



**Makale / Research Paper**

**Envanter Yönetimi için Düşük Maliyetli UHF RFID Sistemin  
Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi**

**Mehmet Cem ÇATALBAŞ<sup>a\*</sup>, Abdulhamit SEVGİ<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Ankara Üniversitesi, 1.Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü,  
Ankara/Türkiye

<sup>b</sup>Ostim Teknik Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara/Türkiye  
[mccatalbas@ankara.edu.tr](mailto:mccatalbas@ankara.edu.tr)

**Received/Geliş:** 10.05.2021

**Accepted/Kabul:** 27.07.2021

**Öz:** Bu çalışmada, envanter yönetimi amacıyla düşük maliyetli ve esnek kullanıma uygun ultra yüksek frekanslı (UHF), radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistem ile envanterde bulunan ürünlerin güvenliği ve izinleri tek bir noktadan etkin bir şekilde sağlanmıştır. UHF RFID sistemine ait iki adet uygulama noktası oluşturulmuştur. Bunlardan birincisi, kullanıcı izinlerinin sağlandığı merkez nokta ve diğeri ise giriş ve çıkışların denetlendiği güvenlik noktasıdır. RFID etiketlerinden elde edilen bilgilerin tek bir noktadan değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Operatör ile uzun mesafeli UHF RFID okuyucu arasındaki iletişim RS485 seri iletişim veri yolu standardı ile sağlanmıştır. Güvenlik noktasından, UHF RFID anten yardımı ile okunan bilgilerin anlamlı hale gelebilmesi ve kararlılığın artırılması amacıyla etkin veri işleme yapısı kullanılmıştır. UHF RFID envanter yönetim sistemine ait esnek bir grafik kullanıcı arayüzü (GUI) oluşturulmuştur. Kütüphane envanter yönetimi için özelleştirilen sistemin başarımlı gerçek kullanım senaryoları üzerinden test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** UHF, RFID, Envanter Yönetimi, Nesnelerin İnterneti

**Design and Implementation of Low-Cost UHF RFID Inventory  
Management System**

**Abstract:** In this study, an ultra-high frequency (UHF), radio frequency identification (RFID) system has been performed for the purpose of inventory management, which is suitable for low cost and flexible use. With the system proposed, the security and permissions of the products in the inventory were effectively managed from a single operator point. For the UHF RFID system, two application points were created. One is the central point, which provides user permissions, and the other is the security point, which controls entrances and exits. Its aim is to analyze the data obtained from RFID tags from a single point. Communication between the operator and the long-distance UHF RFID reader is provided by the RS485 serial communication standard. An efficient data processing structure was used to increase stability and making data meaningful for the transformation data which was obtained from UHF RFID at the security point. A flexible graphical user interface (GUI) has been created for the UHF RFID inventory management system. The performance of the system customized for library inventory management has been successfully tested over real usage scenarios.

**Keywords:** UHF, RFID, Inventory Management, Internet of Things

**1. Giriş**

Nesnelerin interneti (IoT) kavramı, ‘Akıllı Dünya’ konseptinin 2008 yılında IBM tarafından öne sürülmesinden bugüne her geçen gün popülaritesini artırmaktadır. Nesnelerin interneti kavramı, herhangi bir nesnenin, her zaman ve her yerde bağlanabilecekleri siber-fiziksel sistemleri ifade

*Bu makaleye atıf yapmak için*

*Çatalbaş, M. C., Sevgi, A., “Envanter Yönetimi için Düşük Maliyetli UHF RFID Sistemin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (3); 1416-1428.*

*How to cite this article*

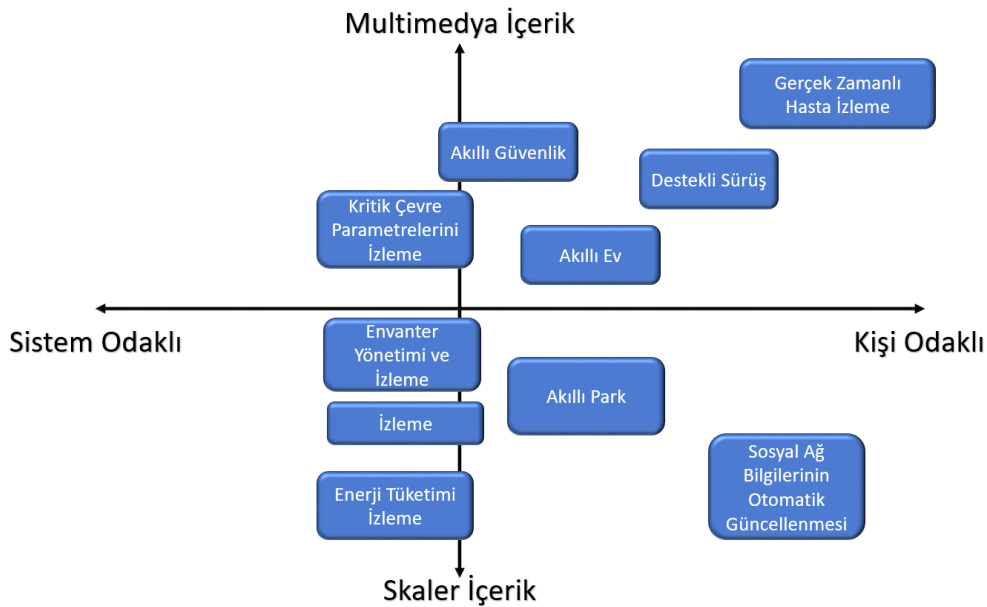
*Çatalbaş, M. C., Sevgi, A., “Design and Implementation of Low-Cost UHF RFID Inventory Management System” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (3); 1416-1428.*

ORCID ID: <sup>a</sup>0000-0002-9291-1180; <sup>b</sup>0000-0003-3567-848X

etmektedir [1]. McKinsey küresel enstitüsünün raporuna göre, IoT'nin sektörel payının 2025 yılına kadar 11 trilyon dolar seviyelerine geleceği öngörülmektedir [2]. IoT teknolojileri kullanan şirketlerin oranı ise 2014 yılından bugüne yaklaşık 15% değerinden 25% değerine yükselmiştir. Ayrıca dünya çapında IoT bağlantılı cihaz sayısının 2023 yılına kadar önemli bir ivme ile artarak 43 milyar seviyesine geleceği öngörülmektedir [3]. IoT teknolojileri, Endüstri 4.0, akıllı evler, e-sağlık gibi birçok sektörde farklı uygulamalarda yer almaktadır ve bu uygulamaların sayısı her geçen gün artmaktadır [4]. Literatürde ise farklı amaçlara yönelik çok farklı IoT uygulaması bulunmaktadır ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir [5].

- Sağlık bakımı alanındaki uygulamalar genellikle, hastaların sağlığı ile ilintili göstergelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, personel ve hastaların tanımlanması ve kimlik doğrulanması ile tıbbi envanterlerin otomatik olarak yönetilmesi şeklindedir.
- Kişisel ve sosyal alanda ise kullanıcıların, sosyal olarak ilişkiler kurması ve diğer insanlar ile etkileşime girmesi sağlanır. Olası eşya kaybını önemek için RFID tabanlı güvenlik sistemleri oluşturulması veya yaşadıkları bölge ile ilgili etkinliklerin gerçek zamanlı olarak sosyal ağlar veya arama motorları yardımı ile son kullanıcılara ulaştırılması şeklindedir.
- Akıllı şebeke uygulamaları ile bina, ofis, fabrika gibi yerlerin enerji tüketimi anlık olarak izlenebilmektedir ve bu sayede enerji tüketiminin optimize edilmesi sağlanmaktadır.
- Akıllı ev / akıllı bina uygulamalarında ise gelişmiş IoT teknolojilerine sahip binalar, uyarlanabilir oda ısıtma ve aydınlatma sistemleri, izleme ve alarm sistemleri, akıllı ev aletleri ve güç tüketimi maliyetlerinin optimizasyonunu (akıllı şebeke ile birlikte) gibi çalışmalar hedeflenmektedir.
- Akıllı lojistik uygulamaları ile ürünlerin tedarik ve teslimat süreçleri yönetilmektedir ve bu çalışmanın da merkezinde olan envanter yönetimi yapılmaktadır.
- Güvenlik uygulamalarında ise akıllı kameralar ile kişi ve durum tanıma gibi uygulamalar ile RFID tabanlı kişi tanıma sistemleri bulunmaktadır.

Şekil 1'de çeşitli IoT uygulamalarının yönettikleri bilgi (multimedya veya skaler) ve alıcı (kişi veya sistem) türüne göre sınıflandırılması gösterilmiştir [5].

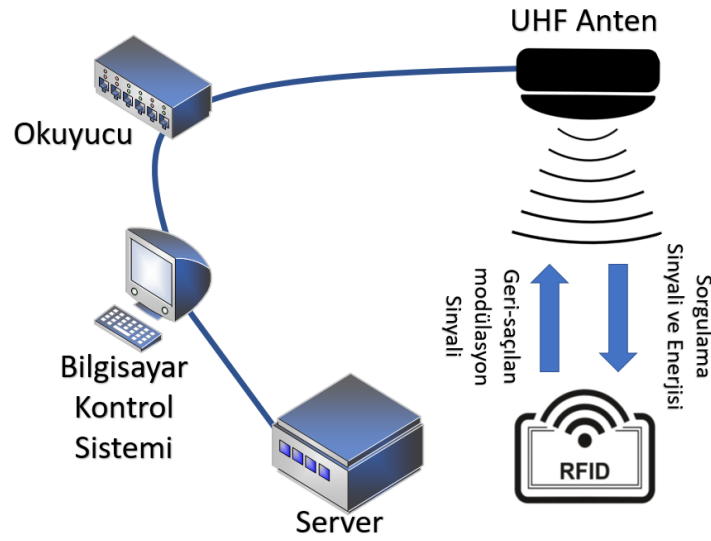


Şekil 1. Çeşitli IoT uygulamaları ve sınıfları

Akıllı güvenlik sistemlerinin bazılarında içerik olarak gerçek zamanlı görüntü ve ses işlenmesine ait süreçler bulunması nedeniyle bu IoT uygulamalarının multimedya içerik oranları yüksektir. Anlık

enerji tüketiminin izlenmesi gibi IoT uygulamaları ise sadece anlık tüketilen enerji, sıcaklık vb. parametreler ile gerçekleştirilebilir olması nedeniyle, skaler bilgi oranı yüksek uygulamalar olarak sınıflandırılabilirler. Bu bağlamda, kullanılan verinin miktarı ve türü gibi parametreler, IoT uygulamasının sınıflandırılmasında önem arz etmektedir.

Envanter yönetimi ve izleme sistemlerinde, RFID teknolojileri anahtar rol oynamaktadır. Özellikle, UHF RFID etiket teknolojilerinin, gelecekte geleneksel barkod yapısının yerine alacağı öngörülmektedir. Ayrıca etiketleri daha uzun mesafeden okuma özelliği ve küçük anten boyutu nedeniyle de RFID teknolojileri içinde UHF-RFID sistemleri ön plana çıkmaktadır. Şekil 2’de IoT alanında envanter yönetimi ve gözlenmesi sürecinde sıklıkla kullanılan pasif UHF RFID sistemlerin bileşenlerine ait görsel verilmiştir [1].

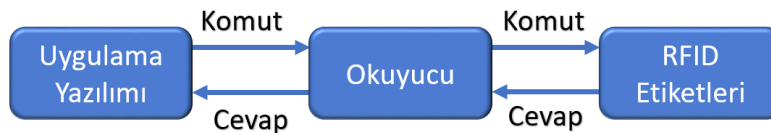


Şekil 2. Pasif UHF RFID sistemin bileşenleri

Bu çalışmada ise düşük maliyetli UHF RFID bileşenleri kullanılarak oluşturulmuş, envanter yönetim sistemi hakkında bilgiler verilecektir. Oluşturulan bu sistem, kütüphane güvenlik ve envanter yönetim sistemi olacak şekilde özelleştirilmiştir.

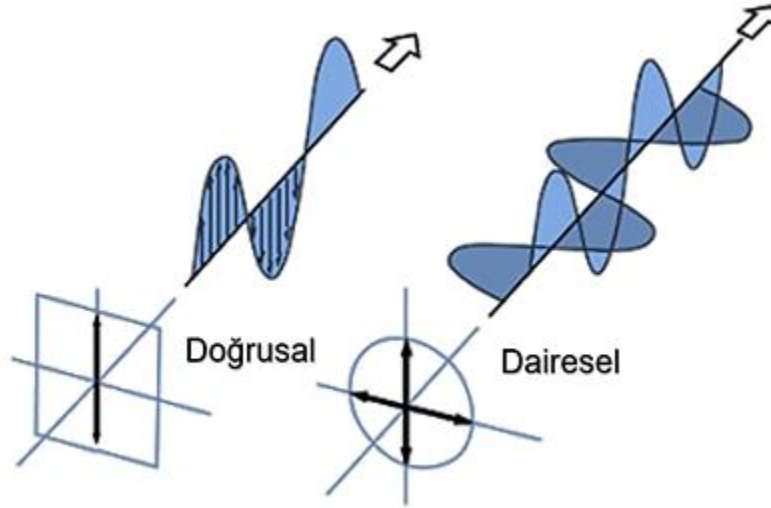
## 2. RFID Teknolojisi

Nesnelerin otomatik tanımlanması alanında en önemli gelişmeler RFID (Radyo Frekansı Tanımlama) teknolojisi ile yaşanmıştır. Bir RFID sistemi genel hatları ile alıcı ve verici yapılardan oluşmaktadır. RFID teknolojilerinin temel çalışma mantığı, tanımlamak amacıyla nesnelere eklenen etiketlerde depolanan bilgilerin, otomatik olarak okuması için radyo dalgalarının ve elektromanyetik alanların kullanılması şeklindedir [6]. Şekil 3’de bir RFID sistemin akış şeması verilmiştir ve RFID sistemi genel olarak, okuyucu, etiket ve yazılım gibi 3 ana bileşenden oluşmaktadır [7].



Şekil 3. RFID sisteme ait akış şeması

RFID okuyucular, etiketlerden benzersiz ID bilgilerinin alındığı ve yazılım ile son kullanıcıya yönlendirdikleri yapılardır. RFID sistemlerin merkezini okuyucular oluşturmaktadır. Anten yapısı ile okuyucular ayrı olabilecekleri gibi RFID okuyucu ve anten sistemleri kompakt bir şekilde bir arada da olabilir. Anten yapıların seçimi de okunacak ürünlerin konumları ile alakalıdır. RFID sistemlerinde genellikle 2 farklı anten türü tercih edilmektedir. Bunlar, doğrusal ve dairesel polarizasyona sahip antenler şeklindedir [8]. Doğrusal polarizasyona sahip antenler, tek bir düzlemde (dikey veya yatay) yayınlanmış elektromanyetik dalgalar meydana getirir. Doğrusal polarize antenler ile başarılı bir okuma gerçekleştirmek için RFID etiketleri, anten ile aynı düzlemde olmalıdır. Doğrusal antenler, yoğunlaştırılmış elektromanyetik yayılım yetenekleri nedeniyle, aynı kazanıma sahip dairesel polarize antenlerden daha uzak mesafeleri okuma yeteneğine sahiptir [9]. Dairesel polarize antenler ise elektromanyetik alanı helezonik bir şekilde yayırlar ve bu anten türünde, tek bir dalga boyunda iki düzlemde yayın yapılmaktadır. Aynı kazanım değerine sahip iki anten yapısı karşılaştırıldığında, dairesel polarize antenler, güçlerini iki ayrı düzleme bölmekle oldukları için yaklaşık 3dB kaybederler ve bu yüzden RFID etiket okuma mesafeleri daha azdır [10]. Ancak dairesel antenler daha geniş bir yüzeyi okuma kapasitesine sahip olmaları nedeniyle uygulamada daha çok tercih edilirler [11]. Polarizasyon türlerine göre antenlerdeki elektromanyetik dalgaların yayılımı Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Doğrusal ve dairesel yayılım ile elektromanyetik dalgaların dağılımı

### 3. RFID Teknolojisi ve Etiketler

Bir diğer temel, RFID teknolojisi bileşeni etiketlerdir. RFID etiketleri, aktif, pasif veya yarı pasif olarak tanımlanabilir. Pasif bir etiketin pili yoktur ve okuyucu tarafından anten vasıtasıyla iletilen radyo sinyallerinden aldığı enerjiyi saçarak kimlik bilgilerini iletirler. Pratik uygulamalarda pasif RFID etiketlerin kullanımı yoğunluktadır. Boyutlarının küçük olması ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle kütüphane otomasyonu gibi uygulamalarda sıklıkla pasif UHF etiket türleri tercih edilmektedir. RFID etiketleri, kapasitörler ve bir kapsülleme malzemesine gömülü bir anten bobini, bir mikroçip içerir. Etiketler, bir RFID sisteminin merkezi bileşeni olan RFID okuyucu ile radyo sinyalleri aracılığıyla iletişim kurar. İki tür etiket okuyucu bağlantısı vardır [12-16].

- Endüktif kuplaj, 30 MHz'in altındaki frekanslar değerlerinde kullanılır. Okuyucu anten bobini, alternatif bir manyetik alan oluşturur ve etiketin bobininde bir voltaj indükler. Okuyucudan etikete veri aktarımı genellikle genlik kaydırmalı anahtarlamaya (ASK) dayanır ve etiket, verileri okuyucuya geri aktarmak için yük modülasyonunu kullanır [17].

- Geri saçılımlı kuplaj, 100 MHz üzerindeki frekanslar için kullanılır. Burada etiket anteni, okuyucu tarafından yayılan elektromanyetik alandan sinyalleri ve enerjiyi (yalnızca pasif etiketler) alır ve verileri okuyucuya aktarmak için, yansıyan güç, aktarıcı (transponder) tarafından modüle ederek iletilir [17].

Aktif etiketlerin, pil gibi kendi güç kaynakları vardır ve bir okuyucu veya diğer etkin etiketlerle iletişimi başlatabilir. Kendi güç kaynaklarını içerdikleri için, aktif etiketlerin tipik olarak pasif etiketlere göre çok daha uzun bir çalışma aralığı vardır. Değer bakımından yüksek olan hayvan, araç, vagon gibi öğelerde hacim sıkıntısı da olmaması ve sağlamlıkları nedeniyle aktif RFID etiket yapısı tercih edilmektedir. Aktif etiketlerin temel bir özelliği, okuyucularla kendi iletişimlerini başlatabilmeleridir. Gelişmiş aktif etiketler veya "akıllı toz", birbirleriyle geçici eş ağlar bile oluşturabilir.

Buna karşılık, yarı pasif (veya yarı aktif) bir etiket dahili bir bataryaya sahiptir, ancak iletişim başlatamaz. Bu, yarı pasif etiketlerin yalnızca bir okuyucu tarafından sorgulandığında aktif olmasını sağlar. Yarı pasif etiketlerin dahili bir güç kaynağı olduğundan, pasif etiketlerden daha uzun bir okuyucu aralığı sunarlar fakat bu dahili güç kaynağı maliyeti artıran bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle yarı pasif etiketler kullanan bir örnek uygulama, elektronik gişelerdir. Yarı pasif etiketler genellikle bir arabanın ön camının içine yapıştırılır. Araba bir gişeden geçtiğinde, yarı pasif etikete bir sorgu başlatacak ve etiketten bir kimlik bilgilerini okuyacaktır. Yerleşik pil, etiketin önemli bir mesafeden okunmasını sağlar. Bununla birlikte, etiket yalnızca sorgulandığında aktif hale geldiğinden, çoğu zaman boşta kalabilir ve güç tasarrufu sağlayabilir.

Pasif etiketlerin ne kendi güç kaynakları ne de iletişimi başlatma yeteneği vardır. Pasif etiketler, enerjiyi gelen bir RF iletişim sinyalinden toplayarak elde eder. Daha düşük frekanslarda, bu enerji endüktif olarak toplanırken, daha yüksek frekanslarda kapasitans yoluyla toplanır. Pasif etiketler, üç güçlendirme türü arasında en kısa okuma aralığına sahipken, üretilmesi en ucuz ve ürünlere entegre edilmesi en kolay olanıdır. Piller nispeten pahalıdır ve kağıt ambalaj gibi bazı öğelere kolayca dahil edilemez. Bun nedenle pratik uygulamalarda, pasif RFID etiket türleri tercih edilmektedir [18]. Dahili bir güç kaynağının olmaması, pasif etiketlerin birçok özelliğini belirler. Birincisi, bir okuyucu olmadan çalışamazlar, ancak pasif etiket kapasitörden bir miktar enerjiyi geçici olarak önbelleğe alabilir. Zayıf cevap sinyalleri nedeniyle, pasif etiketler genellikle çevresel gürültüye veya parazitlere karşı daha hassastır. Pasif, yarı pasif ve aktif etiketlerin çeşitli özelliklerini karşılaştırması Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Etiket Türleri ve karşılaştırılması [18].

Etiket Türü	Pasif	Yarı Pasif	Aktif
<b>Güç Kaynağı</b>	RF aracılığı ile okuyucudan alır	Batarya	Batarya
<b>İletişim</b>	Sadece yanıt verir	Sadece yanıt verir	Yanıt verir ve ilk iletişime geçebilir.
<b>Mesafe</b>	5m~10m	>100 m	>100 m
<b>Maliyet</b>	Ucuz	Pasife Göre Pahalı	Yarı Pasife Göre Pahalı
<b>Uygulama Alanları</b>	EPC, Yakın mesafe kartları	Elektronik geçiş sistemleri	Malzeme ve hayvan izleme sistemleri

RF sinyalinin hangi yöntem ile veya materyalden yayılacağını belirleyen frekans değeridir. Yüksek frekansların kullanımı daha uzun mesafelerden ve hızlı veri iletimi sağlamaktadır. Düşük frekanslı etiketler ise metal ve sıvı gibi zorlayıcı malzemelerin bulunduğu ortamlarda etiket ve okuyucu

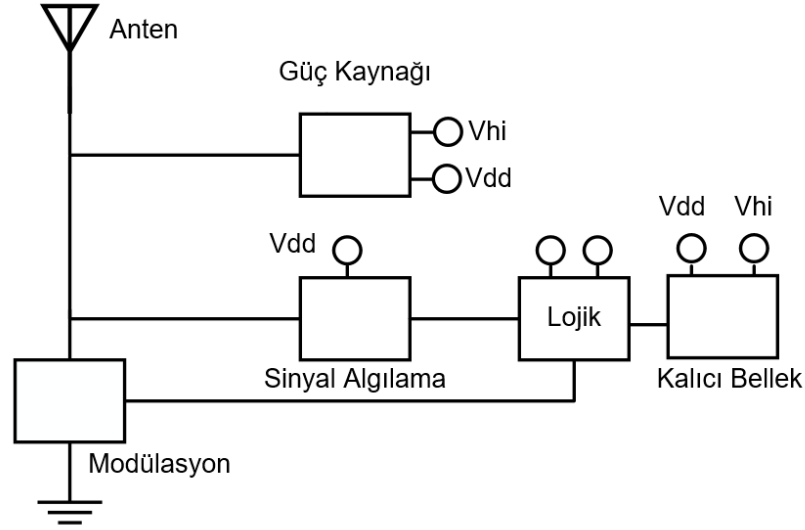
mesafesi kısa olduğundan daha güvenilir veriler sunmaktadır. Frekans türleri ve özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** Frekans aralıkları ve özellikleri [18].

Frekans Türü	Frekans Aralığı	Okuma Mesafesi
Düşük Frekans (LF)	120-140 KHz	10-20 cm
Yüksek Frekans (HF)	13.56 MHz	10-20 cm
Ultra Yüksek Frekans (UHF)	868-928 MHz	3 m
Mikrodalga	2.45 & 5.8 GHz	3 m
Ultra Geniş Bant (UWB)	3.1-10.6 GHz	10 m

- Düşük frekanslı (LF) RFID etiketleri tipik olarak 120-140 kilohertz aralığında çalışır. Yaygın olarak, LF etiketleri pasif olarak indüksiyon yoluyla güçlendirilir ve 10-20 cm’lik kısa okuma aralıklarına sahiptirler. LF etiketler, zorlu ortamlarda kullanılabilir ve metal, sıvı veya kire yakın yerlerde çalışabilir. Bu özellikleri ile entegre edilebilir evcil hayvan tanımlama etiketleri veya çamaşır yönetim etiketleri gibi uygulamalar için kullanışlıdır. LF etiketlerinin bir dezavantajı, diğer çalışma frekanslarına kıyasla çok düşük veri okuma hızına sahip olmalarıdır. LF etiketleri genellikle araba hareketsizleştirme ve erişim kontrol sistemlerinde kullanılır. Bu sistemlerde, bir araba yalnızca, tipik olarak kontak anahtarına takılı bir LF etiketi kontağa yakın olduğunda çalışacaktır. Bu uygulamalarda, LF’nin kısa okuma aralığından yararlanır ve bunu bir güvenlik özelliği olarak kullanılır [19].
- Yüksek frekanslı (HF) RFID etiketleri 13.56 megahertz frekansında çalışır. HF etiketleri genellikle bir folyo kaplama veya kredi kartı form faktöründe paketlenir. Bu, HF etiketlerini erişim kontrolü, temassız kredi kartları ve kimlik kartları oluşturmak için kullanışlı hale getirir. HF etiketleri, birçok varlık izleme uygulamasında da kullanılır. Kütüphaneler ve kitapçılar, kitapları izlemek için genellikle HF folyo yerleştirmeleri kullanır. Bazı havalimanları, bagaj işleme uygulamaları için HF RFID bagaj etiketlerini kullanmaktadır. HF etiketleri, LF etiketlerinden daha yüksek bir veri okuma hızı sunar, ancak metaller veya sıvıların yakınında LF etiketleri kadar iyi performans göstermezler. HF aralığı, radyo spektrumunun yoğun şekilde düzenlenmiş bir bölümünde bulunur. Okuyucular tarafından yayınlanan sinyaller, dar bir frekans bandında çalışmalıdır. Bu, yakın frekanslarda çalışan tıbbi cihazlar gibi hassas elektronik cihazların bulunduğu ortamlar için bir sorun teşkil eder. Bu, HF etiketlerini hastaneler gibi ortamlar için uygunsuz hale getirir [20].
- Ultra yüksek frekanslı (UHF) RFID etiketleri 868-928 megahertz aralığında çalışır. Avrupa etiketleri tipik olarak 868-870 MHz aralığında çalışırken, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada 902-928 MHz’de çalışır. UHF etiketleri en yaygın olarak ürün takibi ve tedarik zinciri yönetimi uygulamaları için kullanılır. Bunun nedeni büyük ölçüde, daha uzun bir okuma aralığı sunmaları ve toplu olarak üretilmelerinin LF veya HF etiketlerinden daha ucuz olmasıdır. Birinci nesil EPC etiketleri, UHF frekanslarında çalışır. UHF etiketlerinin önemli bir dezavantajı, sıvılara veya metallere yakın yerlerde istenmeyen girişimlerden etkilenmeleridir. Hayvan takibi, metal konteynir takibi ve hatta birçok erişim kontrol sistemi gibi birçok uygulama UHF etiketleriyle mümkün değildir. UHF etiketlerini metalle ilişkili bozulmalardan koruyabilecek bazı malzemeler geliştirilmiştir, ancak bunların pratikte kullanılması maliyet açısından engelleyici olmaktadır. UHF okuyucuları ayrıca tıbbi ekipman gibi hassas elektronik cihazlarla etkileşime girebilir [21]. Bu bağlamda, UHF etiketler genel olarak maliyetin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir.

Şekil 5’de pasif bir UHF RFID etiketine ait temel elektronik bileşenler verilmiştir [6].



Şekil 5. Pasif bir UHF etiketine ait bileşenler

İlgili devrede,  $V_{hi}$  uygun lojik yüksek voltajı seviyesini (High Input Voltage),  $V_{DD}$  ise besleme gerilimini göstermektedir.

- Mikrodalga etiketleri 2.4 veya 5.8 gigahertz'de çalışır ve bu frekans aralığı bazen süper yüksek frekanslar (SHF) olarak adlandırılır. Mikrodalga RFID teknolojisi oldukça yakın zamanda kullanıma girmiştir ve hızla gelişmektedir. Pratikte kullanılan mikrodalga etiketleri tipik olarak yarı pasif veya aktiftir, ancak aynı zamanda pasif formda da olabilir. Yarı pasif mikrodalga etiketleri genellikle filo tanımlama ve elektronik ücret uygulamalarında kullanılır. Mikrodalga sistemleri, UHF'den daha yüksek okuma hızları ve eşdeğer pasif okuma aralıkları sunar. Mikrodalga sistemlerinin yarı pasif ve aktif okuma aralıkları genellikle UHF muadillerinden daha büyüktür. Bazı mikrodalga aktif etiketler, karşılaştırılabilir UHF etiketlerinden daha az olan 30 metreye kadar olan aralıklardan okunabilir. Bununla birlikte, mikrodalga RFID etiketlerinin fiziksel uygulamaları, daha düşük frekanslı RFID etiketlerinden çok daha küçük ve kompakt olabilir [22].
- RFID'ye uygulanan ultra geniş bant (UWB) teknolojisi oldukça yenidir. UWB, belirli bir frekansta güçlü bir sinyal göndermek yerine, çok geniş bir frekans aralığında düşük güçlü sinyaller kullanır. UWB tarafından kullanılan belirli bir frekanstaki sinyal çok zayıftır, ancak toplamda iletişim oldukça sağlamdır. Pratikte, bazı UWB uygulamaları 3.1 ila 10.6 GHz arasında çalışır. UWB'nin avantajları, bazı ayarlarda belki 200 metre gibi çok uzun bir görüş alanı okuma aralığına sahip olmasıdır. UWB ayrıca metal veya sıvılarla uyumludur. Belirli bir frekanstaki sinyal çok zayıf olduğundan, UWB hassas ekipmanlarla etkileşime girmez [23].

RFID teknolojisinde, ürünlere ait etiketlerin gözlenmesi ve yönetilmesi için her birine eşsiz bir kod verilmektedir. Bu kod, elektronik ürün kodu (EPC) olarak tanımlanmaktadır ve benzersiz olan bu kod, etiket ile beraber ürünü tanımlamaktadır [24]. EPC verileri, RFID sisteme ait anten yardımı ile görüş açısında olmasa bile 10 metre mesafelerden, ürüne ait eşsiz kimlik bilgileri ile beraber elde edilebilir. RFID teknolojisi bu özelliği ile tedarik zincirinin görünürlüğünü ve envanterin doğruluğunu artırabilir.



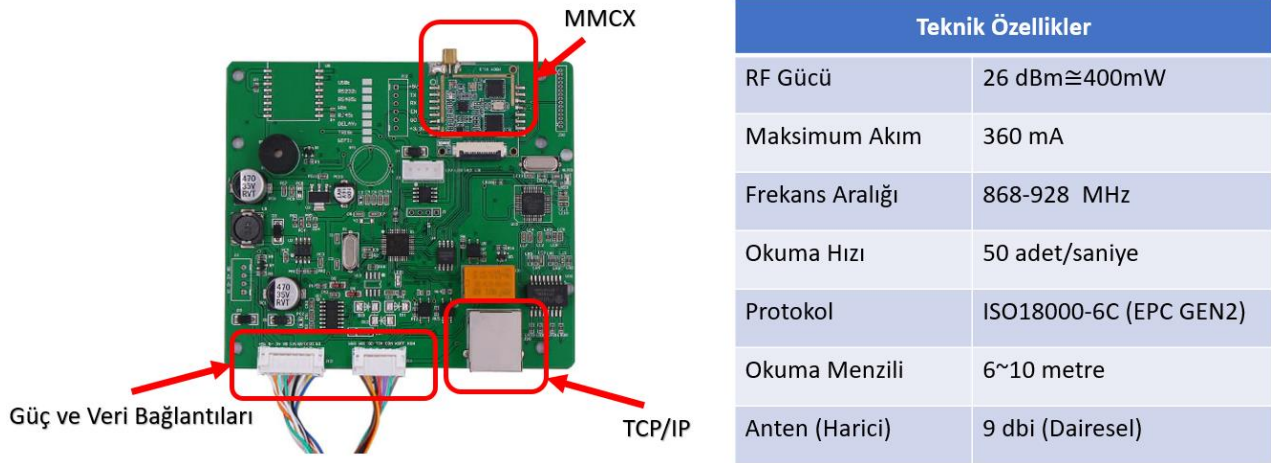
İlk olarak 2004 yılında EPCglobal tarafından yayınlanan GS1'in EPC "Gen2" hava arayüzü protokolü, 860 MHz - 960 MHz UHF aralığında çalışan, RFID okuyucular ve pasif etiketler sistemi için fiziksel ve mantıksal gereksinimleri tanımlamaktadır. Geçtiğimiz yıllar içerisinde de EPC Gen2, birçok sektörde UHF uygulamaları için bir standart olarak tanımlanmıştır ve giderek daha fazla RFID uygulamasının merkezinde yer almaktadır. Şekil 6'da örnek bir EPC içeriğine ait bölümler verilmiştir [25]. Bu çalışma da ise EPC kodu kontrol edilerek kütüphane envanterinin güvenliği sağlanmaktadır.



Şekil 6. 96 Bitlik bir EPC içeriği.

#### 4. UHF RFID Envanter Yönetim Uygulaması

Bu çalışma kapsamında, düşük maliyetli ve etkin bir UHF RFID envanter yönetim ve gözetleme sistemi tasarlanmıştır. İlgili sistem, 2 adet farklı özelliklere sahip UHF RFID okuyucu ihtiva etmektedir. Bunlardan birincisi, kütüphaneye kitapların giriş ve çıkışlarını denetleyen uzun mesafe okuma özellikli bir UHF RFID anten ve okuyucu sistemidir. İlgili sisteme ait görsel ve teknik özellikler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Uzun mesafe UHF RFID okuyucu sistem

Bir diğer UHF RFID sistemi ise operatör tarafından kullanılması için masaüstü kullanımı amacıyla seçilmiştir. Bu cihazda ise EPC kodları değiştirilerek, ürünlere ait izinler kontrol edilmektedir.

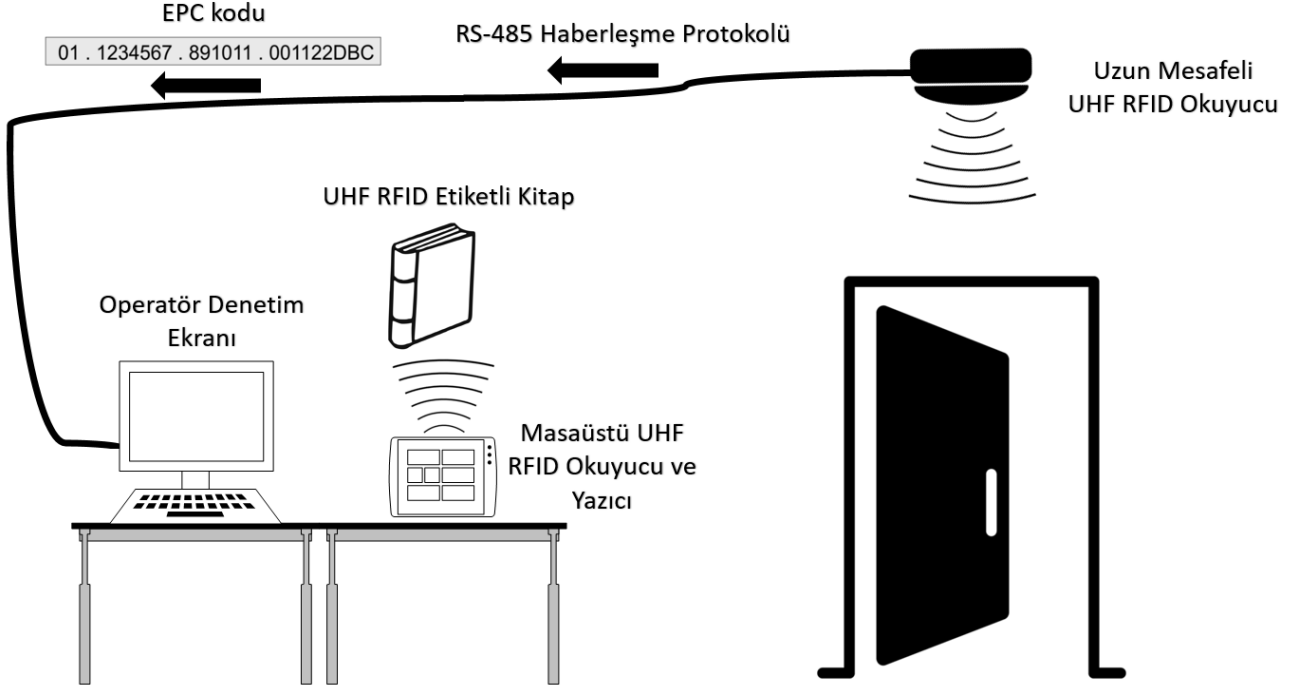
Tablo 3. Envanter yönetimine ait UHF RFID masaüstü okuyucu ve yazıcı

Okuma Mesafesi	50 cm
Akım Değeri	200 mA
RF Gücü	24 dBm $\cong$ 250 mW
Protokol	ISO18000-6C (EPC GEN2)
Okuma Hızı	1 byte /milisaniye
Yazma Hızı	2 byte /milisaniye



Bu işlemde ürünler ile eşleştirilmiş pasif UHF RFID etiketlerinin içerindeki veriler değiştirilerek izin durumları kontrol edilmektedir. İlgili masaüstü UHF RFID okuyucu ve yazıcıya ait teknik veriler Tablo 3’de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, gerçekleştirilen envanter yönetim ve izleme sistemine ait bileşenler Şekil 8’de verilmiştir.



**Şekil 8.** Kütüphane için UHF RFID envanter yönetim sistemi

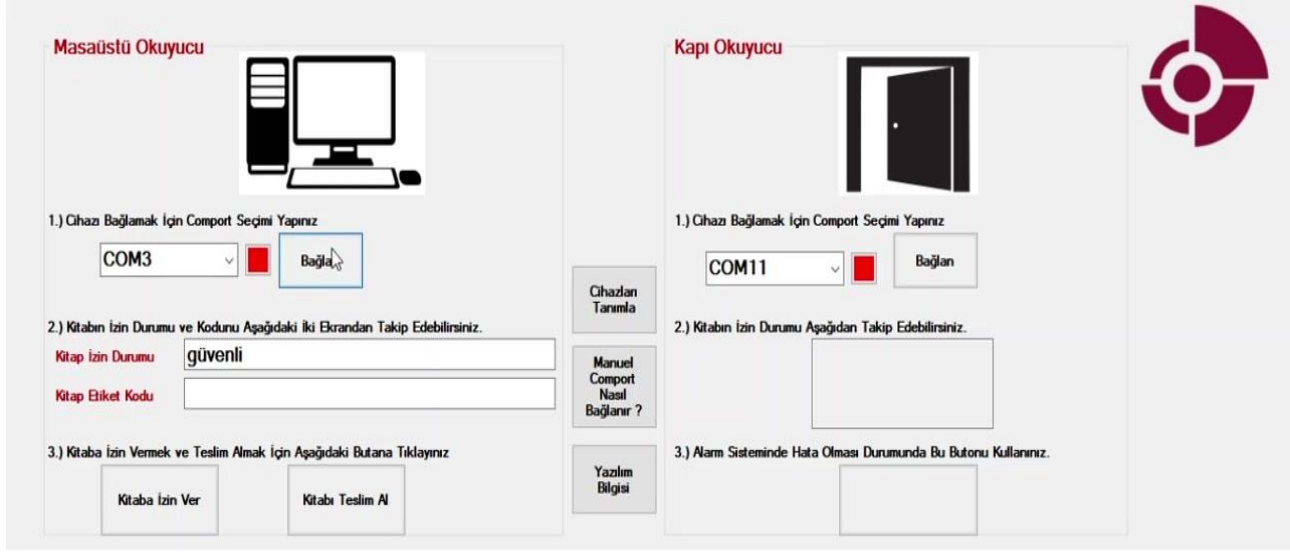
Uzun mesafeli UHF RFID okuyucu ile operatör bilgisayarını iletişim kurabilmesi için haberleşme protokolüne ihtiyaç duyulmaktadır. İki nokta arasındaki mesafenin 10 metre ve üstüne çıkması nedeniyle RS-232 haberleşme protokolü ile başarılı sonuçlar alınmamıştır ve etiketlerden okunan EPC verilerinin alınması sürecinde hatalar ile karşılaşmıştır. Bu nedenle ilgili çalışmada RS-485 seri haberleşme protokolü tercih edilmiştir. RS-485 haberleşme protokolü herhangi bir tekrarlayıcı yapısı kullanmadan, 1200 metre mesafeye, 90 Kbps iletişim oranına sahip verileri başarı ile aktarabilmektedir ve otomasyon sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Kapı üzerinde bulunan RFID okuyucudan elde edilen veriler, RS-485 haberleşme protokolü ile bilgisayara iletilmektedir. Önceden operatör tarafından, EPC kodu ile ilişkilendirilerek izinli veya izinsiz olarak tanımlanan kitap bilgileri, kapı üzerindeki UHF RFID vasıtasıyla elde edilen EPC kodları ile karşılaştırılmaktadır.

Donanım altyapısı ve bağlantıları oluşturulan sistemin kontrol edilmesi ve envanterlere operatör tarafından izin verilmesi için grafik kullanıcı arayüzü (GUI) tasarlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan GUI Şekil 9’da verilmiştir. İlgili arayüz de iki farklı UHF RFID noktasının gerçek zamanlı kontrolü yapmaktadır ve cihazların bağlantı durumlarını belirten göstergeler bulunmaktadır.

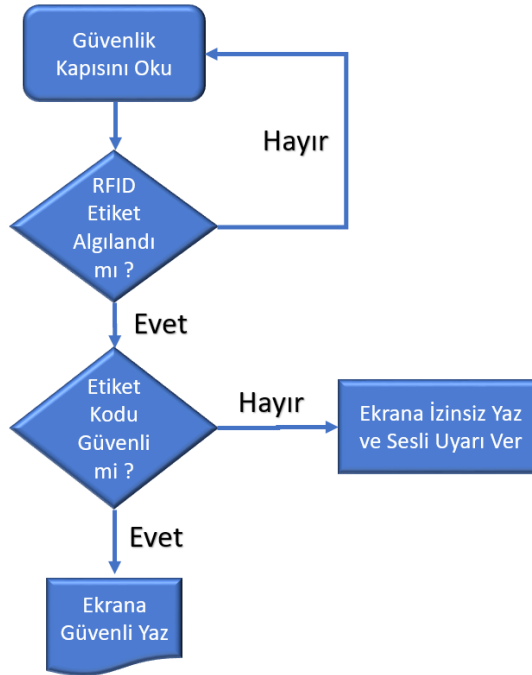
RFID etiketleri okunan kitaplara operatör tarafından izin verilmesi ve kitapların izinsiz olarak kütüphaneden çıkarılması durumunda uyarı alınması gibi işlemler gerçek zamanlı olarak tek bir ekranda gözlemlenecek şekilde tasarlanmıştır. Operatör burada, EPC kodlarını kitaba izin ver butonu ile

değiştirerek çıkışına izin vermektedir. Aynı şekilde, kitabı teslim alırken, EPC kodlarını değiştirerek envantere eklemektedir. Gerçekleştirilen sistem, izinsiz çıkışlarda ise görsel ve sesli olarak operatörü uyarılmaktadır.



Şekil 9. RFID UHF Envanter yönetim sistemine ait arayüz tasarımı

Kitapların içindeki pasif UHF RFID etiketler bu sayede çıkışa izinli veya izinsiz duruma getirilebilmektedir. Şekil 10'da oluşturulan sisteme ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 10. UHF RFID Envanter Sisteminin çalışmasına ait akış diyagramı.

Önerilen çalışma kapsamında oluşturulan UHF RFID sistemi, performans/maliyet odaklı olarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen çalışma ile benzer envanter yönetim uygulamaları için profesyonel olarak üretilen sistemlere göre çok daha uygun maliyetli bir yapı ortaya çıkarılmıştır.

Bu proje kapsamında oluşturulan UHF RFID envanter yazılım ve gözetleme sisteminin maliyeti yaklaşık 600 \$ dolar seviyelerindedir. Benzer envanter yönetimi gibi uygulamalar için özel olarak üretilen donanım ve yazılım sistemlerinin maliyeti ise 4000\$ seviyelerindedir. Bu maliyet farkının oluşmasındaki temel neden, grafik kullanıcı arayüzü ve bununla ilgili yazılımların proje kapsamında gerçekleştirilmiş olmasıdır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan UHF RFID okuyucuların hızları ( $\approx 10$ ms) profesyonel sistemlere göre daha yavaştır. Fakat bu dezavantaj, kütüphane otomasyonu gibi hızın ön planda olmadığı durumlarda göz ardı edilebilmektedir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, IoT uygulama alanlarından biri olan envanter yönetim ve izleme çalışması gerçekleştirilmiştir. İlgili uygulama ile kütüphane ortamındaki kitapların güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Geliştirilen UHF RFID envanter yönetim sisteminde 1 adet uzun mesafeli UHF RFID okuyucu ve 1 adet masaüstü UHF RFID okuyucu/yazıcı bulunmaktadır. Uzun mesafeli sistemden elde edilen EPC kodlarının başarı ile operatöre iletilmesi için RS-485 haberleşme protokolü kullanılmıştır. Ayrıca, elde edilen verileri yorumlamak ve izin vermek için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Çalışmada, EPC GEN2 pasif UHF RFID etiketler kullanılmıştır. Oluşturulan sisteme ait özel bir grafik kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur ve operatörlerin tek bir ekrandan UHF RFID noktalarını kontrol etmesi sağlanmıştır. Kitapların güvenlikleri, EPC kodlarının gerçek zamanlı kontrolü ile sağlanmaktadır. Oluşturulan envanter yönetim sistemi, profesyonel muadillerine göre yaklaşık 6 kat daha uygun fiyata gerçekleştirilmiştir. Bu maliyet farkındaki temel neden, oluşturulan sisteme ait yazılımların, proje kapsamında gerçekleştirilmesidir. Bu çalışma sonunda, IoT tabanlı envanter yönetim sistemlerinin, pahalı profesyonel çözümlerin yanı sıra bazı genel kullanım için tasarlanmış RFID cihazlarının yazılım ve donanım modifikasyonu ile çok daha uygun maliyetli olarak gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma Ostim Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Tarafından Desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP0012

## Yazar(lar)ın Katkıları

MCC oluşturulacak sistemi tasarladı. AS sisteme ait kullanıcı arayüzünün tasarımını gerçekleştirdi ve yazılımlar ile ilgili geliştirmeleri yapmıştır. MCC ve AS sistemin geliştirmesini ve testlerini yapmıştır. MCC sistemin ilk fikrini ortaya atan kişi olup projenin genel yürütücüsüdür. MCC ve AS makaleyi birlikte yazmıştır.

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- [1]. Li, C., Mo, L., Zhang, D., Review on UHF RFID Localization Methods, IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 2019, 3(4), 205-215.
- [2]. Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L., The Internet of Things: An Overview, The Internet Society (ISOC), 2015, 80, 1-50.
- [3]. Dahlqvist, F., Patel, M., Rajko, A., Shulman, J., Growing Opportunities in the Internet of Things, McKinsey, 2019. Erişim Bağlantısı: <https://www.mckinsey.com/industries/private->

- equity-and-principal-investors/our-insights/growing-opportunities-in-the-internet-of-things (Erişim Tarihi:01.05.2021)
- [4]. Manavalan, E., Jayakrishna, K., A Review of Internet of Things (IoT) Embedded Sustainable Supply Chain for Industry 4.0 Requirements, *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 127, 925-953.
  - [5]. Floris, A., Atzori, L., Managing the Quality of Experience in the Multimedia Internet of Things: A Layered-Based Approach, *Sensors*, 2016, 16(12), 2057.
  - [6]. Dobkin, D. M., *The RF in RFID: UHF RFID in Practice*, Newnes, 2012.
  - [7]. Li, D. Y., Xie, S. D., Chen, R. J., Tan, H. Z., Design of Internet of Things System For Library Materials Management using UHF RFID, *IEEE International Conference on RFID Technology and Applications*, 2016, 44-48.
  - [8]. Costa, F., Genovesi, S., Manara, G., Reader Antennas Requirements in Chipless RFID Systems with Linear and Circular Polarization, *International Workshop on Antenna Technology*, 2020, 1-4.
  - [9]. Zhang, J., Periaswamy, S. C., Mao, S., Patton, J., Standards for Passive UHF RFID, *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, 2020, 23(3), 10-15.
  - [10]. Kruekaew, A., Phongcharoenpanich, C., Linear/Circular Polarization Switchable Antenna for UHF RFID Reader, *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems*, 2011, 1-4.
  - [11]. Garcia, J., Arriola, A., Casado, F., Chen, X., Sancho, J. I., Valderas, D., Coverage and Read Range Comparison of Linearly and Circularly Polarised Radio Frequency Identification Ultra-High Frequency Tag Antennas, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2012, 6(9), 1070-1078.
  - [12]. Zamora, G., Zuffanelli, S., Paredes, F., Martí, F., Bonache, J., Design and Synthesis Methodology for UHF-RFID Tags based on the T-match Network. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2013, 61(12), 4090-4098.
  - [13]. Sharif, A., Ouyang, J., Yang, F., Chattha, H. T., Imran, M. A., Alomainy, A., Abbasi, Q. H., Low-cost Inkjet-printed UHF RFID Tag-based System for Internet of Things Applications using Characteristic Modes, *IEEE Internet of Things Journal*, 2019, 6(2), 3962-3975.
  - [14]. Catarinucci, L., De Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., Tarricone, L., An IoT-aware Architecture for Smart Healthcare Systems, *IEEE Internet of Things Journal*, 2015, 2(6), 515-526.
  - [15]. Miaji, Y., Mohamed, M. A. A., bin Daud, N., Rfid Based Improving Supply Chain Traceability. *IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications*, 2013, 1-6.
  - [16]. Qi, S., Zheng, Y., Li, M., Liu, Y., Qiu, J., Scalable Industry Data Access Control in RFID-Enabled Supply Chain, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2016, 24(6), 3551-3564.
  - [17]. Finkensteller, K., *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, John Wiley & Sons, 2010.
  - [18]. Weis, S. A., *RFID (Radio-Frequency Identification), Handbook of Computer Networks: Distributed Networks, Network Planning, Control, Management, and New Trends and Applications*, John Wiley & Sons, 2012, 3, 974-984.
  - [19]. Sunny, A. I., Tian, G. Y., Zhang, J., Pal, M., Low frequency (LF) RFID Sensors and Selective Transient Feature Extraction for Corrosion Characterisation, *Sensors and Actuators A: Physical*, 2016, 241, 34-43.
  - [20]. Metzger, C., Ilic, A., Bourquin, P., Michahelles, F., Fleisch, E., Distance-sensitive High Frequency RFID systems, *Third International Conference on Pervasive Computing and Applications*, 2008, 729-734.
  - [21]. Catarinucci, L., Tedesco, S., Tarricone, L., Customized Ultra High Frequency Radio Frequency Identification Tags and Reader Antennas Enabling Reliable Mobile Robot Navigation, *IEEE Sensors Journal*, 2012, 13(2), 783-791.

- [22]. Li, Q., Anwar, R. S., Ning, H., Wang, J., Mao, L., Electromagnetic Spectrum Chipless Radio Frequency Identification: A review, *Digital Communications and Networks*, 2020, 6(3), 377-388.
- [23]. Dardari, D., Decarli, N., Guerra, A., Guidi, F., The Future of Ultra-Wideband Localization in RFID, *IEEE International Conference on RFID*, 2016, 1-7.
- [24]. Chien, H. Y., Chen, C. H., Mutual Authentication Protocol for RFID Conforming to EPC Class 1 Generation 2 Standards, *Computer Standards & Interfaces*, 2007, 29(2), 254-259.
- [25]. Maraşlı, F., Çıbuk, M., RFID Teknolojisi ve Kullanım Alanları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, 4(2), 249-275.