

## Gıda Güvenliğinin Sağlanmasında Radyo Frekanslı Tanımlama Teknolojisinin Rolü

Özlem Kızılırmak Esmer ✉, Arzu Yalçın Melikoğlu

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 15.10.2014, Kabul Tarihi (Accepted): 04.11.2014

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ozlem.kizilirmak@ege.edu.tr (Ö. Kızılırmak Esmer)

☎ 0 232 311 30 20 📠 0 232 342 75 92

### ÖZ

Gıda endüstrisinde, gıda zincirinin her halkası son ürünün kalitesini etkilediği için tedarik zinciri yönetiminde gıda güvenliğini garanti altına almak esastır. Son yıllarda, stratejik bir teknoloji aracı olarak tanımlanan Radyo Frekanslı Tanımlama Teknolojisi (RFID), gıda tedarik zincirinde gıda güvenliğinin sağlanmasında kullanılan yenilikçi bir sistemdir. RFID teknolojisi gıda tedarik zincirinde verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik sağlamakla beraber zincirin herhangi bir aşamasında üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve perakendeciler tarafından paylaşılabilen gerçek zamanlı bilgi (stok, lojistik, teslimat) sağlamaktadır. Kablosuz sensörler kullanarak, insan müdahalesi olmadan ürünlerin tanımlanmasına ve veri iletişimine olanak sağlayan RFID etiketler, sıcaklık ve nem gibi çevresel değişkenleri de ölçerek iletir. Bu çalışmada, RFID teknolojisi ve RFID teknolojisinin gıda endüstrisindeki uygulama alanlarının tanıtılması amaçlanmıştır. Gıda endüstrisinde tedarik zinciri yönetimi, sıcaklığın ve tazeliğin izlenmesinde kullanılan RFID tabanlı akıllı etiketlere ait endüstriyel ve deneysel çalışmalar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gıda güvenliği, RFID teknolojisi, RFID tabanlı akıllı etiketler, Gıda sektöründe RFID uygulamaları

### Role of Radio Frequency Identification (RFID) in Providing Food Safety

#### ABSTRACT

In food industry, supply chain management is essential to guarantee food safety because each link in the chain affects the quality of final products. Radio Frequency Identification (RFID), which can be defined as a strategic technology tool for providing food safety in the food supply chain, is an innovative system and provides efficiency, accuracy, visibility and security on supply chain and real time information (inventory, logistics, delivery) which can be shared at any stage of supply chain by supplier, manufacturer, distributor and retailer. RFID tags, which uses the wireless sensors to identify the product and to provide the communication data without human intervention, transmit measurements of environmental factors such as temperature and relative humidity. In this paper, the representation of RFID system and its applications in food industry were aimed. Moreover, RFID based smart tags that are used to supply chain management and to monitor temperature and freshness in food industry were evaluated by industrial and experimental studies.

**Keywords:** Food safety, RFID technology, RFID based smart tags, RFID applications in food industries

#### GİRİŞ

ISO 22000: 2005'e göre "gıda güvenliği" kavramı, gıdaların amaçlanan kullanımına uygun olarak

hazırlaması ve tüketildiğinde tüketiciye zarar vermemesi, "gıda zinciri" ise gıdanın ilk üretimden tüketimine kadar üretim, işleme, dağıtım, depolama, taşıma, yükleme ve boşaltmayı içeren sıralı aşama ve

işlemler olarak ifade edilmektedir [1]. Gıda da izlenebilirlik kavramı son yıllarda önem kazanmış deli dana hastalığı, kuş gribi, biyoterör tehlikesi nedeniyle gıdanın güvenliliği konusundaki endişeler, etkin bir izlenebilirlik sisteminin kurulmasını zorunlu kılmıştır. İnsanların sağlıklı ve güvenilir gıdaya olan talebi ve sürdürülebilir gıda güvenliği kavramı, gıdayı üreten ve dağıtımını yapan işletmelerin, gıda güvenliğini tehlikeye düşürecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikeleri önceden belirleyerek önlemler almasına, kontrol altında tutmasını sağlayacak bir sistemin varlığına ihtiyaç duymalarına sebep olmuştur. Gıda tedarik zincirinde tüketici güvenini arttırmak, gıda güvenliğini tehlikeye düşürecek unsurları azaltmak amacıyla vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilen izlenebilirlik sistemi kanunlar ve yönetmeliklerle de yasal olarak zorunlu hale gelmiştir [2].

178/2002/EC sayılı Gıda Güvenliği Regülasyonu'nda; insan sağlığı ve tüketici haklarını koruyacak yasal düzenlemeler yapılarak gıda ve yemin üretim, işleme ve dağıtım aşamalarında izlenmesi, izleme sisteminin oluşturulması hususunda koşullara yer verilmiştir [3]. İzlenebilirlik kavramı, ISO 22000:2005 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi'nde, İngiliz perakendecilerinin oluşturmuş olduğu BRC standartlarında ve Uluslararası Gıda Standartlarında (IFS) da yer almaktadır. Codex Alimentarius tarafından yayınlanan, CAC/GL 60-2006 "İzlenebilirlik İçin Prensipler/ Gıda İnceleme ve Sertifikasyonu için Ürün İzleme Yöntemi" standardında, gıda kaynaklı tehlikelerden tüketicinin korunması amacıyla işletmelerde oluşturulacak izlenebilirlik sisteminin tasarımı ve uygulamalarını da kapsamaktadır [4]. Ayrıca ISO 22000 standart dizisinin bir üyesi olarak yayınlanan ISO 22005-2007 "Gıda ve Yem Zincirinde İzlenebilirlik Standardı", üretim, proses ve dağıtım aşamalarında izlenebilirlik sisteminin kurulması için genel prensipleri ve operasyon adımlarını tanımlamaktadır [5].

Avrupa Birliği direktifleri doğrultusunda Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından 2010 yılında 5996 sayılı "Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu" yayınlanmıştır. Beşinci bölüm madde 24: "Gıda veya yem işletmecileri izlenebilirliği sağlamak amacıyla, üretim, işleme ve dağıtımın tüm aşamalarında, sorumluluğundaki gıda veya yemin, gıda veya yeme ilave edilecek her türlü maddenin ve gıdanın elde edildiği hayvanın takibinin yapılabilmesi için bir sistem oluşturmak ve talep hâlinde bir bilgileri Bakanlığa sunmak zorundadır" ifadesi ile izlenebilirlik sistemi ülkemizde de yasal olarak tanımlanmıştır [6].

İzlenebilirlik sistemi, gıdanın elde edildiği hayvanın veya bitkinin, gıdada bulunması amaçlanan bir maddenin üretim, işleme ve dağıtım aşamalarında izlenmesinin sürdürülebilmesine, hammadde kabulden mamul ürünün sevkine kadar yani tarladan çatala uzun bir süreci kapsamaktadır [7]. Gıda izlenebilirliği; girdi, ürün ve sürecin izlenmesiyle istenmeyen bir durum karşısında sorunun kaynağının tespitine, geri toplama için gerekli bilgi sisteminin kurulmasına olanak sağlayarak, gıda güvenliğinin korunmasının yanı sıra maliyetlerin ve

firenin azaltılmasında insan ve çevrenin korunması açısından da önemlidir.

Gıda tedarik zinciri yönetiminde dünya genelinde iki metodoloji kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi standart ve sertifikalar vasıtasıyla gıda tedarik zincirinin yönetimi olup, ISO 22000, HACCP (Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktası) ve GMP (İyi Üretim Uygulamaları) ile sistemlerin gerektirdiği ön koşullar sağlanarak tüm süreçlerde kritik kontrol noktalarının kontrol altında tutulması ve sürecin ileriye ve geriye dönük olarak izlenmesi mümkün olabilmektedir. Ülkeler tüketici sağlığını korumak ve gıda güvenliğini sağlamak için ulusal/uluslararası standartların uygulanmasını zorunlu kılsa da mevcut standartlarla gıdada izlenebilirlik sisteminin kurulması, etkinliğin sağlanması ve yapılan işin kayıt altına alınmasında kullanılan dokümantasyon nedeniyle çok fazla kağıt ve insan gücü kullanılmaktadır. Gıda güvenliği standartları gıdanın geriye doğru izlenebilirliğine olanak sağlamasına rağmen gıdanın nakliyesi sırasında izlenebilirliği konusunda yetersiz kalmaktadır.

İkinci sırada ise, gıda üretim ve dağıtım zinciri boyunca anında otomatik olarak tanımlama ve takip sağlayan RFID teknolojisi yer almakta olup sistem yönetimi, verilerin toplanması insan müdahalesi olmadan gerçekleştirilmektedir [8,9]. RFID, özellikle et, süt, balık, meyve sebze gibi çabuk bozulan gıdaların, üretim, nakliye ve depolama sırasında başta sıcaklık olmak üzere izlenebilirliğini sağlayan ve gıda güvenliğinin korunmasında kağıt ve insan gücüne gereksinim duymayan otomatik olarak bilgisayar üzerinden verilere kolaylıkla ulaşmayı sağlayan etkili bir sistemdir [10, 11]. Veri alışverişini radyo frekansı ile sağlayan bir nesne tanımlama ve takip teknolojisi olan RFID, nesneye ait verileri içeren bir mikroişlemci ve bu mikro işlemciye entegre edilmiş anten ile donatılmış etiket taşıyan bir nesnenin, bu etikette taşıdığı bilgiler ile hareketlerinin izlenebilmesi prensibine dayanır [12].

RFID teknolojisi son yıllarda erişim kontrol sistemlerinin geliştirilmesinden, otomatik ücretli geçiş sistemlerine, tedarik zinciri yönetimine, lojistiğe, depo kontrol sistemlerinin aktifleştirilmesine ve hayvancılık sektörüne kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. İnşaat sektöründe kullanılan RFID tabanlı otomatik izlenebilirlik sistemi ile pompa, makara ve gömülü varlıkların takibinde başarılı sonuçlar elde edilmekte, tedarik zinciri yönetiminde sisteme adapte edilen RFID ile yönetim maliyetleri azaltılmakta ve ürün verimliliği arttırılmaktadır [9].

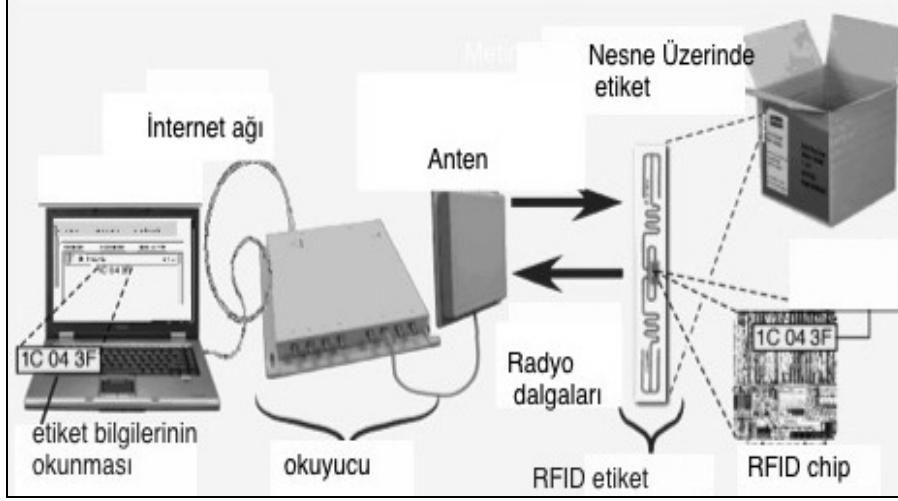
Gıda sektörü için hammadde, yarı mamul ve ürünün oluşumu oldukça kompleks bir süreç olup bu sürecin kesintisiz, ürün ve kalite kayıpları yaşanmadan, zamanında tamamlanması ve gıdanın uygun ambalaj malzemesiyle ambalajlanarak sevkiyata hazır hale gelmesi büyük önem taşır. Otomatik tanımlama sistemleri arasında RFID teknolojisi endüstriyel uygulamalarda hammadde ve yarı mamul kontrolünden, üretim hattının otomasyonuna kadar ürünün üretim prosesi boyunca zaman kaybı olmadan doğru bir şekilde kontrol ve takip edilmesine olanak sağlamaktadır [13].

Gıda tedarik zincirinde nesnelerin çok yönlü ve uzak mesafelerden izlenebilmesine de olanak sağlayan RFID teknolojisi hızlı, verimli ve güvenilir bir sistemdir. RFID teknolojisi imalat sektöründe, hava alanı ve limanlarda taşıma sistemlerinin düzenlenmesini, nakliyenin izlenmesini, nakliye sırasında sıcaklık ve nem gibi iklimsel değişkenlerin ürünler üzerindeki etkilerinin gözlenmesini mümkün kılan ileri düzey bir teknolojidir [14].

## RFID TEKNOLOJİSİ

### RFID Sisteminin Bileşenleri ve Çalışma Prensibi

Radyo dalgalarını kullanarak üzerindeki bir objenin kimlik bilgilerini nümerik olarak ileten RFID sisteminin temel bileşenlerini; anten, veri taşıyıcı etiket, veri sorgulayıcı okuyucu ve arka planda çalışan bir veritabanı oluşturur (Şekil1).



Şekil1. RFID sisteminin çalışma prensibi [15].

**RFID anten:** Okuyucunun etiketi okuyacağı kapsama alanı içerisinde, okuyucu-etiket ve okuyucu-okuyucu arasındaki veri iletişimini radyo sinyallerini alarak/yayarak sağlayan donanımdır.

**RFID etiket:** Nesneye ait bilginin depolandığı, elektronik veri taşıyıcı olarak kullanılan bir mikroçip ve antene sahip, üzeri koruyucu tabakayla kaplı oldukça yüksek kapasitede veri depolama özelliğine sahip aygıttır. Güç kaynaklarına göre aktif, yarı pasif ve pasif olmak üzere 3 gruba ayrılır. Aktif etikette bir güç kaynağı olarak batarya mevcut olup, okuyucu ile aktif olarak iletişim sağlanırken, yarı pasif etikette batarya mevcut olmasına rağmen iletişim okuyucunun gönderdiği sinyal ile gerçekleşir. Pasif etiketlerde ise güç kaynağı mevcut olmayıp, etiketin antenini uyaran okuyucudan güç alınır. Pasif etiketlerde güç kaynağı olmadığı için okunma mesafesi 10 m ile sınırlı iken, aktif etiketlerde ise 20 m ile 100 m uzaklıktan okuma yapılabilir.

**RFID okuyucu:** RFID anten tarafından gönderilen sinyaller ile etiket üzerindeki bilgiyi okuyan ve/veya üzerindeki anten ile etikete sinyal göndererek yeni bilgilerin yazılmasını sağlayan donanımlar olup, RFID etiketin varlığını tanımlamak için kullanılır.

**Veri tabanı:** Okuyucuya bağlı olarak çalışan veri tabanı, etiketten okuyucu tarafından alınan verilerin veri tabanında kaydedilebilmesine ve gerektiğinde bu verilerin sorgulanmasına olanak sağlar [16-18].

Tipik bir RFID sisteminde nesne üzerinde bir etiket bulunur ve bu etiketteki nesneye ait olan bilgiler, anten ve okuyucu tarafından üretilen radyo frekans alanı içinden geçtiğinde aktif olur. RFID etiketlerine bilgi

yazılması ve/veya bu bilgilerin okunması radyo dalgaları ile gerçekleşir. RFID etiketler yüksek bilgi depolama kapasitesine sahip olup, herhangi bir hata olmaksızın bilgilerin okunması ve/veya yeni bilgilerin yazılması sağlanabildiği gibi çok farklı iklimsel koşullar altında dahi bilginin korunmasını sağlar. RFID etiketler içerisinde en yaygın olarak kullanılanı pasif etiketlerdir ve RFID okuyucu tarafından yayılan enerji ile aktive olurlar ve üzerlerindeki bilgiyi okuyucuya gönderirler. RFID okuyucu ise etiketten aldığı bilgiyi arka plan veri tabanına göndererek kullanıcının isteğine bağlı olarak verilerin işlenmesi, depolanması, gerektiğinde sorgulanması ve bilgiye ihtiyaç duyan herhangi bir sisteme aktarılması sağlanır [12,19].

RFID; düşük frekans (LF), yüksek frekans (HF), ultra yüksek frekans (UHF) ve süper yüksek frekanslarında kullanılabilen olup, Tablo 1'de farklı endüstrilerde kullanımına ait örneklerle yer verilmiştir.

### RFID Teknolojisinin Gelişimi

Radyo Frekansı ile veri iletişiminin temelini oluşturan ilk çalışma 1948 yılında Hannry Stockman tarafından yayınlanan "Yansıyan güç yoluyla iletişim" adlı makale olup, radyo dalgalarının yansıması ile nesnelerin yerinin tespit edilmesini sağlayan radar sisteminin bulunuşu bu alandaki çalışmalara öncülük etmiştir. 2. Dünya savaşı sırasında İngiliz Hava Kuvvetleri tarafından dost ve düşman uçaklarını ayırt etmek amacıyla dost uçaklarına yerleştirilen alıcı/verici işlevine sahip etiketlerin gönderdiği sinyaller ile düşmanların ayırımını yapan uzun menzilli IFF (dost-düşman tespiti) sistemi günümüzdeki hava kontrol sisteminin de temelini oluşturmaktadır [21, 22].

Tablo 1. Frekanslarına göre RFID etiketleri ve uygulama alanları [20]

	LF	HF	UHF	MİKRODALGA
Frekans	125–134 kHz	13.56 MHz	433 MHz 865-956 MHz 2.45 GHz	2.45-5.8 GHz
Okuma menzili	Kısa	Orta	Uzun	Çok uzun
Okuma hızı	Yavaş	Orta	Hızlı	Çok Hızlı
Uygulama alanları	Güvenlik, Erişim Kontrol, Hayvan takibi, Akıllı etiketler ve kartlar	Kütüphaneler, Hava alanı bagaj takip ve izleme, Ulaşım, İlaç sanayi	Lojistik, Nakliye	Yol takip, lojistik, nakliye

RFID teknolojisi, mikro işlemci, bellek çipleri ve iş teknolojileri konularındaki gelişmeler doğrultusunda 1950'li yıllardan itibaren hızla gelişmeye başlamış, 1960'lı yıllarda ise araştırmacılar tarafından RFID tabanlı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Sensormatik, Checkpoint ticari firmaları tarafından geliştirilen EAS (Elektronik Güvenlik Sistemi), 1 bit etiket ile ürün üzerinde etiketin var olup olmadığını kontrol ederek uyarı sinyali yollayan basit bir sistem olup, kütüphanelerde ve giyim mağazalarında hırsızlığa karşı kullanılan ve bu günkü RFID teknolojisinin temelini oluşturan sistemlerden biridir.

1970 yıllarda RFID teknolojisi başta Los Alamos Bilim Laboratuvarı ve İsveç Mikrodalga Enstitüsü olmak üzere birçok araştırmacı ve bilim kurumunun ilgisini çekmiş ve bu dönemde hayvan etiketleme gibi ticari uygulamalar geliştirilmiştir. 1980'de Avrupa'da hayvan izleme sistemleri yaygınlaşmış ve İtalya, Fransa, Portekiz, İspanya ve Norveç'te RFID otomatik geçişli karayolu sistemleri kullanılmıştır.

1991 yılında Amerika'nın Oklahama eyaletinde açılan elektronik ücretli geçiş sistemi araçlara duraklama olmaksızın gişelerden hızlı geçiş imkanı sağlayarak ücretlerin elektronik olarak toplanmasını sağlamış ve Avrupa'da demiryolu, köprü ve otobanlarda RFID tabanlı elektronik sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. 1990'lı yıllarda RFID teknolojisindeki gelişmeler giriş kontrol sistemleri, elektronik ürün/malzeme izleme ile sınırlı kalmamış, RFID devrelerin boyutlarının küçültülmesi sağlanmıştır [23].

2000'li yıllara gelindiğinde dünyada insanlar günlük hayatlarını kolaylaştıracak ve değiştirecek bir teknoloji olarak RFID sistemlerini kabul etmiş, devletler arasında frekans spektrumunun tahsisi, standartların geliştirilmesi ve ticari uygulamaların ortaya konması hususunda çalışmalar hız kazanmıştır. Ülkelerin UHF radyo spektrumu konusunda uyum içinde olmaması (Avrupa da ultra yüksek frekans için 868 MHz, Amerika da ise 915 MHz) standartların oluşturulmasına engel teşkil etse de ANSI (Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü) ve ISO (Uluslararası Standart Örgütü) RFID sisteminde standartların oluşturulması için çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda RFID teknolojisi ile hayvan etiketlemede ISO 11784, ISO 11785 ve ISO 14223 standartları, RFID teknolojisi ile ürün yönetimi konusunda ISO 18000 standardı yayınlanmıştır [20, 23, 24].

ISO/IEC 18000 standardında, okuyucu ile etiket arasındaki haberleşmenin hangi frekansta, hangi özellikler veya kısıtlamalar altında olacağı bildirilmektedir. Ancak bu standardı radyo frekansı ile doğrulamanın nasıl yapılacağı hakkında bilgi vermemesi güvenlik açısından sorgulanmalarına yol açmaktadır [25].

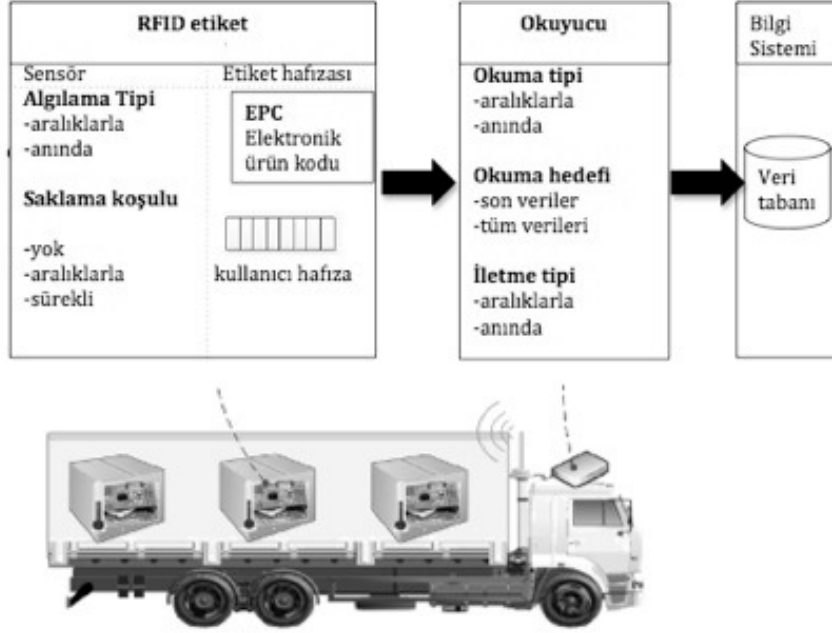
## GIDA SEKTÖRÜNDE RFID UYGULAMALARI

Endüstriyel anlamda RFID teknolojisi sayısız uygulama alanı bulmasına rağmen gıda sektöründe RFID uygulamaları tedarik zinciri yönetimi, sıcaklığın izlenmesi ve tazeliğin izlenmesi konularında gruplandırılabilir.

### Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri faaliyetleri arasında üretim planlama, satın alma, malzeme yönetimi, dağıtım, tahmini satışlar ve müşteri ilişkileri vazgeçilmez adımlar olup mevcut rekabetçi pazar ortamında tedarik zincirinde entegrasyonun sağlanmasında birçok endüstri teknolojiye başvurmaktadır. Şekil 2'deki örnekte de görüldüğü gibi radyo frekansıyla tanımlama yapan "akıllı etiketler", tedarik zincirinde ürünlerin, konteynirlerin ve paletlerin izlenmesine olanak sağladığı için RFID teknolojisi akıllı tedarik zincirini sağlayabilecek bir yaklaşımdır [19]. ABD Wall-Mart, Savunma Bakanlığı, Gıda ve İlaç dairesi (FDA), İngiltere'de Tesco tarafından da desteklenen RFID teknolojisi, gıda tedarik zinciri yönetiminde izlenebilirliğin sağlanmasında son yıllarda kullanım alanı bulmuştur.

RFID tabanlı izlenebilirlik sistemi; varlık yönetiminin geliştirilmesi, üretim kayıplarının azaltılması, ürün verimliliğinin artırılması ve israfın önlenmesi gibi birçok konuda işletmelere avantaj sağlamasına rağmen barkod ve diğer alternatif sistemlere göre pahalı olması ve güvenlik sorunları endüstriyel anlamda kullanımını kısıtlamaktadır. Ancak RFID teknolojisi ile üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve perakendeci istediği zaman stok ve lojistik bilgisine ulaşabilmekte, zincirde hata oluşumu azalır, verimlilik artarak lojistik maliyetleri de azalabilmektedir. Bu kapsamda RFID teknolojisinin işletmelerde uygulanabilirliğine ait fizibilite araştırmaları yapılırken sistem maliyeti ve sistemin faydaları birlikte değerlendirilmelidir [8, 19].



Şekil 2. Tedarik zinciri yönetiminde RFID etiket, veri toplama ve depolama modeli [26].

Dağıtım merkezleri ile perakende mağazaları arasındaki tedarik zincirinde kullanılan RFID etiketler, tedarik zincirinde perakendecilere ürünün yeri, ürünün ortamda ortalama kalış süresi, teslimat zamanı hakkında bilgi sağlamakta ve böylelikle lojistik performansını geliştirmektedir [27]. Ayrıca RFID etiket kullanımı ile müşteri taleplerindeki belirsizlik azalmakta, tedarik zincirinde termin süresi uzamakta ve uygun koşullar sağlandığında RFID sistemleri işletmelere cazip fırsatlar getirmektedir [28].

Hali hazırda mevcut barkod sistemleri gıda ürünlerini tanımlamak için kullanılsa da, tedarik zinciri yönetimi konusunda yeterli olamamakta, RFID; etikette yer alan bilgilerin defalarca güncellenebilir olması, insan eli değmeden otomatik olarak verilerin kontrol ediliyor olması, ürün tanımlarının bilgisayar bağlantılı optik okuyucular tarafından belirlendiği barkod sistemine göre RFID'yi daha etkili kılmaktadır [29].

Feng ve ark. [30] yaptıkları bir çalışmada, sığır yetiştiriciliği ve sığır eti ithalatı yapılan bir mezbahada sığırların kulaklarına ve mezbahanın kesim, parçalama ve sığır eti paketleme noktalarına yerleştirilen RFID etiketler ile hem hayvanların hem de parçalanmış ve ambalajlanmış etlerin izlenmesi sağlanmıştır. RFID etiket taşıyan sığırlarda üreme bilgilerine kolaylıkla ulaşıldığı, üretimin her noktasında sağlanan izlenebilirlik ile sığır eti üretiminde otomasyon ve verimliliğin arttığı, gıda güvenliği risklerinin ortadan kaldırıldığı bildirilmiştir.

Tan ve Chang [31], Tayvan'da e-restoran sisteminin geliştirilmesinde RFID çip taşıyan kartların kullanımına yönelik bir çalışma yaparak, müşterilere verilen RFID kartlar ve restorana yerleştirilen RFID etiketler ile, ürün sipariş aşamasından sevkine kadar geçen süreci değerlendirmişleridir. RFID tabanlı kartlar ile müşterilerin siparişinin anında restoran mutfağına iletildiği, müşterinin siparişinin mutfakta hangi aşamada olduğunu

görmesinin sağlandığı, mutfak personelinin mutfakta yer alan ekipmanları daha verimli kullandığı, stok kontrolünün daha verimli bir şekilde yapıldığı, sipariş ve teslimat arasındaki sürenin kısaldığı belirtilmektedir.

Angeles [32], bir bisküvi firmasının hammaddenin tartım, karıştırma, pişirme gibi bisküvi oluşum aşamalarında kullanılan RFID etiketler ile tüm üretim sürecinin izlendiğini, operatörlerin bilgisayar ekranından verileri takip ederek üretime anında müdahale etme fırsatı bulduklarını, üretimde yüksek izlenebilirlik sağlandığını, hata oranlarının düşmesiyle verimliliğin artırıldığını bildirmiştir. Ayrıca dağıtımın stratejik noktalarına ve depo alanlarına yerleştirilen RFID etiket ve okuyucular ile gelen ürün ile sipariş edilen ürünün eşlenmesinin sağlandığı, ürünün hangi noktada olduğu, giren ve çıkan ürünün takibi ile güncel stok listelerine yoğun insan emeği harcamadan çok kısa sürede ulaşılabildiği belirtilmektedir.

Gıda kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesinde, ürün geri çağırma, kontamine olmuş gıdanın alınmamasında, gıda kalite kayıplarının azaltılmasında RFID izlenebilirlik sisteminin etkili olduğu, RFID'nin tedarik zincirine entegre olmasıyla gıda güvenliğinin garanti altında tutulmasının sağlandığı ve böylelikle müşteri memnuniyetinin arttığı da literatürde yer almaktadır. [33].

### Sıcaklığın izlenmesi

Gıda güvenliğini tehlikeye düşürecek unsurları ortadan kaldırmak için üretim ve dağıtım aşamalarında sıcaklığın kontrol altında tutulması gerekmektedir. Özellikle et, süt, balık, taze meyve sebze gibi çabuk bozulan gıdaların işleme, nakliye ve depolama aşamalarında sıcaklık ürüne özgü kabul edilebilir seviyeyi aştığında üründe kimyasal, enzimatik, mikrobiyolojik ve duyuşal bozulmalar başlar. RFID teknolojisi sıcaklığa duyarlı

ürünlerin izlenmesi, RFID etiketlerde yer alan sensörler ile ürünün iç ve dış sıcaklığının ölçülmesi, tanımlanan yüksek ve düşük sıcaklıklarda devreye giren alarm sistemi ile özellikle soğuk zincirin korunmasında etkili bir sistemdir. Ayrıca RFID teknolojisinin sıcaklık ihlalleri konusunda tüketicinin ürün etiketi üzerinde yer alan son kullanma tarihinden önce üründe bozulma meydana gelip gelmediğini ve bu bozulmanın kabul edilebilir seviyede olup olmadığı hakkında da bilgi edinilmesine olanak sağlamaktadır [34].

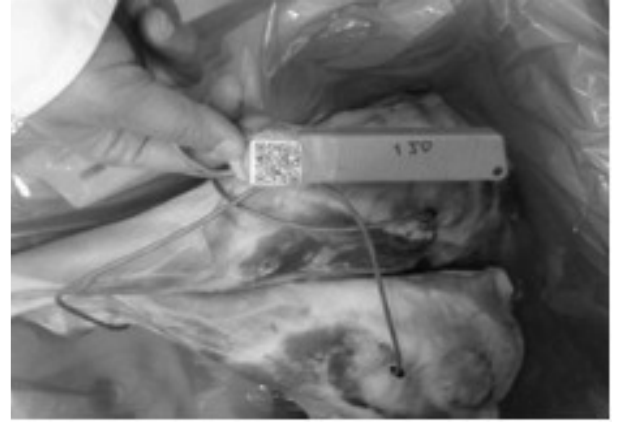
Piyasada farklı firmalar tarafından üretilen ve farklı sıcaklık aralıklarını okuma veya kaydetme kapasitesine sahip, hem ürünün iç sıcaklığını hem de ürünün bulunduğu ortamın sıcaklığını ölçebilen sıcaklık sensörlü RFID etiketler bulunmaktadır. Infratab (ABD) tarafından üretilen ve yarı aktif özellikte RFID etiket olan Freshtime™, -25 ile +70°C arasındaki sıcaklıkları algılayarak tedarik zinciri ve raf ömrü boyunca ürünlerdeki sıcaklık değişimlerinin izlenmesine yardımcı olur. Üretici veya dağıtıcı firma, ürünün maruz kaldığı yüksek sıcaklığın zincirin hangi aşamasında gerçekleştiğini tespit edebilecek ve böylelikle bu noktaları kontrol ve denetim altında tutabilecektir. IDS Microchip AG (İsviçre) tarafından üretilen IDS-SL 13 A, pasif/yarı-aktif özellikte RFID sıcaklık kaydedici etiketler ise -40 ile 110°C arasındaki sıcaklıkları 0.5°C hassasiyetle okuma kapasitesine sahiptir. KSW Microtech AG (Almanya) firması tarafından üretilen VarioSens® RFID sıcaklık monitörü, tedarik zinciri boyunca ürün sıcaklıklarının izlenmesine, kaydedilmesine ve üzerine yerleştirildiği

gıdanın sıcaklık geçmişinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. ThermAssureRF™ (Amerika) RFID etiket tedarik zincirinde hem izlenebilirliğin sağlanması hem de sıcaklığın kaydedilmesine olanak sağlayan kombine bir sistemdir. Kombine RFID etiket özellikle firmaların HACCP gereksinimlerinin sağlanması için gıda güvenliğinin korunmasında başvurdukları bir etiket çeşididir. Aynı zamanda tedarik zinciri boyunca izlenebilirliğin sağlanması, tedarik sürelerinin doğru belirlenmesi, stok miktarının doğru hesaplanarak satış kayıplarının azaltılması gibi çeşitli konularda zincir üyelerine fayda sağlamaktadır. Identec Solution (Avusturya) firması tarafından üretilen ve yalnızca veri depolama amaçlı kullanılan RFID tabanlı sıcaklık kaydedici i-Q32T etiket; 13000 adet veri depolama kapasitesine sahip olup, -40 ile +85°C arasında 0.25°C doğrulukta okuma yapabilen ve 6 yıllık pil ömrüne sahip gıdanın iç ve dış sıcaklığını izleyebilecek özellikte bir etikettir [24].

Tahakur ve Foras [35], Şekil 3 ve 4'te görüldüğü gibi sığır etine yerleştirdikleri RFID tabanlı sıcaklık sensörleri ile sığır etinin hem iç hem de dış sıcaklığını 800km'lik dağıtım ağı boyunca EPCIS (Elektronik Güç Kontrollü Bilgi Sistemi) tabanlı online sistem ile endüstriyel bazda değerlendirmişlerdir. Dağıtım ağı boyunca sığır eti sıcaklığının otomatik olarak kontrol edilebilmekte, soğuk zincirin oldukça etkin bir şekilde korunabilmekte, kalite kayıpları nedeniyle ürün israfı önlenmekte, insan emeği olmadan sıcaklık kontrolü ve bilgi aktarımı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. RFID tabanlı sıcaklık sensörleri [35]



Şekil 4. RFID sensör içeren sığır eti paketleri [35]

Eom ve ark. [36], soya peynirinde meydana gelebilecek gıda zehirlenmelerini önlemek amacıyla üretim ve dağıtım aşamalarında izlenebilirliği sağlamak için RFID teknolojisini kullandığı deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada soya peyniri üretim ve dağıtım aşamalarında sıcaklığın ve nemin izlenmesi ve kontrol altında tutulmasını sağlamak için sıcaklık ve nem sensörlü pasif RFID etiket ürün ambalajı içine yerleştirilmiş ve RFID teknolojisini sıcaklık ve nemin izlenmesinde yüksek performans göstererek gıda zehirlenmesini önlediği bildirilmiştir.

Bir başka çalışmada ise Abad ve ark. [37], taze balık tedarik zincirini ışık, sıcaklık ve nem sensörlü RFID akıllı etiketler kullanarak izlemişlerdir. Şekil 5'te görüldüğü

gibi polistiren balık kutularının bir köşesine yerleştirilen RFID etiketler yardımıyla kutular dışardan açılmadan 10 cm uzaklıktan kutunun içindeki sıcaklığın ve nemin doğru bir şekilde ölçüldüğü, 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda ölçüm kolaylığı sağladığı, depolama koşullarındaki değişimin nem sensörleri tarafından rahatlıkla algılandığı ve soğuk zincirde RFID etiketlerin izlenebilirliğin sağlanmasında etkili olduğu bildirilmiştir.

Jaderman ve ark. [38], çabuk bozulan gıdaların dağıtım aşamasında soğuk zincirin korunmasının gıda güvenliği risklerini ortadan kaldırmak için önemli olduğunu belirterek yaptıkları çalışmada soğuk zincirde sıcaklığın izlenmesinde RFID etiketlerin performansını, dağıtımın uzunluğu, çevresel sıcaklığı göz önünde bulundurarak

incelemişlerdir. Çalışmada Almanya'da bulunan 15 nakliye firmasında, ürün kutularının içine, paletlerin üzerine ve taşıma kamyonlarına yarı-pasif RFID etiket yerleştirilmiştir. Yarı-pasif RFID etiketlerin çevresel sıcaklık değişimlerinde sisteme uyarı göndererek sorunların zamanında tespit edilmesi ve müdahale edilmesini sağladığını, soğuk zincirin korunmasında etkili olduğunu ancak okuma mesafesinin sınırlı olduğunu, güvenli sıcaklık izleme için kamyonlarda metre başına bir sensör yerleştirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.



Şekil 5. RFID sensör içeren Polistiren balık kutuları [37].

### Tazeliğin İzlenmesi

Son yıllarda sağlıklı ürünlere yönelik artan tüketici talepleri doğrultusunda, taze gıdaların tüketimi geleneksel işlenmiş gıdalara göre artmaktadır. Teknolojik gelişmeler her ne kadar sebze ve meyve gibi taze ürünlerin bir ülkeden soğuk zincirde hava ve/veya deniz, kara taşımacılığı ile başka bir ülkeye gönderilmesine olanak sağlasa da taze ürünler işlenmiş gıdalara nazaran gıda güvenliğine dair daha fazla risk taşımaktadır [39]. Taze ürünlerin raf ömürlerinin işlenmiş diğer gıdalara göre kısa olması, uygun ortam koşullarında depolanmadığında çok çabuk bozulmalarına sebep olmakta ve bu durum ekonomik, çevresel ve sağlık sorunlarına sebebiyet vermektedir. Gıdaların tazeliğinin izlenmesi gerek üretici ve satıcılar için hem sağlık risklerinin hem de ekonomik risklerin azaltılmasında önemli bir adımdır. RFID etiketler gıdaların tazeliğinin raf ömrü boyunca kolaylıkla izlenmesi ve belirlenmesine olanak sağlar.

Eom ve ark. [40], sebze ve meyvelerin tazeliğinin, sıcaklık, nem, oksijen ve karbondioksit konsantrasyonundaki değişimlerden etkilendiğini belirterek, oksijen ve karbondioksit konsantrasyonlarındaki değişimin sebzelerin tazeliği üzerindeki etkisini RFID kullanarak laboratuvar ortamında deneysel olarak incelemişlerdir. 20°C'de %35 bağıl nemde depolanan ambalajlanmış marullara yerleştirilen oksijen ve karbondioksit gaz sensörü içeren RFID etiket ile gaz konsantrasyonlarındaki değişimi her gün kaydetmişlerdir. RFID okuyucudan elde edilen veriler doğrultusunda gaz konsantrasyonlarındaki değişimin sebzelerin tazeliğini etkilediğini, daha fazla parametrenin

izlenmesine imkan sağlayan RFID etiketlerin geliştirilmesinin gıda güvenliği açısından önemi belirtilmiştir.

Gıdaların izlenmesinde RFID tabanlı sensörlü etiketlerin kullanımına yönelik Patyrailo ve ark. [41] tarafından yapılan çalışmada ise; sütün depolama süresince tazeliğinin değerlendirilmesinde dielektrik özelliklerindeki değişimi RFID etiket kullanarak izlenmiştir. Çalışmada süt kartonu içerisine yerleştirilen RFID etiket ile depolama süresinin bir fonksiyonu olarak dielektrik özelliklerinin izlendiği, belirlenen referans ölçüm değerinin aşıldığında RFID etiketin sinyal vererek sütün tazeliğini kaybettiğini ve bozulduğunu bildirdiği belirtilmiştir.

### SONUÇ

20. yüzyılın başlarından itibaren farklı sektörlerde farklı uygulama alanı bulmuş olan RFID teknolojisinin, gıda sektöründe gıda güvenliğinin sağlanmasına yönelik umut verici bir teknoloji olduğu, literatürde çeşitli deneysel ve endüstriyel çalışmalara ait uygulamalarda görülmektedir. RFID tabanlı akıllı etiketler güvenli ve verimli bir şekilde tedarik zinciri boyunca izlenebilirliği ve üreticiden satıcıya zincir elemanları arasında iletişimi sağlar, sıcaklık sensörleri ile soğuk zincirin korunmasında etkili olup, tüketiciyi ürünün tazeliği konusunda bilgilendirir. Ancak RFID etiketlerin, ürüne özgü ve tedarik zincirinin uzunluğuna göre tasarlanması, gıdaya ait özelliklerin farklı olması nedeniyle aynı etiketlerin farklı ürünlerde kullanımının mümkün olmaması, işletmelerde etiket maliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca ülkelerin UHF Radyo frekansının tahsisi konusunda uyum içinde olmaması, herhangi bir ülkede işlem gören frekansın başka bir ülkede çalışmaması uluslararası gıda tedarik zincirinde izlenebilirliği kısıtlamaktadır. İnsan müdahalesi olmadan, hızlı, güvenilir ve otomatik olarak veri iletişimini sağlayan RFID sisteminin, etiket maliyetlerinin düşürülmesi ve standartların oluşturulması ile gelecekte gıda sektöründeki kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] ISO 22000:2005. Food safety management systems e Requirements for any organization in the food chain. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=35466](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=35466). Erişim tarihi: 23.09.2014.
- [2] Todorovic, V., Neag, M., Lazarevic, M., 2014. On the Usage of RFID Tags for Tracking and Monitoring of Shipped Perishable Goods. *Procedia Engineering* 69: 1345–1349.
- [3] European Parliament, 2002. Regulation (EC) No. 178/2002 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Communities.
- [4] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:031:0001:0024:EN:PDF>. Erişim tarihi: 23.09.2014.
- [5] Codex Alimentarius (CAC/GL 60-2006). Principles for traceability/product tracing as a tool within a food inspection and certification system.

- <http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/> Erişim tarihi: 23.09.2014.
- [6] ISO 22005:2007. Traceability in the feed and food chain -- General principles and basic requirements for system design and implementation. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=36297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=36297) Erişim tarihi: 23.09.2014.
- [7] 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri Bitki Sağlığı Gıda ve Yem kanunu. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100613-12.htm> Erişim tarihi:24.09.2014.
- [8] Feng, J., Fu, Z., Wang, Z., Xu, M., Zhang, X., 2013. Development and evaluation on a RFID-based traceability system for cattle/beef quality safety in China. *Food Control* 31(2): 314–325.
- [9] Zacharewicz, G., Deschamps, J.C., Francois, J., 2011. Distributed simulation platform to design advanced RFID based freight transportation systems. *Computers in Industry* 62(6): 817–842.
- [10] Hong, I.H., Dang, J.F., Tsai, Y.H., Liu, C.S., Lee, W.T., Wang, M.L., Chen, P.C., 2011. An RFID application in the food supply chain: a case study of convenience stores in Taiwan. *J. Food Eng* 106(2):119–126.
- [11] Chen, R.S., Chen, C.C., Yeh, K.C., Chen, Y.C., Kuo, C.W., 2008. Using RFID technology in food produce traceability. *Wseas Transactions on Information Science and Applications* 11:1551-1560.
- [12] Anonymous, 2014. <https://www.zebra.com/content/dam/zebra/white-papers/en-us/food-traceability-en-us.pdf> Erişim Tarihi: 14.10.2014.
- [13] Yüksel, M, E., Durukan-Odabaşı, Ş., 2009. Nesnelere İzlenebilir ve Yönetilebilir mi? Cevap: RFID. *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Şubat 11-13, 2009, Şanlıurfa, Türkiye, 127-136.
- [14] Chongwatpol, J., Sharda, R., 2013. RFID-enabled track and traceability in job-shop scheduling environment. *European Journal of Operational Research* 227: 453–463.
- [15] Cazeka, M. J., Mead, J., Chen, J., Nagarajan, R., 2013. Passive wireless displacement sensor based on RFID technology. *Sensors and Actuators A* 190: 197– 202.
- [16] Anonymous, 2014, <http://apid.com.tr/TR/rfid.php>, Erişim tarihi: 14.10.2014.
- [17] Nagai, E.W.T., Suk, F.F.C., Lo, S.Y.Y., 2008. Development of an RFID-based sushi management system: The case of a conveyor-belt sushi restaurant. *Int. J. Production Economics* 112: 630–645.
- [18] Domdouzis, K., Kumar, B., Anumba, C., 2007. Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction. *Advanced Engineering Informatics* 21: 350–355.
- [19] Feldhofer, M., 2004. An Authentication Protocol in a Security Layer for RFID Smart Tags. *IEEE MELECON 2004*, MAY 12-15, 2004, Dubrovnik, Croatia.
- [20] Üstündağ, A., 2013. The value of RFID. Springer Verlag London e-book. ([http://download.springer.com/static/pdf/815/bfm%253A978-1-4471-4345-%252F1.pdf?auth66=1412928274\\_c751c9c1c57c22ad1f5e758d002dd4b2&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/815/bfm%253A978-1-4471-4345-%252F1.pdf?auth66=1412928274_c751c9c1c57c22ad1f5e758d002dd4b2&ext=.pdf)) Erişim tarihi: 10.10.2014.
- [21] Gao, J., 2011. Intelligent and Interactive Package Based on RFID and WSN. Royal Institute of Technology Licentiate Thesis.
- [22] Tang, J., Chen, C.Y., 2011. A billiards track and score recording system by RFID trigger. *Procedia Environmental Sciences* 11: 465 – 470.
- [23] Ko, C.H., 2009. RFID-based building maintenance system. *Automation in Construction* 18: 275–284.
- [24] Roberts, C.M., 2006. Radio frequency identification (RFID). *Comput Secur* 25:18–26.
- [25] Kumar, P., Reinitz, H.W., Simunovic, J., Sandeep, K.P., Franzon, P.D., 2009. Overview of RFID technology and its applications in the food industry. *Journal of Food Science* 74(8): 8101–8106.
- [26] Konespe, H., Pohl, H., 2004. RFID security. *Information Security Technical Report*. Vol. 9, No. 4
- [27] Chen, Y.-Y., Wang, Y.-J., Jan, J.-K., 2014. A novel deployment of smart cold chain system using 2G-RFID-Sys. *Journal of Food Engineering* 141: 113–121.
- [28] Delen, D., Hardgrave, B.C., Sharda, R., 2007. RFID for better supply-chain management through enhanced information visibility. *Production and Operations Management* 16(5): 613–624.
- [29] Sari, K., 2010. Exploring the impacts of radio frequency identification (RFID) technology on supply chain performance. *European Journal of Operational Research* 207(1): 174–183.
- [30] McMeekin, T.A., Baranyi, J., Bowman, J., Dalgaard, P., Kirk, M., Ross, T., Schmid, S., Zwietering, M.H., 2006. Information systems in food safety management. *International Journal of Food Microbiology* 112: 181–194.
- [31] Feng, J., Fu, Z., Wang, Z., Xu, M., Zhang, X., 2013. Development and evaluation on a RFID-based traceability system for cattle/beef quality safety in China. *Food Control* 31 (2): 314–325.
- [32] Tan, T-H., Chang, C-S., 2010. Development and evaluation of an RFID-based e-restaurant system for customer-centric service. *Expert Systems with Applications* 37: 6482–6492.
- [33] Angeles R. 2005. RFID technologies: supply-chain applications and implementation issues. *Inf. Syst. Manag.* 22(1): 51-65.
- [34] Zhang, M., Li, P., 2012. RFID Application Strategy in Agri-Food Supply Chain Based on Safety and Benefit Analysis. *Physics Procedia* 25: 636–642.
- [35] Grunow, M., Piramuthu, S., 2013. RFID in highly perishable food supply chains—Remaining shelf life to supplant expiry date? *Int. J. Production Economics* 146: 717-727.
- [36] Thakur, M., Foras, E., 2012. Integrated online temperature monitoring and traceability in a cold meat chain using EPCIS. *International Workshop of Advanced Manufacturing and automation conference*, June 21-22, 2012, Trondheim, Norway.
- [37] Eom, K.H., Lee, C.W., Van, N.T., Jung, K.K., Kim, J.W., Choi, W.S., 2013. Food Poisoning Prevention Monitoring System based on the Smart RFID Tag System. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering* 8(5): 213-222.



- [38] Abad, E., Palacio, F., Nuin, M., Zárate, A.G.D., Juarros, A., Gómez, J.M., Marco, S., 2009. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. *J. Food Eng.* 93(4):394–399.
- [39] Jederman, R., Ruiz-Garcia, L., Lang, W., 2009. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. *Comput. Electron. Agric.* 65 (2):145–154.
- [40] Eom, K.H., Kim, M.N., Lee, S., Lee, C.W., 2012. The Vegetable Freshness Monitoring System Using RFID with Oxygen and Carbon Dioxide Sensor. *International Journal of Distributed Sensor Networks* Article ID 472986, 6 pages.
- [41] Potyrailo, R.A., Nagraj, N., Tang, Z., Mondello, F.J., Surman, C., Morris, W., 2012. Battery-free radio frequency identification (RFID) sensors for food quality and safety. *J. Agric. Food Chem.* 60(35): 8535–8543.
-