

## Beacon mesafe değerlerinin ortam koşullarına göre polinom enterpolasyonu ve yapay sinir ağlarıyla belirlenmesi

### Determination of beacon distance values according to ambient conditions by polynomial interpolation and artificial neural networks

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.

[rcakir@pau.edu.tr](mailto:rcakir@pau.edu.tr)

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

[sdoganalp@ktun.edu.tr](mailto:sdoganalp@ktun.edu.tr)

Geliş Tarihi/Received: 22.07.2024

Düzeltilme Tarihi/Revision: 10.09.2024

doi: 10.5505/pajes.2024.48079

Kabul Tarihi/Accepted: 07.10.2024

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bluetooth alt yapısına sahip olan, tek bir tuşla açılıp kapatılabilen, küçük boyutlu ve taşınabilen, düşük enerji ile uzun süreler çalışabilen Beacon cihazları son yıllarda oldukça popüler hale geldi. Tanıtım ve konum bazlı projeler başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle Beacon'lar tarafından gönderilen Bluetooth sinyallerinin gücündeki değişimden yararlanılarak Beacon cihazı ile kullanıcı arasındaki mesafe belirlenebilmektedir. Bu mesafe bilgisi ise konumlandırma algoritmalarında temel parametre olarak kullanılmaktadır. Beacon üreticisi firmalar tarafından, standart ortam koşulları ile elde edilen veriler kullanılarak Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafe otomatik olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Kullanıcı bu mesafeyi ortam koşullarına göre kendi oluşturduğu verileri kullanarak da hesaplayabilmektedir. Bu çalışmada kapalı bir alanda Beacon'lardan gelen Bluetooth sinyalleri kaydedilerek ortam koşullarına göre Beacon ile kullanıcı arasındaki mesafe polinom enterpolasyonu ve yapay sinir ağları yöntemleriyle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Beacon'lar tarafından kullanıcıya otomatik olarak sunulan mesafe bilgisi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada en iyi sonucu, Beacon'lardan otomatik olarak alınan mesafe bilgisinden 1.21m daha iyi sonuç veren 10. dereceden polinom enterpolasyonu sağlamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Beacon, Bluetooth, Yapay Sinir Ağları, Polinom Enterpolasyonu.

#### Abstract

Beacon devices, which have Bluetooth infrastructure, can be turned on and off with a single button, are small and portable, and can operate for long periods of time with low energy, have become very popular in recent years. It is used in many areas, especially in promotion and location-based projects. In particular, the distance between the Beacon device and the user can be determined by utilizing the change in the strength of the Bluetooth signals sent by the Beacons. This distance information is used as a basic parameter in positioning algorithms. The distance between the Beacon and the user is automatically presented to the users by using the data obtained by the Beacon manufacturers with standard ambient conditions. The user can also calculate this distance by using the data created by the user according to the ambient conditions. In this study, Bluetooth signals from Beacons in an indoor environment were recorded and the distance between the Beacon and the user was calculated by polynomial interpolation and artificial neural network methods. The results obtained were compared with the distance information automatically presented to the user by the Beacons. The best result was achieved by 10th order polynomial interpolation, which was 1.21m better than the distance information automatically received from the Beacons.

**Keywords:** Beacon, Bluetooth, Artificial Neural Networks, Polynomial Interpolation.

## 1 Giriş

Teknoloji günümüzde gelişimini hızla sürdürmektedir. İnsanlar özellikle teknolojinin önemli bir ürünü olan akıllı telefonlar sayesinde birçok işini kolayca yapabilmekte ve zamandan tasarruf sağlamaktadırlar. Navigasyon ve tanıtım amaçlı işlerde oldukça kullanışlı olan ve insanların akıllı telefonlarla birlikte yararlanabildiği bir teknoloji de Beacon teknolojisidir. Kapalı alanlarda konum bazlı uygulamalar için kullanıcıların GNSS (Global Navigation Satellite Systems, Küresel Konum Belirleme Sistemi) sinyallerine sağlıklı erişememesinden dolayı günümüz koşullarında GNSS teknolojisi yetersiz kalmaktadır. Beacon teknolojisi ise kapalı alanlarda konum belirleme amaçlı kullanılabilen ve tercih edilen bir teknolojidir. Kapalı alanlardaki konum bilgisinin; kaynakların daha iyi yönetimi, gerçek zamanlı bilgi edinme ve pazarlama gibi birçok faydası

vardır [1]. Beacon teknolojisi de bu duruma katkı sunmaktadır. Beacon'lar daha az enerji ile yüksek performans vaat eden Bluetooth Low Energy (BLE) alt yapısını kullanılmaktadırlar [3]. Sınırlı bir aralıkta yüksek doğruluk gerektiren bir yakınlığın veya varlığın belirlenmesinde tasarlanacak uygulamalar için çok uygundur [2]. Beacon'lar düşük enerji tüketimi, geniş kapsama alanı, potansiyel yüksek doğruluk gibi avantajlarının yanı sıra [3], küçük yapıda, kurulumu basit ve minimum seviyede yapılandırma gerektirir [2],[6]. Beacon'lar kendini tanımlayan Bluetooth sinyalini periyodik olarak yayınlayan cihazlardır. Kullanıcılar akıllı telefonlar sayesinde Beacon sinyallerini algılayabilir ve servis sağlayıcı tarafından tasarlanan belirli eylemleri gerçekleştirebilir. Beacon'larla yapılacak projeler için tasarımcılar, Beacon sinyal aralıklarını belirleyebilirler [4]. Daha kısa aralıklarla Beacon sinyali

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

gönderdiklerinde daha yüksek veri alma oranı garanti edebilir ancak bu durum pil ömrünü azaltacaktır [5],[7].

Bir Beacon'la iletişim kurup Beacon sinyallerinden yararlanmak için Beacon'nın Universally Unique Identifier (UUID), Major, Minor, ve TxPower değerlerini bilmek veya ihtiyaca göre yapılandırmak gereklidir [4].

- UUID: Her bir Beacon'a özel olup bir Beacon'ı tanımlamak için kullanılan 128 bit değerinde bir sayıdır.
- Major: Beacon'lar arasında belirli bir grubu tanımlamak için kullanılan 16 bit değerinde bir sayıdır.
- Minor: Beacon'lar arasında belirli bir grup içindeki Beacon'ları tanımlamak için kullanılan 16 bit değerinde bir sayıdır.
- TxPower: Kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin belirlenmesi için kullanılan değerdir. 1 m mesafe için RSSI (Received Signal Strength Indication) değerini ifade eder [7]-[9]. Bu değerler Beacon yazılım kütüphaneleri kullanılarak yapılandırılabilir. Şekil 1'de Beacon iletişim örneği gösterilmiştir.

```
fba384d4-71ac-4e53-82cd-8ac2cb4d0395
Major: 2804 Minor: 45800

distance: 1,26 meters RSSI: -83
```

Şekil 1. Beacon iletişim örneği

Figure 1. Beacon communication example

TxPower değeri üretici firma tarafından kullanıcılara standart halde sunulmaktadır. Bu çalışmada ise ortam koşullarına göre belirlenip kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin hesaplanmasında kullanılmıştır.

## 2 Yöntem

Beacon'lardan alınan sinyallerle, kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafe üretici firma tarafından sağlanan standart değerlerle belirlenebilmektedir. Bu mesafe değeri kullanıcılara otomatik olarak sunulmaktadır. Ancak bu değer ortam koşullarına göre hesaplanıp belirlenebilmektedir. Bu çalışmada kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafe, ortam koşullarına göre polinom enterpolasyonu ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar üretici firma tarafından kullanıcıya otomatik olarak sunulan mesafe değerleriyle karşılaştırılıp öneriler sunulmuştur.

### 2.1 Çalışma alanı

Bu çalışmanın testleri kapalı alan özelliklerine sahip, taban alanı  $110m^2$  ve tavan yüksekliği  $2.65m$  olan bir mekânda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2' de uygulama alanı gösterilmiştir.



Şekil 2. Uygulama alanı

Figure 2. Study area

### 2.2 Kullanılan Beacon cihazı

Bu çalışmada Şekil 3'te gösterilen Kontakt.io firmasının piyasaya sürdüğü Bluetooth 4.2 ve 5.0 uyumlu Asset Tag Beacon cihazları kullanılmıştır.



Şekil 3. Beacon cihazları

Figure 3. Beacon devices

### 2.3 Kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin belirlenmesi

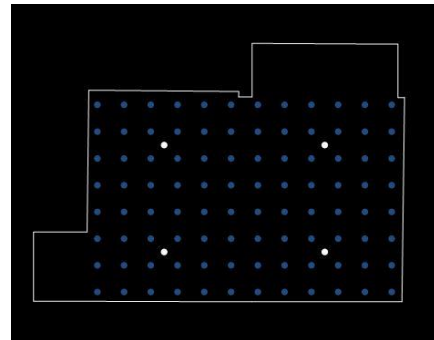
Beacon'lardan gelen Bluetooth sinyallerinin kullanıcıya ulaşıncaya kadarki geçen sürede sinyalin gücünde değişimler meydana gelir. Bu değişimler yol kayıp modelleri ile tanımlanabilir. Bu çalışmada da kullanılan Log-Distance yol kaybı modeli Denklem (1)'de gösterilmiştir.

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

Denklem 1'de,  $d_i$  kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafeyi,  $r_i$  anlık algılanan RSSI değerini,  $r_0$  1m mesafe için belirlenen RSSI değerini,  $n$  ise ortam şartlarına bağlı yol kaybı katsayısıdır [10]-[12]. Bu çalışmada  $r_0$  ve  $n$  ortam şartlarına göre hesaplanmıştır.

### 2.4 Verilerin toplanması ve test edilmesi

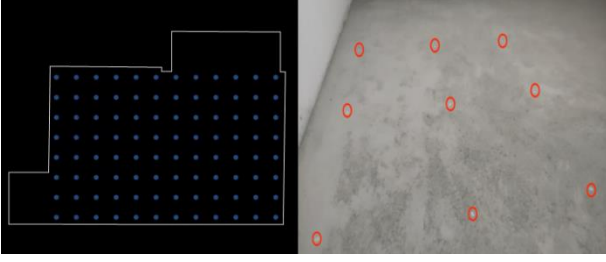
Çalışma alanının tavanına, tüm alanı kapsayacak şekilde 4 Beacon yerleştirilmiştir. Beacon yerleşimleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Beacon yerleşimleri

Figure 4. Beacon locations

Sonrasında çalışma alanının zemini, 1m aralıklara bölünerek 96 adet homojen dağılımlı veri toplama noktası elde edilmiştir. Şekil 5'te veri toplama noktaları gösterilmiştir.



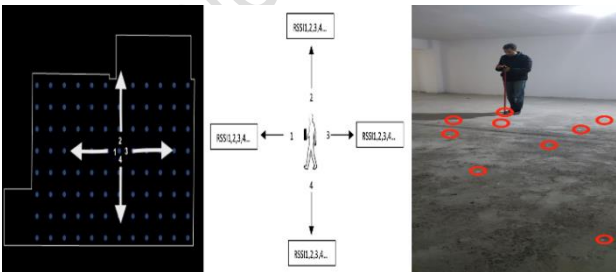
Şekil 5. Veri toplama noktaları  
Figure 5. Data collection locations

Veriler, yerden 1.15m yükseklikte akıllı telefon için geliştirilen Android tabanlı bir yazılımla otomatik olarak toplanmıştır. Şekil 6'da veri toplama yazılımının ara yüzü gösterilmiştir.



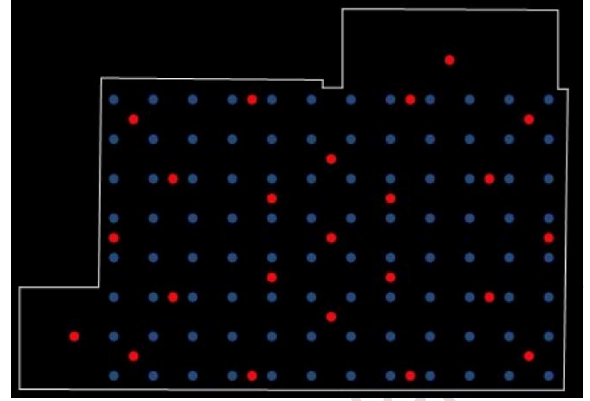
Şekil 6. Veri toplama yazılımının arayüzü  
Figure 6. Interface of data collection software

RSSI sinyallerinin ortam şartlarından etkilenmesi, insan vücudunun RSSI sinyallerini kesmesi veya zayıflatması gibi nedenlerden dolayı veriler, her bir noktada 4 yönlü olacak şekilde toplanmıştır. 96 noktada 4 Beacon'dan gelen 4 yönlü sinyallerle birlikte 1536 RSSI sinyal değeri kaydedilmiştir. Şekil 7'de veri toplama yönleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Veri toplama yönleri  
Figure 7. Aspects of data collection

Toplanan veriler polinom enterpolasyonu ve YSA ile değerlendirildikten sonra çalışma alanında 21 noktada test edilmiştir. Şekil 8'de test noktalarının dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 8. Test noktalarının dağılımı  
Figure 8. Distribution of test points

## 2.5 Hesaplama yöntemi

Veri toplama noktalarında kaydedilen veriler polinom enterpolasyonu ve YSA yöntemleri için hazır hale getirilmiştir. Polinom enterpolasyonu için veri toplama noktalarının her bir Beacon'a olan uzaklıkları ve bu uzaklığa karşılık gelen RSSI sinyalleri çalışmada değerlendirilmiştir. Tahmin kısmında ise 1m'den 10m'ye kadar olan mesafe için beklenen RSSI sinyali, polinom enterpolasyonu yöntemiyle kestirilmiştir.

YSA yönteminde ise polinom enterpolasyonundan farklı olarak veri toplama noktalarının her bir Beacon'a olan uzaklıkları ve bu uzaklığa karşılık gelen RSSI sinyallerinin yanı sıra Beacon numaraları da girdi verisi olarak eklenmiştir. Bu durum YSA yönteminin eğitim kısmında ayırt edici bir özellik olarak kolaylık sağlamıştır. YSA yönteminin tahmin kısmında, giriş verileri 1m'den 10m'ye kadar olan mesafelerin RSSI değerleri 4 Beacon baz alınarak tahmin ettirilmiştir. 4 Beacon için 1m'den 10m'ye kadar elde edilen RSSI değerlerinin ortalaması alınmış ve çalışmada değerlendirilmiştir.

Her iki yöntemde de tahmin sonucu elde edilen 1m'den 10m'ye kadar olan mesafelerin RSSI değerleri, Denklem (1)'de yer alan  $n$  değerini tahmin etmek için karesel ortalama hatayla değerlendirilmiştir.

$r_0$  değerinin hesaplanıp belirlenmesi ve sonrasında  $n$  değerinin hesaplanması için gerçek zamanlı bir çalışma yapılması gerekmemektedir. Bu süreç konumlandırma yöntemlerinin kullanımında veya direkt mesafe bazlı kullanımında dinamik bir süreç değildir. Bu süreçte belirlenen  $r_0$  ve  $n$  değeriyle hesaplanacak mesafe bilgisi, konumlandırma yöntemlerinde gerçek zamanlı kullanılabilir. Bu nedenle polinom enterpolasyonu ve YSA yöntemlerinin hesaplama kısmı için Matlab programı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

### 2.5.1 Polinom enterpolasyonu

Polinom enterpolasyon yöntemi yüzey modellemede oldukça yaygın kullanılan bir modeldir [13]. Bu yöntemde yüzey tek bir fonksiyonla ifade edilir. Genellikle yüzey  $n$ . dereceden ortogonal veya ortogonal olmayan iki değişkenli polinomlar kullanılarak tanımlanabilir.

Ortogonal yüzeylerde kullanılan matematiksel model Denklem (2)'de gösterilmiştir.

$$N = (x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^n a_{ij} x^i y^j \quad (2)$$

Ortogonal olmayan yüzeylerde kullanılan matematiksel model Denklem (3)'te gösterilmiştir.

$$N = (x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (3)$$

Burada,

$a_{ij}$  : Polinomun bilinmeyen katsayılarını

$n$  : Yüzeyin derecesini

$i, j$ :  $(x, y)$  koordinatlarının üssü olan pozitif tamsayılarını temsil etmektedir.

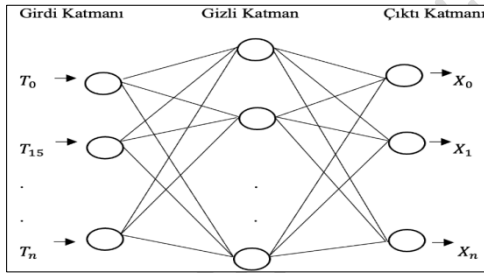
1. derece ortogonal bir polinom denklemi Denklem (4)'te ortogonal olmayan bir polinom denklemi ise Denklem (5)'te gösterilmiştir [13],[14].

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x \quad (4)$$

$$N(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x + a_{11}xy \quad (5)$$

## 2.5.2 Yapay sinir ağları

İlk olarak McCulloch ve Pitts (1943) tarafından önerilmiştir [15]. YSA insan beyninin özelliklerinden esinlenerek bilinenler yardımıyla çözülmesi zor ve karmaşık olan problemleri çözmek için kullanılır. Birçok yapay sinir ağı modeli olmakla birlikte bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı (ÇKAYSA)'nın bir türü olan ileriye beslemeli Geriye Yayımlı Yapay Sinir Ağı (İBGYYSA) kullanılmıştır. Sadece tek bir katmana sahip olan bir algılayıcı doğrusal fonksiyonları tahmin edebilir ancak giriş ile çıkış katmanı arasında gizli katmana sahip ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcılar, tek katmanlı algılayıcıların karşılaştıkları sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır [16],[17]. İBGYYSA'ları bir giriş katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Şekil 9'da YSA yapısı gösterilmiştir.



Şekil 9. YSA mimarisi [16,18]

Figure 9. ANN architecture [16,18]

Her katman birçok hücreden meydana gelir ve hücre sayısı her bir katmanda farklılık gösterebilir. Katmanlar birbirine ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Aynı katmandaki hücreler arasında iletişim yoktur. Giriş katmanı giriş verilerinin olduğu katmandır, çıktı katmanına ait veriler ise ilgili problemin hedef verilerine göre belirlenir. Gizli katmandaki hücre sayısı genelde deneme-yanılma yoluyla belirlenmektedir. Girdi ve çıktı hücre değerlerinin belirlenmesinden sonraki adım gizli hücrelerle ilişkili olarak ağı eğitilmesidir [18]-[20].

$T_i$  girdi vektörü olarak düşünülüp transfer fonksiyonu ile işleme girdiğinde çıktı değeri Denklem (6) ile ilişkilidir.

$$X_i = f(\sum_{i=1}^n w_{ji} T_i + b) \quad (6)$$

Denklem (6)'da  $f$  aktivasyon fonksiyonunu,  $n$  girdi sayısını,  $w_{ji}$   $i$ . işlem elemanından  $j$ . işlem elemanına olan ağırlık değerini,  $b$

ise eşik değerini göstermektedir. Aktivasyon fonksiyonu problemin çözümüne göre değişkenlik gösterebilir. Doğrusal olmayan fonksiyonlarda sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonu en çok tercih edilen fonksiyonlardır. Bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu seçilmiştir [18]. Hiperbolik tanjant fonksiyonu Denklem (7)'de gösterilmiştir.  $v$  aktivasyon fonksiyonuna kadar olan işlem adımlarından gelen giriş değerleri ile ağırlıkların çarpımının sonucu olmak üzere Denklem (7);

$$f(v) = \frac{e^v + e^{-v}}{e^v - e^{-v}} \quad (7)$$

şekindedir [21]. YSA'da eğitim için kullanılan birçok algoritma vardır. Geri yayımlı algoritmalar arasında Newton algoritmasının başka bir türü olan Marquardt-Levenberg (trainlm) algoritması kullanılmaktadır [22]. Bu çalışmada eğitim algoritması olarak trainlm algoritması kullanıldı.

## 2.6 Sonuçların değerlendirilmesi

Çalışma sahasındaki Beacon'ların test noktalarına olan uzaklıkları gerçek mesafe değeri olarak kabul edilmiştir. Bu mesafe değeri 3 boyutlu Beacon konum koordinatları ile test noktasındaki akıllı telefonun 3 boyutlu konum koordinatlarını kullanarak elde edilmiştir. Bu mesafe değeri Denklem (8)'de açıklanmıştır.

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

Denklem (8)'de  $S$  iki nokta arası uzaklık;  $x_1, y_1, z_1$  Beacon koordinatları;  $x_2, y_2, z_2$  test noktasındaki akıllı telefonun koordinatlarıdır. Hesaplamalarda  $z_2 - z_1$  değeri tavan yüksekliği ile zeminde ölçü alan kullanıcının akıllı telefonu arasındaki sabit yükseklik farkından dolayı 1.50 m olarak alınmıştır.

Beacon'lar aracılığıyla otomatik olarak kullanıcıya sunulan mesafe değerleriyle ortam şartlarına göre polinom enterpolasyonu ve YSA yöntemleri kullanılarak hesaplanan mesafe değerlerinin, gerçek mesafe ile arasındaki farkların ortalaması değerlendirme ölçütü olarak kullanılmıştır.

## 3 Bulgular

Test noktalarında elde edilen veriler, polinom enterpolasyonu yöntemi kullanılarak polinom derecesine göre değerlendirilmiştir.  $r_0$  değerleri,  $n$  değerleri, hesaplanan mesafe değeri ile gerçek mesafe değeri arasındaki farkların ortalaması (HMO) ve Beacon'lardan otomatik olarak gelen mesafe değeri ile gerçek mesafe değeri arasındaki farkların ortalaması (BMO) Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Polinom enterpolasyonu test sonuçları

Table 1. Polynomial interpolation test results				
Polinom Derecesi	$r_0$ (dBm)	$n$ değeri	HMO (m)	BMO (m)
1	-76.97	1.49	3.86	2.86
2	-71.41	2.09	2.93	2.86
3	-67.77	2.59	2.26	2.86

4	-65.17	2.90	2.09	2.86
5	-61.37	3.39	1.87	2.86
6	-58.67	3.73	1.78	2.86
7	-57.32	3.90	1.75	2.86
8	-53.29	4.41	1.68	2.86
9	-53.06	4.44	1.68	2.86
10	-45.80	5.36	1.65	2.86
11	-44.21	5.56	1.65	2.86
12	41.02	16.31	1.91	2.86

Tablo 1 incelendiğinde en iyi sonucu 10. ve 11. dereceden polinom enterpolasyonunun verdiği görülmektedir.  $n$  değerinin hesaplanmasında  $r_0$  değerleri 6. dereceden sonra birbirine yakınlaştıkça dereceler arasındaki HMO sonuçlarının çok değişmediği gözlemlenmektedir. Bu durum 8, 9 ve 10, 11. derecelerde tabloda görülmektedir. Polinom enterpolasyonunda 12. dereceden sonra farklar büyüdüğünden dolayı Tablo 1, 12. dereceyle sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak; 10. ya da 11. derece polinom enterpolasyonu sonucunda elde edilen HMO ve BMO değeri karşılaştırıldığında, Beacon'lar tarafından kullanıcıya otomatik olarak sunulan mesafe bilgisinden daha iyi bir mesafe değeri elde edilmiş ve polinom enterpolasyonu sonucunda 1.21m'lik bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir.

YSA'nın öğrenme, adaptasyon ve paralel işleme gibi özellikleri sayesinde birçok alanda uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte sinir ağları yaklaşımında, bir sinir ağının optimum boyutunun belirlenmesi ve yerel minimumlara takılma en büyük dezavantajı olmuştur [23]. YSA yönteminde model oluşturmak için belirli kurallar bulunmamaktadır. Modelde kullanılan birçok parametre deneme-yanılma yapılarak belirlenebilmektedir [24]. Bu çalışmada YSA uygulamasında tek gizli katman kullanılmış ve gizli katmandaki nöron sayılarına denemeler yapılarak veriler elde edilmiştir. YSA için test sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. YSA uygulaması test sonuçları

Table 2. ANN application test results

Nöron Sayısı	$r_0$ (dBm)	$n$ değeri	HMO (m)	BMO (m)
2	-58.71	3.71	1.80	2.86
4	-60.33	3.50	1.87	2.86
7	-65.91	2.80	2.16	2.86
8	-62.28	3.27	1.92	2.86
9	-64.51	3.02	1.98	2.86
10	-66.74	2.69	2.25	2.86
11	-62.13	3.29	1.92	2.86
12	-64.73	2.98	2.01	2.86
15	-65.01	2.91	2.10	2.86
30	-65.58	2.87	2.09	2.86

Bu çalışmada yukarıda da söylendiği üzere, YSA test sonuçları için birçok deneme yapılmıştır. Yapılan bu denemeler neticesinde, en iyi sonucu veren 10 YSA modeli Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde ise en iyi sonucun 2 nöronlu YSA modelinden elde edildiği görülmektedir. HMO ve BMO değeri karşılaştırıldığında ise Beacon'lar tarafından kullanıcıya otomatik olarak sunulan mesafe bilgisinden daha iyi bir mesafe değeri hesaplanmıştır. Ayrıca YSA modelinden elde edilen sonuç incelendiğinde 1.06m'lik bir iyileşme sağlandığı görülmektedir.

## 4 Sonuçlar

Beacon tabanlı konumlamada kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin belirlenmesi çok önemlidir. Bu çalışmada kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafe ortam şartlarına göre polinom enterpolasyonu ve YSA yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Beacon üreticisi firma tarafından sağlanan standart değerlerle elde edilen mesafe bilgisiyle kıyaslanmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde her iki yöntemde de 1m'den fazla mesafe değerlerinde iyileştirmeler olduğu ortaya konmuştur. Özellikle polinom enterpolasyonunda, 5. dereceden 12. dereceye kadar olan sonuçlarda bu durum gözlemlenmektedir. YSA yönteminde de elde edilen sonuçların tamamında ortam şartlarına göre belirlenen mesafe bilgisinin daha iyi olduğu görülmüştür. Genel olarak polinom enterpolasyonun YSA yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği de bu çalışmanın bir diğer sonucu olarak söylenebilir. Gerçek zamanlı yapılacak Beacon tabanlı uygulamalar da dahil olmak üzere yapılacak çalışmalarda, uygulama alanından yeteri kadar örnekler alınıp  $r_0$  ve  $n$  değerinin belirlenmesi kullanıcı ile Beacon arasındaki mesafenin daha doğru hesaplanmasına olanak sağlayacaktır. Özellikle bu durum yakınlık yöntemi gibi doğrudan mesafeye bağlı olan konumlandırma yöntemleriyle yapılacak uygulamalarda daha az Beacon'a ihtiyaç duyulmasından dolayı ekonomik anlamda verim sağlayacaktır.

## 5 Conclusions

Determining the distance between the user and the Beacon is very important in Beacon-based positioning. In this study, the distance between the user and the Beacon was determined using polynomial interpolation and ANN methods according to the ambient conditions. The obtained results were compared with the distance information obtained with the standard values provided by the Beacon manufacturer. When the results were analysed, it was seen that there were improvements in the distance values of more than 1m in both methods. Especially in polynomial interpolation, this situation is observed in the results from 5th to 12th degree. In the ANN method, it was seen that the distance information determined according to the ambient conditions was better in all the results obtained. In general, it can be said as a result of this study that polynomial interpolation gives better results than ANN method. In studies to be carried out, including real-time Beacon-based applications, taking enough samples from the application area and determining the expected RSSI value for a distance of  $n$  and 1m will allow a more accurate calculation of the distance between the user and the Beacon. Especially in applications with positioning algorithms that are directly dependent on distance, such as the proximity algorithm, this will provide economic efficiency due to the need for fewer Beacons.

## 6 Teşekkür

## 7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 ve Yazar 2 fikrin oluşması, kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesinde; Yazar 1 literatür taraması, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların elde edilmesinde; Yazar 2 elde edilen sonuçların incelenmesi, yorumlanması ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesinde katkı sunmuştur.

## 8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 9 Kaynaklar

- [1] Görmez Y, Arslan H, Işık Y E, Tomaç S. "A novel hybrid model for bluetooth low energy-based indoor localization using machine learning in the internet of things". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 36-43, 2014.
- [2] Pyt P, Skrobacz K, Jankowski-Mihulowicz P, Węglarski M, Kamuda K. "Empowering Accessibility: BLE Beacon-Based IoT Localization". *Electronics*, 12(19), 4012, 2023.
- [3] Son D N, Thai-Mai D T. "Smartphone indoor positioning based on enhanced BLE beacon multilateration". *TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control*, 19, 51-62, 2021.
- [4] Ivanov R. "Accuracy analysis of BLE beacon-based localization in smart buildings". *J.Ambient Intell. Smart Environ*, 13, 325-344, 2021.
- [5] Bello-Ogunu E, Shehab M, Miazzi M N. "Privacy Is The Best Policy: A Framework for BLE Beacon Privacy Management". *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Milwaukee, USA, 1 July 2019.
- [6] S Kajioka, T Mori, T Uchiya, I Takumi, H Matsuo. "Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon". *2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Tokyo, Japan, 07-10 October 2014.
- [7] Allurwar N, Nawale B, Patel S C. (2016). Beacon for Proximity Target Marketing. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 5.
- [8] W A Kristiana, M Mizanul Achlaq, B Anindito, A Nugroho, C Darujati, M N Al Azam, "UUID Beacon Advertisements For Lecture Schedule Information". *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Malang, Indonesia, 2018.
- [9] A Assissi, A M Paul, J Mathew, J Paul, T Jose, K R Soumya, "Beaconholic: An efficient framework for location sensing reminder application using IoT". *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, India, 2016.
- [10] C H Lam, K E Jeon, S Wong, J She. "Distance Estimation Using BLE Beacon on Stationary and Mobile Objects". in *IEEE Internet of Things Journal* 9(7), 4928-4939, 2022,
- [11] Y Wang, X Yang, Y Zhao, Y Liu, L Cuthbert, "Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods". *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 11-14 January 2013.
- [12] A Mackey, P Spachos, L Song, K N Plataniotis. "Improving BLE Beacon Proximity Estimation Accuracy Through Bayesian Filtering". in *IEEE Internet of Things Journal*, 7(4), 3160-3169, 2020.
- [13] Arıkan D, Yıldız F, Makineci H B. "Hava Lidarı Verilerine Uygulanan Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Sam Doğruluğuna Etkisi", *KONJES*, 9(2), 377-394, 2021.
- [14] Yılmaz N. "Jeoid yüksekliklerinin belirlenmesinde ağırlıklı ortalama ve polinomlarla enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması". *DÜMF MD*, 10(2), 743-754, 2019.
- [15] McCulloch W.S., Pitts W. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity". *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133, 1943.
- [16] Ataseven B. "Yapay sinir ağları ile ilgili bilgiler". *Öneri Dergisi*, 10 (39), 101-115, 2013.
- [17] Alpaydın E. *Introduction To Machine Learning*. Cambridge, England, The MIT Press. 2004.
- [18] Konakoglu B. "Prediction of geodetic point velocity using MLPNN, GRNN, and RBFNN models: a comparative study". *Acta Geod Geophys*, 56, 271-291, 2021.
- [19] Kisi O, Alizamir M, Zounemat-Kermani M. "Modeling Groundwater Fluctuations by Three Different Evolutionary Neural Network Techniques Using Hydroclimatic Data". *Natural Hazards*, 87(1), 367-38, 2017.
- [20] Kisi O, Alizamir M. "Modelling Reference Evapotranspiration Using a New Wavelet Conjunction Heuristic Method: Wavelet Extreme Learning Machine vs Wavelet Neural Networks". *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 41-48, 2018.
- [21] Ceylan H, Avan M. "Türkiyede'ki İş Kazalarının Yapay Sinir Ağları ile 2025 Yılına Kadar Tahmini". *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 2012.
- [22] Okkan U, Serbeş ZA, Gedik N. (2018). "MATLAB ile Levenberg-Marquardt algoritması tabanlı YSA uygulaması: Aylık yağış-akış modellemesi". *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 351-362, 2018.
- [23] İplikçi S. "Support vector machines based neuro fuzzy control of nonlinear systems". *NEUROCOMPUTING*, 73(10-12), 2097-2107, 2010.
- [24] Dinç N, Ulukavak M. "Adıyaman İli için Yapay Sinir Ağları ile Geoit Belirleme". *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 181-192, 2022.