

# RFID Sistemleri ile Konum Belirleme Uygulamaları

Emrullah Demiral<sup>1</sup>, İsmail Rakıp Karas<sup>1,\*</sup>, Muhammed Kamil Turan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük.

## Özet

Günümüzde yaygın olarak kullanılan navigasyon sistemlerinde kullanıcıların açık alanlardaki konumu Küresel Konumlama Uydusu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) ile sağlanmaktadır. Bununla birlikte GNSS sistemlerinin kapalı alanlarda doğrudan kullanılması mümkün değildir. Oysa gelinen noktada, iç mekânlara yönelik navigasyon uygulamaları da önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Çağımızın modern şehirlerinde çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binaların sayısı her geçen gün artmakta, binaların büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak çözülmeyi bekleyen yeni problemler ortaya çıkmaktadır. Meydana gelebilecek acil durumlarda, kişiye özel navigasyon uygulamaları kullanarak binaların hızlı ve sorunsuz bir şekilde tahliyesi bu problemlerin en başta gelenidir. Görme engellilerin yönlendirilmesi, güvenlik amaçlı uygulamalar, ziyaretçi takibi, adres bulma, hizmetlerin organizasyonu, otomatik turist rehberliği gibi uygulamalar ise kapalı mekân navigasyonunun diğer kullanım alanlarından bazılarıdır. Dolayısı ile bina içlerinde de çalışabilecek etkin konum belirleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Avantajları ve doğruluğu göz önüne alındığında söz konusu yöntemler içerisinde RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi öne çıkmaktadır. Bu bildiride RFID tabanlı konum belirleme sistemlerinin çalışma şekilleri üzerinde durularak, söz konusu sistemler karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Başarım seviyeleri ve gereklilikleri detaylandırılmaktadır.

## Anahtar Sözcükler

RFID, Navigasyon, Konum Belirleme, Kapalı Mekânlar

## 1. Giriş

Günümüz modern şehirlerinde çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Onlarca kat, yüzlerce koridor, oda ve geçitlerden oluşan bu binalar, hem karmaşık yapıları, hem de barındırdıkları nüfus itibarı ile adeta birer küçük şehir gibidirler. Dolayısı ile binaların büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak çözülmeyi bekleyen birçok yeni problem karşımıza çıkmaktadır. Meydana gelebilecek acil durumlarda, kişiye özel navigasyon uygulamaları kullanarak binaların hızlı ve sorunsuz bir şekilde tahliyesi bu problemlerin en başta gelenidir. Görme engellilerin yönlendirilmesi, güvenlik amaçlı uygulamalar, ziyaretçi takibi, adres bulma, hizmetlerin organizasyonu, otomatik turist rehberliği gibi uygulamalar ise diğer kullanım alanlarından bazılarıdır.

Araç navigasyon sistemleri gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan sistemlerde kullanıcının konumu Küresel Konumlama Uydusu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) ile belirlenmektedir. Bununla birlikte GNSS'in kapalı alanlarda doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu yüzden bina içlerinde de çalışabilecek etkin konum belirleme sistemlerine ihtiyaç vardır. İç mekânlara yönelik olarak önerilen konum belirleme teknolojileri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: İç mekânlara yönelik konum belirleme sistemleri Lemieux (2009) ve Candy (2008).

Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları	Doğruluk
Ultrasound	<ul style="list-style-type: none"><li>Basit ve ucuz ekipman.</li><li>Hassas ölçüm imkanı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Her odada alıcının tesis edilmesi gerekliliği.</li><li>Yüksek yoğunluklu seslerin olumsuz etkisi.</li><li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği.</li></ul>	Yeterince sık tesis edildiğinde birkaç santimetre
RFID	<ul style="list-style-type: none"><li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görmesine gerek yok.</li><li>Her türden ortamda çalışma imkanı.</li><li>Hızlı etkileşim.</li><li>Pasif alıcı taşıyıcılar aktiflere göre daha ucuz, küçük ve pile ihtiyaç duymuyor.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pasif taşıyıcılar, aktiflere göre daha düşük duyarlılık.</li><li>RFID okuyucular pahalı.</li></ul>	RFID okuyucu ve taşıyıcıların dağılımına bağlı olarak 1 santimetreden 2. metreye kadar
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"><li>Her türden bluetooth cihazın izlenebilmesi (cep telefonu, mp3 player, laptop)</li><li>Değişken okuma mesafesi (1 m. civarı)</li><li>Küçük ölçekli kurulumlar nispeten ucuz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Geniş ölçekli kurulumlarda maliyetli.</li><li>Sınırlı bant genişliği.</li><li>Ana bağlantıya karşılık en fazla yedi alt bağlantı imkanı.</li><li>Aktarmada gecikme.</li></ul>	2-15 metre
WLAN (Wifi)	<ul style="list-style-type: none"><li>IEEE 802.11 altyapısını kullanabilme imkanı.</li><li>Düşük maliyet.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Çok katlı ve çok yoğun alanlarda performans düşüklüğü.</li><li>Sinyal yansımaları ve dinamik ağ yapısı sebebiyle değişken sinyal gücü.</li></ul>	1-3 m. (50 m. menzilin içinde)
Pseudo-GPS (Uydusallar)		<ul style="list-style-type: none"><li>Bina içine GPS uydularına benzer ufak uydusalların kurulması gerekliliği.</li><li>GPS alıcılı mobil cihazlar.</li><li>Maliyeti yüksek.</li></ul>	1 m. civarı
Infrared	<ul style="list-style-type: none"><li>Kompakt.</li><li>Düşük güç tüketimi.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Gün ışığına karşı duyarlı.</li><li>Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği.</li><li>Tesis ve bakımı maliyetli</li></ul>	5-10 metre.

\* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (370) 4338210 / 1532 Faks: +90 (370) 4333290

E-posta: ismail.karas@karabuk.edu.tr (Karas İ.R.), emrullahdemiral@gmail.com (Demiral E.), kamilturan@karabuk.edu.tr (Turan M. K.)

Avantajları ve doğruluğu göz önüne alındığında söz konusu yöntemler içerisinde RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi öne çıkmaktadır. RFID sisteminde, okuyucu ve taşıyıcıların birbirlerini doğrudan görmeleri gerekmeksizin aralarında kablosuz iletişim kurabilmeleri, sistemin bina içerisinde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Bir diğer önemli özelliği ise birden fazla taşıyıcının aynı anda okunabilmesinin mümkün olmasıdır.

Bu çalışmada literatürde yer alan RFID teknolojisi tabanlı iç mekânlara yönelik konum belirleme uygulamaları üzerinde durulmaktadır. Bu doğrultuda RFID tabanlı konum belirleme teknikleri üzerine yapılmış 28 çalışma kapsamlı olarak incelenmiş ve ileride bu alanda yapılacak yeni araştırmalara da katkı yapacağı düşünülerek detaylandırılmıştır. Çözümlerin algoritmik yönleri, cihazların kurulum ve performans değerlendirilmesi ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca yaklaşık maliyet hesaplaması yapılabilmesi için çözümlerde kullanılan okuyucu ve taşıyıcı sayıları da belirtilmektedir.

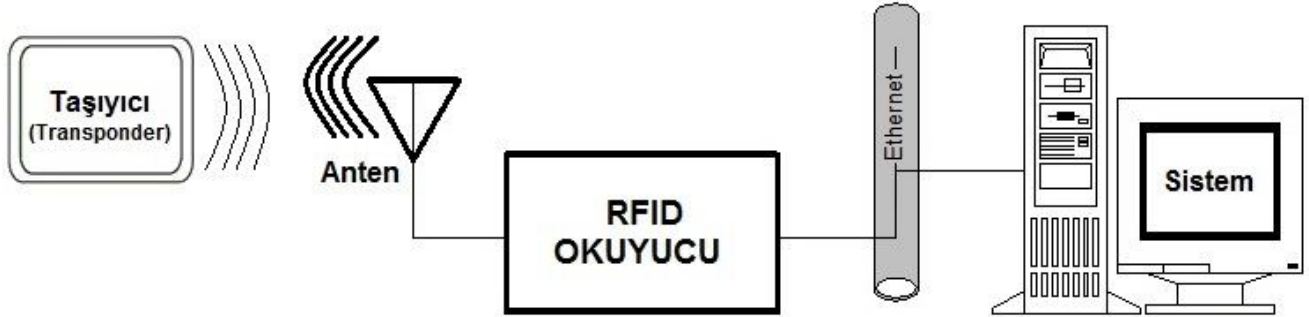
## 2. RFID Teknolojisi

RFID, bir nesne veya kişiye ait tanıma bilgisini (benzersiz seri sayı biçiminde) kablosuz bir şekilde radyo dalgaları ile iletmek için kullanılan sistemleri tanımlamak amacıyla ifade edilen genel bir terimdir (Khong ve White 2005). RFID sistemlerinde veri akıllı kart sistemleri gibi elektronik bir veri taşıyıcı aygıtı (Transponder - Tag) üzerinde saklanır. Diğer yandan, akıllı kartlardaki sistemin aksine, veri taşıyan aygıt için gerekli olan güç ve okuyucu ile veri taşıyan aygıt arasındaki veri değişimi temas yüzeysiz olarak manyetik veya elektromanyetik alanlarla sağlanır. RFID taşıyıcıda saklanan veriyi alabilmek için bir okuyucuya ihtiyaç vardır (Finkenzeller 2003). Okuyucu, taşıyıcının hafızasında bulunan veriyi almak için antenine enerji yükler. Bu sayede anten radyo sinyalleri yayarak taşıyıcıyı aktif hale getirir. Aktif hale gelen taşıyıcı da hafızasında yer alan veriyi bırakır (Khong ve White 2005). Anten okuyucu ve taşıyıcı arasındaki iletişimi sağlar ve antenin şekline ve boyutuna bağlı olarak frekans aralığı gibi sistemin performansını etkileyen bazı özellikler farklılık gösterir (Dziadak vd. 2009).

RFID taşıyıcıları elektrik gücünün kaynağına göre aktif ve pasif olmak üzere iki genel kategoride incelenir. Aktif taşıyıcılar, genellikle bir pilden elde ettikleri kendi güç kaynaklarına sahiptirler. Pasif taşıyıcılar ise güçlerini okuyucunun sinyalinden alır (Manish ve Shahram 2005).

Bir RFID sistemin iki temel bileşeni okuyucu ve taşıyıcıdır. Bunun yanında sistemi daha etkin hale getirmek için anten, bilgisayar ve veritabanları kullanılmaktadır. RFID sistem bileşenleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

Bir diğer önemli unsur okuyucunun frekans aralığıdır. Mevcut frekanslar, LF (Low Frequency), HF (High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) şeklindedir (L. Wang vd. 2007). Ek olarak SHF (Super High Frequency) veya mikrodalga frekans aralıkları da kullanılabilir. Radyo frekanslarının özellikleri Tablo 2’de özetlenmiştir.



Şekil 1: RFID Sistem Bileşenleri

Tablo 2: Radyo Frekanslarının Özellikleri (ERA BUILD 2006) ve (N. Li ve B. Becerik-Gerber 2011)

	Düşük Frekans (LF)	Yüksek Frekans (HF)	Çok Yüksek Frekans (UHF)	Mikrodalga (Mikrowave)
Frekans Aralığı	125-135 kHz	13.56 MHz	400-960 MHz	2.45-5.8 GHz
Okuma Aralığı	<0.5 m (pasif)	<1.0 m (pasif)	<10 m (pasif), >10 m (yarı-pasif ve aktif)	>100 m (aktif)
Standartlar	ISO 11784/5, 14223, 18000-2	ISO 14443, 15693, 18000-3	ISO 18000-6/7, EPCGen1 and 2	ISO 18000-4/5
Metal/sıvı etkisi	Çok düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Veri Aktarım Hızı	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Çoklu Okuma	-	50 taşıyıcı/sn	150 taşıyıcı/sn	-
Kullanım Alanları	Tarım, Güvenlik, İçecek Fabrikaları	İlaç Sanayisi, Sağlık Sektörü	Üretim, Lojistik, İnşaat Sektörleri	Askeriye, Gemi ile Nakliyat, Hava Yolları

### 3. RFID Tabanlı Konum Belirleme Çalışmaları

İç mekânlarda kişilerin konumlarını belirlemek için tasarlanmış birçok sistem vardır. Mevcut sistemleri, sistemlerin çalışma şekillerini göz önünde bulundurarak veya sistemin bir parçası olan okuyucu ve taşıyıcıların yerleşim düzenine bakarak sınıflandırabiliriz. Takip edilmek istenilen nesnenin üzerine yerleştirilmiş bir RFID okuyucunun olduğu veya çok kullanıcı bir sistem için daha ucuz olabilecek okuyucu yerine taşıyıcıların takip edildiği sistemler aşağıda iki başlık altında toplanmıştır. Literatürde yer alan RFID tabanlı konum belirleme sistemleri temel bazı özelliklerine göre Tablo 3'te verilmiştir.

#### 3.1. Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli Sistemler

Bu gruptaki sistemlerde, taşıyıcılar sabit, okuyucular ise hareketlidirler. Bina içerisinde önceden belirlenmiş konumlara taşıyıcılar ve takip edilecek nesnenin üzerine ise RFID okuyucular yerleştirilmektedir. Bu tip sistemlerde okuyucunun okuma alanındaki taşıyıcıların bilinen konumlarından faydalanılarak takip edilen nesnenin beraberindeki RFID okuyucunun konumu belirlenmektedir (Byoung vd. 2011; Lee ve Lee 2006; Hahnel 2004).

Byoung ve arkadaşları yaptıkları çalışmada pasif taşıyıcılar ve yüksek frekansta (13,56 MHz) çalışan okuyucu kullanmışlardır. 6 m x 2,4 m lik koridorun zeminine pasif taşıyıcılar yerleştirilmiştir. 2,4 m uzunluk doğrultusunda (koridorun genişliği) 30 cm aralıklarla taşıyıcılar yerleştirilirken 6 m olan uzunluk doğrultusunda (koridorun boyu) ise 50 cm aralıklarla taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Okuyucu ise hareketli bir robot üzerine sabitlenmiştir. Çalışmada iki farklı deney yapılmıştır. Birinci deneyde okuyucu iki farklı doğrultuda düz bir çizgi üzerinde hareket ettirilmiştir. Okuyucu aralarında 50 cm mesafe olan taşıyıcıların üzerinden geçecek şekilde doğrusal olarak hareket ettirildiğinde 2,42 cm hata ile konum tespit edilmektedir. Benzer şekilde okuyucu aralarında 30 cm mesafe olan taşıyıcıların üzerinden geçecek şekilde doğrusal olarak hareket ettirildiğinde 1,58 cm hata ile konum tespit edilmektedir. Taşıyıcıların yerleşimlerine bağlı olarak konum tespitindeki hatanın değiştiği gözlenmektedir. İkinci deneyde ise robot yarım daire çizecek şekilde dönüş yaptırılmış ve robot üzerindeki okuyucunun konumu 2,7 cm hata ile tespit edilmiştir (Byoung vd. 2011). Sistemin duyarlılığı kullanılan taşıyıcı sıklığına bağlıdır. Büyük bir bina içerisine uygulanabilirliği düşünüldüğünde taşıyıcı sayısının da bir hayli artırılması gerekliliği ortaya çıkar. İş yükü ve maliyetin artması kaçınılmaz bir sonuç haline gelir. Ayrıca takip edilmek istenen nesne sayısının artması okuyucu sayısının artması demektir. Okuyucu maliyetlerinin taşıyıcılara göre çok daha yüksek olması, takip edilmek istenen nesne sayısının fazla olduğu durumlarda bu sistemlerin kullanılabilirliğini azaltmakla birlikte amaca bağlı olarak tercih edilebilmektedir.

#### 3.2. Okuyucu Sabit Taşıyıcı Hareketli Sistemler

Bu gruptaki sistemlerde, taşıyıcılar takip edilmek istenilen nesnenin üzerinde ve hareketli, okuyucular ise bina içerisinde önceden belirlenmiş konumlara sabitlenmektedir. RFID taşıyıcısından alınan RSSI (Radio Signal Strength Indication / Sinyal Gücü Göstergesi) değerleri kullanılarak uzaklık tahmin edilmektedir. RSSI değerlerini elde edebilmek için taşıyıcıdan alınan sinyal gücünü ölçebilen özellikte okuyuculara ihtiyaç vardır. Taşıyıcı ve RFID okuyucu arasındaki fiziksel mesafenin artması taşıyıcıdan alınan sinyal gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Şu bilinen bir gerçektir ki; fiziksel mesafenin belirli bir düzeyi aşması durumunda taşıyıcı ve okuyucunun iletişimi kopacaktır. Fiziksel mesafenin minimum olduğu durumda ise taşıyıcı ve okuyucu arasındaki iletişimin en hızlı düzeyde olması beklenir. Bu durum göz önüne alındığında taşıyıcı ve okuyucu arasındaki fiziksel mesafe ile sinyal gücü göstergesi arasında bir ilişki kurmak mümkündür. Bilinen üçgenleme ve trilaterasyon yöntemleri ile birden çok okuyucudan gelen veriler birleştirilerek konum tahmini yapılmaktadır (Hightower ve Borriello 2000; Bechteler ve Yenigün 2003; Stelzer vd. 2004).

Bechteler ve Yenigün tarafından yapılan çalışmada 3 okuyucu ve 1 taşıyıcı kullanılmıştır. Her bir okuyucu için taşıyıcıdan alınan RSSI değerleri ile taşıyıcının okuyucularla arasındaki fiziksel mesafe hesaplanarak, trilaterasyon yöntemi ile taşıyıcının konumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. 2 m x 2 m'lik bir alanda yaklaşık 20 cm hata ile taşıyıcının konumu tahmin edilmiştir.

Fakat iç mekânlarda sinyalin çok yönlü dağılımından kaynaklanan RSSI değerlerindeki farklılıklardan dolayı tahmin edilen konum tutarsızdır. Yapılan bazı çalışmalarda tahmin edilen konum tutarlılığını arttırmak için ortamın radyo haritasını çıkarma yoluna gidilmiştir. Radyo haritası, takip edilecek RFID taşıyıcının odanın her bir noktasındayken, okuyuculardan alınan RSSI değerlerinin toplanmasıyla oluşturulmaktadır. Radyo haritası odanın şeklinin değişmesi gibi nedenlerden ötürü değişebilir. Her seferinde tekrar hesaplanması gerekir ve bu nedenle de bu süreç uzun uğraşlar gerektirmektedir. Bu olumsuz etki referans taşıyıcılar ile çözülmeye çalışılmıştır. Ortamda belirli konumlara önceden yerleştirilen taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri ile konumu belirlenmeye çalışılan nesnelerin üzerindeki taşıyıcılara ait RSSI değerleri karşılaştırılarak k-NN (k-NN: K Nearest Neighbors / k En Yakın Komşuluk) algoritması ile konum tahminleri gerçekleştirilmiştir (Ni vd. 2004; Zhao vd. 2007).

Tablo 3: RFID Tabanlı Konum Belirleme Çalışmaları  
(N. Li ve B. Becerik-Gerber 2011) ve (A. Papapostolou ve H. Chaouchi 2011)

Referans	Çalışma Alanının Özellikleri	Kullanılan Yöntem (Açıklama)	Takip Edilen	Doğruluk	Maliyet	
					Taşıyıcı Sayısı	Okuyucu Sayısı
SpotOn (J. Hightower vd. 2000)	-	RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme methodu ile konum kestirme	Taşıyıcı	3 m	-	-
(Bechteler ve Yenigün 2003)	2 x 2	3 okuyucu ile RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme methodu ile konum kestirme	Taşıyıcı	Ortalama 20 cm	1	3
(Stelzer vd. 2004)	500 m x 500 m	TDoA (Time Difference of Arrival / Varış Süresi Farkı) Ağırlıklı ortalama kareler	Taşıyıcı	10 m	-	-
(J. Zhou ve J. Shi 2011)	1 m <sup>2</sup> 100 m <sup>2</sup>	Multilaterasyon yöntemi 3' ten fazla okuyucu ile daha hassas konum tahmini yapılmıştır.	Taşıyıcı	0,0524 m 0,053 m		4, 6, 8, 10
LANDMARC (Ni vd.2004)	4 x 9	Referans taşıyıcılar yerleştirilmiş ve k-NN algoritması kullanılmıştır.	Taşıyıcı	2 m	16	4
VIRE (Zhao vd. 2007)	1. Yarı kapalı alan 2. Geniş kapalı alan 3. Tipik üniversite odası	LANDMARC ile benzer olan çalışma 3 farklı alanda test edilmiş ve en iyi sonuç 1. alanda elde edilmiştir. En kötü sonuç ise 3. alanda elde edilmiştir.	Taşıyıcı	0,29 m (Sınırlanmamış Taşıyıcı) 1,5 m (Sınırlanmış Taşıyıcı)	16	4
(Wang vd. 2007)	-	RSS Yakınlık ve Optimizasyon (Matlab yazılımı ile simulas yon)	Taşıyıcı Okuyucu	0,3 – 3 ft (Pasif) 0,2 – 0,5 ft (Aktif)	16	4
(Bekkali vd. 2007)	-	Kalman filtresi (Simülasyon)	Taşıyıcı	0,5 – 5 m	-	-
(Z. Zhen 2008)	384 m (4 oda)	RSSI Yakınlık ve Destek Vektör Makineleri ile çıkarım Bölgesel bazda konum belirleme	Taşıyıcı	%93 (Bölgeler düzeyinde)	-	7
(Y. Huang vd. 2008)	4 m x 4 m	RSSI Yakınlık ve Bayes çıkarımı	Taşıyıcı	1,5 m	16	4
(M.A. Khan ve V.K. Antiwal 2009)	10 x 10 x 10 m	LANDMARC Algoritması Genişletilerek 3 Boyutta Simule edildi.	Taşıyıcı	0,5 m	11	3
(X. Wang vd. 2009)	5 m x 10 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	1 m	16	4
(K. Sue vd. 2006)	9/49 m <sup>2</sup>	RSSI Sahne Analizi Bölgesel ve koordinatsal olmak üzere iki moda çalışır.	Taşıyıcı	0,4 – 1 m	16/64	4
(Y. Huang vd. 2009)	3 m x 4 m	RSSI Yakınlık ve k-NN ile çıkarım	Taşıyıcı	1,4 m (%90)	16	4
(S. Polito vd. 2007)	9,6 m x 4,8 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	2,5 m	30	8
(G. Jin vd. 2006)	8 m x 6 m	RSSI Sahne Analizi LANDMARC ile benzer bir çalışma	Taşıyıcı	0,83 m	20	4
(R. Silva ve P.A. Goncalves 2009)	5 m x 6,5 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	%52,5 (Bölgesel Düzeyde)	16	4
(K. Yu vd. 2009)	15 m x 10 m	RSSI Yakınlık (Simülasyon)	Taşıyıcı	-	-	3
(T. Zhang vd. 2009)	10 m x 10 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	0,1 m (Gürültüsüz) 0,2 m (Gürültülü)	49	4
(Byoung vd. 2011)	6 m x 2,4 m	RSSI Yakınlık	Okuyucu	2,7 cm	0,3-0,5 m arayla	-
(Han vd. 2007)	1 m x 1 m	Eğitim ve RSSI Yakınlık	Okuyucu	0,016 m	5cm arayla	-
(Lee ve Lee 2006)	25 m x 25 m	RSSI Yakınlık	Okuyucu	0,026 m	30	-
(Xu ve Gang 2006)	40 m x 40 m	RSSI Yakınlık ve Bayes çıkarımı	Okuyucu	1,5 m	5 m arayla	-
(Yamano vd. 2004)	-	RSSI Yakınlık ve Destek Vektör Makineleri ile çıkarım	Okuyucu	%80	25	-
(Toplan ve Ersoy 2012)	2 m x 2,5 m	Gölgelendirme Etkisine Dayalı Konum Belirleme	-	0,5 m	20	1
(A. Pradhan vd. 2009)	115 m x 75 m			10,7 m (%93)	8	-
(X. Luo vd.)	7 m x 6,4 m (Bina) 6,3 m x 5,1 m (Şantiye)	Üçgenleme Yöntemi		1,55 – 3,11 m 1,22 – 3,79 m	4 3/6	1
(Bouet ve Pujolle 2008)	50 cm x 50 cm x 3 m			0,2 m – 1,2 m		

Tabloda Maliyet kısmında Referans olarak kullanılan okuyucu ve Taşıyıcı sayıları verilmiştir.

Bir okuyucunun maliyeti 600\$ ile 1400\$ arasında değişmektedir. Aktif bir taşıyıcının maliyeti ise 15\$ civarındadır.

Ni ve arkadaşları LANDMARC (LocAtioN iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration / Dinamik Aktif RFID Kalibrasyonuna Dayalı Konum Belirleme) olarak bilinen çalışmalarında referans taşıyıcılar kullanarak ortamın dinamik radyo haritasını oluşturmayı başarmışlardır. Çevresel faktörlerin, takip edilmek istenen nesnenin üzerindeki taşıyıcıdan alınan RSSI değerlerine etkisi ile bu taşıyıcıya komşu olan yani onunla aynı bölgede bulunan referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerlerine etkisi birbirine çok yakın olacaktır. Bu sayede, odanın şeklinin değişmesi veya oda içerisinde bulunan eşyaların yerlerinin değiştirilmesi gibi çevresel etkilerden kaynaklanan problemlerde minimize edilmiştir. Daha doğru ve güvenilir konum bilgisi elde etme hususunda LANDMARC yaklaşımının bir başka avantajı, çok sayıda pahalı RFID okuyucuya gerek duyulmamıştır. Bunun yerine ucuz referans taşıyıcılar kullanılmıştır. LANDMARC yaklaşımında RFID okuyucuların okuma mesafesi içerisinde bulunan her bir taşıyıcıya ait RSSI değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bununla birlikte kullanılan sistemde her bir taşıyıcıya ait RSSI değerleri mevcut RFID okuyucularla doğrudan ölçülememiştir. RFID okuyucular ile sadece taşıyıcının güç seviyesi (Sistemde 1-8 arası bir değer) rapor edilebilmiştir. Güç seviyesini gösteren değer bina içinde çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermesi ve gerçek mesafenin bu değere bağlı olarak doğrudan hesaplanamayışı göz önünde bulundurularak, güç seviyesi değeri ile RSSI değerini birbiriyle ilişkilendiren bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada, ortama 1 m aralıklarla referans taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Konumu tespit edilmeye çalışılan hedef taşıyıcıdan alınan RSSI değeri ile referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri belirli aralıklarla sürekli olarak okunmakta ve kaydedilmektedir. Referans taşıyıcıların bilinen konumlarından yararlanılarak, k en yakın komşuluk algoritması ile hedef taşıyıcının konumu hesaplanmaktadır. 16 adet referans taşıyıcı ve 4 adet okuyucu ile 10 m x 4 m'lik bina içi bir alanda yaptıkları testlerde %50 oranında 1 m hata ile, %90 oranında 2 m hata ile konum hesaplaması elde etmişlerdir. LANDMARC, RFID tabanlı konum belirleme ile ilgili birçok çalışmaya referans olmuştur. Ayrıca LANDMARC yönteminin geliştirilmesi yönünde yapılan çalışmalar da mevcuttur (Ni vd. 2004).

Zhao ve arkadaşları gerçek referans taşıyıcılarının yanında sanal referans taşıyıcılar da oluşturmuş ve alanı daha küçük bölgelere ayırmışlardır. Sanal referans taşıyıcılarının RSSI değerleri, gerçek referans taşıyıcılarının RSSI değerlerinden faydalanılarak doğrusal enterpolasyon yöntemi ile tahmin edilmektedir. k-NN algoritması ile konum tahmini yapılmaktadır. Çalışmada sistemin testi için: “(1) Yarı kapalı alan mobilya ve beton duvarlar yok. (2) Geniş kapalı alan, çok fazla metal eşya yok. (3) Tipik üniversite dersliği sıra ve sandalyeler var.” olmak üzere 3 farklı alan seçilmiştir. En iyi sonuç (1) numaralı alan için elde edilirken, en kötü sonuç ise metal yoğunluklu olan (3) numaralı alan için elde edilmiştir. Sonuçlar yorumlandığında, metal yoğunluklu maddelerin RF sinyalleri üzerindeki olumsuz etkisi göze çarpmaktadır (Zhao vd. 2007).

Zhang ve arkadaşları referans taşıyıcıların içerisindeki dahili pillerin kullanım sürelerine bağlı olarak veya farklı referans taşıyıcılarının kullanımından kaynaklanabilecek performans düşüklüğüne karşı RFIDiffFreeLoc algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada radyo sinyallerini etkileyebilecek iki önemli unsur üzerinde durularak geliştirilen algoritma ile 10 m x 10 m lik bir alanda 0,1 m hata ile konum tespiti gerçekleştirilmiştir (T. Zhang vd. 2009).

Bir başka çalışmada ise Hsu ve arkadaşları tarafından çevresel değişikliklerin radyo sinyallerini önemli ölçüde değiştirebileceği göz önünde bulundurularak, sürekli güncellenen dinamik bir RSSI haritası oluşturma yoluna gidilmiştir. Çalışmada hedefin konumu değiştiğinde referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri güncellenerek hesaplamalar yeni RSSI değerleri üzerinden yapılmaktadır. Çalışmanın sonucunda LANDMARC'a göre doğruluk oranında artış gözlenmiştir (Hsu vd. 2009).

Polito ve arkadaşları tarafından referans taşıyıcılarının yakınlığını tespit etmede kullanılan iki boyutlu (2B) yoğun bir harita oluşturmak için RSI (RSSI değerlerinin konumsal enterpolasyonu) algoritması geliştirilmiştir. 9,6 m x 4,8 m'lik bir alanda gerçekleştirilen çalışmada, % 90 olasılıkla 2,5 m hata ile doğruluk elde edilmiştir. Referans taşıyıcıları arasındaki mesafe 60 cm ile 180 cm arasında değişirken RSI algoritması ile gerçekleştirilen çözümde, doğruluk için 2,5 m ile 6 m arasında değişiklik gözlenmiştir. Yazarlar çok sayıda okuyucu ve taşıyıcıya ihtiyaçlarının olduğunu, sinyalin yayılımı ile ilgili problemlerin oluştuğunu ve sistemin çalışabildiği en uygun parametrenin belirlenmesinin zor olduğunu belirtmişlerdir (S. Polito vd. 2007).

K. Sue ve arkadaşları tarafından FLEXOR (Flexible Localization EXploits Rfid / RFID'den faydalanarak esnek konumlandırma) adını verdikleri bir çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen çözümde altıgen şeklinde sınır taşıyıcılar olarak isimlendirilen özel bir referans taşıyıcı düzeni oluşturulmuş ve her altıgen bölgenin içine bir tane hücre taşıyıcı olarak isimlendirilen bir referans taşıyıcı daha yerleştirilmiştir. Bu sayede LANDMARC yöntemine göre hesaplama yükü azalarak konum bilgisi hususunda bölgesel veya koordinatsal olmak üzere esnek iki farklı konumlandırma sistemi sunulmuştur. Hedef taşıyıcının RSSI değerleri hücre taşıyıcılar ile kıyaslanarak hedefin içinde bulunduğu bölge tespit edilmiştir. Hedefin koordinat hesaplaması yapılırken, içinde bulunduğu bölgeye ait sınır taşıyıcılarından hedefe en yakın ikisi seçilerek konum tahmini yapılmaktadır. 49 m<sup>2</sup> lik alanda 64 referans taşıyıcı kullanılarak yapılan çalışmada 1 m hata ile doğruluk elde edilmiştir. Yine 9 m<sup>2</sup> lik alanda 16 referans taşıyıcı ile yapılan ikinci bir çalışmada ise 0,4 m hata ile doğruluk elde edilmiştir (K. Sue vd. 2006).

Problemi üç boyutlu (3B) olarak ele alan Khan ve Antiwal 10 m x 10 m x 10 m lik alanda 3 okuyucu ve 11 referans taşıyıcı ile simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bildirilen ortalama hata değeri 0,5 m olarak belirtilmiştir (M.A. Khan ve V.K. Antiwal 2009).

Huang ve arkadaşları tarafından Bayes tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Bayes tabanlı bu algoritma hedefin en olası yerini bulabilmek için belirli bir olasılık modeli kullanılmaktadır. Ancak mesafe ölçümlerindeki hatanın artması konum belirlemedeki doğruluğun azalmasına sebep olmaktadır. Çevresel değişikliklerin neden olabileceği RSSI değerlerindeki

değişimleri engellemek için ek bir algoritma kullanmışlardır. Bu iki algoritmanın simülasyon sonuçları % 60 olasılıkla 0,5 m ile 1 m hata aralığında doğruluk ile sonuçlanmıştır (Y. Huang vd. 2008).

X. Wang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bir hedef taşıyıcının konumu k-NN algoritması ile tahmin edildikten sonra hedef taşıyıcı ve k en yakın komşuları bir dizi içerisinde saklanmıştır. Sonra bu dizi içerisindeki her referans taşıyıcısının konumu, diğer referans taşıyıcıları ve konumu tahmin edilen hedef taşıyıcı üzerinden hesaplanarak hata değeri elde edilmiştir. Dizi içerisindeki her bir referans taşıyıcısı için hesaplanan hata değerlerinin ortalaması alınarak, hedef taşıyıcının hesaplanan konum değerine eklenmiştir. Testler 5 m x 10 m'lik bir alan içerisinde 4 okuyucu ve 16 taşıyıcı ile yapılmış ve 1 m hata ile doğruluk değeri elde edilmiştir (X. Wang vd. 2009).

Jin ve arkadaşları yakınlık ve üçgenleme yöntemlerini kullanarak daha verimli bir çözüm önermişlerdir. LANDMARC yöntemine benzer şekilde k en yakın komşuluk algoritması ile hedefin konumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Referans taşıyıcıların konumları üçgenleme yöntemi ile hesaplanarak bilinen gerçek konularına göre tahmini hata değerleri bulunmuştur. Yakınlık yöntemi kullanılarak ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama hata değerleri hedef taşıyıcının LANDMARC yöntemi ile hesaplanan konum değerine eklenmiştir. 6 m x 8 m'lik alanda 4 okuyucu ve 20 referans taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada 0,7 m hata ile doğruluk değeri elde edilmiştir (G. Jin vd. 2006).

Referans taşıyıcıların kullanımı LANDMARC yönteminin en temel özelliğidir. Gerçek dünyaya uygulanabilirliği düşünüldüğünde referans taşıyıcıların sayısının artması hesaplama yükünün artmasına ve hesaplama süresinin uzamasına sebep olacaktır. Aynı zamanda maliyetin artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Huang ve arkadaşları farklı bir dağılım sistemi önermişlerdir. Referans taşıyıcıların LANDMARC ve LANDMARC tabanlı birçok çalışmada dörtgenel olarak dağılım göstermesine karşı çıkararak hatayı büyüten nedenlerden birinin referans olarak dört taşıyıcının seçilmesinden kaynaklandığını söylemişlerdir. Bu doğrultuda çalışmada üçgenel bir dizayn ile referans taşıyıcılar konumlandırılarak %90 olasılıkla 1,4 m ile 1,6 m aralığında hata ile doğruluk elde edilmiştir (Y. Huang vd. 2009).

Konumu tahmin edilen nesnenin hareketini belirlemek için kalman filtresi uygulanmıştır (Bekkali vd. 2007). Takip edilen nesnenin insan olması ve insanın dielektrik yapısından ötürü sinyali soğurması nedeniyle RSSI değerlerini etkilemesinden yola çıkılarak gölgelendirme etkisine dayalı konum tahmin sistemi gerçekleştirilmiştir (Toplan ve Ersoy 2012). Toplan ve Ersoy tarafından yapılan çalışmada odanın tavanına yerleştirilmiş bir okuyucu ve zemine yerleştirilmiş 20 taşıyıcı kullanılmıştır. Takip edilmek istenen kişi oda içerisinde hareket etmeye başladığında üzerinde bulunduğu taşıyıcıyla, RFID okuyucu arasındaki sinyal iletişimini azalttığı gözlenmiştir. Bu durumdan faydalanılarak geliştirilen sistemde, belirli sıklıkla RFID okuyucu tarafından okunan taşıyıcıların RSSI değerlerindeki azalma baz alınarak o bölgede bir kişinin varlığından söz edilmiştir. Yaşlı takibi amaçlı bu çalışmada 2 m x 2,5 m lik bir oda içerisinde 0,5 m hata ile konum tespiti gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu yöntemlerden farklı olarak okuyucuların güç yönetimiyle konum tahmini yapan yöntemler de vardır. Yine referans taşıyıcılar kullanılan bu sistemlerde okunabilirliği belirli bir güç seviyesiyle sınırlandırılmış taşıyıcılar, o alt sınırdaki güç seviyesinde belirlenebilen RFID taşıyıcıları ile yakın konumda oldukları varsayılarak çıkarımlar yapılmıştır (Bouet ve Pujolle 2008).

#### 4. Sonuçlar

RFID ile kapalı mekan konum belirleme çalışmaları, kapalı mekanlarda taşıyıcıların ya da okuyucuların kesin konumlarının tespit edilmesi fikriyle sürmektedir. Kapalı mekanlarda GNSS sistemlerinin kullanılamaması bu tip sistemlere olan ilgiyi ve ihtiyacı arttırmıştır. Devasa yapıları ile küçük şehirleri andıran alışveriş kompleksleri ve benzeri yapılardaki navigasyon uygulamaları bu tür sistemlerin başlıca kullanım alanlarıdır. Günümüz modern şehirlerinde çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binalar, alışveriş ve sosyal yaşam birleşkeleri rahatlık yanında ziyaretçilerin takip edilmesi, güvenlik unsurlarının takibi ve sevki, adres belirleme, yangın, deprem, sel gibi doğal afetlerde kişilerin hızlı ve etkin bir biçimde tahliyesi gibi çözüm bekleyen konuları da gündeme getirmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında kapalı mekanlardan RFID okuyucu ve taşıyıcı sistemleri ile yapılan konum belirleme çalışmaları oldukça etkin sonuç vermiş ve problemlerin bir kısmına çözüm olmuştur. Bu ve benzeri konum belirleme çalışmalarında temel sorun RFID okuyucu ile taşıyıcı arasında ki sinyal/cevap ilişkisinin çok parametrelidir (RSSI, metal yoğunluğu, mekanın fiziksel boyutu, mekanın açık, kapalı ya da yarı açık olması, okuyucu yoğunluğu, taşıyıcı yoğunluğu vb.) bir sistem tarafından etkilenmesidir. Yapılan çalışmalar göze alındığında taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu sistemlerin literatürde daha az incelendiği görülmektedir. Bunun kesin nedeni açık olmamakla birlikte, ana neden okuyucu sayısının artması ile maliyetlerin katlanmasıdır. Taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu sistemlerde maliyet nispeten oldukça düşük kalmaktadır. Bu ikinci sistemde konumsal doğruluğu arttırmak için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda taşıyıcıların yoğunluğunun artırılması ile konumsal doğruluğun artacağı açıkça ortaya konmuş buna karşılık taşıyıcı yoğunluğu arttıkça hesap yükünün de artacağı da belirtilmiştir. Okuyucu ile taşıyıcı arasındaki çok parametrelidir denkleme iç mekanlardaki eşyaların RSSI'ya olumsuz olarak etki ettikleri vurgulanmış eşyaların yerlerinin değişmesinden kaynaklanan olumsuz etkinin azaltılması için sinyal gücüne dayalı radyo haritası çıkartılması (bu sistem daha önceden belirlenmiş konumlara koyulan taşıyıcıların RSSI değerleri üzerinden konumsal parametrelerin yeniden hesaplanmasına dayanır) önerilmiştir. Mekanın fiziksel özellikleri, literatürde kapalı, yarı açık ve tipik bir üniversite dersliği olarak incelenmiştir, iç mekanlarda konum tahmini üzerine etkili olduğu ortaya konmuş ve en yüksek başarımın açık ve az eşyalı mekanlarda elde edildiği de vurgulanmıştır. Bu bağlamda literatür ışığında, başarılı bir iç mekan konum belirleme

uygulamasının, taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu, anlık radyo haritalamasına bağlı olarak konumsal parametrelerin yeniden hesaplandığı dinamik sistemlerle yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, bu şekilde çoklu parametrelerin bulunduğu, tek anlamlı çözümlerlerin ise yapılmasının pek mümkün olmadığı, doğası gereği argümanların çoklu ve değişken olduğu sorun sistemlerinde, yapay zeka ve genetik çözüm yollarının da tartışmaya açılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca RSSI tabanlı sistemlerde RFID tek olası çözüm gibi görülse de okuyucu ve taşıyıcı maliyetlerin çok düşük olduğu Bluetooth sistemler de hibrit modeller kurularak araştırılması gereken konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma için maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna (Proje no: 112Y050) teşekkürü bir borç biliriz.

## Kaynaklar

- Bechteler, T. and H. Yenigun, (2003), *2-D localization and identification based on SAW ID-tags at 2.5 GHz*, Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 1584–1590.
- A. Bekkali, H. Sanson, and M. Matsumoto, (2007), *RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and kalman filtering*, In Proc. of WiMOB.
- Bouet, M. and G. Pujolle, (2008), *A range-free 3-D localization method for RFID tags based on virtual landmarks*, Personal Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on, 1–5.
- Byoung-Suk Choi, Joon-Woo Lee, Ju-Jang Lee and Kyoung-Taik Park, (2011), *A Hierarchical algorithm for Indoor mobile robot localization using RFID sensor fusion*, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 58(6), 2226–2235.
- Candy, J., (2008), *Indoor location techniques for mobile location-based indoor GIS applications*. <http://giswww1.bcit.ca/georanger/find-indoor-loc.htm>, [Erişim 1 Nisan 2013]
- Dziadak K., Kumar B., Sommerville J., (2009), *Model for the 3D location of buried assets based on RFID technology*, J.Comp. Civil Eng., pp. 148–159
- ERA BUILD, (2006), *Review of the current state of Radio Frequency Identification (RFID) technology*, its use and potential future use in construction, pp. 1–100.
- Finkenzeller, K., (2003), *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification 2nd ed.*, Rachel Waddington, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, 1-393.
- Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., (2004), *Mapping and localization with RFID technology*, Robotics and Automation. Proceedings. ICRA '04. IEEE International Conference on, 1, 1015–1020.
- Han SS, Lim HS, Lee JM., (2007), *An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system*. IEEE Trans. Ind. Electron. 54:3362–9.
- Hightower, J. and G. Borriello, (2000), *SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength*, IEEE International Conference on Computational Science and Engineering.
- P.W. Hsu, T.H. Lin, H.H. Chang, Y.T. Chen, C.Y. Yen, Y.J. Tseng, et al., (2009), *Practicability study on the improvement of the indoor location tracking accuracy with active RFID*, in: Proceedings of the 2009 WRI International Conference on Communications and Mobile Computing, IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 165–169.
- Y. Huang, Z. Lui, G. Ling, (2008), *An improved Bayesian-based RFID indoor location algorithm*, in: Proceedings of the 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSSE 2008), IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 511–514.
- Y. Huang, S. Lv, Z. Liu, W. Jun, S. Jun, (2009), *The topology analysis of reference tags of RFID indoor location system*, in: Proceedings of the 2009 3rd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST), IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 313–317.
- G. Jin, X. Lu, M. Park, (2006), *An indoor localization mechanism using active RFID tag*, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2006 II Taichung, Taiwan, pp. 40–43.

- M.A. Khan, V.K. Antiwal, (2009), *Location estimation technique using extended 3-D LANDMARC algorithm for passive RFID tag*, in: Proceedings of the 2009 IEEE International Advance Computing Conference (IACC 2009), IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 249–253.
- Khong, G., White, S., (2005), *Moving right along: Using RFID for Collection Management at the Parliamentary Library*, Information-Online 12 th Exhibition & Conference, Sydney, 1-12.
- Lee H.J., Lee M.C., (2006), *Localization of mobile robot based on radio frequency identification devices*. In: SICE-ICASE, international joint conference, October. p. 5934–9.
- Lemieux, N., (2009), *Reading course on Indoor Location Systems*. <http://www.csd.uwo.ca/~nplemieu/readingCourse/IndoorLocationReadingCourse.html>, [Erişim 19 Şubat 2013]
- Nan li, B. Becerik-Gerber, (2011), *Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment*, Advanced Engineering Informatics 25 535–546
- X. Luo, W.J. O'Brien, C.L. Julien, *Comparative evaluation of Received Signal- Strength Index (RSSI) based indoor localization techniques for construction jobsites*, Adv. Eng. Inform., in press.
- Manish, B., Shahram, M., (2005), *RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems*, Prentice Hall PTR, USA, 24–29.
- Ni, L. M., Y. Liu, Y. C. Lau and A. P. Patil, (2004), *LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID*, Wireless Networks, 701–710.
- A. Papapostolou, H. Chaouchi, (2011), *RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance*, Journal of Network and Computer Applications 34 902–913
- S. Polito, D. Biondo, A. Iera, M. Mattei, A. Molinaro, (2007), *Performance evaluation of active RFID location systems based on RF power measures*, in: Proceedings of the 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'07), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Athens, Greece.
- A. Pradhan, E. Ergen, B. Akinci, (2009), *Technological assessment of radio Frequency identification technology for indoor localization*, J. Comp. Civil Eng. 23, 230–238.
- R. Silva, P.A. Goncalves, (2009), *Enhancing the efficiency of active RFID-based indoor location systems*, in: Proceedings of the 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2009), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Budapest, Hungary.
- Stelzer A., Pourvoyeur K., Fischer A., (2004), *Concept and application of LPM — a novel 3-D local position measurement system*. IEEE Trans. Microwave Theory Techniques; 52(12):2664–9.
- K. Sue, C. Tsai, M. Lin, (2006), *FLEXOR: a flexible localization scheme based on RFID*, in: Proceedings of the International Conference on Information Networking (ICOIN 2006), Springer Verlag, 3961 LNCS Sendai, Japan, pp. 306–316.
- Toplan, E., Ersoy, C., (2012), *Yaşlı takibi amaçlı RFID tabanlı bina içi konum belirleme*, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU),
- Wang C, Wu H, Tzeng NF., (2007), *RFID-based 3-D positioning schemes*, In: IEEE INFOCOM, p. 1235–43.
- L. Wang, Y. Lin, P.H. Lin, (2007), *Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction*, Adv. Eng. Inform. 21, 377–390.
- X. Wang, X. Jiang, Y. Liu, (2009), *An enhanced approach of indoor location sensing using active RFID*, in: Proceedings of the 2009 WASE International Conference on Information Engineering (ICIE), IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 169–172.
- Xu B., Gang W., (2006), *Random sampling algorithm in RFID indoor location system*. In: IEEE international workshop on electronic design, test and applications (DELTA'06).
- Yamano K, et al., (2004), *Self-localization of mobile robots with RFID system by using support vector machine*. In: Proceedings of 2004 IEEE WRSI international conference on intelligent robots and systems, Sendai, Japan.
- K. Yu, C. Liao, M. Lee, H. Lin, (2009), *Design and implementation of a RFID based realtime location-aware system in clean room*, in: Proceedings of the 2009 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA 2009), IEEE Computer Society, Chengdu, Sichuan, China, pp. 382–388.
- T. Zhang, Z. Chen, Y. Ouyang, J. Hao, Z. Xiong, (2009), *An improved RFID-based locating algorithm by eliminating diversity of active tags for indoor environment*, Comput. J. 52, 902–909.



- Zhao, Y., Y. Liu and L. Ni, (2007), *VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination*, Parallel Processing. ICPP 2007. International Conference on, 56.
- Z. Zhen, Q. Jia, C. Song, X. Guan, (2008), *An indoor localization algorithm for lighting control using RFID*, in: Proceedings of the 2008 IEEE Energy 2030 Conference (ENERGY 2008), Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society, Atlanta, GA, United states.
- J. Zhou, J. Shi, (2011), *A comprehensive multi-factor analysis on RFID localization capability*, Adv. Eng. Inform. 25, 32–40.