



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yeni Bir İç Mekân Konum Bulma Sistemi

Şeyda YAMAN^{a,*}, Köksal GÜNDOĞDU^b, Ali ÇALHAN^c

^a Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimler Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b E&K Arge Mühendislik Ltd. Şti. Düzce, Türkiye

^c Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: seydaayaman@gmail.com

DOI:10,29130dubited.747445

ÖZET

Teknolojinin gelişimine paralel olarak konum bulma sistemleri çok önem kazanmıştır. Konum bulma sistemleri dış mekân konum bulma sistemleri ve iç mekân konum bulma sistemleri diye temel olarak iki sınıf altında toplanmıştır. Dış mekân konum bulma sistemleri genellikle GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi) sinyallerini temel aldığı için iç ortamda verimli bir şekilde çalışmamaktadır. İç mekân konum bulma sistemleri gelişimini sürdürmektedir ve üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, verimli bir iç mekân konum bulma sistemi oluşturabilmek için elektronik kart tasarımları gerçekleştirilmiştir. İç mekân konum bulma yöntemi için bu kartlara uygun yazılımlar hazırlanmıştır. Ayrıca sistemi verimli bir şekilde analiz edebilmek için arayüz programı tasarlanmıştır. Yapılan test sonuçları ve veriler incelendiğinde iç mekân konum bulma sistemi için uygun maliyet ile yakın doğruluk değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç Mekân Konum Bulma, Elektronik Kart Tasarımı, Kablosuz haberleşme

A New Indoor Positioning System

ABSTRACT

In parallel with the development of various technologies, the positioning systems have come into prominence. The positioning systems are basically grouped as outdoor and indoor positioning systems. Outdoor positioning systems generally do not work efficiently in the indoor environment, as they are based on GPS (Global Positioning System) signals. Indoor positioning systems continue to develop and many studies are being carried out. In this study, electronic card designs were created to make an efficient indoor positioning system. Software for the developed cards has been prepared for the indoor positioning method. In addition, an interface program has been designed to analyze the system efficiently. When the test results and data were analyzed, it was observed that close accuracy values were reached with suitable cost for the indoor positioning system.

Keywords: Indoor positioning, Electronic Card Design, Wireless Communications

I. GİRİŞ

İnsanların zamanlarının neredeyse % 70'ini iç mekânda geçirmektedir [5]. Bundan dolayı günümüzde iç mekânlarda hızlı, güvenilir ve gerçek zamanlı bir konum bilgisini elde etmek insanlar için önemli sorunlardan bir tanesi olmuştur. Dış mekân konumlandırma sistemleri temel olarak Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System) sinyallerini temel aldığı için iç ortamda verimli bir şekilde çalışmamaktadır. Dış ortamın aksine iç ortamlarda genellikle GPS sinyalleri zayıfladığı için iç mekan yer tespitinde farklı tür konumlandırma sistemleri gerekmektedir [26]. İç ortamlarda konum bilgisi elde etmek için çeşitli yöntemler kullanılarak iç mekân konumlandırma sistemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır [7-21]. Yapılan çalışmalarda doğru sonuçlara ulaşabilmek için kızılötesi alıcı-verici sistemler, iBeacon teknolojisi, cep telefonu, RFID (Radio Frequency Identification; Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojisi...gibi farklı materyal kullanılmıştır [3, 5, 16-22]. Kullanılan materyallerin başında akıllı telefonlar gelmektedir [4-7]. Akıllı telefonlarla doğru sonuçlara yaklaşma oranı artarken maliyette doğru orantılı şekilde artmaktadır. Diğer taraftan Beacon cihazlar, Bluetooth cihazlar, IEEE 802.11 protokolünü destekleyen hazır cihazlar, RFID sistemleri, Kızılötesi sistemleri gibi cihazlar uygun maliyetli çözümlere ulaşılsa da, doğruluk oranları azalmaktadır. Kurulum kolaylıklarıyla ilgili çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Akıllı telefonlar gibi kompakt sistemler kurulum kolaylığı sağlarken, kızılötesi sistemler gibi dağınık sistemlerin kurulumu daha zordur [9,16]. Kullanılan sistemler, bir nesnenin gerçek pozisyonu ile hesaplanan pozisyonu arasında üç ile beş metre arasında hata payı olduğunu göstermektedir [3]. Yapılan çalışmalarda görüleceği üzere kullanılan materyaller ve algoritmalar farklı olsa da temel amaç pozisyonun doğruluğuna en yakın değerleri bulmaktır.

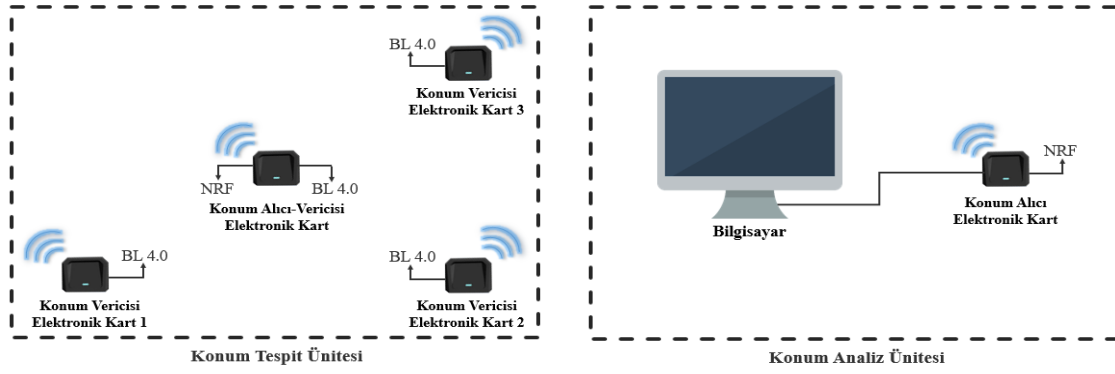
Bu çalışmada, uygun maliyet ile yakın doğruluk değerlerine ulaşabilmek için 3 adet “Konum Verici Elektronik Kartı”, 1 adet “Konum Alıcı-Verici Elektronik Kartı” ve 1 adet “Konum Alıcı Elektronik Kartı” tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sisteme ait verileri analiz edebilmek için C# programlama dili ile arayüz tasarımı gerçekleştirilmiştir. 3 adet verici noktasından gelen veriler, 1 adet alıcı-verici düğümden algılanıp kablosuz olarak bilgisayara bağlı olan alıcı düğüme NFR protokolü ile gönderilerek C# programlama dili ile tasarlanan analiz programında gösterilmektedir.

II. SİSTEM TASARIMI

A. SİSTEME GENEL BAKIŞ

Şekil 1’de gösterilen blok diyagramda görüleceği üzere sistem 2 bölüm şeklinde tasarlanmıştır. Birinci bölüm konum bilgilerinin tespit edildiği “Konum Tespit Ünitesi”, ikinci bölüm ise gelen konum bilgilerinin analiz edilerek kullanıcılara gösterildiği “Konum Analiz Ünitesi”dir.

Konum Tespit Ünitesi, 3 adet verici elektronik kart ve 1 adet ortam içerisinde gezinen alıcı-verici elektronik karttan oluşmaktadır. Verici kartlardan gelen sinyal bilgileri, alıcı-verici kartta değerlendirilerek Şekil 1’de gösterilen “Konum Analiz Ünitesi” içerisindeki alıcı karta gönderilmektedir. Konum Analiz Ünitesi, ise toplanan verilere göre konum hesabının yapıldığı ve C# programlama dili ile tasarlanan arayüz programında doğruluk değerinin hesaplandığı bölümdür.



Şekil 1. Tasarlanan Sistemin Blok Diyagramı

B. KONUM TESPİT ÜNİTESİ

Konum tespiti yapabilmek için tasarladığımız ve fiziksel olarak üretimini gerçekleştirdiğimiz elektronik kartlar Şekil 2.(a)' da görülmektedir. Şekil 2.(a)'da görüleceği üzere bu ünite 3 adet konum verici elektronik kart ve 1 adet konum alıcı-verici elektronik karttan oluşmaktadır. Kartlar ortam içerisine Şekil 3.'te gösterildiği gibi X,Y koordinatına göre yerleştirilmiştir. Birinci konum verici elektronik kartı (0cm,0cm), ikinci konum verici elektronik kartı (400cm,0cm) ve üçüncü konum verici elektronik kartı (400cm,370cm) koordinatlarına yerleştirilmiştir. Konum alıcı-verici elektronik kartı belirlenen alan içinde dolaşacak şekilde ayarlanmıştır. Konum verici kartlar Bluetooth 4.0 teknolojisi ile çalışan RSSI (Received Signal Strength Indicator; Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) sinyallerini ve kimlik bilgilerini ortama gönderen kartlardır. Alıcı-Verici Elektronik Kartı, Bluetooth 4.0 ve NRF haberleşme protokolünü destekleyen hareketli bir noktadır. Verici kartlardan gönderilen RSSI ve kimlik bilgilerini Bluetooth 4.0 teknolojisi ile almaktadır. Alınan bu veriler NRF protokolü ile Konum Analiz Ünitesi Alıcı Kartına gönderilmektedir.



Şekil 2. (a) Konum Tespit Ünitesi İçin Gerekli Kartlar (b) Konum Analiz Ünitesi İçin Gerekli Kartlar

C. KONUM ANALİZ ÜNİTESİ

Konum Analiz Ünitesi, bilgisayara bağlı 1 adet alıcı düğüm ve arayüz programından oluşmaktadır. Alıcı-verici elektronik karttan NRF protokolü ile gelen RSSI ve Kimlik bilgileri alıcı kart tarafından algılanıp dönüştürme işlemi Regular Parametric Model kullanılarak, (2B) trilaterasyon yöntemine göre

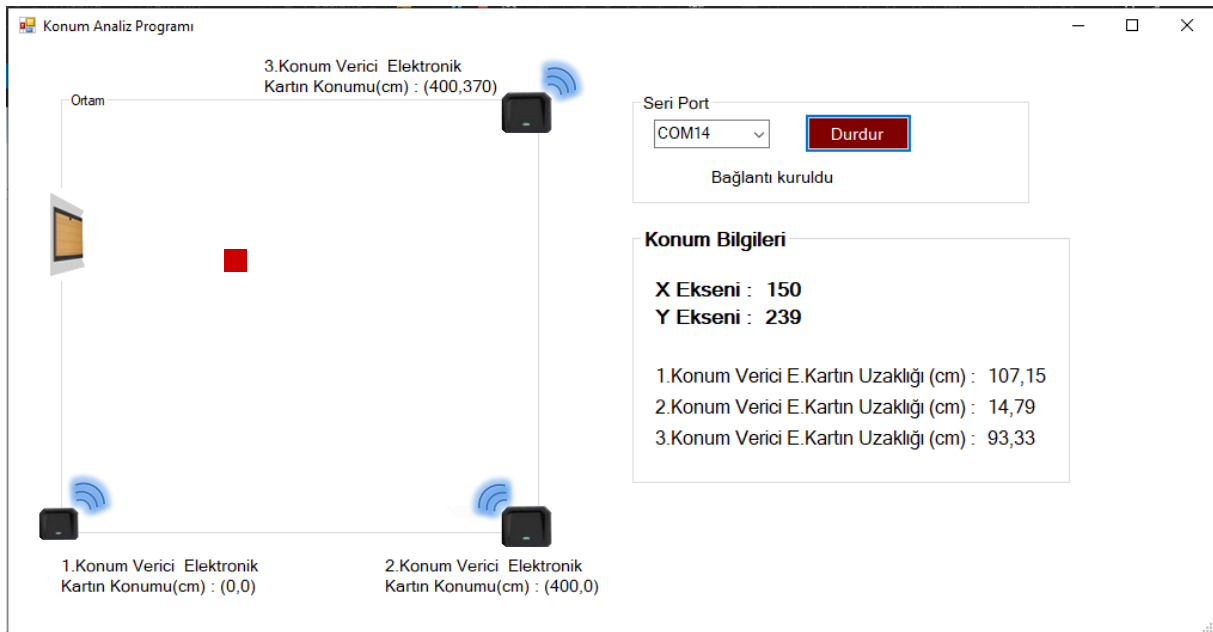
analiz edilmektedir [24]. Regular Parametric Modele göre RSSI ve $RSSI_1$ denklemdeki ana parametreleri oluşturmaktadır. RSSI ve $RSSI_1$ değerleri denklem 1’de gösterilen Regular Parametric Model formülü ile göre cm değerine dönüştürülmektedir. Elde edilen veriler sayesinde Konum Alıcı-Verici Elektronik Kartın X,Y koordinatları belirlenir. Belirlenen bu X,Y koordinatları bilgisayar üzerinde bulunan arayüz programına USB haberleşme yolu ile gönderilmektedir. Daha sonra belirlenen X,Y koordinatları arayüz programında Şekil 3.’de gösterildiği gibi X,Y koordinat düzleminde gösterilmektedir.

$$Uzunluk = 10^{\frac{RSSI - RSSI_1}{-10 + n}} \quad (1)$$

RSSI ortam içerisinde ölçülmüş olan değerdir. $RSSI_1$ 1 metre uzaklıktaki RSSI değeridir. n ortam değişkenidir, kurulan sistemde n, 20 olarak kabul edilmektedir [22].

D. ARAYÜZ PROGRAMI

Konum tespitinin analiz edilmesi için Şekil 3.’te gösterilen ve C# programlama dili kullanılarak hazırlanan bir arayüz programı tasarlanmıştır. Bu arayüz programında, konum analiz ünitesinde bulunan konum alıcı elektronik kart ile bağlantı yapabilmek için bir bölüm bulunmaktadır. Ayrıca konum verici elektronik kartların ortam içerisine X,Y koordinatına göre yerleştirildiği ve konum alıcı-verici elektronik kartın yerinin tespit edildiği bir bölüm ve konum verici elektronik kartların ortam içinde gezinen düğümüne olan uzaklıkları ve buna bağlı olarak düğümün koordinat bilgilerinin gösterildiği bölüm bulunmaktadır.

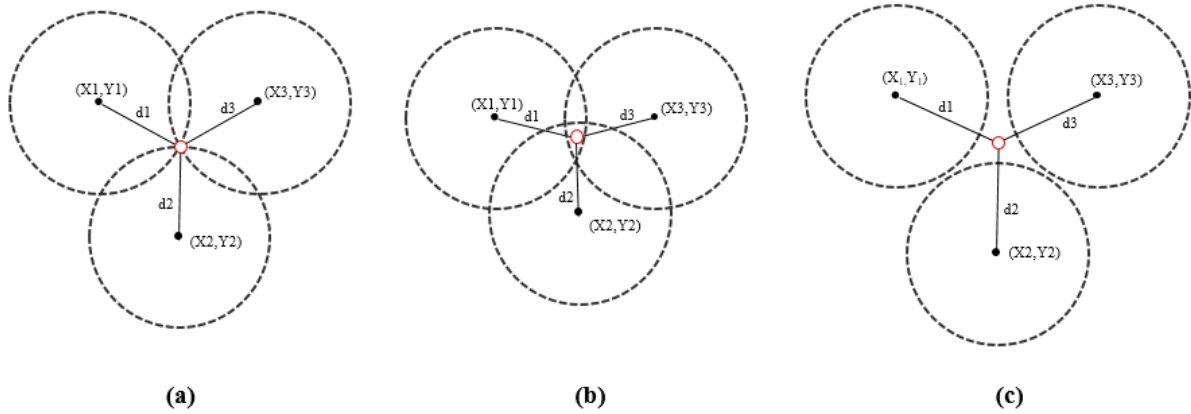


Şekil 3. Konum Tespiti İçin Kullanılan Arayüz Programı

E. TRİLATERASYON YÖNTEMİ

Trilaterasyon yöntemi iç ve dış ortam konum belirlemede tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. Global Yer Tanımlama Sistemi (GPS) uyduları ile yapılan konum belirlemede genellikle Trilaterasyon yöntemi kullanılmaktadır. Trilaterasyon yöntemi kullanılan referans noktalarının sayısına ve koordinatların bilinirliğine göre değişir. Kurulan sistemde en az 3 farklı konum verici referans noktasının koordinatlarının bilinmesi ve konumu tespit edilmesi istenen düğümüne olan uzaklıkları

biliniyor ise iki boyutlu (2B) Trilaterasyon yöntemi kullanılabilir. Kurulan sistemde 4 farklı veya daha fazla konum verici referans noktasının koordinatlarının bilinmesi ve konumu tespit edilmesi istenen düğüme olan uzaklıkları biliniyor ise iki boyutlu (3B) Trilaterasyon yöntemi kullanılabilir [24]. İç ortam konum tespiti yapmak için kurulan sistemde 3 farklı noktada konum verici elektronik ortam içerisinde tavana konumlandırılmıştır. Tavana konumlandırılan konum verici elektronik kartların yerden yükseklikleri aynıdır. Konum tespiti için 3 farklı referans noktası baz alındığı için 2(B) trilaterasyon yöntemi tercih edilmiştir. 2B trilaterasyon yöntemi kullanılarak iç ortam konum tespiti yapılması için Şekil 3’de görüldüğü gibi konum verici elektronik kartların koordinatları çemberin merkez noktası olarak kabul edilmiştir. Konum verici elektronik kartların ortam içerisinde gezinen konum alıcı-verici elektronik kartta olan uzaklıkları yarıçap olarak kabul edilmiştir. Konum alıcı-verici elektronik kartın ortam içindeki koordinat noktalarının hesabı için Şekil 4’de görüldüğü gibi üç çember denklemin ortak çözüm noktalarının bulunması gerekmektedir. Tasarlanan sistemde Şekil 4.(a)’da gösterildiği gibi merkez noktası farklı 3 çemberin kesişimi hedef nokta kabul eden yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada trilaterasyon tekniği olarak kullanılan algoritma Cramer Rao yöntemidir. Denklem sayısının değişken sayısına eşit olduğu durumlarda tercih edilen bir yöntemdir [25].



Şekil 4. (a) Üç konum verici tek bir noktada kesişir (b) Üç daire belli bir alanda kaçırsın (c) Hiçbir noktada kesişmeyen daireler

Konum alıcı-verici elektronik kartın X ve Y koordinatları, Cramer Rao kuralını kullanarak denklem (2) çözümlenerek bulunur [6].

$$x = \frac{\begin{vmatrix} (d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) & 2(y_2 - y_1) \\ (d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad Y = \frac{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & (d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(x_3 - x_1) & (d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad (2)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

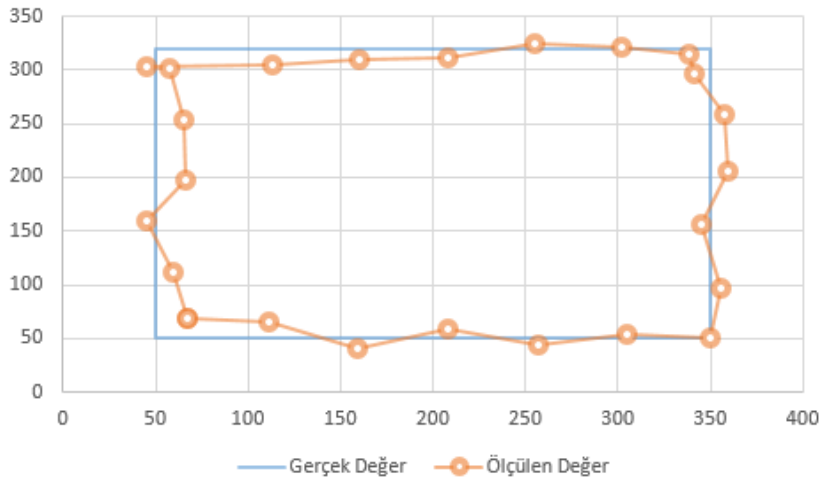
Tablo 1’ de, literatürde konum tespiti için yapılan çalışmalarda kullanılan cihazların ve fiyatlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 1’de görüleceği üzere 1. ve 2. makalede 4 adet hazır elektronik kart ve 1 adet akıllı cihaz kullanılarak bir sistem kurulmuştur ve sistemin toplam maliyeti sırasıyla 1753,88₺ ve 1721₺’dir. 3. makalede ise 1 adet elektronik cihaz ve 1 adet akıllı cihaz kullanılarak bir sistem kurulmuş ve sistemin toplam maliyeti 1818,46₺’dir. 4. makalede ise 1 adet hazır elektronik kart ve 7 adet elektronik kart tasarımı yapılarak bir sistem kurulmuştur. 7 adet elektronik kartın 2 tanesi devre kartı 5 tanesi verici karttan oluşmaktadır. Sistemin toplam maliyeti 836,86₺’dir. Tablo 1’de

görülebileceği üzere genellikle kurulan sistemlerde akıllı cihaz kullanılmış ve kart tasarımı yapılmak yerine hazır elektronik kartlar tercih edilmiştir. Bundan dolayı kurulan sistemlerin maliyetleri yüksek çıkmaktadır. Oluşturduğumuz sistemde akıllı cihazların maliyeti oldukça yüksek olmasından dolayı sistemde kullanılmak üzere 3 adet “Konum Verici Elektronik Kart” , 1 adet “Konum Alıcı Elektronik Kart” ve 1 adet “Konum Alıcı-Verici Elektronik Kart” tasarlanmıştır. Böylelikle sistem maliyeti diğer sistemlere göre azaltılmıştır. Sistemde kullanılan kartlar Arduino Leonardo tabanlıdır, ATmega32U4 mikrodenetleyici içermektedir. Alıcı-verici elektronik kart ve verici elektronik kart 1S 3,7 mA lipo pil ile gerilim beslemesi yapılmaktadır. 3,7V DC-DC boost converter ile 5V’ta çevrilmiştir. 2,4 GHz kablosuz haberleşme için alıcı elektronik kart üzerinde NRF modülü kullanılmıştır. Verici elektronik kartlar Bluetooth. 4.0 üzerinden haberleşmektedir.

Tablo 1. Kullanılan Cihaz ve Fiyat Karşılaştırılması

	(1) [4]	(2)[5]	(3)[6]	(4)[19]	(5)Bu Makale
Yaklaşık akıllı cihaz maliyeti	1343,04₺	799,00₺	1499,00₺	-	-
Akıllı cihaz adeti	1	1	1	-	-
Elektronik kartın yaklaşık maliyeti	410,84₺	922₺	319,46₺	436,86₺	-
Elektronik kart adeti	4	4	1	1	-
Tasarımı yapılan kartın Yaklaşık maliyeti	-	-	-	400₺	250₺
Tasarım yapılan kart adeti	-	-	-	7	5
TOPLAM MALİYET	1753,88₺	1721₺	1818,46₺	836,86₺	250₺

Tasarlanan sistemin verimliliğini görebilmek için gerçek ortamda duvar kenarlarına 50 cm boşluklar bırakılarak bir test düzlemi hazırlanmıştır. Hazırlanan test düzleminde Alıcı-Verici Elektronik kart (50,50) koordinat noktasından başlayarak düzlem üzerinde tam 1 tur gezdirilmiştir. Bu süre zarfında Şekil 3’te gösterilen arayüz programı ile kartın konum bilgileri 25 kere kayıt altına alınmıştır. Elde edilen test sonuçları Şekil 5’te bir grafik olarak ve Tablo 2’de değerler halinde gösterilmektedir.



Şekil 5. Gerçek Ortamda Hazırlanan Test Sonucu

Tablo 2’de test sonucunda beklenen değerler ve elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Tablo 2 ve Şekil 5 incelendiğinde, test sonuçlarının konum verici elektronik kartların kesişim noktasına yaklaştıkça

doğruluk değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca konum verici elektronik kartların kesişim noktalarından uzaklaştıkça doğruluk değerinde 5-20 cm arası sapmalar olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 2. Gerçek Ortamda Hazırlanan Test Düzleminin Sonuçları

Test Sayısı	Beklenen Değer		Ölçülen Değer	
	X	Y	X	Y
1	50	50	67	69
2	100	50	111	65
3	150	50	159	40
4	200	50	208	58
5	250	50	257	44
6	300	50	305	54
7	350	50	350	50
8	350	100	356	96
9	350	150	345	156
10	350	200	360	205
11	350	250	358	259
12	350	300	341	297
13	350	320	338	315
14	300	320	302	321
15	250	320	255	324
16	200	320	208	312
17	150	320	160	309
18	100	320	113	305
19	50	320	45	304
20	50	300	58	302
21	50	250	65	254
22	50	200	66	198
23	50	150	45	159
24	50	100	60	112
25	50	50	67	69

IV. SONUC

Literatürde konum tespiti için yapılan çalışmalarda doğru sonuçlara ulaşabilmek için kızılötesi alıcı-verici sistemler, iBeacon teknolojisi, cep telefonu, RFID teknolojisi gibi farklı materyal kullanılmıştır. Akıllı telefonlarla doğru sonuçlara yaklaşma oranı artarken maliyette doğru orantılı şekilde artmaktadır. Diğer taraftan Beacon cihazlar, Bluetooth cihazlar, IEEE 802.11 protokolünü destekleyen hazır cihazlar, RFID sistemleri, Kızılötesi sistemleri gibi cihazlar uygun maliyetli çözümlere ulaşılsa da, doğruluk oranları azalmaktadır. Kullanılan cihazlar ile yakın doğruluk oranlarına ulaşabilmek için kurulan sistemlerin yüksek maliyetlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu çalışmada, iç ortamda konum tespiti yapabilmek için alıcı elektronik kart, çevresindeki 3 adet verici elektronik kart ve topladıkları verileri bilgisayara verebilmek gönderebilmek için alıcı-verici elektronik kart olmak üzere 5 adet kart tasarlanmış ve fiziksel olarak üretilmiştir. Bu kartlara belirlenen haberleşme protokolü ve pozisyon

hesaplamaları yapabilmek için gerekli algoritma yazılımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu sistemin literatürde belirtilen sistemlerden daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Doğruluk değerlerini hesaplayabilmek için yapılan test sonuçlarından görüldüğü gibi gerçek konum ile hata payı küçük değerler elde edilmiştir. Belirli noktalarda hata payının limit değerinin sıfır olduğu gözlemlenmektedir. Test sonuçları ve fiziksel ağ analiz edildiğinde, oluşturduğumuz sistemin uygun maliyet değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca hata payının literatürde belirtilen ürünler gibi performans gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla oluşturduğumuz sistemin düşük maliyet değerlerinde, yüksek performans değerleri sağlamıştır.

Yapmış olduğumuz çalışma şimdilik açık plan tek katlı binalarda kullanılabilir. Bu sistemi çok katlı binalarda ya da kapalı plan çok odalı tek katlı binalarda kullanabilmek için sinyalleri toplayan ve bilgisayara gönderen konum-alıcı verici kartında şu şekilde bir geliştirme yapılabilir. Alıcı-verici kartı NRF haberleşme teknolojisi ile göndermiş olduğu verileri, Wi-Fi üzerinden veri tabanına gönderilebilir. Veri tabanındaki verilerin işlenmesi ile çok katlı binalarda konum bulma sistemi uygun maliyet ve yakın doğruluk oranları ile gerçekleştirilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] L. Wirola, T. A. Laine and J. Syrjärinne, "Mass-market requirements for indoor positioning and indoor navigation," *2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2010, pp. 1-7,
- [2] Wu, T.; Xia, H.; Liu, S.; Qiao, "Y. Probability-Based Indoor Positioning Algorithm Using iBeacons," *Sensors*, vol. 19, no. 23, pp. 5226-5244, 2019
- [3] C. Kowalski, K. Blohm, S. Weiss, M Pflingstorn, P. Gliesche, and A. Hein, "MultiLow-resolution Infrared Sensor Setup for Privacy-preserving Unobtrusive Indoor Localization," *5th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health*, 2019, pp. 183-188.
- [4] N. Duong and T. Dinh, "Indoor Localization with lightweight RSS Fingerprint using BLE iBeacon on iOS platform," *2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 2019, pp. 91-95.
- [5] A. Sato, M. Nakajima and N. Kohtake, "Rapid BLE Beacon Localization with Range-Only EKF-SLAM Using Beacon Interval Constraint," *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2019, pp. 1-8.
- [6] A. Poulou and D. S. Han, H, "Indoor Localization Using IMU Sensors and Smartphone Camera," *Sensors*, vol. 19, no. 23, pp. 5084-5101, 2019
- [7] R. Montoliu, E. Sansano, A. Gasco, O. Belmonte and A. Caballer "Senior Monitoring: A Real Case of Applying a WiFi Fingerprinting-based Indoor Positioning Method for People Monitoring," *IPIN*, 2019
- [8] Y.F. Tang, Y.X. Zhang, S.W. Hing and S.L. Kan, "Pixel-based Map Matching Algorithm for Pedestrian Dead Reckoning System," *IPIN*, 2019
- [9] D. Namiot, "On Indoor Positioning," *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 23-26, 2015
- [10] R. Brena, J. García-Vázquez, C. Galván-Tejada, D. Muñoz-Rodríguez, C. Vargas-Rosales, and J. Fangmeyer Jr, "Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey," *Journal of Sensors*, 2017,

- [11] M. A. Al-Ammar *et al.*, "Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms," *2014 International Conference on Cyberworlds*, 2014, pp. 245-252.
- [12] M. Kwak, C. Hamm, S. Park and T. T. Kwon, "Magnetic Field based Indoor Localization System: A Crowdsourcing Approach," *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2019, pp. 1-8.
- [13] K. Al Nuaimi and H. Kamel, "A survey of indoor positioning systems and algorithms," *2011 International Conference on Innovations in Information Technology*, 2011, pp. 185-190.
- [14] B. Sekmen, K. R. Özyılmaz and G. İnce, "An efficient beacon hardware for indoor location services," *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016, pp. 217-220.
- [15] A. Alarifi, A. Al-Salman, M. Alsaleh, A. Alnafessah, S. Al-Hadhrami, M. Al-Ammar ve H. Al-Khalifa, "Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances," *Sensors*, vol.16, no. 5, pp. 707-743, 2016
- [16] S. S. Saab and Z. S. Nakad, "A Standalone RFID Indoor Positioning System Using Passive Tags," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 5, pp. 1961-1970, May 2011.
- [17] S. C. Aydalka, "Bluetooth Beacon Teknolojisi Kullanarak Lokasyon Ve Müze Eser Tanıtım Uygulaması Gerçekleştirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye*, 2018.
- [18] B. Li, T. Gallagher, A. G. Dempster and C. Rizos, "How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?," *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2012, pp. 1-9.
- [19] Y. Yelkovan *et al.*, "Infrared beacon based sub-meter indoor localization," *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014, pp. 1427-1430.
- [20] X. Li, D. Xu, X. Wang and R. Muhammad, "Design and implementation of indoor positioning system based on iBeacon," *2016 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP)*, 2016, pp. 126-130.
- [21] T. Kitasuka, K. Hisazumi, T. Nakanishi and A. Fukuda, "WiPS: Location and Motion Sensing Technique of IEEE 802.11 Devices," *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, 2005, pp. 346-349.
- [22] A. S. Taşbaş, E. Erdal and S. Özdemir, "Real-Time Object and Personnel Tracking in Indoor Location," *2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 2019, pp. 585-590.
- [23] S. Bozkurt, S. Günal, U. Yayan and V. Bayar, "Classifier selection for RF based indoor positioning," *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2015, pp. 791-794.
- [24] M. Qathrady and A. Helmy, "Improving BLE Distance Estimation and Classification Using TX Power and Machine Learning: A Comparative Analysis," *20th ACM Int'l Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 2017, pp. 79-83.

[25] E. G. Larsson, "Cramer-Rao bound analysis of distributed positioning in sensor networks," in *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 334-337, March 2004.

[26] H. ARSLANTAŞ ve S. ÖKDEM, "İç Mekân Konumlandırma Yöntemleri," *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, vol.4, no.6, pp. 441-443, 2019.