

Beacon Temelli Sanal Etiket Uygulaması

Virtual Tag Application Based on Beacon

Fidan Kaya GÜLAĞIZ^{1*}, Furkan GÖZ², Edip ŞAHİN³, Muhammet Samet ALBAYRAK⁴,

Adnan KAVAK⁵

Özet- Hızla gelişen teknoloji hayatımıza büyük kolaylıklar getirmektedir. Bunlardan bir tanesi de akıllı telefonlardır. Akıllı telefonlar her geçen gün hayatımıza daha fazla dahil olmaktadır ve akıllı telefonlara olan ihtiyaç artmaktadır. Yapılan çalışmada akıllı telefonlar ve Beacon teknolojisi kullanılarak belirli mesafeler içerisindeki eşyaların yerinin tespit edilmesini sağlayacak bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile insanların hayatlarını kolaylaştıracak ve aynı zamanda zaman kaybını azaltacak teknolojik bir çözüm sunulmuştur. Uygulamanın etkinliği hem kapalı hem de açık ortamlarda test edilmiştir ve her iki ortamda da doğru sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Bluetooth 4.0, Beacon, Android, Konum Tespiti

Abstract- Rapid developments in technology bring significant benefits to our life. One of them is smartphones. Smartphones are involved to our life more than before and need of them increases day by day. In this paper, an application that will provide you to find the location of objects within certain distance is developed using smartphones and Beacon technology. Life of people will be easier via this application and it will be technological solution that reduces loss of time at the same time. Efficiency of this application are tested both indoor and outdoor environments and it is observed accurate results in not only outdoor but also indoor environments.

Keywords- Bluetooth 4.0, Beacon, Android, Location Detection

I. GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojinin hayatımıza getirdiği birçok kolaylık vardır. Günümüzde akıllı telefonlar bu kolaylıklar için kullanılan en önemli araçlardan biri haline gelmiştir. İnsanlar bugün birçok ihtiyacını akıllı telefonları aracılığıyla karşılamaktadır. Ancak kullanımı hızla artmaya devam eden akıllı telefonlardan insanların beklentisi de artmaktadır. Cihazların birbiriyle iletişim kurmasını sağlayan kablosuz iletişim teknolojisi Bluetooth bu amaçla geliştirilmeye devam eden teknolojilerden bir tanesidir. Düşük enerji tüketimini amaçlayan BLE (Bluetooth Low Energy) teknolojisi de bu gelişimin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. BLE teknolojisini kullanan pek çok cihaz ve bu teknolojiyi temel alan pek çok yeni teknoloji bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de Beacon teknolojisidir. Beacon, BLE teknolojisini kullanarak konum bilgisi sağlayan bir teknolojidir. Beacon teknolojisini kullanan bir cihazın yaymış olduğu BLE sinyalleri kullanılarak konum bilgilerine erişimi sağlanabilmektedir. Mesafeye bağlı olarak cihazlara ulaşan bu teknoloji, etkileşime geçtiği cihazlara istenilen bilgileri iletebilir. Beacon teknolojisi iç mekan navigasyonu, yakın pazarlama, otomatik check-in, temassız ödeme gibi farklı alanda konum tespiti için kullanılabilir ve son zamanlarda, bu konuyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Tomoya ve arkadaşları belirlenen bir cihazın odada olup olmadığını tespit eden bir metot geliştirmişlerdir. Bir odanın çevresine yerleştirilen çok sayıda Beacon cihazlarının RSSI değerlerindeki değişim gözlemlenmiş ve bu değerlere bakarak cihazın yerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada cihazın yeri 2,4 metre hata oranı ile tespit edilmiş olup cihazın odada bulunup bulunmadığı bilgisine doğru bir şekilde ulaşılmıştır [1]. Shota ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yoklama sistemi geliştirilmiştir. Bu uygulamada öğretmenin dersi alan öğrencilere yetki vermesiyle öğrenciler akıllı telefonlarından sisteme kayıt olabilmektedir. Yetkisi dışında biri sınıfa girdiğinde öğretmen bunu telefonundan fark edebilmektedir. Geliştirilen sistem sayesinde kolaylıkla yoklama alınabilmekte ve kopyanın önüne geçilebilmektedir [2]. Mounira ve arkadaşları çocukların kaçırılmasını engellemek amacıyla kapalı ve açık ortamlarda çocuk takip sistemi geliştirmişlerdir.

*Sorumlu yazar iletişim: fidan.kaya@kocaeli.edu.tr

^{2,3,4,5}İletişim: furkan.goz@kocaeli.edu.tr, edpsahn@gmail.com, sametalbayrak34@gmail.com, akavak@kocaeli.edu.tr

^{1,2,3,4,5}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi

Akıllı telefonlarda çalışan bu sistem açık alanlarda GPS kullanırken kapalı ortamlarda GPS'in yetersiz kalmasından dolayı Beacon teknolojisi kullanılmaktadır [3]. Moonok ve arkadaşları ise akıllı ofis enerji yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Çalışma odasında bulunan ışık, bilgisayar, ekran gibi enerji gerektiren araçların enerji tüketimini azaltmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada ofisin çeşitli yerlerine Beacon cihazları yerleştirilmiş ve mobil uygulama aracılığıyla kişinin ofise girip girmediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Kişinin ofise girmesi ya da ofisten çıkmasına göre otomatik güç tüketim modu çalışmaktadır. Bu şekilde enerji tüketimi en alt seviyeye getirilmeye çalışılmıştır [4]. Xin-Yu ve arkadaşları ise hasta takip sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem doktorun acil durumlarda hastanın yerini tespit edebilmesi üzerine kurulmuştur. Mobil ve web ortamlarında çalışabilen bu uygulamayı aynı zamanda hasta da temel bilgilerini görüntülemek için kullanabilmektedir. Geliştirilen konum tespit algoritmasında hastaların konumu %97.2 başarı oranı ile tespit edilebilmiştir. Bu oran hastanın konum tespiti için yeterli görülmektedir [5].

Yapılan çalışmada belirli mesafedeki eşyaların yerinin kolaylıkla tespit edilebilmesi için Beacon teknolojisini kullanan bir uygulama geliştirilmesi ve geliştirilen uygulamanın konum tespiti konusunda etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama mobil platform temelli olarak geliştirilmiştir. Uygulama ile Beacon etiketlerindeki RSSI değerlerine bakarak nesnelerin konumu tespit edilebilmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir; II. Bölümünde Beacon teknolojisinden detaylı olarak bahsedilmiştir. III. Bölümde sistemin mimarisi, IV. bölümde ise deneysel sonuçlar verilmiştir. Çalışmanın sonuçları ve literatüre olan katkısı da V. Bölümde verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

II. BEACON TEKNOLOJİSİ

Bluetooth teknolojisi günlük hayatımızda kısa mesafede kablosuz iletişim için kullanılan en verimli iletişim araçlarından biridir. Bu teknoloji ilk kez SIG (Special Interest Group) isimli grup tarafından 1998 'de geliştirilmiştir. Bu grup Erickson, Nokia, Intel, IBM ve Toshiba gibi şirketler tarafından oluşturulmuştur [6]. Bluetooth teknolojisi ile fiziksel kablolar ile iletişime alternatif bir çözüm sunulmuştur. Böylece kızılötesi, mikro ya da radyo dalgaları ile iletişim sağlanmıştır. Bluetooth teknolojisi 802.11 b/g kablosuz ağ standardını kullanmaktadır ve 2,4GHz radyo sinyalleri ile çalışmaktadır. Bluetooth ile ses ve veri iletimi yapılabilmektedir ve Bluetooth destekli cihazlar 24 Mbps'ye kadar veri aktarabilmektedirler. Bu cihazların etkinlik mesafesi ise 10 ile 100 metre arasında değişmektedir [7].

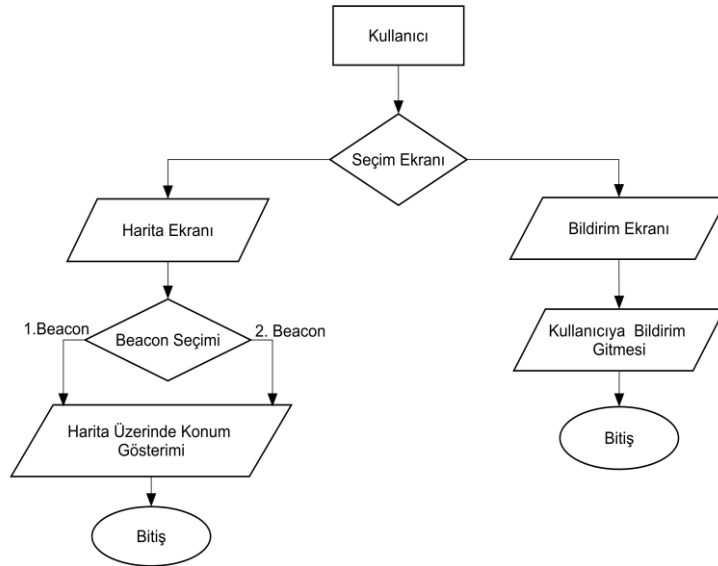
Bluetooth teknolojisi her geçen gün biraz daha geliştirilmektedir. 2010 yılında ortaya çıkan Bluetooth 4.0 ile bu teknoloji yeniden isimlendirilmiştir ve BLE (Bluetooth Low Energy) olarak adlandırılmıştır. BLE ile daha düşük bant genişliği ve daha düşük üretim maliyetleri ile teknolojinin yenilenmesi sağlanmıştır. Böylece daha düşük enerji tüketimi ile cihazlar arasında sabit bağlantı kurulmasına gerek duyulmadan veri aktarımları yapılabilir hale gelmiştir [8]. Bluetooth teknolojisi ile BLE teknolojisinin temelde üç önemli farkı bulunmaktadır. Bunlar; pil tüketimi, sabit eşleştirme ve yeniden eşleştirme olarak sıralanabilir. BLE teknolojisi kısa zaman dilimlerinde küçük boyutlarda veri aktarımları için tasarlanmıştır. Bluetooth'un eski sürümlerinde olduğu gibi uzun süreli veri aktarımlarını desteklemez ve kısa zaman dilimlerinde birkaç baytlık veri aktarımı gerçekleştirir. Böylece kullanılmayan durumlarda uyku moduna geçilmesini sağlayarak enerji tüketimini gerçekleştirmektedir. Son zamanlarda BLE teknolojisinin gelişmesiyle ortaya çıkan ve BLE teknolojisini kullanarak iletişim kuran yeni bir cihaz ortaya çıkmıştır. Bu cihaz Beacon olarak adlandırılmaktadır.

Beacon, BLE sinyalleri ile iletişim kuran kablosuz bir cihazdır. Beacon ile BLE teknolojisini kullanan bir cihaz arasındaki iletişim tek yönlü olarak gerçekleştirilmektedir ve genelde bu iletişim amacı konum bilgisine bağlı olarak karar vermeyi sağlamaktır [9]. Beacon'lar ile iletişim için kullanılan beş farklı bileşen bulunmaktadır. Bunlar UUID (Universally unique identifier), major ve minor, RSSI (Received signal strength indicator) ve Mpower (Measured power) olarak sıralanabilir [10]. UUID, 128 bit uzunluğunda bir veri parçasıdır ve Beacon ağını tanımlamak için kullanılır. Major değeri 16 bit uzunluğunda işaretli bir tamsayı değeridir. Tüm Beacon ağında yer alan küçük bir grubu tanımlamak için kullanılır. Minor, değeri de 16 bit uzunluğunda işaretli bir tamsayıdır ve Beacon cihazlarını ayırt etmek için kullanılır. Dolayısıyla her cihaz için ayrı bir minor değeri olmak zorundadır. RSSI, Beacon ile eşleşmiş olan cihazdan alınan sinyal gücünü tanımlamak için kullanılmaktadır. BLE sinyalinin ne kadar güçlü ya da ne kadar zayıf olduğuna bakarak tahmini uzaklığı hesaplamayı sağlamaktadır. Mpower değeri de bir metrelik bir mesafe için beklenen RSSI değerini tanımlamaktadır. Bu değer her Beacon için üretici firma tarafından belirlenmektedir ve sabit bir değerdir.

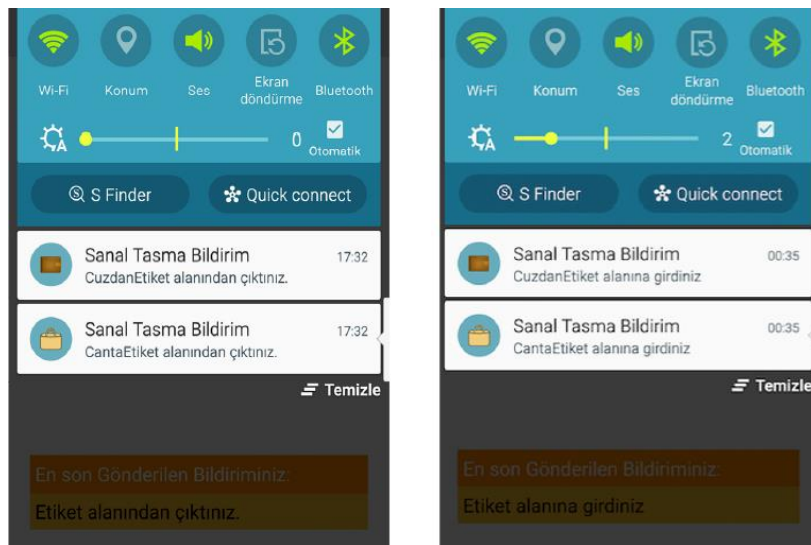
Beacon teknolojisi sağlık, eğitim kurumları, kamusal alanlar, ulaşım, müzeler, restoranlar, oteller gibi hayatımızda önemli bir yere sahip olan pek çok alanda kullanılabilir. Bu çalışmada da herhangi bir ortamda Beacon etiketlerini kullanarak yanımızda buldurmak istediğimiz ya da bizim için değerli olan eşyaların kontrolünü sağlayacak bir mobil uygulama geliştirilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen uygulama Android temellidir ve Beacon etiketine sahip cihazlar için belirli bir mesafe içerisinde kullanıcıların sesli ve görsel olarak uyarılmasını sağlayarak çalışmaktadır.

III. SİSTEM MİMARİSİ

Uygulamanın temel amacı Beacon etiketlerini kullanarak konum tespiti yapmaktır. Geliştirilen sisteme ait akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir. Uygulama ilk açıldığında çevredeki Beacon etiketlerinin tespitini yapmaktadır. Daha sonra kullanıcıya iki seçenek sunmaktadır. Bunlar bildirimlerin listelenmesi ve harita üzerinde gösterimi olarak sıralanabilir. Bildirim seçeneğinin seçilmesiyle kullanıcıya hem daha önce almış olduğu bildirimler hem de kapsama alanı içerisinde yer alan Beacon etiketlerine ait güncel bildirimler gösterilmektedir. Bildirim mesajında, mesaj hangi etiketten geliyor ise o etikete sahip cihaza ait bilgilerde yer almaktadır. Etiketten gelen sinyalin kesilmesi durumunda ise kullanıcıya etiket alanından çıktığına dair bir bildirim gönderilmektedir. Yine bu bildirimde de hangi eşyanın etiket alanından çıktığına dair detaylı bilgi de bulunmaktadır. Şekil 2’de her iki duruma ait bildirim örnekleri gösterilmiştir. Etiketlerin konum tespiti mesafesi kapalı alanlarda 50 metre, açık alanlarda ise 60 ile 70 metre aralığındadır.



Şekil 1. Beacon uygulaması genel akış diyagramı.



Şekil 2. Bildirim menüsü örnek ekran görüntüleri.

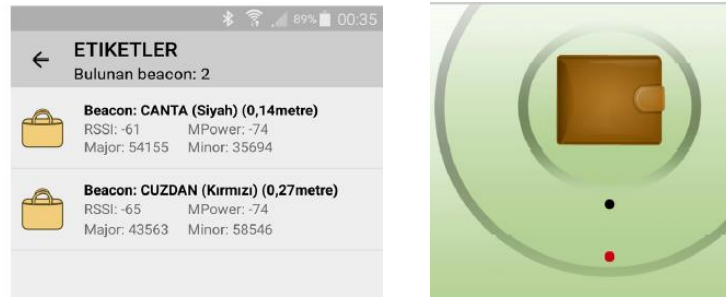
Uygulama ilk açıldığında kapsama alanı içerisinde bulunan Beacon cihazlarının tespit edebilmek için bir metot çalıştırmaktadır. Bu metot içerisinde bölgede yer alan Beacon cihazlarının bilgilerinin listesi gelmektedir. Daha sonra her bir Beacon cihazı sahip olduğu majör değerine göre ayırt edilmektedir. Major değeri bir ID değeridir ve benzersiz bir değerdir. Burada Beacon cihazlarının kullanıcıya (cep telefonuna) olan mesafesinin hesaplanabilmesi için başka bir metot kullanılmaktadır. Kullanılan metoda ait pseudo kod Şekil 3’ de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar Beacon cihazından alınan rssi ve güç değerlerine göre yapılmaktadır. Nesnelere Beacon etiketlerinin kapsama alanından çıktığında da farklı bir metot kullanılarak kullanıcıların bildirilerle bilgilendirilmesi sağlanmıştır.

```
Girdi: txPower, rssi
Çıktı: uzaklık

If rssi değeri sıfır ise
    Beacon ulaşılabılır bir alanda değildir.
Else
    Uzaklığı metre cinsinden hesapla
    If uzaklık bir metreden küçükse
        Nesnenin yakında olduğuna dair bildirimde bulun.
    Else
        Nesneye olan uzaklığı tam olarak hesapla ve uzaklık bildirimini yap
```

Şekil 3. Nesneye olan uzaklığın belirlenmesine ilişkin pseudo code.

Uygulamada bildirim seçeneğine alternatif olarak konum tespiti için kullanılacak diğer yöntemde harita üzerinde gösterimdir. Bu gösterim sadece 6 metreye kadar uzaklığa sahip cihazlar için konum tespiti yapabilmektedir. Harita üzerinde gösterim seçeneği seçildiğinde kullanıcının karşısına bir sonar ekranı çıkarılmaktadır. Sonar ekran görüntüsü Şekil 4’ de gösterilmiştir. Bu ekranda dört çizgi bulunmaktadır. Bu çizgilerden ilki 0,3 metrelik mesafeyi, ikinci çizgi 2 metrelik mesafeyi ve son çizgi de 6 metrelik mesafeyi temsil etmektedir. Altı metrelik mesafe içerisinde yer alan herhangi bir Beacon cihazının listeden seçilmesi durumunda harita üzerinden yakınlığı gözlemlenebilecektir.



Şekil 4. Harita gösterimi menüsü örnek ekran görüntüleri.

IV. DENEYSSEL SONUÇLAR

Geliştirilen uygulamanın konum tespitini ne kadar doğru olarak gerçekleştirdiğini tespit edebilmek için farklı ortamlarda testler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’ de hem kapalı alanda yapılan ölçüm sonuçları hem de açık alanda yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde küçük mesafeler için yapılan ölçüm sonuçlarının kapalı alanlarda, açık alanlara göre daha zayıf olduğu tespit edilmiştir. Kapalı alanda sinyal alınabilen en uzak mesafe 6.28 metre olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda 3 metrelik mesafeden itibaren Beacon etiketinden alınan sinyaller yavaşlamıştır ve 3 metre ile 6 metre aralığında alınan sinyallerin zayıf sinyaller olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Ölçüm yapılan açık alana ve kapalı alana ait görüntüleri

Ölçüm yapılan açık ortam Şekil 5 (a) ve kapalı ortam ise Şekil 5 (b) ile gösterilmiştir. Açık ortam olarak Kocaeli Üniversitesi otoparkı ve kapalı ortam olarak ise Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yer alan bir laboratuvar seçilmiştir. Açık ortam olarak otopark seçilmesinin sebebi oluşacak yansımaların önüne geçebilmektir. Kapalı ortamda oluşabilecek yansımaları önleyebilmek için herhangi bir işlem yapılmamıştır. Bunun sebebi de doğal yaşam koşullarında ölçüm yapılmasının daha gerçekçi sonuçlar verecek olmasıdır. Her iki ortamda da genişlik olarak sinyal seviyelerinin doğru olarak analiz edilebileceği büyüklüktedir.

Tablo 1. Farklı alanlarda yapılan ölçümlere ait sonuçlar

Kapalı Alan Ölçüm Sonuçları		Açık Alan Ölçüm Sonuçları	
0,27 m	-65 dBm	0,02 m	-50 dBm
0,50 m	-69 dBm	0,32 m	-66 dBm
1,11 m	-75 dBm	0,36 m	-67 dBm
1,33 m	-77 dBm	0,51 m	-69 dBm
1,46 m	-78 dBm	1,32 m	-76 dBm
1,92 m	-81 dBm	1,78 m	-80 dBm
2,29 m	-83 dBm	2,30 m	-83 dBm
2,98 m	-86 dBm	4,38 m	-91 dBm
3,84 m	-89 dBm	4,99 m	-92 dBm
4,18 m	-90 dBm	5,38 m	-93 dBm
4,54 m	-91 dBm	5,70 m	-94 dBm
6,24 m	-95 dBm	5,72 m	-94 dBm
6,28 m	-95 dBm	6,24 m	-95 dBm

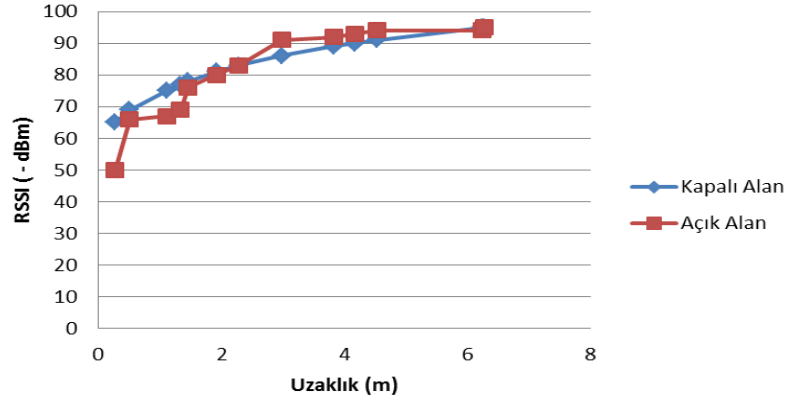
Açık alanlarda yapılan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde yakın mesafelerde RSSI sinyal değerlerinin çok büyük olduğu ve etiketlerin sinyalleri tam olarak tespit ettiği görülmüştür. Mesafe arttıkça RSSI sinyallerinin düştüğü görülmektedir. 2,5 metre ile 4,5 metre aralığında ise sinyal değerinde ciddi bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 4,5 metreden sonra sinyallere ait RSSI değerleri -89 ile -95 aralığında değişim göstermiştir.

Tablo 2. Kapalı ortamdaki bir saniye ara ile yapılan iki ölçüm arasındaki sapma miktarları

Gerçek Mesafe	Hesaplanan Mesafe	Sapma Değeri
1,0 m	1,0 m	0,1 m
2,0 m	2,2 m	1,1 m
3,0 m	3,2 m	0,9 m
4,0 m	3,3 m	0,9 m
5,0 m	3,6 m	1,6 m
6,0 m	6,7 m	2,0 m

Tablo 2' de kapalı alanda yapılan ölçümlere ait sapma miktarları verilmiştir. Sapma miktarları uygulama ekranında 1 ile 2 saniyelik zaman dilimlerinde anlık olarak değişen mesafe ölçümlerine göre hesaplanmıştır. Örnek olarak ölçüm yapılan bir kapalı ortamda bulunan eşyaların ve Beacon etiketinin bulunduğu yerin

konumuna göre ölçüm değeri ilk ölçümde 3,84 m iken 1 saniye sonra ölçüm değeri 4,54 metre olarak tespit edilebilmektedir. Böyle durumlar için sapma değerleri hesaplanmıştır. Sapma değerlerinin kapalı ortamda hesaplanmasının sebebi ise sinyallerin iletilirken odadaki duvar ya da farklı eşyalardan etkilenbilmesidir. Açık alan test ortamı olarak Kocaeli Üniversitesi seçilmiştir ve seçilen alanda altı metrelik mesafe içerisinde herhangi bir engel bulunmamaktadır. Bu sebeple sinyal değerlerinde sapma olmamıştır.



Şekil 6. Kapalı ve açık alana ait sinyal ölçümleri karşılaştırması.

Şekil 6’ da iki farklı ortamda yapılan ölçümlerin grafiksel bir karşılaştırması verilmiştir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler açık alan RSSI değerlerini, mavi ile gösterilen değerler ise kapalı alan RSSI değerlerini göstermektedir. Grafik incelendiğinde açık alanda yapılan ölçümlerin kapalı alanda yapılan ölçümlere göre çok düşük bir fark ile de olsa daha doğru olduğu görülmüştür. RSSI değeri verici cihaz tarafından gönderilen sinyalin alıcısındaki ölçülen değeridir ve bu değer sıfıra ne kadar yakınsa alınan sinyal de o kadar güçlü olacaktır.

V. SONUÇLAR

Yapılan çalışma ile yaygın olarak kullanılan mobil cihazlar için sanal bir etiket uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile nesnelerin konumu tespit edilmiştir. Yapılan testler ile bluetooth temelli Beacon etiketlerinin konum tespiti sırasında ne kadar etkili oldukları gözlemlenmiştir ve Beacon teknolojisinin konum tespitini daha doğru yapabilmesi için geliştirilmesi gerektiği gösterilmiştir.

Farklı ortamlarda yapılan test işlemleri sonucunda açık ortamda yapılan konum tespitinin kapalı ortamlara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak her iki ortamda da sinyallerin güçlü olarak alındığı mesafe 2,5 ile 3 metre uzaklığındadır. Konumu tespit edilmeye çalışılan eşyanın telefona olan uzaklığı 3 metreyi geçtiği anda alınan sinyallerde ciddi bir azalma gözlemlenmiştir. 3 metrelik bir mesafe günümüz teknolojisinin gelmiş olduğu durum göz önünde bulundurulursa konum tespiti için kısa bir mesafedir. Bu nedenle konum tespitinin daha doğru olarak yapılabilmesi için hem Beacon etiketlerinin hem de mobil cihazların bluetooth sensörlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Gerekli geliştirmelerin yapılması durumunda geliştirilen uygulama eşyaların konum tespiti konusunda faydalı ve etkili olacaktır. Böylece hem insanların yaşamlarını kolaylaştıracak hem de zaman tasarrufu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mori, T., Kajioka, S., Uchiya, T., Takumi, I., Matsuo, H., “Experiments of position estimation by BLE beacons on actual situations,” in *Proc. IEEE 4th Global Conference, 2015*, p. 638.
- [2] Noguchi, S., Niibori, M., Zhou, E., Kamada, M., “Student attendance management system with bluetooth low energy beacon and android devices,” in *Proc. IEEE NBIS, 2015*, p. 710.
- [3] Taileb, M., Wajdi, W., Hamdi, H., Al-Garni, G., Al-Sehri, S., Al-Marwani, M., “Children tracking system in indoor and outdoor places,” in *Proc. DAPI, 2015*, p.547.
- [4] Choi, M., Park, W., Lee, I., “Smart office energy management system using bluetooth low energy based beacons and a mobile app,” in *Proc. ICCE, 2015*, p. 501.

- [5] Lin, X., Ho, T., Fang, C., Yen, Z., Yang, B., Lai, F., “A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology,,” in *Proc. IEEE EMBC, 2015*, p. 4970.
- [6] Bisdikian, C., “An Overview of the bluetooth wireless technology”, *IEEE Communication Magazine*, vol. 39, pp. 86-94, Dec. 2001.
- [7] Chan, C. Y., *Bluetooth Technology*, Indian Institute of Technology, Madras, Software Engineering Project Report, 2004.
- [8] Siekkinen, M., Hienkari, M., Nurminen, K., Nieminen, J., “How low energy is bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4,,” in *Proc. WCNC Workshop, 2012*, p. 232.
- [9] Kumar, R, Kaur, J., “Efficient beacon placement for network tomography,,” in *Proc. IMC'04, 2004*, p. 181.
- [10] Mizukami, T., Naito, K., Doi, C., Nakagawa, T., Ohta, K., Inamura, H., Hishida, T., Mizuno, T., “Fundamental design for a beacon device based unconscious participatory sensing system”, in *Proc. IMECS, 2015*.