



A New Measurement Method in Survey Studies: Slam Applications with the Help of LIDAR Sensor

Elif Merve Erturan and Mine Ulusoy

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

April 9, 2022

Rölöve Çalışmalarında Yeni Bir Ölçme Yöntemi: Lidar Sensör Yardımla SLAM Uygulamaları

Elif Merve Erturan^{1*} ve Mine Ulusoy²

¹Mimarlık Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Türkiye

*emerturan@ktun.edu.tr

Özet – Restorasyon çalışmalarında mevcut durumun yüksek doğruluk oranı ile tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bilgisayar teknolojilerinin tüm disiplinlere dahil olması ve mimaride de işin içine girmesi sayesinde yapılan çalışmalar yükselen bir ivmeyle artış göstermiştir. Lazer cihazlar vasıtasıyla ölçümlerin süreleri kısalmış, insan gücüne olan ihtiyaç da azalarak doğruluk oranları artmıştır. Lazer ölçüm cihazları son yıllarda farklı teknolojilerle iki boyutlu ve üç boyutlu düzlemlerde yüksek çözünürlüklerde ölçümler yaparak restoratörlerin işini oldukça kolaylaştırmıştır. Ancak son yıllarda artan rekabet ve cihazların pahalılaşması sonucu lazer bulut teknolojileri yeteri kadar kullanılamamış alternatif ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen SLAM (Eş Zamanlı Konumlandırma ve Haritalandırma) uygulaması ve LIDAR (Light Detection and Ranging) sensör sayesinde gerçekleştirilebilen kapalı ortamların haritalarının kolaylıkla çıkarılabilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde oldukça düşük maliyetlerde ve yüksek hızda plan düzleminde ölçüm gerçekleştirilmesi mümkün hale getirilmiştir. Alan çalışması olarak Konya ilinde bulunan ve Selçuklu mimarisini yansıtan İnce Minareli Medrese seçilerek kısa bir sürede çıkarılan iki boyutlu harita makale içeriğinde yer almaktadır. Yüksek doğrulukla gerçekleştirilen çizimde, duvar kalınlıkları, kapı-pencere boşlukları ve mekan büyüklükleri kolaylıkla okunabilmektedir. Cihazın mekanları birleştirebilmesi ve her mekan için ayrı bir ölçüm yapılmasının zorunlu olmaması sayesinde ilave iş gücü de ortaya çıkmamakta büyük mekanlarda da kolaylıkla ölçümünü gerçekleştirmektedir. Sonuç olarak tarihi yapılarda kullanılabilecek bu sensör sayesinde avantajlı bir hale gelebilecek ve tüm uzmanların kolaylıkla kullanabileceği bir sistemle 360 derece dönerek ortamı hızlıca haritalandırabilen bir sistemin rölöve çalışmalarında da kullanılmasının desteklenmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler – mimaride SLAM, rölövede SLAM, LIDAR teknolojileri, mimari plan ölçümü

I. GİRİŞ

Lazer Nokta Bulutu teknolojileri mimaride son dönemlerde sıklıkla kullanılmakta ve büyük avantajlar sağlamaktadır. Tarihi eserler, tescilli binalar ve rölöve restorasyon projeleri gibi büyük çaplı ve kapsamlı mekan ölçümleri bu teknoloji sayesinde kolaylıkla elde edilebilirken, yüksek maliyetleri ve hassas teknolojik sistemleri ve büyük boyutları gibi dezavantajları vardır. Kullanılan

aletlerin ve veri işleme yazılımlarının pahalı olması yaygın kullanımın önündeki en önemli engel olarak görülmektedir. [1] Gelişen dokümantasyon teknolojilerinin (dijital fotoğrafçılık, LIDAR, Lazer Tarama ve dijital fotogrametri) uygulanması ve metrik verileri elde etmek için kurumsal desteğe de ihtiyaç vardır. [2] Çalışmada önerilen LIDAR (Light Detection and Ranging) sensör ise uygun maliyetle iki boyutlu haritaların yüksek doğrulukla

çıkarılması avantajları olan yapısında bulunan iki adet göz bulunan bir sensördür.

Teknolojinin gelişmesiyle robotik sistemlerde kullanılan sensör çeşitleri de geliştirilmiştir. Sensörler, ortamdaki fiziksel büyüklükleri (ışık, basınç, sıcaklık vb.) algılayan ve bunları elektriksel büyüklüğe dönüştüren elektronik cihazlardır. Pek çok sensör türü vardır; Lidar, sonar, infrared, RGB-D gibi. Lidar ve infrared sensörler lazer bazlı mesafe ölçümlerinde kullanılmaktadır. Robotik sistemlerde kapalı ortamlarda GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) konum bilgisine erişemediğinden haritalandırma yanında konumlandırma probleminin çözüme ulaştırılması çalışmaları artış göstermiştir.

Robotik teknolojiler ile iç ve dış mekanların haritalandırılması oldukça kolaylaşmıştır. Robotlar kendi yönlerini bulmak ve engellere takılmamak için bulundukları ortamın haritasını çıkarıp kendi konumlarını da belirledikten sonra buna göre hareket etmektedir. Bu teknoloji günümüzde mühendislik alanında sıklıkla kullanılırken mimarlık ortamına yeterince evrilememiştir. Mimarlıkta kullanılan yersel lazer teknolojileri maliyetleri, büyük boyutları ve hassas yapıları sebebiyle kolay temin edilememekte bu nedenle mimarların çok fazla tercih etmedikleri bir yöntem olarak bilinmektedir. Ancak LIDAR sensörünün robotik sistemlerde kullanılan algoritmalarından faydalanarak mimarlık alanına uygulanması hem daha düşük maliyet hem de daha kolay erişilebilirlik sağlayacağından tercih sebebi olacağı öngörülmüştür. Düşük maliyetle yüksek doğruluk elde edebilmek bazı algoritmaların kullanım zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Uçak, helikopter gibi hava taşıtlarına, lastikli, raylı kara taşıtlarına veya deniz taşıtlarına ya da yersel platformlara monte edilmiş lazer tarayıcı sistemleri ile ölçüm yapan cihazlarda bulunan LIDAR sensörler 3D görselleştirme, sanal gerçeklik, tıbbi görüntüleme, otomasyon, robotik, sinema, madencilik, ormancılık, enerji sektörleri, şehir modellemesi, arkeoloji, mimarlık,

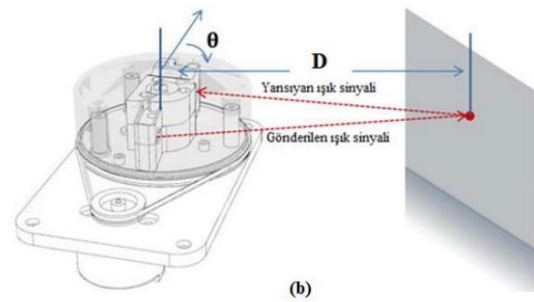
kültür varlıklarının belgelenmesi vb. çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. [3] Mimarlık alanında SLAM (Eş Zamanlı Konumlandırma ve Haritalandırma) yapan bir sensörün dahil edilmesi sistemi kolaylaştıracak ve makine ölçümü sayesinde en az hata ile yürütülmesini sağlayacaktır.

A. LİDAR SENSÖR

Teknolojideki gelişmelerle kapalı ortamların haritalandırılması ve planlandırılmasında doğruluk oranı artmıştır. SLAM uygulamalarında Lidar, Sonar ve RGB-D sensörler kullanılabilir ancak Lidar yüksek doğruluk ve çözünürlük sağlaması sebebiyle daha avantajlıdır.

Ortam haritalandırması ve konumlandırmada kullanılan sensörlerden birisi Lidardır. Lidar sensörlerin çalışma prensibi; gönderdiği bir ışık hüzmesinin herhangi bir nesneye çarpıp geri dönmesi sonucunda o nesnenin uzaklığını hesaplaması ilkesine dayanır. (Şekil 2) Bu gözlerden birinden lazer ışını çıkar engele çarparak sensöre geri döner, ikinci gözde bulunan dedektör sayesinde yansıma algılanır ve yansıma süresi göz önünde bulundurularak mesafe ölçümü gerçekleştirilir.

Mesafe = $V \cdot T / 2$ V (ışık hızı), T (zaman)
denklemine göre haritadaki mesafeleri hesaplar.



Şekil 2. Lidar sensörün çalışma prensibi [4]

Lidar tarayıcısı 360 derece tam tur tarama ile farklı modellere göre farklı metre aralıklarında, 2 boyutlu bir düzlemde nokta bulutu ışın hüzmesi ile etraftan veri toplamaktadır. 5.5 Hz ve 10 Hz aralığında bir tarama hızına sahiptir. Lazer üçgen

ölçüm yöntemi kullanan Lidar kapalı ortamlarda yüksek doğrulukla sonuçlar elde etmektedir. [5]

B. SLAM YÖNTEMİ

Eş zamanlı olarak haritalandırma ve konumlandırma (SLAM) otonom mobil robotlar için önemli bir problemdir. Özellikle otonom robotların bir ortamda bağımsız hareket edebilmeleri için bulundukları ortamdaki nesnelerin konumlarını ve kendi konumunu bilmesi gerekir. SLAM yöntemi bu problemi esas alarak ortaya çıkmıştır ve tanımı robotun bilinmeyen bir ortamın haritasını oluşturması ve aynı zamanda bu ortamda kendi konumunu belirlemesidir. [6] Robotun ortamda kendini konumlandırması doğru bir haritaya bağlıdır, doğru harita, doğru konumlandırmayı sağlar. [7] Olasılıksal çerçevede ele alındığında;

$$p(x_t, m | z_{1:t}, u_{1:t})$$

Burada x_t ; t anındaki poz, m harita, $z_{1:t}$ ölçüm matrisi $u_{1:t}$ kontrol matrisidir. Bu denklem ile harita ve konum belirlenir.

SLAM yöntemi geleneksel olarak, hareket eden bir robotun gövde çerçevesinde mevcut ölçümler kullanılarak ele alınır. Ölçümlerin belirsiz unsurlarla kontamine olması nedeniyle, SLAM tahmini sağlam bir filtre gerektirir. [8] SLAM probleminin çözümünde geleneksel tahmin yöntemlerinden Gauss filtreleri ve doğrusal olmayan deterministik filtreler tercih edilmiştir. SLAM sistemlerinin çoğu, Kalman Filtresi, Genişletilmiş Kalman Filtresi veya Parçacık Filtresi [9] gibi tahmin tekniklerine dayanmaktadır. Günümüzde bu filtrelerde birçok varyasyon vardır.

Robotik alanında ortam haritası LIDAR, Sonar, RGBD gibi mesafe ölçebilen sensörler (Şekil 1) aracılığıyla yapılırken konum takibi odometri ve çeşitli sensör verilerinin kullanılmasıyla elde edilir. Burada temel problem ortam haritası çizilirken meydana gelecek konum bilgisi hatasıdır. Çünkü robotun bir noktada takılması veya tekerin boşa dönmesi gibi durumlarda konum bilgisi kaybedilir ve haritalandırma konumdan bağımsız yapılır ve bu da hatalı bir harita ortaya çıkarır. Konumlandırma

problemi konusunda literatürde Adaptif Monte Carlo Lokalizasyonu (AMCL), En Yakın Nokta Hizalama (ICP) yöntemleri gibi birçok yöntem kullanılarak çözüm sunulmuştur. [10] Geliştirilen birçok SLAM algoritması içerisinde Gmapping algoritması ve HectorSLAM algoritmaları doğruluk oranları ve işlem yükleri avantajları ile tercih edilmektedir. Gmapping algoritması Rao-Blackwellized parçacık filtresi tabanlıdır ve teker odometri verisi kullanılarak bir konum tahmininde bulunurken [11]; HectorSLAM algoritmasında teker bilgisine ihtiyaç duyulmadan LIDAR sensör aracılığıyla konum iteratif yöntemle elde edilir. [12] Dolayısıyla LIDAR sensör nokta bulut ışınları kullanılarak İteratif Closest Point (ICP) algoritması ile lazer ışınları hizalanır ve hizalanan her bir nokta kümesi için haritada konum takip edilir.



Şekil 1. Mesafe ölçebilen sensörler

Bilinen SLAM yöntemlerinden farklı olarak HectorSLAM, odometri (kilometre sayacı) bilgisi gerektirmez ve robotun pozunu sadece tarama eşleştirme yöntemlerine dayanarak tahmin edilir. Modern LIDAR sensörlerin hız ve doğruluk oranı arttığından bu yöntemle doğru haritalar elde edilmektedir. [13] HectorSLAM yönteminde tarama düzleminin eşiğindeki bitiş noktaları eşleştirilir. İnsansız hava araçlarında (İHA) sıklıkla kullanılan bu yöntem el ile haritalandırmada da kolaylık sağlamaktadır. Işınların bitiş noktalarını birleştirerek harita ICP ile oluşturulur. Ancak bu yöntemin şeffaf ve geçirgen olan yüzeylerde (cam, pencere, ayna gibi) yüzeyin ötesini de ölçmesi problemi bulunmaktadır.

C. MİMARİDE SLAM UYGULAMALARI

Kapalı ortamlarda haritalandırma ve konumlandırma çok bilinen bir konumlandırma yöntemi olan GPS sensörüyle uygulanamamaktadır. Bu nedenle kapalı ortamların haritasının

çıkarılmasında SLAM yöntemi daha güvenilir ve kullanışlıdır.

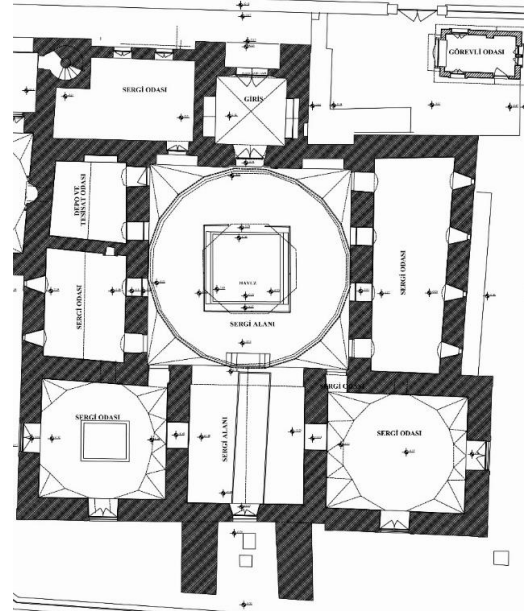
Lazer tarama yöntemleri sayesinde günümüzde rölöve çalışmaları eskisine oranla çok daha hızlı biçimde gerçekleştirilmektedir. Lazer metre ile başlayan süreçte yersel lazer tarama ile son teknolojinin kullanılması binaların 3 boyutlu görsellerini de elde etmede oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak içerisinde yaşanan mekanlarda plan ölçümleri yapmak oldukça zordur. Özellikle bazı mekanlarda eşya yoğunluğu sebebiyle plan taslakları çıkarırken uzun vakitler harcanmaktadır. Ancak lazer tarama sayesinde ön taslak çıkarılmasına gerek kalmadan birkaç dakika içerisinde bilgisayar ortamında plan okunabilmektedir. Kültürel mirasın belgelenmesinde ve restorasyon uygulamalarında geometrik veriler elde eden lazer tarama teknolojisinin kullanılması ile geleneksel yöntemlere göre hızlı, kolay ve hassas ölçümler yapılabilmektedir.

Robotik sistemlerde kullanılan SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) yani Eş Zamanlı Konumlandırma ve Haritalandırma yöntemi, bir robotun bulunduğu ortamın haritasını çıkarmasını, engellerin ve çeşitli nesnelerin yerlerinin belirlenerek bunlara çarpmadan ortamda otonom hareket etmesini amaçlamaktadır. Mühendislik alanından mimarlık alanına evrilebilecek bu yöntem el ile haritalandırma gerçekleştirilebildiğinden mimarlık için avantaj sağlamaktadır. [14] LIDAR sensör etraftaki nesnelerin uzaklıklarını nokta bulutu verileri alırken; ICP yöntemiyle (Şekil 3) bu lazer noktalarının ucuca hizalaması takip edilerek LIDAR'ın ilerleme miktarı belirlenir. Dolayısıyla yüksek doğrulukla, kolay ve ucuz bir ortam haritalandırılması gerçekleştirilir.

III. BULGULAR

Mimarlık disiplninde rölöve çalışmalarında, plan tipolojisi çıkarılmasında, tadilat öncesi ölçüm çalışmalarında kullanılabileceği ve avantajlar sağlayacağı düşünülen bu yöntemin örnek çalışması Konya ilinde bulunan İnce Minareli Medrese için yapılmıştır. Selçuklu dönemi eserlerinden olan ve

Alaaddin Tepesi eteğinde bulunan İnce Minareli Medrese günümüzde ahşap eserler müzesi olarak işlevine devam etmektedir. Çeşitli restorasyon ve iyileştirme çalışmaları sırasında zaman zaman ziyaretçi kabul etmeyen müzenin en son rölöve ölçüleri 2008 yılında Konya Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından alınmıştır. (Şekil 4) Planda görüldüğü üzere kubbe örtüleri altında bulunan mekanlar ve diğer odalar müzede sergilenen eserlerle güncel halini korumaktadır. (Şekil 5)

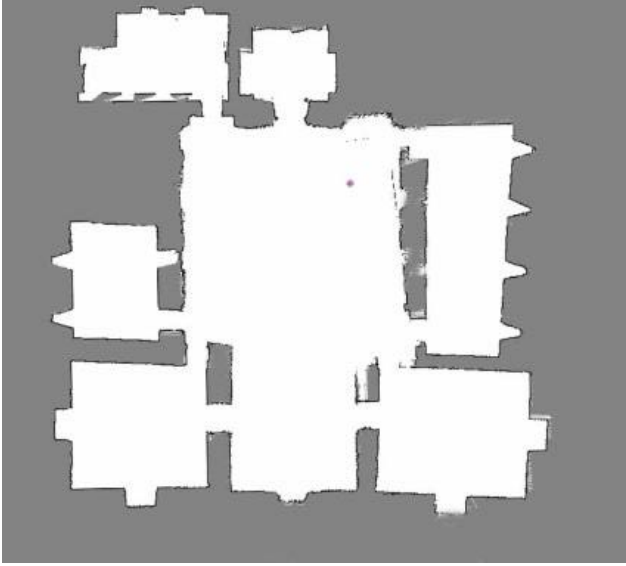


Şekil 4. İnce Minareli Medrese Planı, 2008 (Konya Koruma Bölge Kurulu)



Şekil 4. İnce Minareli Medrese iç mekanlar, 2021

2021 Mart ayında ziyaret edilen ve herhangi bir ön çalışma yapılmadan LIDAR sensör ile plan ölçümü gerçekleştirilen medresede çıkarılan harita Şekil 5'te gösterilmiştir. Haritadaki kırmızı nokta o anda bulunan konumu göstermektedir ve tekrar tekrar girilen mekanlarda herhangi bir karışıklık olmadan doğru ölçümleri yaparak haritayı tamamlamıştır.



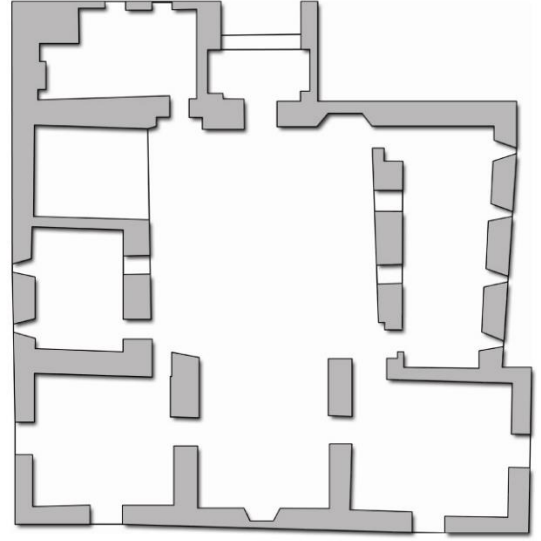
Şekil 5. İnce Minareli Medrese haritası

El ile tutulan, hareket edilen düzlemden lazer ışınlarını dağıtan ve noktaları birleştirerek planı tamamlayan LIDAR sensör (Şekil 6) 2008'de alınan rölöve ölçüleriyle karşılaştırıldığında doğruluk oranı %95'tir. Ölçüm yapılırken herhangi bir bilgisayar vb. donanıma gerek duyulmamış yalnızca LIDAR mobil telefona bağlanarak ölçümü yapılmıştır. Cihaza indirilen bir uygulama ile kablosuz bağlantı kuran sensör ölçüm gerçekleştirdiği sırada sürekli dönüm sağlamaktadır ve sabit düzlemde olarak tutulması gerekmektedir.



Şekil 6. Çalışmada mimari plan oluşturulmasında kullanılan LIDAR sensör

Ölçüm sırasında bir mekana kapalı olması sebebiyle girilememiştir. Sensör, tüm pencere ve kapı boşluklarını okumuş, mekanları birleştirirken herhangi bir şaşma görülmemiştir. Dış duvar kalınlığı pencere bitiş noktalarının birleştirilmesiyle Şekil 7'deki gibi tahminen oluşturulmuştur. Yapıldığı dönemde bazı duvarlarda eğrilikler olduğu saptanmıştır.



Şekil 7. Çıkarılan haritanın bilgisayar ortamına aktarılması

IV. TARTIŞMA

Lidar ölçüm cihazı mimaride henüz çok yeni kullanmaya başlamış olup SLAM yöntemi ile kullanıldığında daha işlevsel olduğu açıktır. Çalışma geliştirilerek yalnızca iki boyutta değil üç boyutta da ölçümleri gerçekleştirmesi mümkün olabilir. Bu çalışma özelinde, plan tespiti yapılmış mekanı algılayan sensör kısa sürede haritayı tamamlamıştır. Bu ölçümün uzantısının değiştirilerek cad programlarına aktarılması da mümkündür ve bu sayede mekan büyüklükleri de hesaplanmaktadır.

V. SONUÇLAR

Lidar sensör teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde ölçüm nitelikleri de artmış çözünürlükleri oldukça yüksek olan haritalar oluşturulmaya başlanmıştır. Çalışma özelinde yalnızca plan ölçümü gerçekleştirilirken cephe, tavan ve zemin taramalarının da yapılması mümkündür.

Daha büyük ölçekli yapılar için de kısa sürede işlemi gerçekleştirmesi sayesinde iş gücünden ve vakitten de kazanç sağlayarak kolayca plan düzleminde ölçüleri vermektedir.

Herhangi bir ön hazırlık gerektirmeden mekan olduğu gibi ölçümleyebilen bu teknoloji kolaylıkla açıları, eğimli yüzeyleri ölçebilmektedir, insan ölçümü hassasiyeti ve makine farklıdır.

3 boyutlu LIDAR sensörlerin piyasaya girmesiyle mimarlık alanında daha geniş bir kullanım alanı bulacak olması düşünülen LIDAR teknolojisi makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarını içinde barındırdığından insan gücüyle yapılması zor olan ölçümleri pratik bir şekilde dijital ortama aktarabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Konya Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nde görev yapan Arş.Gör. Ahmet Murat Erturan'a makalemize sağladığı katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] M. Korumaz, "Kültürel Mirasın 3d Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Kullanımı: Aksaray'da bir Sivil Mimarlık Örneği", *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2, s 138-156, 2016.
- [2] A. Güleç Korumaz, O. N. Dülgerler, M. Yakar, "Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar", *J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ.*, v.26, n.3. 2011.
- [3] U. Pakben, "Tarihi Yapıların Rölöve Ve Analizlerinde Kullanılan İleri Belgeleme Teknikleri", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [4] S. Akyol, A. Uçar, "Rp-Lidar ve Mobil Robot Kullanılarak Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama", *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 31(1), 137-143. 2019.
- [5] A. Basiri, M. A. Oskoei, A. Basiri, "Particle Filter and Finite Impulse Response Filter Fusion and Hector SLAM to Improve the Performance of Robot Positioning", *Hindawi Journal of Robotics*, Volume Article ID 7806854, 2017.
- [6] S. Thrun, ve J. J. Leonard, *Simultaneous Localization and Mapping*, In: Springer Berlin Heidelberg. 2007.
- [7] E. Duymaz, A. E. Oğuz, H. Temeltaş, "Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama probleminde yeni bir durum tahmin yöntemi olarak parçacık akış filtresi", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32:4. 2017.
- [8] A.H. Hashim, "A geometric nonlinear stochastic filter for simultaneous localization and mapping", *Aerospace Science and Technology* 111, 106569. 2021.
- [9] M. Korkmaz, A. Durdu, Y. E. Tusun, "Sensor Comparison for a Real-Time SLAM Application", *International Journal of Information and Electronics Engineering*, Vol. 8, No. 1. 2018.
- [10] Z. Zhang, Iterative Point Matching for Registration of Free-Form Curves and Surfaces, *International Journal of Computer Vision*, 13:2, 119-152. 1994.
- [11] G. Grisetti, C. Stachniss, ve W. Burgard, "Improved Techniques for Grid Mapping With Rao-Blackwellized Particle Filters", *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 23, No. 1, February. 2007.
- [12] S. Kohlbrecher, O. Stryk, J. Meyer, ve U. Klingauf, A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation, *Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics* Kyoto, Japan, November 1-5. 2011.
- [13] K. Kamarudin, S. M. Mamduh, A. Y. M. Shakaff ve A. Zakaria, "Performance Analysis of the Microsoft Kinect Sensor for 2D Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Techniques", *Sensors*, 14 (12), ss 23365-23387. 2014.
- [14] A.M. Erturan, A. Durdu, E.M. Erturan, "The Use of LIDAR Technologies in Architectural Offices", *European Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (2):40-48. 2019.