

## Beacon Tabanlı Mesafe Bilgisinin Ortam Şartlarına Göre Belirlenerek Üçgenleme Algoritmasıyla Test Edilmesi

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 10.11.2023

Kabul/Accepted: 12.05.2024

Yayımlandı/Published: 27.06.2024

### Determining Beacon-Based Distance Information According to Environmental Conditions and Testing with the Trilateration Algorithm

Recep ÇAKIR<sup>1\*</sup> , Serkan DOĞANALP<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, Türkiye

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

© Ayfon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Bluetooth teknolojisi son yıllardaki gelişimiyle oldukça kullanışlı hale gelmiştir. Özellikle Bluetooth Low Energy (BLE) bu alandaki en önemli gelişmelerden bir tanesidir. Daha az enerjiyle daha uzun süreli kaliteli veri alışverişi BLE'nin temel özelliğidir. BLE alt yapısı sağlık, spor, araç içi cihazlar, akıllı ev, pazarlama ve daha birçok alanda kullanılan elektronik cihazlarda bulunmaktadır. BLE alt yapısını kullanan Beacon teknolojisi de bu cihazlardan biridir. Beacon teknolojisi BLE alt yapısına sahip kullanıcıya tek taraflı veri ileten, diğer akıllı cihazlarla etkileşime giren basit, küçük, kablosuz cihazlardır. Bu teknoloji konum bilgisi ile de bütünleşik halde kullanılabilir. Beacon teknolojisinin konum bazlı kullanımında proximity (yakınlık), fingerprint (parmak izi), trilateration (üçgenleme) başta olmak üzere birçok konumlandırma algoritması geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Beacon teknolojisinin konum bazlı kullanımında Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi gerekir. Beacon teknolojisinde bu bilgi üretici firma tarafından kullanıcılara standart bir değer olarak sunulmakla birlikte kullanıcı bu mesafeyi ortam şartlarına göre de belirleyebilmektedir. Bu çalışmada Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin ortam şartlarına göre belirlenmesi amacıyla 6 farklı test planı gerçekleştirilmiştir. Testler 3x3 m'den 8x8 m'ye kare yerleşim planlarına göre yapılmıştır. Belirlenen mesafe bilgisi ile üçgenleme algoritmasının Beacon tabanlı kullanılabilirliği de bu test planları kullanılarak araştırılmıştır. Testler üçgenleme algoritması için en uygun Beacon saha yerleşimi baz alınarak yapılmıştır. Yapılan testlerin genelinde ortam şartlarına göre belirlenen mesafe bilgisi, üretici firma tarafından kullanıcılara sunulan standart mesafe bilgisinden daha iyi sonuç vermiştir. Üçgenleme algoritmasının Beacon tabanlı kullanımı için ise genel anlamda üretici firma tarafından sağlanan mesafe bilgisi daha iyi sonuç vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beacon, BLE, Üçgenleme, RSSI.

#### Abstract

Bluetooth technology has become very useful with its development in recent years. In particular, Bluetooth Low Energy (BLE) is one of the most important developments in this field. Longer quality data exchange with less energy is the main feature of BLE. BLE infrastructure is found in electronic devices used in health, sports, in-car devices, smart home, marketing and many other areas. Beacon technology, which uses the BLE infrastructure, is one of these devices. Beacon technology is a simple, small, wireless device with BLE infrastructure that transmits one-sided data to the user and interacts with other smart devices. In the location-based use of beacon technology, many positioning algorithms, especially proximity, fingerprint and trilateration, are developed and used. In location-based use of Beacon technology, the distance between the Beacon and the user must be determined accurately. In Beacon technology, this information is presented to users as a standard value by the manufacturer, but the user can also determine this distance according to environmental conditions. In this study, 6 different test plans were carried out to determine the distance between the Beacon and the user according to environmental conditions. The tests were carried out according to square layout plans from 3x3 m to 8x8 m. The beacon-based usability of the trilateration algorithm with the determined distance information was also investigated using these test plans. The tests were performed based on the most appropriate Beacon field placement for the trilateration algorithm. In most of the tests performed, the distance information determined according to the environmental conditions gave better results than the standard distance information provided to the users by the manufacturer. For Beacon-based use of the trilateration algorithm, the distance information provided by the manufacturer generally gave better results.

**Keywords:** Beacon, BLE, Trilateration, RSSI.

#### 1. Giriş

Çağımızda teknoloji hızlı bir şekilde gelişimini sürdürmektedir. Bu gelişimin bir parçası olan Bluetooth teknolojisi de insanların birçok alanda faydalandığı bir teknoloji olmakla birlikte Bluetooth kavramı farklı alanlardaki cihazları kablosuz olarak birbirine bağlama

düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. 1994 yılında Ericsson firması tarafından teknolojik cihazları birbirine bağlamak ve veri aktarmak için kullanılan kabloları değiştirmek için başlatılan çalışmanın ürünü olarak orijinal Bluetooth konsepti sunulmuştur. Böyle bir çalışmaya cevap verebilecek geniş bir pazar olması ve farklı üreticiler

tarafından üretilen cihazlarında bu teknolojiden yararlanma durumu bu alana ilgi duyan birçok şirketi bir araya getirmiştir (Andrew 2022). Bu amaçla 1997 yılında Ericsson, IBM, Nokia, Intel ve Toshiba şirketleri tarafından küresel anlamda kısa menzilli kablosuz iletişime çözüm geliştirmek ve teşvik etmek amacıyla Bluetooth Special Industry Group (SIG) kurulmuştur (Andrew 2022, Bisdikian 2001). Klasik anlamda Bluetooth teknolojisi ilerleyen yıllarda birçok alanda kullanılarak gelişimini sürdürmüş ve 2010 yılında SIG tarafından Bluetooth 4.0 versiyonu piyasaya sürülmüştür. Bu versiyonun alt yapısını oluşturan Bluetooth Low Energy (BLE), bu alandaki en önemli adımlardan biridir. Klasik Bluetooth yapısının aksine kontrol ve izleme uygulamalarıyla birlikte kısa mesafeli iletişim için az enerji tüketimini amaçlayan kablosuz bir teknolojidir (Gomez vd. 2012). Beacon teknolojisi de BLE alt yapısını kullanan bir teknoloji olup boyut olarak küçük, bir düğme ile açılıp kapatılabilen, pil, batarya veya harici bir güç kaynağı ile çalışabilen, düşük güç tüketen cihazlardır (Kohne ve Sieck 2014, Siekkinen vd. 2012). Günümüzde Beacon teknolojisi reklam, tanıtım, navigasyon başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Bir Beacon'ın aktif hale getirip kullanmak için Universally Unique Identifier (UUID), Major, Minor, Measured Power (MPower) ve Received Signal Strength Indicator (RSSI) değerini bilmek veya düzenlemek gereklidir. UUID değeri, her bir Beacon'ı tanımlamak için kullanılan 128 bitlik kimlik numarasıdır. Major değeri, oluşturulan bir Beacon ağında belirli bir grubu tanımlamak için kullanılan 16 bit değerinde işaretli bir tam sayıdır. Minor değeri, Beacon ağında oluşturulan belirli bir grup içindeki Beacon'ları ayırt etmek için kullanılan 16 bit değerinde işaretli bir tam sayıdır. MPower değeri, Beacon üreticisi firma tarafından belirlenen sabit bir değer olup ve bir metrelik mesafe için beklenen RSSI değerini tanımlamaktadır. RSSI, alınan sinyalin gücündeki değişimi ifade etmek için kullanılır. Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafe bu güç değişiminden yola çıkılarak hesaplanabilir (Kohne ve Sieck 2014, Allurwar vd. 2016, Gülağız vd. 2016).

Beacon için tanımlanan bu değerler, Beacon yazılım kütüphaneleri aracılığıyla görüntülenip kullanılabilir. Beacon üreticisi firma tarafından kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafeyi belirlemek için MPower değeri standart halde kullanıcılara sunulur. Birçok yazılımda TxPower (Transmission Power) şeklinde de karşılaşılabılır. Kullanıcılar Beacon üreticisi firma tarafından standart halde sunulan MPower değerini, Beacon tabanlı mesafe bilgisine ihtiyaç duyulacak projelerde; projenin ortam şartlarına göre de belirleyebilir. Standart bir MPower/Tx

Power (-77 dBm) değerine sahip Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafeyi gösteren Beacon veri iletişim değerleri Şekil 1' de gösterilmiştir.



1,58 m			
UUID			
dffe3628-9b17-4c62-b61f-b06ebc61f3af			
Major	Minor	RSSI	TX
50586	31677	-91 dBm	-77 dBm

**Şekil 1.** Üretici firma tarafından kullanıcıya sunulan değerler

Beacon teknolojisinden konum bazlı yararlanmak için fingerprint (parmak izi), trilateration (üçgenleme), proximity (yakınlık) veya bu algoritmaların geliştirilmiş versiyonları başta olmak üzere birçok algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritmaların kullanımında Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin veya Beacon'lardan yayılan Bluetooth sinyallerinin gücündeki değişimin bilinmesi gerekir. Beacon teknolojinin konum bazlı kullanılabilirliği ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.

Anagnostopoulos ve Deriaz (2014) yaptıkları çalışmada, hastane içinde Beacon tabanlı konum belirlemişlerdir. Çalışmalarında konumlandırma için ağırlıklı ortalama yöntemini kullanmışlardır. Konumlandırma hassasiyetini artırmak için en yakın Beacon'ların seçimi ile birlikte RSSI değerlerinin ortalamasının alınmasını önermişlerdir. Blasio vd. (2017) yaptıkları çalışmada, Beacon teknolojisi ile Wi-Fi teknolojisinin konum bazlı performanslarını bilgi hizmetleriyle kullanılabilmesi amacıyla incelemişlerdir. Çalışmalarında konumlandırma algoritması olarak parmak izi yöntemini kullanmışlardır. Brena vd. (2017) yaptıkları çalışmada, kapalı alan konumlandırmada kullanılabilen Beacon, Wi-Fi, Ultra Geniş Bant (Ultra Wide Band, UWB), Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID, Radio Frequency Identification) gibi teknolojileri sınıflandırarak birçok yönden kullanılabilirlikleri ile ilgili öneriler sunmuşlardır. Eroğlu ve Doğan (2019) yaptıkları çalışmada, Beacon tabanlı kapalı alanda navigasyon uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Konumlandırma algoritması olarak üçgenleme yöntemini kullanmışlardır. Gao vd. (2022) yaptıkları çalışmada, okyanus taşımacılığında çok önemli bir yere sahip olan gemi içerisindeki mürettebatın takibi ve gemi güvenliği için Beacon tabanlı iç mekan konumlandırma çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında konumlandırma algoritması olarak parmak izi algoritmasını kullanmışlardır. Khudhair vd. (2016) yaptıkları çalışmada, mevcut kapalı alan konumlandırma tekniklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Beacon, Wi-Fi, ZigBee gibi teknolojileri kapalı alanlarda konum belirleme

amaçlı kullanılabilirlikleri ile birlikte incelemiştir. Sümer vd. (2020) yaptıkları çalışmada, kapalı alanda üçgenleme algoritması kullanarak BLE alt yapısıyla konum belirlemiştir. Çalışmalarında RSSI değerlerinin doğruluğunu arttırmak için birçok farklı filtre yöntemi kullanmışlardır. Uttraphan vd. (2020) yaptıkları çalışmada, kapalı alanda Beacon tabanlı navigasyon uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında konumlandırma algoritması olarak parmak izi yöntemini kullanmışlardır. Wang vd. (2013) yaptıkları çalışmada, RSSI tabanlı Bluetooth konumlandırmayı üç mesafeye dayalı farklı üç yöntemi karşılaştırarak incelemiştir. Beacon tabanlı yapılan bu çalışmalarda konum bazlı elde edilen veriler genel olarak 2 boyutlu değerlendirilmekte, yükseklik boyutu ile ilgili bilgiler verilmemekte veya ihmal edilmektedir. Bu çalışmada Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin ortam şartlarına göre belirlenmesi ve üretici firma tarafından kullanıcıya sunulan standart mesafe bilgisiyle karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki durumda belirlenen Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin üçgenleme algoritması özelinde kullanılabilirliği farklı Beacon konum varyasyonlarıyla test edilmiştir. Ayrıca verilerin değerlendirilmesinde birçok çalışmanın aksine yükseklik boyutu dikkate alınmış ve sonuçları çizelgelere yansıtılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada gerçekleştirilen testler kapalı alan özelliklerini kısmen taşıyan ve yapılan testler için yeterli büyüklüğe sahip bir alanda gerçekleştirilmiştir. Test alanının büyüklüğü  $345.00 m^2$  ve tavan yüksekliği  $2.60 m$ 'dir (Şekil 2).

### 2.2. Kullanılan Beacon cihazı

Dünyada Beacon üreticileri tarafından farklı boyut ve özelliklerde Beacon cihazları üretilmektedir. Bu çalışmada Kontakt.io firmasının piyasaya sürdüğü Bluetooth 4.2 ve

5.0 uyumlu Asset Tag Beacon cihazları kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Uygulama alanı



Şekil 3. Beacon cihazı

### 2.3. RSSI-mesafe ilişkisi

Beacon'lardan yayılan Bluetooth sinyallerinin gücündeki değişimden yararlanılarak Beacon'la kullanıcı arasındaki mesafe belirlenebilmektedir. Bu durum yol kayıp modelleri ile ifade edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Log-Distance yol kaybı modeli Eşitlik (1)'de gösterilmiştir (Ilci vd. 2015, Sümer vd. 2020, Wang vd. 2013).

$$d_i = 10^{\frac{r_0 - r_i}{10n}} \quad (1)$$

Burada  $d_i$  alıcı ile verici arasındaki mesafeyi,  $r_i$  anlık algılanan RSSI değerini,  $r_0$   $1 m$  mesafe için hesaplanan RSSI değerini,  $n$  ise çevre şartlarına bağlı yol kaybı katsayısıdır. Bu çalışmada  $r_0$  ve  $n$  ortam şartlarına göre hesaplanmıştır.  $r_0$  ve  $n$  değerini hassas belirlemek adına çalışma sahasının farklı bölgelerinde kullanıcı ile Beacon arası  $1 m$  mesafeden  $10 m$ 'ye kadar toplamda 10 adet referans uzaklığı kullanılarak ve her bir referans uzaklığı için 10 adet RSSI okuması yapılmıştır. RSSI okuma değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.  $r_0$  ve  $n$  değerini belirlemek için Beacon okuma değerleri

Referans Uzaklık	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m
	-70	-82	-82	-84	-86	-92	-94	-94	-93	-95
	-71	-79	-84	-81	-89	-91	-90	-91	-95	-99
	-72	-80	-82	-85	-92	-87	-91	-93	-95	-96
RSSI Okuma Değerleri (dBm)	-69	-78	-80	-83	-87	-87	-89	-91	-96	-95
	-68	-77	-83	-87	-91	-88	-91	-95	-98	-94
	-74	-77	-81	-81	-92	-88	-90	-92	-95	-95
	-70	-81	-84	-82	-89	-91	-93	-95	-96	-98
	-67	-80	-83	-81	-86	-90	-90	-93	-94	-97
	-71	-76	-81	-86	-85	-93	-91	-93	-96	-97
	-75	-80	-85	-84	-92	-94	-91	-94	-94	-95
Ortalama	-70.7	-79	-82.5	-83.4	-88.9	-90.1	-91	-93.1	-95.2	-96.1

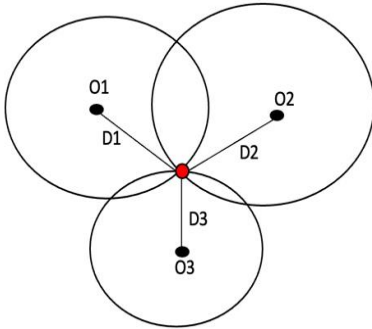
1 m referans uzaklığında yapılan ölçülerin ortalaması alınarak  $r_0$  değeri, -70.7 dBm belirlenmiştir.  $n$  değerinin belirlenmesi ise referans uzaklıklarında yapılan RSSI okumalarının ortalaması, karesel ortalama hata (minimum mean square error (MMSE)) ile değerlendirilerek olmuştur. Eşitlik 2'den

$$MMSE = \frac{dMSE}{dn} = \frac{d(521.16n^2 - 2595.12 + 3236.28)}{dn} \quad (2)$$

$n$  değeri 2.49 olarak hesaplanır.

#### 2.4. Üçgenleme yöntemi

Üçgenleme yöntemi en basit ve en yaygın kullanılan konumlandırma algoritmalarından biridir (Ilci vd. 2018). Basit hesaplama altyapısına sahip olmasıyla birlikte düşük maliyetli olması bu konumlandırma algoritmasının avantajı olarak göze çarpmaktadır (Ainul 2022). Bu konumlandırma tekniğinde konumu belirli olan üç Beacon vericisinin hedef noktaya olan mesafelerinden yararlanılarak hedef noktanın konumu hesaplanır. Beacon vericisi ile hedef nokta arasındaki mesafe RSSI sinyallerinin gücündeki değişimden hesaplanır (Wang vd. 2013, Khudhair vd. 2016).



Şekil 4. Üçgenleme yöntemi

Hedef noktanın konumu Şekil 4'te gösterilmiştir.  $O_1, O_2, O_3$  referans noktalarındaki üç Beacon'ın vericisinin konumu  $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$  ve konumu  $x, y$  olan hedef nokta ile referans noktaları arasındaki uzaklıklar  $D_1, D_2, D_3$  olmak üzere aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hedef noktanın konumu hesaplanır.

$$D_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (3)$$

$$D_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (4)$$

$$D_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (5)$$

Eşitlik (3), (4) ve (5) basitleştirilirse  $x$  ve  $y$ 'nin koordinatları Eşitlik (6) ve (7) ile elde edilir.

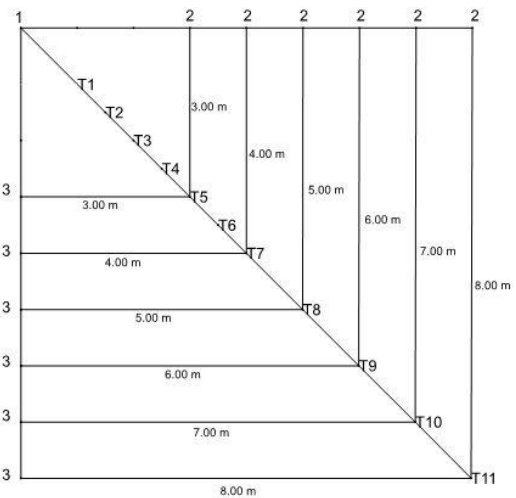
$$x = \frac{CE - FB}{EA - BD} \quad (6)$$

$$y = \frac{CD - AF}{BD - AE} \quad (7)$$

Eşitlik 6 ve 7' de  $A = (-2x_1 + 2x_2)$ ,  $B = (-2y_1 + 2y_2)$ ,  $C = (D_1^2 - D_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2)$ ,  $D = (-2x_2 + 2x_3)$ ,  $E = (-2y_2 + 2y_3)$  ve  $F = (r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2)$  temsil etmektedir (Manzoni vd. 2019, Magsi vd. 2023). Teorik olarak üçgenleme yönteminde üç Beacon vericisinin bir noktada kesiştiği kabul edilir. Bluetooth sinyallerinin ortam şartlarına bağımlı olması RSSI değerlerindeki düzensizliklere neden olabilmektedir. Dolayısıyla üç Beacon vericisinin bir noktada kesişmesi pratikte çok mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada Beacon tabanlı üçgenleme yöntemini etkin bir şekilde kullanımını araştırmak için testler gerçekleştirilmiştir.

#### 2.5. Test aşaması

Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafe ilişkisini daha iyi anlamak ve üçgenleme algoritmasının verimli bir şekilde kullanımını araştırmak adına testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde, 4 adet Beacon test alanına kare şeklinde farklı kombinasyonlarda yerleştirilmiştir. Bu kombinasyonlar  $3 \times 3$  m'den  $8 \times 8$  m'ye kadar toplam 6 adettir. Karenin üç köşesindeki Beacon'lar 1, 2, 3 nolu Beacon'dan oluşmaktadır. Karenin dördüncü köşesindeki Beacon aynı zamanda bir başka kombinasyonun test noktası olduğundan test planında "T" ile gösterilmektedir. Her bir kombinasyonda 3 adet test noktası belirlenmiştir. 1. nokta karenin bir köşesine yakın, 2. nokta karenin tam ortasında, 3. noktada karenin dışında ve karenin bir köşesine yakın seçilmiştir. Örneğin  $4 \times 4$  m'lik bir test planında köşelerdeki Beacon'lar 1, 2, 3 ve T7; test noktaları ise T1, T3 ve T8 iken  $5 \times 5$  m'lik bir test planında köşelerdeki Beacon'lar 1, 2, 3 ve T8; test noktaları ise T1, T4 ve T9'dur (Şekil 5).



Şekil 5. Üçgenleme test planı

T12

Test noktalarında alınan her bir ölçünün hassasiyetini artırmak adına test noktalarına lazer metre ile düzleştirme yapılmıştır. Bu işlem tavanda 260 cm yükseklikte asılı bulunan Beacon'lerden zeminde ölçü alınırken (sinyal) test noktasının tam üzerinde ölçü alınmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. 4x4 m Beacon konumları ve test noktası

Zeminde ölçü alma işlemi ise akıllı bir mobil telefonla, test noktasından 115 cm yükseklikte yapılmıştır. Her bir noktada 5 adet ölçü alınmış ve bu ölçülerin ortalamaları alınarak bu çalışmada değerlendirilmiştir. 5'ten daha az ölçü sayısına sahip oturumlar değerlendirilmeye alınmamıştır. Üçgenleme algoritması için yapılan testlerde ise algoritmanın matematiksel alt yapısının gereği olarak en iyi ortalamaya sahip üç Beacon sinyal değeri çalışmada değerlendirilmiştir.

## 2.6 Verilerin değerlendirilmesi

Test aşamasında elde edilen veriler iki nokta arası uzaklık prensibine göre değerlendirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken durum, nokta konumunun 3 boyutlu değerlendirilmesidir. Çalışmada iki nokta arası gerçek mesafe Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \quad (8)$$

Eşitlik 8'e göre S iki nokta arası uzaklık,  $x_1, y_1, z_1$  1. noktanın koordinatları,  $x_2, y_2, z_2$  2. noktanın koordinatlarıdır. Hesaplamalarda  $z_2 - z_1$  değeri tavan yüksekliği ile zeminde ölçü alan kullanıcı arasındaki sabit yükseklik farkından dolayı 1.45 m olarak alınmıştır.

## 3. Bulgular

Yapılan test sonuçları çizelgelerde gösterilmiştir. Genel veri çizelgelerinde; Beacon konumları (BK), Beacon'lerden gelen sinyallerin RSSI değerlerinin ortalaması (Ort.RSSI), test noktası (TN), test noktasının Beacon'a uzaklığı (TU), Beacon üreticisi firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisi (SM), ortam

şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisi (HM), standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin gerçek mesafe değeri ile farkı (SMF) ve hesaplanan mesafe bilgisi ile gerçek mesafenin farkı (HMF) yer almaktadır.

Üçgenleme algoritması için hazırlanan çizelgelerde; kullanılan Beacon'lar (KB), test noktası (TN), Beacon üreticisi firma tarafından sağlanan standart değerle hesaplanan konumun gerçek konuma uzaklığı (SU) ve ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı değerle hesaplanan konumun gerçek konuma uzaklığı (HU) yer almaktadır. Beacon'lerden gelen RSSI sinyallerinin değişimlerini gösteren çizelgede; Beacon konumları (BK) ve test noktası (TN) ile birlikte ek olarak Beacon dizilimleri (BD) ve RSSI değerlerinin standart sapması (SS) eklenmiştir. 1. test, 3x3 m yerleştirilen Beacon'lerden alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından sinyal alınmış ve Çizelge 2 ve 3'te test sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 2. 3x3 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-67.60	T1	2.03	0.28	0.76	1.75	1.26
2	-84.00	T1	2.66	1.92	3.52	0.74	0.86
3	-79.00	T1	2.66	1.21	2.18	1.46	0.49
T5	-95.60	T1	3.17	4.94	10.17	1.77	7.00
1	-70.60	T2	2.56	0.50	1.08	2.06	1.49
2	-77.80	T2	2.56	1.08	1.97	1.49	0.60
3	-80.00	T2	2.56	1.45	2.70	1.12	0.13
T5	-85.40	T2	2.56	2.18	4.06	0.39	1.49
1	-80.80	T7	5.84	1.50	2.74	4.34	3.10
2	-82.60	T7	4.37	1.88	3.54	2.49	0.83
3	-88.00	T7	4.37	2.72	5.19	1.65	0.81
T5	-64.00	T7	2.03	0.16	0.54	1.87	1.49

Çizelge 2 için test sonuçları incelendiğinde genel anlamda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu değerler incelendiğinde ise RSSI değerinin -85 dBm'e yakın olduğu değerlerle (-84 dBm, -85.40 dBm) birlikte -95 dBm değerinin üstünde olan değer olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. 3x3 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
1,2,3	T1	0.29	1.49
1,2,3	T2	0.34	1.11
1,2,T5	T7	3.30	2.79

Çizelge 3 için test sonuçları incelendiğinde üçgenleme algoritması için hazırlanan 3x3 m test planına göre karenin içerisindeki test noktalarında standart değerler ile elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlar, ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Karenin dışında kalan test noktasında ise ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir.

2. test, 4x4 m yerleştirilen Beacon'lardan alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından sinyal alınmış ve Çizelge 4 ve 5'te test sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4x4 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-63.60	T1	2.03	0.17	0.55	1.86	1.48
2	-87.60	T1	3.48	2.69	5.15	0.79	1.67
3	-80.20	T1	3.48	1.35	2.41	2.13	1.07
T7	-95.80	T1	4.48	5.01	10.47	0.53	5.99
1	-68.20	T3	3.18	0.31	0.81	2.87	2.36
2	-88.40	T3	3.18	2.88	5.53	0.31	2.35
3	-70.60	T3	3.18	0.43	1.01	2.74	2.17
T7	-89.00	T3	3.18	2.95	5.67	0.23	2.48
1	-83.20	T8	7.22	1.75	3.20	5.46	4.02
2	-89.00	T8	5.30	2.89	5.50	2.41	0.20
3	-75.80	T8	5.30	0.90	1.74	4.40	3.57
T7	-71.80	T8	2.03	0.53	1.14	1.49	0.88

Çizelge 4 için test sonuçları incelendiğinde genel anlamda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu değerler incelendiğinde ise tamamının, RSSI değerinin -87 dBm değerinin üstünde olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. 4x4 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
1,2,3	T1	0.78	2.30
1,2,3	T3	1.01	3.74
1,3,T7	T8	4.00	3.49

Çizelge 5 için test sonuçları incelendiğine üçgenleme algoritması için hazırlanan 4x4 m test planına göre karenin içerisindeki test noktalarında standart değerler ile elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlar, ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Karenin dışında kalan test noktasında ise ortam şartlarına

göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir.

3. test, 5x5 m yerleştirilen Beacon'lardan alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından ilk defa bu testte sinyal alınamamıştır. Test sonuçları Çizelge 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 5x5 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-75.60	T1	2.03	0.92	1.79	1.10	0.23
2	-87.80	T1	4.38	2.73	5.20	1.65	0.82
3	-93.80	T1	4.38	4.30	8.67	0.07	4.30
T8	-93.20	T1	5.85	4.07	8.12	1.77	2.28
1	-77.20	T4	3.83	1.02	1.83	2.79	1.99
2	-79.80	T4	3.83	1.34	2.45	2.49	1.38
3	---	T4	3.83	---	---	---	---
T8	-95.20	T4	3.83	4.74	9.66	0.91	5.83
1	-80.20	T9	8.60	1.46	2.43	7.28	6.17
2	-92.80	T9	6.08	3.95	7.84	2.13	1.76
3	-89.80	T9	6.24	3.17	6.15	3.07	0.09
T8	-62.20	T9	2.02	0.12	0.46	1.90	1.56

Çizelge 6 için test sonuçları incelendiğinde genel anlamda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu değerler incelendiğinde ise tamamının, RSSI değerinin -93 dBm değerinin üstünde olan değerler olduğu görülmektedir.

Çizelge 7. 5x5 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
1,2,T8	T1	1.03	2.55
1,2,T8	T2	16.67	8.73
1,3,T8	T3	4.98	6.70

Çizelge 7 için test sonuçları incelendiğine üçgenleme algoritması için hazırlanan 5x5 m test planına göre karenin ortasındaki test noktasında ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum, standart değerler ile elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuç vermektedir. Geri kalan test noktalarında ise standart değerler ile elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlar daha iyi sonuç vermektedir.

4. test, 6x6 m yerleştirilen Beacon'lardan alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından sinyal alınmış ve Çizelge 8 ve 9'da test sonuçları gösterilmiştir.

**Çizelge 8.** 6x6 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-66.32	T4	3.81	0.17	0.56	3.52	3.25
2	-90.00	T4	4.55	3.15	6.08	1.40	1.53
3	-91.40	T4	5.10	3.51	6.85	1.59	1.75
T9	-93.00	T4	5.16	3.95	8.03	1.21	2.87
1	-74.00	T6	5.16	0.68	1.36	4.57	3.79
2	-85.80	T6	4.54	2.23	4.14	2.32	0.41
3	-96.40	T6	4.54	5.33	11.20	0.79	6.66
T9	-92.60	T6	3.81	3.86	7.64	0.05	3.82
1	-86.20	T11	11.39	2.48	4.74	7.09	6.65
2	-94.00	T11	8.36	4.37	8.84	3.99	0.48
3	-83.20	T11	8.36	1.76	3.21	6.60	5.15
T9	-66.80	T11	3.17	0.25	0.71	2.92	2.46

Çizelge 8 için test sonuçları incelendiğinde genel anlamda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu değerler incelendiğinde ise tamamının, RSSI değerinin -90 dBm değerinin üstünde olan değerler olduğu görülmektedir.

**Çizelge 9.** 6x6 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
1,2,3	T1	0.40	4.23
1,2,T9	T2	1.60	4.33
1,3,T9	T3	8.57	5.77

Çizelge 9 için test sonuçları incelendiğine üçgenleme algoritması için hazırlanan 6x6 m test planına göre karenin içerisindeki test noktalarında standart değerler ile elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlar, ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Karenin dışında kalan test noktasında ise ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir.

5. test, 7x7 m yerleştirilen Beacon'lardan alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından sinyal alınamamıştır. Sinyal alınamayan Beacon sayısı ikiye ulaştığı anda üçgenleme algoritması için konum hesaplanamamıştır. Bu testin sonuçları Çizelge 10 ve 11'de gösterilmiştir. Çizelge 10 için test sonuçları incelendiğinde ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir.

**Çizelge 10.** 7x7 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-69.20	T4	3.81	0.35	0.88	3.46	2.93
2	---	T4	5.36	---	---	---	---
3	-91.40	T4	5.34	3.50	6.81	1.85	1.47
T10	---	T4	6.53	---	---	---	---
1	-76.20	T6	5.16	0.95	1.85	4.20	3.31
2	---	T6	5.16	---	---	---	---
3	-86.60	T6	5.16	2.41	4.53	2.75	0.62
T10	---	T6	5.16	---	---	---	---
1	-82.40	T11	11.39	1.63	2.96	9.76	8.43
2	-93.00	T11	8.18	4.11	8.29	4.07	0.11
3	-86.60	T11	8.18	2.47	4.68	5.71	3.50
T10	-70.60	T11	2.02	0.43	1.00	1.59	1.02

**Çizelge 11.** 7x7 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
---	T1	---	---
---	T2	---	---
1,3,T10	T3	6.25	6.21

Çizelge 11 için test sonuçları incelendiğine üçgenleme algoritması için hazırlanan 7x7 m test planına göre karenin içerisindeki test noktalarında sadece iki Beacon'dan sinyal alınmasından dolayı konum hesaplanamamıştır. Karenin dışında kalan test noktasında ise ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir. 6. test, 8x8 m yerleştirilen Beacon'lardan alınan sinyaller ile gerçekleştirilmiştir. Beacon'ların tamamından sinyal alınamamıştır. Bu testin sonuçları Çizelge 12 ve 13'te gösterilmiştir.

**Çizelge 12.** 8x8 m test sonuçları

BK	Ort. RSSI (dBm)	TN	TU (m)	SM (m)	HM (m)	SMF (m)	HMF (m)
1	-69.40	T4	3.81	0.36	0.89	3.45	2.93
2	---	T4	6.23	---	---	---	---
3	-89.20	T4	6.21	2.91	5.55	3.30	0.66
T11	-95.80	T4	7.91	5.00	10.32	2.90	2.42
1	-79.00	T7	5.84	1.23	2.23	4.61	3.60
2	---	T7	5.84	---	---	---	---
3	-86.60	T7	5.84	2.58	4.74	3.26	1.10
T11	-95.80	T7	5.84	5.04	10.44	0.79	4.61
1	-91.80	T12	12.81	3.62	7.10	9.19	5.71
2	-83.20	T12	9.17	1.78	3.25	7.39	5.92
3	---	T12	9.17	---	---	---	---
T11	-69.20	T12	2.04	0.35	0.88	1.68	1.16



Çizelge 12 için test sonuçları incelendiğinde genel anlamda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi olduğu görülmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu değer incelendiğinde ise RSSI değerinin -95 dBm değerinin üstünde olan değer olduğu görülmektedir.

**Çizelge 13.** 8x8 m üçgenleme algoritmasının sonuçları

KB	TN	SU (m)	HU (m)
1,3,T11	T1	1.08	3.27
1,3,T11	T2	1.23	5.53
1,2,T11	T3	6.51	5.06

Çizelge 13 için test sonuçları incelendiğine üçgenleme algoritması için hazırlanan 8x8 m test planına göre karenin içerisindeki test noktalarında standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlar, ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durumlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Karenin dışında kalan test noktasında ise ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir.

Çizelgeler genel olarak değerlendirildiğinde ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisi, üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden daha iyi sonuç (HMF değerinin SMF değerinden küçük olduğu değerler) vermektedir.

Standart değerlerle hesaplanan mesafe bilgisinin daha iyi sonuç verdiği durumlara bakıldığında  $n$  değerinin hesaplanması için elde edilen verilerle ilişkili olduğu görülmektedir. Çizelge 1'de  $n$  değerinin hesaplanması için toplanan verilerde 4 m için -83.4 dBm, 5 m için ise -88.9 dBm değeri görülmektedir. Bu değerler arasındaki artış miktarı 1 m ile 2 m arasındaki farktan sonra en büyük artış miktarıdır. Testlerde 3 m ile 5.5 m arası hariç mesafe tahminlerinde ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisi için daha doğru sonuçlar elde edilirken, 3 m ile 5.5 m arası tahminlerde yanıltıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin daha iyi sonuç verdiği durumların %75'i bu aralıktadır.

Test aşamasında fark edilen bir başka durum ise veri toplama sırasında kullanıcının da Beacon'ların RSSI hassasiyetini düşürdüğüdür. Kullanıcı test aşamasında mobil alıcıyı üç Beacon'ı görecektir şekilde tutarken arkasında kalan diğer Beacon'dan alınan RSSI sinyallerinin gücü düşmektedir. Bu durum Çizelge 2'de T7 noktasının testleri sırasında görülmektedir. Yakın Beacon'lardan

daha güçlü sinyal alınması gerekirken, bu durum gerçekleşmemiştir.

**Çizelge 14.** Beacon'lardan gelen sinyallerin RSSI değişimleri

BD	BK	SS	TN	BD	BK	SS	TN
(dBm)				(dBm)			
3x3	1	1.95	T1	6x6	1	2.77	T4
	2	2.92	T1		2	2.45	T4
	3	1.73	T1		3	1.67	T4
	T5	2.30	T1		T9	2.45	T4
	1	4.93	T2		1	1.22	T6
	2	2.39	T2		2	2.77	T6
	3	6.40	T2		3	3.36	T6
	T5	3.58	T2		T9	1.52	T6
	1	4.44	T7		1	5.85	T11
	2	6.88	T7		2	2.65	T11
	3	3.74	T7		3	1.79	T11
	T5	1.00	T7		T9	2.17	T11
4x4	1	3.78	T1	7x7	1	1.79	T4
	2	4.51	T1		2	--	T4
	3	0.84	T1		3	1.14	T4
	T7	2.86	T1		T10	--	T4
	1	2.28	T3		1	5.12	T6
	2	5.03	T3		2	--	T6
	3	2.19	T3		3	3.36	T6
	T7	3.67	T3		T10	--	T6
	1	1.30	T8		1	0.89	T11
	2	2.00	T8		2	3.81	T11
	3	4.76	T8		3	4.62	T11
	T7	3.03	T8		T10	1.34	T11
5x5	1	5.81	T1	8x8	1	0.89	T4
	2	4.55	T1		2	--	T4
	3	2.77	T1		3	0.84	T4
	T8	2.05	T1		T11	1.92	T4
	1	0.84	T4		1	3.39	T7
	2	4.09	T4		2	--	T7
	3	--	T4		3	5.03	T7
	T8	0.84	T4		T11	2.59	T7
	1	1.79	T9		1	1.64	T12
	2	2.17	T9		2	2.49	T12
	3	3.63	T9		3	--	T12
	T8	2.17	T9		T11	1.64	T12

Üçgenleme algoritmasının kullanımı için yapılan 18 test sonucu incelendiğinde 10 testte standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durum, 6 testte ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir. 2 test ise yetersiz Beacon sinyalinden dolayı gerçekleştirilememiştir.



Beklenenin aksine standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durumların genel anlamda daha iyi performans vermesinin nedeni olarak Beacon sinyallerinin RSSI değişimlerinin düzensiz olması ve bu nedenle üçgenleme algoritmasının hesaplama alt yapısı için homojen değerler elde edilememesi, Beacon'lerden alınan sinyallerin RSSI değerlerinin mesafe bazlı Beacon konumları ile örtüşmemesi gibi durumların olduğu düşünülmektedir. Çizelge 3'te yer alan veriler bu duruma örnek olarak gösterilebilir.  $3 \times 3$  m Beacon yerleşiminde T2 test noktası karenin tam ortasında ve 4 Beacon'a da eşit mesafede olup 3 boyutlu konum bilgisine göre bu mesafe 2.56 m'dir. 1, 2 ve 3 konumunda bulunan Beacon'lar T5 konumunda bulunan Beacon'a göre daha güçlü Beacon sinyali gönderdikleri için üçgenleme algoritmasında değerlendirilmiştir. 1, 2 ve 3 konumunda bulunan Beacon'lar ile kullanıcı arasındaki mesafeler için ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanıldığı durum, standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı duruma göre daha iyi sonuç vermektedir. Ancak bu mesafeler üçgenleme algoritmasında 1, 2 ve 3 nolu Beacon konumlarıyla değerlendirildiğinde standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinin kullanıldığı durum daha iyi sonuç vermektedir. Test noktalarına göre Beacon'lerden gelen sinyallerin RSSI değişimlerinin standart sapmaları Çizelge 14'te gösterilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada Beacon tabanlı mesafe bilgisinin ortam şartlarına göre hesaplanması ve üçgenleme algoritması özelinde kullanımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin, standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisinden genel olarak daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken durum,  $n$  değerinin sağlıklı hesaplanabilmesi için sahada veri toplama aşamasında Beacon sinyal değerlerini olabildiğince yansıtabilen RSSI değerlerinin toplanmasıdır.

Verilerin değerlendirilmesinde dikkate alınan 3 boyutlu konum bilgisi, Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafenin doğru bir şekilde tahmin edilmesini direkt olarak etkilemektedir. Bu durum Beacon tabanlı yapılacak projelerde, Beacon vericisi ile kullanıcı arasındaki mesafe bilgisine bağlı olarak kullanılması planlanan konumlandırma algoritmalarının seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

Beacon vericileri tarafından gönderilen sinyallerin gücündeki değişime bağlı olarak sinyalin hangi Beacon'dan geldiği mesafe bilgisine bağlı olarak tahmin edilebilir. Özellikle konumlandırma algoritmalarından

yakınlık algoritmasının temel prensibi olan bu durum, tanıtım amaçlı yapılan organizasyonlarda direkt olarak kullanılabilir. Dolayısıyla müze, sergi, fuar gibi tanıtım amaçlı projelerde; kapalı alanın büyüklüğü de göz önünde bulundurularak doğrudan standart değerlerle elde edilen Beacon tabanlı mesafe bilgisi kullanılabilir. Ancak kapalı alanın yeterli büyüklüğe sahip olmaması, tanıtım objelerinin veya alanlarının birbirine çok yakın olması, daha hassas mesafe bilgisine ihtiyaç duyulması gibi durumlar göz önüne alındığında ortam şartlarına göre hesaplanan mesafe bilgisinin kullanılması bu çalışmanın sonucu olarak önerilebilir.

Üçgenleme algoritmasının kullanımı için üretici firma tarafından sağlanan değerlerle hesaplanan mesafe bilgisinin tercih edilmesinin daha uygun olacağı bu çalışma ile belirlenen parametrelerden bir tanesidir. Ayrıca üçgenleme algoritmasının Beacon tabanlı kullanımında; Beacon'lar arası mesafenin 3-4 m'yi aşmayacak şekilde kullanılması üçgen bölgenin dışındaki noktalar hariç, en fazla 1.01 m hata payı ile konum tahmini yapılmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla Beacon'lar arası mesafenin ve kapalı alanın tavan yüksekliğinin 4 m'yi aştığı Beacon dizilimlerinde, üçgenleme konumlandırma algoritmasının konum doğruluğunun düşeceği bu çalışmanın bir başka sonucu olarak söylenebilir.

#### Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak  
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deneyleme, Biçimsel analiz, Doğrulama,  
Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak,

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### 5. Kaynaklar

Ainul, R.D., 2022. An enhanced trilateration algorithm for indoor RSSI based positioning system using zigbee protocol. *Jurnal Infotel*, **14**(4), 301-306.  
<https://doi.org/10.20895/infotel.v14i4.822>

Allurwar, N., Nawale, B., and Patel, S.C., 2016. Beacon for Proximity Target Marketing. *International Journal of Engineering and Computer Science*, **15**(5), 16359-16364.

- <https://doi.org/10.18535/ijecs/v5i5.08>
- Anagnostopoulos, G. G., and Deriaz, M., (2014). *Accuracy enhancements in indoor localization with the weighted average technique*. SensorComm, Lisbon, Portugal, 112-116.
- Andrew, L. C., 2022. An analysis of Bluetooth 5 in comparison to Bluetooth 4.2: Uma análise do Bluetooth 5 em comparação com o Bluetooth 4.2. Europub Journal of Education Research. *Europub Journal of Education Research*, **3**(1), 112-120. <https://doi.org/10.54745/ejerv3n1-008>
- Bisdikian, C., 2001. An overview of the Bluetooth wireless technology. *IEEE Commun. Mag.*, **39**(12), 86-94. <https://doi.org/10.1109/35.968817>
- Blasio, G.D., Quesada-Arencibia, A., García, C.R., Molina-Gil, J.M., and Caballero-Gil, C., 2017. Study on an Indoor Positioning System for Harsh Environments Based on Wi-Fi and Bluetooth Low Energy. *Sensors*, **17**(6),1299. <https://doi.org/10.3390/s17061299>
- Brena, R.F., García-Vázquez, J., Galván-Tejada, C.E., Rodríguez, D.M., Rosales, C.V., and Fangmeyer, J., 2017. Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. *J. Sensors*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2630413>
- Eroğlu, O., ve Doğan, M., (2019). *Konum Tabanlı Hizmetler, Bluetooth Tabanlı İç Mekan Konumlandırma Hizmeti, Antalya İli Örneği*. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Gao, J., Qin, Z., Fan, T., and Sun, W., 2022. BSSH: Bluetooth Indoor Positioning Strategy for Ship Cabin Based on Hierarchical Area. *Mobile Information Systems*. <https://doi.org/10.1155/2022/5425306>
- Gomez, C., Oller, J., and Aspas, J.P., 2012. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors*, **12**(9), 11734-11753. <https://doi.org/10.1155/2022/5425306>
- Ilci, V., Alkan, R. M., Gülal, V. E., and Cizmeci, H., (2015). *Trilateration technique for WiFi-based indoor localization*. ICWMC 2015, St. Julians, Malta, 36.
- Ilci, V., Gulal, E., and Alkan, R., 2018. An investigation of different Wi-Fi signal behaviours and their effects on indoor positioning accuracy. *SURVEY REVIEW*, **50** (362), 404-411. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1292672>
- Kaya, Gülağız, F., Göz, F., Şahin, E., Albayrak, M. S. and Kavak, A., 2016. Beacon Temelli Sanal Etiket Uygulaması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **3** (1), 1-7.
- Khudhair, A.A., Jabbar, S.Q., Sulthan, M.Q., and Wang, D., 2016. Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **3**(2), 392-409. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v3.i2.pp392-409>
- Kohne, M., and Sieck, J., (2014). *Location-Based Services with iBeacon Technology*. 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation, Madrid, Spain, 315-321.
- Magsi, S. A., Khir, M. H. B. M., Nawı, I. B. M., Hasan, M. A., Ullah, Z., Khan, F. U., Saboor, A., and Siddiqui, M. A., 2023. Experimental evaluation of Trilateration-Based outdoor localization with LoRaWAN. *Computers Materials & Continua*, **75**(1), 845. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.033636>
- Manzoni, P., Calafate, CT., Cano, J-C., and Hernández-Orallo, E., 2019. Indoor Vehicles Geolocation Using LoRaWAN. *Future Internet*, **11** (6),124. <https://doi.org/10.3390/fi11060124>
- Siekkinen, M., Hienkari, M., Nurminen, J.K., and Nieminen, J., (2012). *How low energy is Bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4*. 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Paris, France, 232-237.
- Sümer, N.N., Ataklı, N., and Kucur, O., (2020). *Using RSSI-Based Bluetooth Low Energy for Indoor Location Detection*. 2020 5th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Diyarbakır, Türkiye, 83-87.
- Uttraphan, C., Abdul Aziz, F.D., Abd Wahab, M.H., and Idrus, S.Z.S., (2020). *Bluetooth Based Indoor Navigation System*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Penang, Malaysia, **917**(1).
- Wang, Y., Yang, X., Zhao, Y., Liu, Y., and Cuthbert, L.G., (2013). *Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods*. 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, Nevada, 837-842.