.490	-7.560	692.600	884.705
1751	80	4	10	305.760	32.142	10.632	-3.600	334.204	679.138
1752	80	4	10	329.280	37.843	9.167	-2.760	263.588	637.119
2001	80	6	10	379.680	48.577	7.277	-1.560	159.556	593.530
2002	80	6	10	403.200	55.524	4.980	-480	79.284	542.507
2251	5	2	30	25.650	64.384	75	-120	5.363	95.352
2252	5	2	30	24.570	59.363	-123	-320	8.296	91.786
2501	5	4	30	25.315	64.630	185	0	197	90.327
2502	5	4	30	25.495	64.340	138	0	1.769	91.741
2751	5	6	30	24.760	64.568	288	120	-837	88.899
2752	5	6	30	22.255	51.706	394	-360	9.608	83.603
3001	15	2	30	78.525	64.236	703	240	-5.114	138.590
3002	15	2	30	63.405	43.387	854	-1.080	42.642	149.208
3251	15	4	30	59.085	37.253	1.512	-1.320	56.006	152.536
3252	15	4	30	64.470	43.500	1.342	-960	38.423	146.775
3501	15	6	30	57.135	43.457	-2.780	-600	6.736	103.948
3502	15	6	30	61.875	56.060	1.584	40	7.628	127.187
3751	80	2	30	260.080	31.662	859	-2.560	151.728	441.768
3752	80	2	30	203.040	14.461	1.214	-4.680	244.708	458.743
4001	80	4	30	323.520	39.296	6.962	-2.280	197.476	564.974
4002	80	4	30	247.680	21.884	11.025	-4.800	438.188	713.976
4251	80	6	30	346.240	43.746	5.831	-2.120	265.144	658.841
4252	80	6	30	333.200	44.748	1.991	-1.840	310.860	688.959
4253	80	6	30	316.800	48.661	4.792	-40	-68.196	302.017
4501	5	2	50	26.535	69.760	282	0	-1.040	95.537
4502	5	2	50	24.570	61.247	28	-240	5.944	91.549
4751	5	4	50	21.780	47.309	207	-600	15.139	83.835
4752	5	4	50	27.030	66.682	140	0	2.375	96.227
5001	5	6	50	25.095	58.821	82	-240	6.014	89.771
5002	5	6	50	22.050	54.335	274	-240	6.785	83.204
5251	15	2	50	63.540	50.757	328	-320	15.140	129.445
5252	15	2	50	63.540	48.391	672	-600	25.510	137.513
5501	15	4	50	71.145	55.271	392	-120	12.368	139.056
5502	15	4	50	71.685	56.073	-931	0	-4.787	122.041
5751	15	6	50	60.690	53.879	55	-40	4.441	119.025
5752	15	6	50	57.420	44.280	-1.913	-760	16.257	115.283
6001	80	2	50	239.040	24.541	-3.709	-3.080	87.460	344.252
6002	80	2	50	254.080	34.547	-2.709	-1.480	-6.052	278.386
6251	80	4	50	342.720	46.219	586	-1.200	63.952	452.277
6252	80	4	50	258.480	29.922	2.991	-3.160	283.468	571.701
6501	80	6	50	362.000	50.938	2.785	-1.120	166.228	580.831
6502	80	6	50	307.680	41.903	5.917	-1.680	181.936	535.756

ÖZGEÇMİŞ

1977 İstanbul doğumlu Alp Üstündağ, 1996 yılında İstanbul (Erkek) Lisesi'nden mezun oldu, 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Sabancı Holding bünyesinde yer alan Turk.Net'de Pazarlama ve İş Geliştirme Uzmanı olarak çalışmaya başladı, daha sonra Akbank Değişim Yönetimi Bölümü'nde 3 yıl süre ile çalıştı. Çalışma hayatı devam ederken yüksek lisans eğitimini sürdürdü. 2002 yılında Boğaziçi Üniversitesi İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü'nden MBA derecesi aldı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Doktora Programı'na kabul edildi. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2006 yılında İTÜ RFID Araştırma ve Test Laboratuvarı'nın kuruluşunda yer aldı. 2007 Haziran–Aralık döneminde Dortmund Üniversitesi Lojistik Bölümü'nde misafir araştırmacı olarak RFID konusunda çalışmalarını sürdürdü. Alp Üstündağ, Almanca ve İngilizce bilmekte olup halen İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.