Kapalı Ortamlarda RFID-Tabanlı Konum Belirleme

Ilgın Şafak
Progress Ar-Ge Merkezi, Provus Bilişim Hizmetleri A.Ş., İstanbul
ilgin.safak@provus.com.tr

Özet: Gerçek-zamanlı hareketli araç, kişi ve eşyaların konumlarının izlenmesi güvenlik, navigasyon ve tedarik zincirlerinde eşya stok takibi gibi bir çok uygulama alanında önemli bir yere sahiptir. Dış ortamlarda (açık havada) küresel konumlama sistemi (global positioning system, GPS) yardımı ile konum yüksek hassasiyetle belirlenebilmektedir. Ancak, kapalı ortamlarda (bina içerisinde) gerek GPS sisteminin kullanılamaması gerekse çok yol etkisi nedeniyle konum belirlenmesi ve izlenmesi çok daha zordur. Bu nedenlerle, kapalı ortamlarda konum belirleme için farklı yaklaşımların kullanılması gerekmektedir. Bu bildiride radyo frekans kimlik (radio frequency identification, RFID) teknolojisinin kapalı ortamlarda konum belirlemede kullanımı ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler: RFID, telsiz konum belirleme, gerçek-zamanlı konum takibi.

RFID-Based Location Determination in Indoor Environments

Abstract: Real-time location tracking of mobile vehicles, people and items is of great significance in areas such as security, navigation and inventory tracking in supply chains. Global positioning system (GPS) provides high precision location estimates in outdoor environments; however it does not work well in indoor environments. Therefore, new approaches are needed for providing more accurate location estimation within indoor environments. In this work, radio frequency identification (RFID)-based location estimation and tracking is examined for indoor environments.

Keywords: RFID, wireless location estimation, real-time location tracking.

1. Giriş

Günümüzde güvenlik, navigasyon ve tedarik zincirlerinde stok takibi, vb. uygulamalarda araç, kişi veya eşyaların telsiz ve gerçek-zamanlı olarak konumlarının yüksek hassasiyet ile takip edilebilmesi önem kazanmaktadır. Telsiz olarak konum belirlemede en yaygın olarak kullanılan GPS sistemi, alıcı ve uydu arasında doğrudan görüş gerektirdiğinden kapalı ortamlarda başarılı sonuçlar veremez. Bu nedenle kapalı ortamlarda yüksek hassasiyetli, güvenilir, gerçek-zamanlı konum belirleme olanağı sağlayabilecek yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır [1-2].

Kapalı ortamlarda duvar, eşya, insan, vb. çeşitli engeller elektromanyetik dalgaların yayılımını etkileyerek çok-yol sönümlemesine neden olmaktadır. Çok-yol sönümlenmesi ve diğer telsiz cihazlardan kaynaklanabilecek girişim yada gürültü konum belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Kapalı ortamlarda konum belirlemek açık ortamlara göre daha zor bir problem olduğundan, işlem karmaşıklığı düşürmek için yeni yöntemlere ihtiyaç bulunmaktadır [1-2].

Kapalı ortamlarda telsiz konum belirlemede radyo frekans kimlik (radio frequency identification, RFID), kızılötesi, sesüstü, telsiz yerel ağ (wireless local area network, WLAN), ultra geniş bant (ultra wide band,

UWB), görüntü analizi, vb. yöntemleri kullanılmaktadır [1].

Kızılötesi teknolojisinin birçok elektronik cihazda (mobil cihazlar, TV, yazıcı, vb.) bulunmasından dolayı kızılötesi konumlama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kızılötesi-tabanlı konumlama sistemlerinde doğrudan görüşe ihtiyaç olmasından ve kızılötesi ışınlarının duvarlardan geçememesinden dolayı kapsamı alanı bir oda ile sınırlıdır [1].

WLAN teknolojisi, hastaneler, üniversiteler, vb. umuma açık olan yerlerde yaygın olarak konum belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Kapalı mekânlardaki mevcut WLAN altyapısının kullanılarak konum belirlemenin yapılabilmesi maliyeti düşürmektedir. WLAN sinyal gücüne bağlı olan konum tahminlerinin doğruluğu kapalı ortamdaki engellerden (duvar, kapı, insanlar, diğer telsiz cihazlar, vb.) olumsuz etkilenmektedir [2].

RF dalgalarının duvarları ve insan vücudundan diğer yöntemlere göre daha kolay nüfuz edebilmesinden dolayı daha geniş kapsama alanına sahiptir. Bu nedenle RF-tabanlı bir konumlama sisteminde diğer teknolojilere göre daha az donanım kullanıldığından daha düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır [2].

[3]'de RADAR isimli bir RF-tabanlı WLAN konum belirleme ve takip sistemi geliştirilmiştir. RADAR'da, en az üç farklı RFID okuyucusundaki alınan sinyal gücü bilgisi ile üçgenleme (triangulation) yapılarak konum tahmini yapılmaktadır. Konum belirleme hassasiyeti mekânda bulunan engel sayısı ve konumu belirlenecek hedef cismin hızı ile ilişkilidir; doğrudan görüşün bulunmadığı ortamlarda veya hareketli cisimlerde konum belirleme hassasiyeti belirgin bir şekilde düşmektedir [1]. Ayrıca çok sayıda RFID okuyucusu kullanıldığından kurulum maliyeti yüksek olabilmektedir.

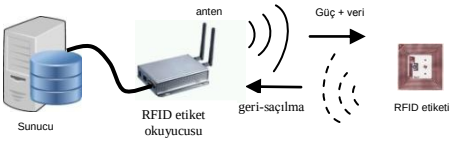
[3]'te yalnızca bir RFID okuyucusunun kullanıldığı kapalı ortamlar için konum belirleme sistemi geliştirilmiştir. Sistemde, referans noktası olarak dört adet RFID etiketi hedef cismin konumunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Tek RFID okuyucusu kullanıldığından RADAR yöntemine göre daha düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. [4]'te, [3]'te geliştirilen sistemdeki konum belirleme algoritması üzerinde iyileştirmeler yapılarak konum belirleme hassasiyeti artırılmıştır.

2. RFID-Tabanlı Araç Konumu Belirleme

RFID teknolojisi RF dalgaları aracılığı ile cisimlerin kimliklerinin belirlenmesi için kullanılır. Örneğin, stok kontrolü için kodların uzaktan okunması, canlı ve cansız cisimlerin kimliklerinin belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılır.

RFID sistemleri yakın-alan (Fresnel bölgesi) iletişimine dayanırlar. Yakın alanda elektrik ve manyetik alanlar, uzak alandakinin tersine, yayılma yönüne dik düzlemde eş-evreye sahip değildirler. Ayrıca, uzak alandakinin tersine, elektrik alan şiddetinin manyetik alan şiddetine oranı 120π Ohm'a eşit değildir. Yakın alan bölgesinde baskın olan elektromanyetik alan bileşenleri iletişim amacı ile kullanılırlar. Yakın alan iletişiminin başarımı çok büyük ölçüde birbirlerinin Fresnel bölgesine konuşlandırılmış olan verici ve alıcı antenler arasındaki etkileşime (coupling) dayanır. Kullanılan frekansa da bağlı olarak, bu etkileşim elektrik ya da manyetik alanlar aracılığı ile sağlanır. RFID sisteminde okuyucu ve etikette kullanılan döngü (loop) antenler arasında etkileşim manyetik alan aracılığı ile gerçekleştirilir.

Bir RFID sistemi, okuyucu, etiket ve sunucu olmak üzere üç ana modülden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1). Okuyucu, etiketi algılayan, etiketin içerisindeki bilgiyi okuyan ve kendi güç kaynağı olan bileşendir. RFID etiket okuyucusu ve RFID etiketi, birbirleri ile telsiz iletişim kurmaktadırlar. Sunucu, okuyucudan gelen bilgileri işleyen birimdir [5].



Şekil 1. Pasif UHF RFID Sistemi

RFID sistemleri, düşük frekans (low frequency, LF) 125–134 kHz, yüksek frekans (high frequency, HF) 13.56 MHz, ultra yüksek frekans (ultra high frequency, UHF) 860–960 MHz, 2.45 GHz ve süper yüksek frekans (super high frequency, SHF) 5.8 GHz frekans olmak üzere dört farklı frekans bandında çalışabilmektedirler [5].

RFID etiketi, yonga, döngü (loop) anten ve kaplamadan oluşan minyatür bir radyo modülüdür. Anten, yongaya veri ve/veya enerji transferi yapan bileşen; yonga, etiket ile ilgili bilgileri saklayan ve veri işleme yapan bileşen; kaplama, anten ve yongayı çevresel koşullardan koruyan bileşendir. Güç kaynağı içerme durumuna göre RFID etiketleri aktif (pil içeren), yarı-aktif, yarı-pasif ve pasif (pil içermeyen) olmak üzere dört farklı yapıda olabilir. Yarı-pasif etiketlerde, küçük bir pil bulunmaktadır ve gelen okuyucu sinyalinden güç almazlar. Okuyucu-pasif etiket yönündeki iletişim, okuyucunun ürettiği zamanla değişen manyetik alanın etiket sargısının üzerinde oluşturduğu gerilim ile sağlanır. Yonga, sargı üzerindeki gerilimi doğru akıma çevirerek aktif hale gelir ve hasat ettiği elektrik enerjisini kullanarak istenilen kimlik vb. bilgileri okuyucuya iletir [5].

Serbest uzay iletimi koşullarında konum belirleme genellikle alınan sinyalin gücü (received signal strength, RSS), geliş açısı (angle of arrival, AOA), geliş zamanı (time of arrival, TOA) ve geliş zaman farkı (time difference of arrival, TDOA) gibi parametrelere bakılarak yapılır. RSS'e dayanarak okuyucu-etiket uzaklığı kestirimi serbest uzayda yayılma formülü kullanılarak yapılır [6]:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}} \ (m) \qquad (1)$$

Burada P_t verici çıkış gücünü, P_r (RSS) alıcı tarafından alınan gücü, G_t verici anten kazancını, G_r alıcı anten kazancını, λ ise dalga boyunu göstermektedir. Mesafe ayrıca sinyalin vericiden gönderildiği zaman ile alındığı zaman arasındaki fark ışık hızına bölünerek (TOA) de kestirilebilir.

Sinyalin geliş açısının (AOA) kestirimi için en az iki adet antene ihtiyaç duyulur. İki anteni birleştiren dizi eksenine göre bir $0<\phi<\pi$ açısı tanımlandığında, iki anten tarafından alınan sinyaller arasındaki evre farkı

$$\Delta\theta = 2\pi\frac{s}{\lambda}\cos\phi \qquad (2)$$

olarak yazılabilir [6]. Burada s iki anten arasındaki uzaklığı göstermektedir. Gelen sinyalin yönü ile ölçülen evre farkı arasında bire-bir bir ilişki için

$$-\pi \le \Delta\theta \le \pi \qquad (3)$$

koşulunun sağlanması gerekir. Buradan da $s/\lambda \le 1/2$ koşulunun dsağlanması gerekir. Aksi halde iki anten arasındaki evre farkına bakılarak yön doğru olarak tayin edilemez [7]. İkiden fazla anten kullanımı daha geniş açılarda ve daha hassas olarak yön kestirimini olanaklı kılar. Ancak, bu durumda sistemin işlem yükünün artacağı da açıktır. Bu nedenle, kullanılacak anten sayısı yön kestirimindeki hassasiyet ile sisteme getireceği işlem yükü arasında bir ödünleşim sonucunda belirlenir. Benzer yaklaşımlar TDOA yöntemi için de yinelenebilir [6,8].

Ancak kapalı yayılma ortamlarında olduğu

gibi vericiden çıkan sinyaller alıcıya birden fazla yol izleyerek ulaştıklarında, RSS, TOA, TDOA ve AOA alıcı-verici arasındaki uzaklıkla bire bir ilişkiye sahip değildirler. Bu koşullarda konum belirleme haritalama (mapping, fingerprinting) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler sabit konumlu referans sensörlerin daha önce kestirilmiş sinyal parametrelerinden oluşan veritabanı kullanılarak hedef sensörlerin konumlarının belirlenmesi amacı için kullanılır. Veritabanı genellikle gerçek konum belirleme süreci başlamadan önce sistemin eğitilmesi ile elde edilir [8].

Araç konumu belirlemede kullanılan mevcut sistemler, özellikle doğrudan görüşün olmadığı veya çok-yol etkisinin baskın olduğu kapalı ortamlarda iyi başarım sergileyememekte, dolayısıyla kapalı otoparklarda araç konumu belirlemede etkin çözümler sunamamaktadırlar. Konum belirleme hassasiyetini yükseltmek için başvurulan yöntem çoğu zaman kullanılan baz istasyonu (RFID okuyucusu) sayısını artırmaktır. Ancak bu maruz kalınan elektromanyetik alan miktarını da artırarak insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir [1]-[12]. [3] ve [4]'te yalnızca bir RFID okuyucusunun kullanıldığı konum belirleme sistemi geliştirilmiştir, böylece elektromanyetik alan miktarını artırmadan, dolayısıyla insan sağlığını olumsuz etkilemeden konum belirleme hassasiyetini artırılabilmektedir.

[4]'teki sistemin konum belirleme hassasiyetini daha da artırmak için akıllı antenler kullanılabilir. Akıllı antenler sinyal yönünün daha iyi kontrol edilmesini sağlayarak sinyal gücü üzerindeki belirsizlik azaltır, böylece konum belirleme hassasiyetinde artış sağlanır.

Hareket eden araçların yönlendirilebilmesi amacı ile sistemin güncellenme hızının yeterince yüksek olması gerekmektedir. Bu da konum belirleme algoritmalarının ve sayısal işlemcinin hızlı çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Örneğin, park alanında en yüksek hız 15 km/saat olarak alındığında, hareket eden araçların konumları 0.24 saniyede 1 metre değişebilir. Bu nedenle, araç konumlarının hassas olarak izlenebilmesi için, diğer önlemlerin yanı sıra, sistemin 0.24 saniyeden daha kısa zaman aralıklarında güncellenmesi gerekmektedir. Bu da sistemin konum belirleme süresinin yeterince hızlı olmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda sistem tasarımı birbirleri ile çelişebilecek çeşitli başarım parametreleri arasında bir ödünleşme sonucunda ortaya çıkacaktır.

3. RFID Sistemlerinin İnsan Sağlığına Etkisi

İyonlaştıran (ionizing) ve iyonlaştırmayan (non-ionizing) olmak üzere enerjilerine göre iki çeşit elektromanyetik (EM) ışınım vardır. İyonlaştırıcı (ionizing) EM ışınımlar, hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları iyonlaştırma (yani atomlardaki pozitif (proton) ve negatif (elektron) yükleri bir arada tutan yüksüz nötrona etki ile atomun yapısının bozulması) meydana getirmeye yetecek foton enerjisine sahip yüksek frekans (1014 Hz' den yukarısı) bölgesinde olup, minimum 12 eV (elektron volt)'tan başlayan enerji değerlerine sahiptir. Örnek olarak, Röntgen (X ışını), Gama ve Kozmik ışınlar verilebilir. Bu ışınlara fazla maruz kalmak, canlıya ait hücrelerin hasara uğraması ve DNA zincirinin bozulması gibi etkilerinden dolayı tehlikeli olabilmektedir [13].

İyonlaştırmayan (non-ionizing) ışınımlar ise bu atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye

sahip olmayan fotonların oluşturduğu EM dalgalardır. Bunlar görünür ışık, kızılötesi, mor ötesi, RF dalgaları, mikrodalga, statik ve manyetik alanlardır. Ölçülen enerji değeri, iyonlaştırma yapacak seviyeye göre çok düşük değerdir. Ancak bu alanlar, faktörlere (yani mesafe, güç ve maruz kalma zamanı vs.) bağlı olarak vücutta ısıl etkiye (ısı artışı) sebep olduğu gibi, bazı uzmanlarca biyolojik etkilere de sebep olabilecekleri öne sürülmektedir. Kanser etkisi ise henüz ispatlanmamıştır [13].

İyonlaştırıcı olmayan EM dalgaların etkisinde kalan canlılarda; yukarıda belirtildiği üzere, ısıl ve ısıl olmayan iki tür etki oluşabilmektedir. Isıl etkiler, vücut tarafından emilen EM enerjinin ısıya dönüşmesi ve vücut sıcaklığını arttırması olarak tanımlanmaktadır. Bu sıcaklık artışı, ısının, kan dolaşımı, ter vs. ile atılarak dengelenmesine kadar sürmektedir. Isıl olmayan etkiler ise hala bilinmemekte ve bu konuda araştırmalar devam etmektedir [13].

Özgül emilim oranı (specific absorption rate, SAR), elektromanyetik alana (electromagnetic field, EMF) maruz kalındığında beden tarafından soğurulan enerji oranının bir ölçüsüdür. Birim doku kütlesi başına soğurulan güç olarak tanımlanır ve birimi W/kg'dır. SAR ya tüm beden üzerinde ya da küçük bir örnek hacim (genelde 1 g veya 10 g doku) üzerinden ortalaması olarak alınır. SAR, 100 kHz ve 10 GHz aralığında bulunan alanlara maruz kalma düzeyini ölçmede kullanılır [14].

EM alanlara maruziyette sınır değerleri belirlenmesi konusunda Dünya ve Avrupa ülkelerinin referans olarak aldığı kurumların başında ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection/ Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) gelmektedir. Uluslararası alanda bu kuruluşça belirlenen sınır değerler, birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslarası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar, ünversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür [13].

Amerika Birleşik Devletleri'nde sınır değerler, FCC (Federal Communications Commission/Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers/Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standarts Institute/Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü), Avustralya'da ise AS/NZS (Avustralia Standarts/New Zealand Standarts) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır [13].

RFID sistemleri için ülkelerin kendi radyo spektrum kullanım düzenlemeleri bulunmaktadır. Avrupa'daki spektrum kullanımını düzenleyen Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) UHF RFID sistemleri için çıkardığı ETSI EN 302 208 standardı, 865 - 868MHz frekans bandında, konuşmadan önce dinle (listen before talk, LBT) protokolü ile 2 Watt'a varan güç seviyeleri için tasarlanmıştır ve pek çok Avrupa ülkesinde kabul edilmiştir

[16].

Türkiye'de ise, 6 Mart 2004 tarihli ve 25394 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazlarının (KET) Kurma ve Kullanma Esasları Hakkındaki Yönetmeliği uyarınca, RFID sistemleri 865.6-867.6 MHz frekans bandında maksimum 500mW (0.5W) güç seviyesi ile uygulanabilmesi onaylanmıştır. Daha sonra 16 Mart 2007 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan yeni KET yönetmeliği ile 865,6-867.6 MHz bandı arasında kullanım gücü 2 Watt olarak yenilenerek Avrupa standartlarına çekilmiştir [17].

[18]'de Avrupa'daki standarda uygun UHF bandında çalışan RFID okuyucunun anteninden üretilen EMF yakın-alanda maruz kalınan SAR'ın etkileri, yetişkin, çocuk, hamile kadın ve fetüse ait anatomik modeller kullanılarak incelenmiştir. Antenden yayılan güç 1 W ve görev döngüsü (duty cycle) %100 varsayılmıştır. Çalışmada gezgin ve sabit RFID okuyucuları ele alınmıştır. Anten simülasyonu vücut dokusunu taklit eden sıvı içerikli anatomik modeller üzerinde yapılmıştır. Farklı anten konumları ve modellerde farklı duruş pozisyonları için IEEE C95.3 ve 1528 standartlarına uygun SAR ölçüm deneyleri yürütülmüştür. Elde edilen deney sonuçlarına göre, maruz kalınan SAR değeri modele ve anten konumuna göre değişiklik arz etmektedir. Yakın mesafede (10 cm menzil), 9 aylık fetüs modeli SAR'dan en fazla olumsuz etkilenmektedir. Anten konumu uzaklaştıkça, maruz kalınan SAR değeri bütün modellerde farklı oranlarda düşmekte; anten menzili 50 cm'ye çıktığında 9 aylık fetüs modelindeki SAR ölçümünde belirgin bir düşüş sergilenmektedir. Elde edilen tepe ölçüm değerlerinin ICNRIP kılavuzunda belirtilen değerlerden daha düşük oldukları gözlenmiştir. Dolayısıyla, özellikle 10 cm'den uzun menzilde bulunan UHF RFID okuyucudan maruz kalınan EMF'in insanlarda olumsuz etki yapmaması beklenmektedir [18].

4. Sonuç ve Öneriler

İç mekânlarda RFID teknolojisi ile konum belirleme umut veren bir yöntemdir. RFID okuyucularının uluslar arası standartların uygun bir şekilde kurulması durumunda insan sağlığına olumsuz etkisinin olmaması beklenmektedir.

5. Kaynaklar

[1] Curran, K. and Norrby, S., "RFID-Enabled Location Determination Within Indoor Environments", **International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI) 2009,** 63-86, (2009).

[2] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I., "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks", **IEEE Communications Survey & Tutorials,** 11 (1), (2009).

[3] Bahl, P. And Padmanabhan, N., RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, Proc. IEEE INFOCOM, 2: 775-784, March 2000.

[3] U. Hatthasin, K. Vibhatavanij and D. Worasawate, "One Base Station Approach for Indoor Geolocation System using RFID", **Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) 2007,** 1-4, Dec. 2007.

[4] U. Hatthasin, S. Thainimit, K. Vibhatavanij, N. Premasathian and D. Worasawate, "An Improvement of an RFID Indoor Positioning System using One Base Station", **Proceedings of the 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2009,** 2 (2009).

[5] Glover, B. and Bhatt, H., RFID Essentials (1st Edition), **O'Reilly** (2006).

[6] Goldsmith, A., Wireless Communications, **Cambridge University Press,** 644, (2005).

[7] Balanis, C. A., Antenna Theory: Analysis and Design (3rd Edition), **J. Wiley** (2005).

[8] Gezici, S., A Survey on Wireless Communications, **Wireless Personal Communications,** 44: 263-282, (2008).

[9] Coca, E., and Popa, V., "Experimental results and EMC considerations on RFID location systems", **1st Annual RFID Eurasia 2007,**1-5, Sept. 2007.

[10] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C. and Patil, A. P., "LANDMARC: Indoor Sensing Using Active RFID", Wireless Networks, 10:701-710, **Kluwer** (2004).

[11] Popa, V., Coca, E. and Dimian, M., "Applications of RFID Systems – Localization and Speed Measurement", **Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications,** Bringing Research to Practice, 8: 278, Feb. 2010.

[12] C. C. Chang, P. C. Lou and Y. G. Hsieh, "Indoor locating and inventory management based on RFID-Radar detecting data", **Journal of Applied Geodesy,** 6: 47-54 (2012).

[13] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurulu (BTK), http://www.tk.gov.tr/

[14] Özgül emilim oranı, **Wikipedia**: http://tr.wikipedia.org/.

[15] Byun, J.-K. and Shim, D.-U., "Analysis of EMF Distribution Around UHF RFID Reader", **Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI),** 2007.

[16] European Telecommunications Standards Institute (ETSI), www.etsi.org.

[17] Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazlari (KET) Yönetmeliği, Yönetmelik, **Resmî Gazete,** 20 Mart 2010.

[18] Fiocchi, S., Markakis, I. A., Ravazzani, P., and Samaras, T., "SAR Exposure From UHF RFID Reader in Adult, Child, Pregnant Woman, and Fetus Anatomical Models", **Bioelectromagnetics,** 34: 443–452, April 2013, Wiley Periodicals, Inc.