



Otonom Araçlarda Navigasyon Parametrelerinin Optimizasyonu

Ege Yılmaz^{1*}, İsmail Ovalı²

ÖZ

Bu çalışmada kapalı ortamlarda çokça kullanılan dinamik pencere yaklaşım (DWA) lokal planlayıcısı ile çalışan enflasyon tabakası, maliyet çarpım faktörü, yol mesafe eğilimi ve hedef mesafe eğilimi (inflation_radius, cost_scaling_factor, path_distance_bias ve goal_distance_bias) parametrelerinin, navigasyon işlemleri üzerine etkileri incelenmiştir. Optimizasyonlar Gazebo simülasyon ortamında gerçekleştirilmiş olup, gerçek ortamı benzetimi için kullanılmıştır. Kontrol algoritmaları için ise mimari yapı olarak ise Robot İşletim Sistemi (ROS) kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucu kapalı ortamlar ve özellikle dar ortamlarda çalışacak robotlar için bazı navigasyon parametreleri önerilmiştir. Önerilen parametre değerleri ve değer aralıkları boyut olarak büyük ve dar ortamlarda çalışacak robotlar için uygundur. Kullanılan robot boyları 1540 mm uzunluğunda ve 425 mm yarıçapındadır. Bu boyutlar göz önüne alındığında kapı araları gibi dar alanlar için optimizasyonlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robot İşletim Sistemi (ROS), DWA lokal planlayıcı, enflasyon tabakası, kapalı ortam navigasyonu

Optimization of Navigation Parameters in Autonomous Vehicles

ABSTRACT

In this study, inflation radius, cost scaling factor, path distance bias and goal distance bias parameters were examined onto navigation processes, which are mostly used with dynamic Windows approach local planner. The optimizations were conducted in Gazebo simulation tool and were used to simulate the real environments. Robot Operating System (ROS) is used as the architectural structure for the control algorithms. As a result of this study, some navigation parameters have been recommended for robots that will be working indoor and particularly narrow state. Recommended parameters and parameter intervals have been offered for a robot that has 1540 mm length and 425 mm radius. These parameters were optimized for narrow areas like door interiors in case these dimensions belong to that robot.

Keywords: Robot Operating System (ROS), DWA local planner, inflation radius, indoor navigation

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 05.07.2021

Kabul/Accepted : 02.11.2021

¹ Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Denizli
yilmazege97@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5609-3566

² Doc. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Denizli
ovalı.ismail@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8193-0060



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Indoor or working on prepared map robots have been mostly used recently such as in restaurants, home stuff, IOT¹ programs. For indoor navigation, there are diverse approaches to getting from a point to point such as move base local planner, teb local planner, base local planner and dwa local planner. According to ROS wiki page, dwa local planner is developed version of the move base local planner [1, 2]. In addition, dwa local planner offers more parameters to control navigation processes. In this study, in dwa local planner, inflation radius, cost scaling factor, path distance bias and goal distance bias parameters were examined. Furthermore, these parameters were inspected in Gazebo simulation environment and in robot operating system architecture. According to these inspections, some reasonable results yield and especially for indoor narrow places, some parameter intervals have been yielded. Initially, it is recommended that having stable control system such as pid control algorithms or model predictive control, since dwa local planner doesn't offer stable result in case of not having good control system.

Method

All results were examined in the Gazebo simulation environments. Because, Gazebo simulator enables to reflect real world physic rules such as gravity, friction forces and so on, to simulate real environments and can be seen real behavior of the robot. However, for studying in gazebo simulator, there should be urdf format that represent robot joints or links [3, 4]. Thus, robot can move in Gazebo.

In this study, for creating urdf² format, Solidworks 3D cad program and its urdf exporter feature were used to do this. In the urdf or xacro³ format, it is recommended that proper friction, damping and mass value should be proper to simulate [5, 3]. And second step is kinematic model of the robot. In this point, robot has two wheel which is connected to DC motors, and has two wheel which is free to anyway [1, 5]. For navigating robot around the simulated world, dynamic window approach (dwa local planner) was used and this algorithm sends two command (angular velocity and linear velocity) to move robot. Dwa local planner has two parameters to catch global plan, these are called goal distance bias and path distance bias [1, 6, 7, 8]. The local and global costmap send cost of each cells. Dwa local planner take these values to determine optimum local path. According to offering parameters, optimum path is determined. In the costmap parameters, the two prominent two values are inflation radius and cost scaling factor. These parameters determine global path to avoid obstacles [1, 6, 9, 10].

Finding and Discussion

In this study, there have been chosen two environments and two behaviors to determine narrow navigation. Firstly, environments are from indoor to outer and from outer to indoor and the two behaviors are from narrow state to wide area and it is the opposite.

It was yielded that cost scaling factor and inflation radius are connected each other to determine optimum global path. And also recommended that if cost scaling factor is tuned, then inflation radius should be tuned to as well. Because, while inflation radius offers avoiding from obstacles, cost scaling factor determine radius degree to turning of robot. In the figure 3.4 and 3.3, can be seen degree of radius according to cost scaling factor value. Besides that, inflation radius is determining cost of each cell that represent obstacles on the map. Global local planner has made up global path according to these parameters. If cell cost value is between 254-253, then that point is absolutely an obstacle and if it is between 252-127, then that point is probably an obstacle and if it is between 127-0, then that point is absolutely a free place [1, 9, 11]. As per experiments in the simulation, in dwa local planner parameters, which are path distance bias and goal distance bias, determine the movement of the robot to catch global and local path has been yielded. And according to these experiments, it is recommended that the robots that are working in narrow places must have high path distance bias and low goal distance bias. Because, when robot go in the narrow place, then it must get closed to global path to avoid obstacles, which means that the robot doesn't have any tolerance to avoid obstacle. Otherwise, robot can hit to any obstacle. But so high value cause unstable behavior of the robot. That means robot constantly stop and repeat making new behavior.

Goal distance bias is related to planned velocity command of end point in meters [1, 6, 8, 12]. As per experiments, low value has triggered to better navigation in narrow areas, because the robot has absolutely tried to stay close to the global path. But in this point, it is recommended that so low values trigger unstable behavior. Because robot has tried to stay close to global path but always there is an error between real result and algorithms result due to environment conditions like friction, gravity, mass center of robot.

¹ Internet of Things

² Unified Robot Description Format

³ Xacro is xml macro file to build shorter and more readable for larger xml formats



1. GİRİŞ

Günümüzde otonom sistemlerin yaygınlaşması ve hayatımıza girmesiyle çokça karşımıza çıkan iç mekân robotları ve buna bağlı birçok algoritmanın geliştirilmesini gözlemleyebilmekteyiz. Bu algoritmaların geliştirilmesinde birçok yaklaşım ve metotlar düşünülmüş ve oluşturulmuştur [1, 6]. Hali hazırda otonom sistemler üzerinde birçok kurum ve kuruluşun yürüttüğü projeler ve bilimsel çalışmalar mevcuttur. Otonom araçların navigasyon sistemleri temel olarak iki ana başlık altında isimlendirilmektedir. Bunlar kapalı ortam (indoor) ve açık ortam (outdoor) olarak tanımlanmaktadır [7, 12]. Kapalı ortam navigasyonu bu çalışmada incelenmiş olup hazır haritalama algoritmaları ile çalışmaktadır. Harita oluşturma işlemlerinde hazır SLAM algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algorithmadan çıkan veriler Global Costmap ve Lokal Costmap içerisinde tutulmakta ve değer atamaları yapılmaktadır. Bu alanda hem devlet kuruluşlarında hem de özel kuruluşlarda gerçekleşen harcamalar son dönemde artış göstermişlerdir.

Kapalı ortam için oluşturulan otonom sistemlerde kontrol ve yol oluşturmada kullanılan belli başlı algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlar genel (global) ve lokal (local) yol planlayıcılarıdır. Bu noktada ROS işletim sistemi içerisinde sunulan birçok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmalar ile belli başlı parametrelerin optimizasyonları gerçekleştirilerek sistemlerin stabil ve istenilen performansları karşılaması sağlanmaktadır [8, 11]. Bu çalışmada ROS sisteminde haritalamada ve hazır harita üzerine yol atama işlemlerinde kullanılan Global Costmap'e ait 2 parametre (enfilyasyon tabakası ve maliyet çarpım faktörü) ve DWA lokal planlayıcısına ait 2 parametrenin (yol mesafe eğilimi ve hedef mesafe eğilimi) optimizasyonları karşılaştırmalar ile gösterilmiştir. Global Costmap harita üzerinde belirlenen çözünürlükte maliyet değerlerinden yararlanarak, bu maliyet değerlerine göre yol planlaması yapmaktadır [1, 10, 11]. Harita üzerinde belirlenen yol referans alınarak, lokal planlayıcı aracın tolerans aralığında kalmasını sağlayacak çizgisel hız ve açısal hız yayın⁴ yapmak üzerine çalışmaktadır. Bu yapılacak yayınlar Global Costmap ve Lokal Costmap tarafından oluşturulan engellerden kaçınma üzerine yapılmaktadır. Bu iki yayın ve kontrol algoritmaları ile robotun navigasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir [1, 6, 7, 11].

Günümüzde restoranlar, hastaneler gibi kamuya açık kuruluşlarda insanlık yararına birçok robotik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda yürütülen esas amaç maliyeti düşürmek ve insan merkezli hata ve kazaların önüne geçilmesidir. Robotlar ağır yük vasıtalarının olduğu taşıma işlemlerinde kullanılabilirler. Bu robotların otonom sistemler olmasında navigasyon işlemleri için birçok algoritmalar kullanılmaktadır. Bu sistemler lazer tarayıcı, motor encoder sensörleri, GPS , akselerometre ölçer

⁴ ROS mimarisinde kontrol algoritmalarının çıktılarını yayın (broadcasting) olarak adlandırılmaktadır

⁵ Global Positioning System



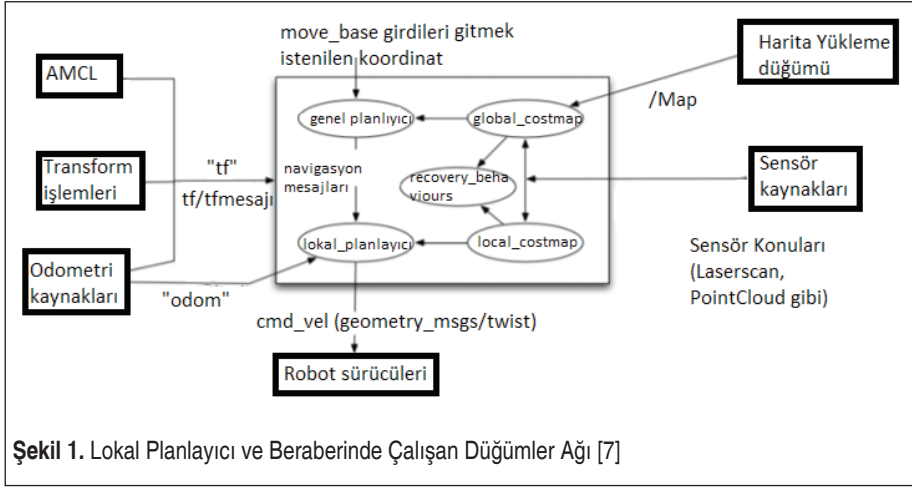
(IMU), stereo kamera (opsiyonel) gibi alt sensörlerden oluşmaktadır. Bu sensörler ile engellerden kaçınma, rota oluşturma işlemleri, lokalizasyon gibi otonom sistemlerin temel yapı taşları oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kapalı ortam için haritalama (mapping) oluşturulmuş buna ek olarak odometri verileri ve AMCL filtreleme algoritması ile lokalizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Engellerle çarpışmadan kaçınılması için lazer sensöründen hesaplanan veriler kontrol algoritmalarına (Genel planlayıcı, lokal planlayıcı) girer ve çıktı olarak ise optimum rota sağlanmaktadır.

Dış mekân navigasyonun da birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında en öne çıkan yine kapalı ortam navigasyonu gibi haritalama yöntemleriyle çalışmaktadır. Ancak dış mekân robotları genel olarak GPS verisi ve akselerometre verilerinden yararlanılarak lokalizasyon işlemlerini tanımlamaktadır. Ayrıca dış mekân robotlarında görseller uyarıcılar (trafik işaretleri ve işaretçileri, kaldırımlar, toprak alanlar vb) öne çıkmaktadır. Bu yöntemde de lazer tarayıcı veya 3D stereo kameralar ile enflasyon tabakası tekniği kullanılabilir [12]. Bu teknik ile engellerden kaçınma mekanizmaları çalıştırılmakta ve robot rota oluşturma işlemlerini böylelikle gerçekleştirmektedir. Dış mekân navigasyonunda bir başka yöntem ise daha önceden belirlenen rota üzerinde hareket ve kontrol sistemleri çalışmaktadır.

Bu çalışmada harita üzerinde engellerden kaçınmak, genel yol oluşturmak üzerinde kullanılan enflasyon tabakası ve maliyet çarpım faktörü parametreleri üzerine çalışma yapılmıştır. Bu değerlerin genel yol oluşturmada otonom sistemin boyutlarına göre ayarlanması önerilmektedir. Belirlenen yarıçap ve maliyet toleransında yol oluşturmaktadır. Bu da robotun engelden kaçınma mesafesi ve dönüş bentlerindeki dönüş çaplarını doğrudan etkilemektedir. Lokal planlayıcı olarak düşünülen algoritma mimarisi ise ROS yapısı içerisinde hazır bulunan DWA lokal planlama algoritması incelenmiştir. Bu algoritma içerisinde genel yol üzerinde ilerleme sapmasını belirleyen hedef mesafe eğilimi ve yol mesafe eğilimi parametreleri incelenmiştir. Bu iki parametre robotun genel yol üzerinde sapmalarını belirleyen tolerans aralığı oluşturmada ve robotun kontrol algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Özellikle bu çalışmada büyük boyutlu ve dar alanlarda çalışacak robotlar temel alınarak bu iki parametrenin optimizasyonları yapılmıştır. Optimizasyon işlemleri belirlenen her parametre için yüksek değerden alçak değere doğru denemeler yapılarak ve oluşan gözlemlerin geliştirilmeleri ile yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Kapalı ortamlarda ya da hazır harita üzerinde otonom ulaşım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan DWA lokal planlayıcı yaklaşımı, bulundurduğu parametre eşitlikleri ile dar alanlarda yüksek oranda başarılı rota çizimleri yapabilmektedir. Otonom araçlar için engellerden kaçınarak ulaşım işlemleri güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Temel olarak sensörlerden, füzyon algoritmalarından ve genel yol planlayıcısından

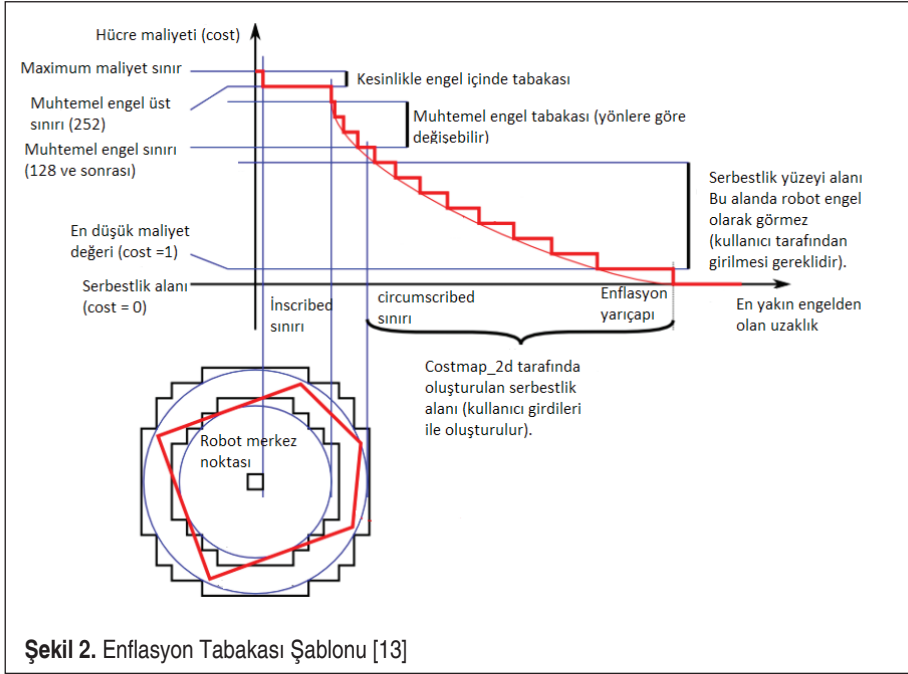


Şekil 1. Lokal Planlayıcı ve Beraberinde Çalışan Dğümler Ağı [7]

(global path planner) aldığı verileri işleyerek hız değerlerini yayın yapmaktadır. Burada ayarlanan değerler ile hız komutlarının ayarları yapılmaktadır. İteratif bir yol ile gelen bilgilerden örneklemeler oluşturularak çalışmaktadır [1, 5]. Her bir hız örneklerini hesaplayarak robotun belli bir zaman sonrasındaki konumu tahmin edilir. Belirlenen frekanslarda bu işlem tekrar etmektedir. Yörünge (dönüş işlemleri) çizimlerinde bu olaydan farklı olarak engellere olan mesafe ve buna bağlı gelişen hız komutları eklenmektedir [1, 8]. Çalışmaya başlamadan önce kontrol sistemleri stabil çalışan bir robot üstünde denemeler yapmanız önerilmektedir. Ayrıca parametreler diferansiyel sürüş modelinde denenmiş olup diğer sürüş modellerinde (ackerman sürüş modeli) aynı sonuçları vermeyebilir. Yapılan çalışmada geçen değerler kontrol algoritmaları (PID, predictive kontrol gibi) ve robotun kinematik modeli ile yakından çalışmaktadır. Bu çalışmada DWA lokal planlayıcısının sahip olduğu yörünge çizimleri ve rota işlemlerini etkileyen parametrelerin optimizasyonları ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Bu parametrelerin ayarları ile performansı en yüksek seviye çekilebilmektedir. Bu çalışma aynı zamanda ROS navigasyon işlemlerinin optimizasyonlarını da içermektedir.

DWA lokal planlayıcısının sunduğu parametrelerin açıklamaları aşağıda detaylıca verilmiştir. Bu açıklamalar ışığında deneylerin kontrol parametreleri tespit edilmiştir. Aşağıda detaylıca anlatılacak parametrelere geçmeden önce robotun ivmelenme ve hızlanma değerlerinin stabil olması gerekmektedir. Ros wiki'de yer alan bilgilere göre bu durumda optimum performans alınmaktadır. Ayrıca yine aynı kaynağa göre robotun lokalizasyonlarında herhangi bir problem olmaması gerekmektedir [6].

Maliyet çarpım faktörü enflasyon tabakası ile çok yakından ilişkilidir. Deneysel çalışmalarımızda her iki değer değişikliği birbirini etkilemektedir ve dolayısıyla, optimizasyon işlemlerinde her biri ayrı ayrı test edilmesi önerilmektedir. DWA algoritması çizeceği yolda her hücreye birer hücre maliyet (cost) atamaktadır. Bu değerler hücre



içinde engel olması veya engele yakın olma değerleriyle değişmektedir. 0-254 arası bir değer (tamsayı olarak) almaktadır. Ros Wiki’de yer alan bilgilere göre 254-253 arası kesin olarak engel, 252-127 arası muhtemel bir engel 127 ve altı kesin olarak engel olmayan bölge olarak sınıflandırılır [1, 2, 11]. Maliyet çarpım faktörü hücre içindeki engel katsayısı ile ters orantılı çalışmaktadır. Daha yüksek değerler enflasyon tabakasından kurtulduktan sonra keskin dönüşler çizecektir [1, 5].

DWA algoritması hücrelerdeki olasılık değerlerine karşılık çizdiği serbest alana yönelik yaklaşım değerlerini belirlemektedir [1, 6]. Robotun bu tabakaya ne kadar yaklaşacağını veya ne kadar uzak durması gerektiğini belirleyen değer enflasyon tabakası olarak geçmektedir [1, 11]. enflasyon tabakası, genel planlayıcı ve lokal planlayıcı ile çalışmaktadır. Bu da sensörlerden aldığı veriler ve hazır harita ile çalıştığı anlamına gelmektedir [10]. Bu değerler bir önceki bölümde anlatılan maliyet çarpım faktörü ile çarpılır ve dönüş yörüngeleri oluşturur. Engellerden ne kadar uzak (metre cinsinde) bir rota çizilmesi istenilirse o kadar fazla tutulmalıdır. Eğer, robotun her iki tarafı engel olması durumunda ve verilen enflasyon tabakasından alt sınırdaki kalan durumlarda, her iki engelin ortalaması alınır ve rota bu referans ile oluşturulur.

DWA lokal planlayıcı toplam maliyetin (cost) bulunmasında yol mesafe eğilimi, hedef mesafe eğilimi ve engel uzaklık (occdist_scale⁶) faktörlerinin toplamını almakta-

⁶ Yörünge üzerindeki engellerde maksimum maliyet haritalandırılması için kullanılan bir parametre

dır [1, 2, 9]. Bu değerlerden biri olan yol mesafe eğilimi lokal yolun (resimlerdeki sarı yolun) global yola (resimlerdeki siyah yola) yakınlığı ile alakalı bir katsayıdır [1]. Yüksek değerler genel yola daha yakın seyretmeyi sağlamaktadır. Tam dönüş durumlarında bu değerlerden de sapma gözlenebilmektedir. Deneysel verilere göre bu değerlerin hedef mesafe eğilimi değerinden daha yüksek olması performans açısından daha iyi gözlemlenmiştir. Yine deneysel verilere göre dar alanlardan daha yüksek değerler daha kaliteli bir navigasyon işlemi ortaya koymuştur.

Maliyet hesaplarından birisi olan hedef mesafe eğilimi robotun takip edeceği genel yola yakınlık katsayısıdır [5]. Bu katsayının değiştirilmesi ile robotun hazır harita üzerinde izlemesi gereken yolun ve hız komutları arasında özgürlük tanınır [1, 9, 12]. Birimi metre olarak verilmektedir. Bu değere göre DWA lokal planlayıcı çizgisel ve açısal hız değerlerini yayın havuzuna yayın yapmaktadır. Deneysel verilerde bu değerlerin yüksek olması durumunda genel yoldan sapmalar gözlenmiştir. Bu değerlerin dar alanlarda küçük tutulması önerilmektedir. Yine deneysel verilerde bu değerlerin hedef mesafe eğiliminden alt değerde olması önerilmektedir. Türedi A. arkadaş ve Yılmaz S yaptıkları çalışmalarda endüstriyel robotlarda karşılaşılan hatalar üzerinde çalışmalar yapmış ve bu hatalar için alternatif çözüm önerileri getirmişlerdir [14, 15]. Bu çalışmada da bu çözüm önerileri parametre optimizasyonlarında önemli unsurlar olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma yapılırken robot işletim sisteminin sunduğu mimari yapı kullanılmıştır. Bu mimari yapı ile parametreler üzerindeki değişimlerin gözlenmesi hızlı ve etkili şekilde yapılmıştır. ROS bulundurduğu hazır paket yapıları ile SLAM⁷, lokalizasyon işlemleri ve sürüş teknikleri için hazır platform sunmuştur.

Gazebo ortamında yapılan modelleme ile kapalı bir ortamın benzetimi yapılmış sonrasında bu ortamın haritalama işlemleri yapılmıştır. Gazebo programı, fizik (yer çekimi etkisi, sürtünme etkisi gibi) kurallarını benzetim için kullanılmıştır.

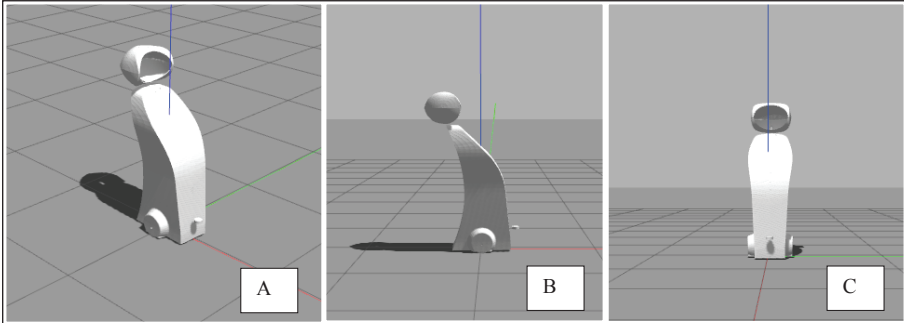
Solidworks ile robotumuzun karmaşık parçalarının modellenmesi yapılmış, bu model ile simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Modelleme sırasında gerçeğe yakın ölçekler kullanılmıştır.

Yapılan işlemlerin görselleştirilmesinde robot işletim sisteminin hazır olarak sunduğu RVIZ programı kullanılmıştır. Bu program ile parametrelerin değişimlerindeki görselleştirme işlemleri yapılmıştır.

Parametre çalışmalarında kullanılan robotun boyutları şekil 3'de görülmektedir. Aynı şekil üzerinde robotun görsel yapısı da görülmektedir. Ros Wiki'de bulunan bilgiler referans alınarak, robotun simülasyon ortamında parametre işlemleri için URDF⁸ dosyası biçiminde şekillendirilmiştir [3, 4]. Gazebo programında hazır eklenti (plugin) grupları ile hareket ve sensör verilerinin yayını yapılmıştır.

⁷ Simultaneous localization and mapping.

⁸ Ros Wiki'de yer alan bilgilere göre XML dosyası standartında yazılan, görselleştirme araçlarıdır.

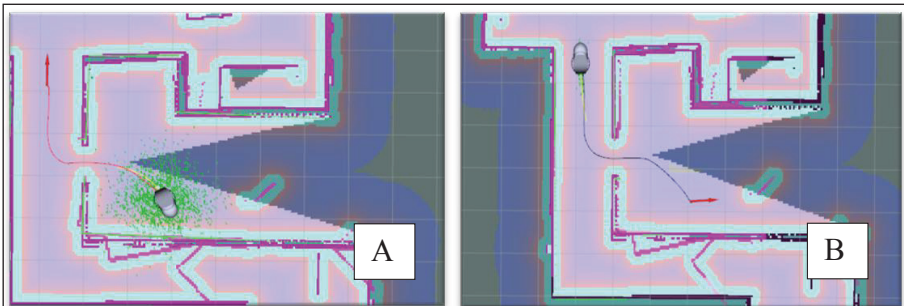


Şekil 3. Simülasyon Ortamında Kullanılan Robotun 3D Boyutları ve Mekanik Yapısı (Robot boyutları genişlik olarak 850 mm çap 1540 mm silindir olarak düşünülmüştür). A) İzometrik görünüş, B) Yandan Görünüş, C) Önden Görünüş.

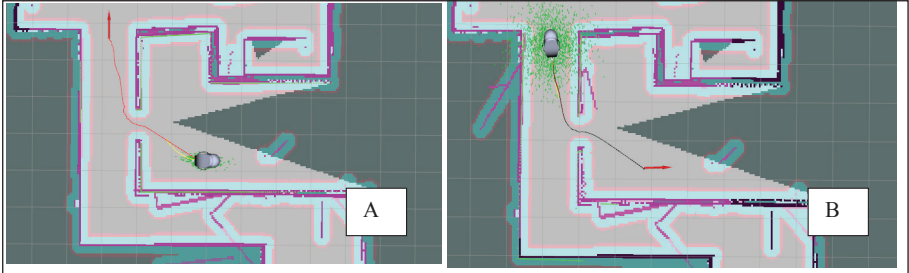
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalarda maliyet çarpım faktörü, enflasyon tabakası, yol mesafe eğilimi ve hedef mesafe eğilimi parametreleri farklı değerler üstünden optimize edilmiştir. Her deneme üst değerler ve alt değerlerde oluşan genel yol ve rota takip işlemlerinin ekran görüntüleri ile desteklenmiştir. Ayrıca değerler açık alanda ve kapalı ortamlarda test edilecek şekilde fiziksel ortamın 3D modeli hazırlanmıştır.

Şekil 4’te görülmektedir ki sistemimiz hem iç alandan dışarıya hem de dış alandan içeriye geçerken istenilen ölçekte performans göstermiştir. Şekil 4 optimum bulduğumuz parametrelerde elde ettiğimiz genel yol ve rota takip işlemlerine aittir. Bu parametrelerin ayarlanmasında robotun boyutları, motor performansları, hız kontrol sistemlerinin stabil çalıştığı kabul edilmiştir. Yukarıdaki değerler aynı ölçeklerde veya bu ölçeklere yakın değerdeki robotlar için performans analizlerinde optimum değerler olarak bulunmuştur.

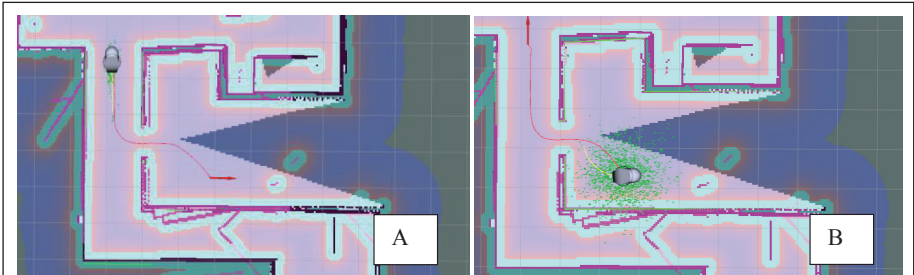


Şekil 4. Stabil Çalıştığını Düşündüğümüz Açık Alandan Kapalı Alana Geçişte Genel Yol Ve Lokal Yol Şemaları. A) Açık Alandan Kapalı Alana Geçiş. B) Kapalı Alandan Açık Alana Geçiş



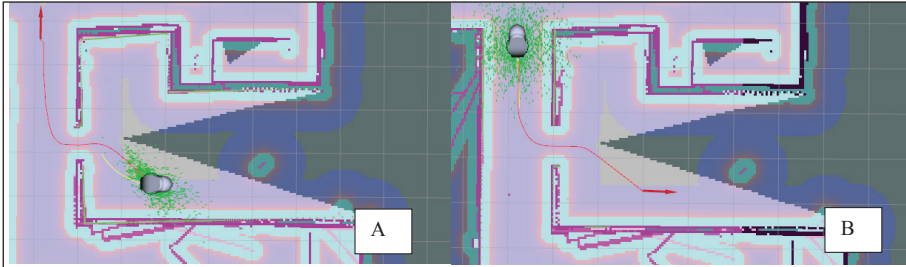
Şekil 5. Enflasyon Tabakasındaki Ciddi Düşüşün Genel Yol (global path) Üzerindeki Etkileri. A) Dış Alandan İç Alana Geçiş. B) İç Alandan Dış Alana Geçiş” Şeklinde Düzeltilebilir

Şekil 5’te açıkça görülmektedir ki enflasyon tabakası değerindeki düşüşte dar alanlardan (kapı aralıkları gibi) geçişte robotun gitmekte zorlanacağı ve engellere yakın değerlerde genel yol oluşturmaktadır. Şekil 5’te bulunan görselde enflasyon tabakası değeri 0,3 olarak girilmiş ve diğer değerler sabit olarak alınmıştır. Bu robotun engeller çok yaklaşmasına sebep olmaktadır. Bunun neticesinde köşe bentlerden dönmekte zorlandığı gözlenmiştir. Ayrıca düz alanda seyretmekte iken dönüş alanına yaklaştığında dönüş tarafındaki engele çok fazla yaklaşım gösterdiği gözlemlenmiştir.



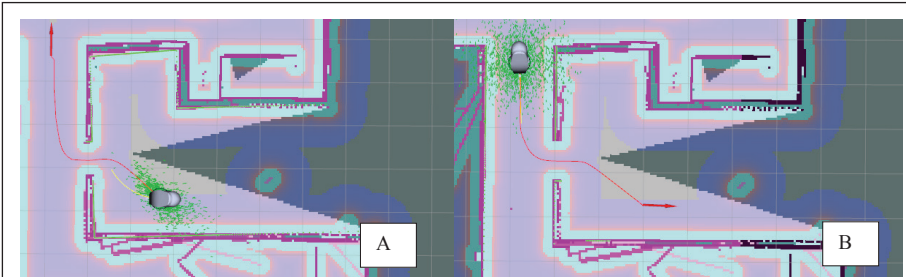
Şekil 6. Enflasyon Tabakasında Ciddi Bir Artışın Neticesinde Genel Yol (global path) Üzerindeki Etkileri. A) İç Alandan Dış Alana Geçiş. B) Dış Alandan İç Alana Geçiş

Şekil 6’da görüldüğü üzere enflasyon tabakası değerindeki artış ortamın açıklıklarına göre belli bir limite kadar artmaktadır. Şekil 6’da bulunan görselde enflasyon tabakası değeri 3,0 olarak girilmiş ve diğer değerler sabit olarak alınmıştır. Enflasyon tabakası değeri engellerden itibaren katmanlar çizer ve bu katmanlarda maliyet (cost) değerlerinin atanmasını sağlar [1, 2, 5]. Ancak sensörlerin taradığı alanların uzaklıklarından daha fazla verilmesi durumunda genel yolu engelleri barındıran hücreler ve robot arasında kalan uzaklıkların ortalamasında yolu oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu demektir ki kapalı alanlarda belli bir oranda artırılabilir, daha yüksek bir değerde etki etmeyeceği saptanmıştır.



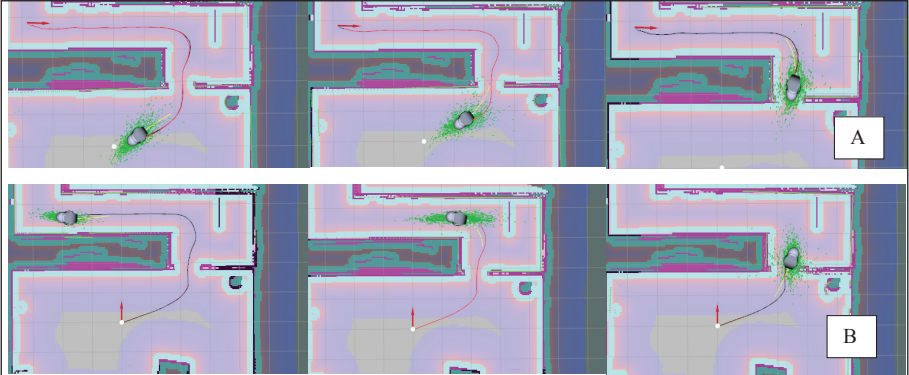
Şekil 7. Maliyet Çarpım Faktörü Değerinin Genel Yol Üstündeki Etkileri. A) Dış Alandan İç Alana Geçiş. B) İç Alandan Dış Alana Geçiş

Şekil 7’de görüldüğü üzere genel yol üzerindeki dönüş bentlerinden robot kurtulduktan sonra sert dönüşler yerine daha yumuşak geçişler tercih edecek, lokal planlayıcısında bu yol değerlerine göre hız komutlarını yollayacaktır [1, 10]. Şekil 7’de maliyet çarpım faktörü 2,0 olarak girilmiş ve diğer değerler sabit alınmıştır. Deneysel çalışmalarda robotun ölçeklerinden dolayı yumuşak geçişlerde köşe bentlere takılabildiğini gözlemledik. Bu gözlemler neticesinde büyük boyuttaki robotlarda düşük değerlerde navigasyon performansında kayıplar gözlemledik.

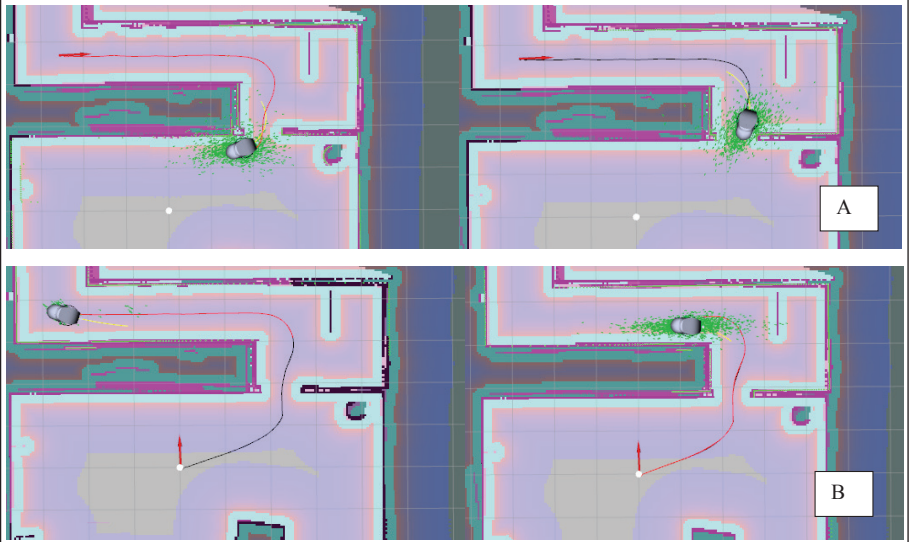


Şekil 8. Maliyet Çarpım Faktörü Değerinin Genel Yol Üstündeki Etkileri. A) Dış Alandan İç Alana Geçiş. B) İç Alandan Dış Alana Geçiş

Şekil 8’de maliyet çarpım faktörü 8,0 olarak girilmiştir. Zheng K. yaptığı çalışmada dönüş noktalarında robotun genel yoldaki sert geçişlerini ayarladığını söylemiştir [1]. Bu değer neticesinde engellerden kurtulduktan sonra sert bir geçiş rotası çizimini gözlemledik. Özellikle dar alanlardaki dönüş, bentlerde robotun gideceği yolda büyük önem oluşturduğunu saptadık. Ancak bu değerinin fazla olması neticesinde uzak olan engel denkleme girmekte ve sert geçişler tekrardan diğer engel alanları için yumuşak geçişlere neden olabilmektedir. Bu değerinin çok yüksek ve düşük olması bent geçişlerinde takılmalara sebep olabilmektedir [1, 6].



Şekil 9. Yol Mesafe Eğilimi Değeri ve Lokal Planlayıcı Üzerindeki Etkisi. A) Geniş Alandan Dar Alana Olan Navigasyon. B) Dar Alandan Geniş Alana Olan Navigasyon



Şekil 10. Yol Mesafe Eğiliminin Lokal Planlayıcıdaki Etkisi. A) Geniş Alandan Dar Alana Navigasyon. B) Dar Alandan Geniş Alana Navigasyon

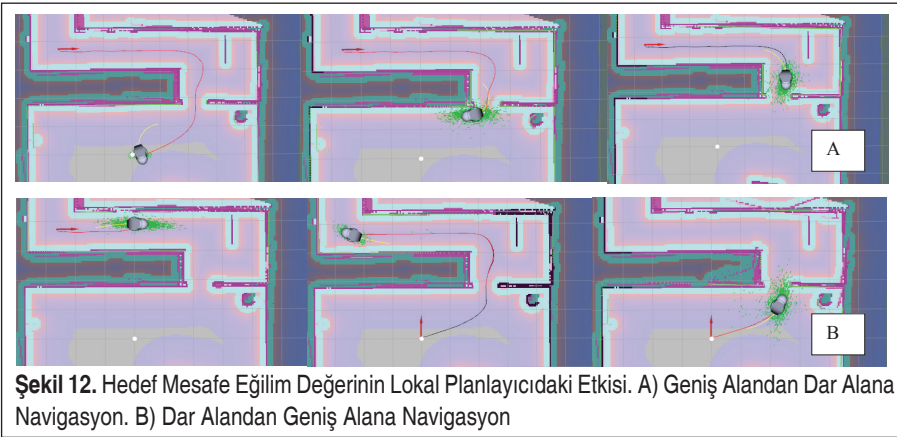
Şekil 9’da verilen şekilde yol mesafe eğilimi değeri 15,0 olarak girilmiş olup diğer değerler sabit tutulmuştur. Lokal planlayıcı (şekilde sarı renkle ifade edilen imleç) aracın gitmesi için DWA algoritmasından yollanan hız (açısal ve çizgisel hızın bileşeni) komutlarıdır. Genel yol (siyah ile gösterilen yol) robotun gitmesi gerektiği rotadır. Bu parametrenin yüksek tutulması genel yola daha yakın eğimlerde hız komutlarının kontrolünü sağladığını gözlemledik. Bu daha hassas bir navigasyon işlemi sağlasa da DWA algoritması daha sıkı hata ayıklama yapıyor ve neticesinde sürekli hız komutla-



rında değişimler gerçekleşiyor bu da robotun stabil olmamasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 10'da yol mesafe eğilimi değeri 1,0 olarak girilmiştir. Diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu değer oluşturulan genel yol üzerinde çok fazla sapmalara neden olduğu gözlenmiştir. Dar alanlarda çalışan robotlar için bu değer daha yüksek değerlerde olması önerilmektedir. Ayrıca köşe bentlerde takılmalara çok sık rastlanmıştır. Geniş alanlarda bu değer düşük olması robotun serbestlik alanı içinde daha fazla saparak navigasyon işlemini gerçekleştirdiği saptanmıştır.

Şekil 11'de hedef mesafe eğilim değeri 0,2 olarak girilmiştir. Diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu değer robot hareketi üzerindeki etkisi dar alanlarda iyi bir etki gösterse de geniş alanlarda robotun genel yolundan sapmaya izin vermemekte ve çok fazla durma işlemine tabi tutulduğu gözlenmiştir. Bu da robotun özellikle uzun rota-



Tablo 1. Simülasyon Ortamındaki Benzetime Göre Bulunan Optimum Değerler

Parametre	Değer
Maliyet çarpım faktörü (Cost_scaling_factor)	4.0
Enflasyon tabakası (Inflation_radius)	1.4
Yol mesafe eğilimi (Path_distance_bias)	5.0
Hedef mesafe eğilimi (Goal_distance_bias)	1.0

larda stabil olmayan hareketlerine sebep olduğu saptanmıştır. Geniş alanlarda çalışacak robotlar için düşük değer önerilmemektedir.

Şekil 12’de hedef mesafe eğilim değeri 10,0 olarak girilmiş ve diğer parametreler sabit tutulmuştur. Genel yol üzerindeki lokal planlayıcıdan yayın yapılan hız değerlerinin sapma gösterdiği ve dar alanlarda engellerle çarpışma gözlenmiştir. Bu değer yüksek olması durumunda genel yol üzerinde sapmalara özgürlük tanıdığı tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada günümüzde yaygınlaşan kapalı ortam veya hazır harita üzerinde hizmet verecek robotlar için navigasyon parametrelerini optimizasyonları incelenmiştir. Navigasyon algoritmaları içerisinde en çok kullanılan metotlardan biri olarak DWA (Dynamic Window Approach) lokal planlayıcı incelemeye alınmıştır. Parametrelerin deney aşaması Gazebo simülasyon programı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Robot modelimizi URDF dosyası biçiminde kullanılmıştır. Bu çalışmada benzetim işlemi hem geniş ölçekli alanlar hem de dar ölçekli alanlarda yapılmıştır. Dar alanlarda büyük ölçekli robotlarda enflasyon tabakasının engellere yakınlık derecesinde önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Parametrenin yüksek değerlerinde engellerden kaçma ancak düşük değerlerde engellere yakın rotalar çizdiği bulunmuştur. Bu parametrenin geniş alanlarda etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda bu parametrenin optimizasyonlarında dar alanlar referans alınması gerektiği önerilmektedir. Benzetim yapılan robot boyutlarında enflasyon tabakası değerinin 1,3-1,4 olması performansın optimum düzeye getirmiştir.

Bir diğer parametre olan maliyet çarpım faktörü robotun enflasyon tabakası referans alınıp oluşturulan genel yolda keskin veya yarıçap değeri düşük dönüşler gerçekleştirmiştir. Yüksek değerlerde robotun rotasında yine yumuşatmalara sebep olduğu tespit edilmiştir. Düşük olduğu durumlarda da yine aynı şekilde yumuşak geçişler gözlenmiştir. Bu değer enflasyon tabakası değeri ile yakından alakalı olduğu unutulmamalıdır. Bu bağlamda her iki parametre değerleri birbirini etkilemektedir. Köşe bentlerin



geçişinde etkisinin büyük olduğu saptanmıştır. Optimum değer aralığı 6,0-5,0 olarak belirlenmiştir.

Yol mesafe eğilim değeri oluşturulan genel yola yayın yapılan hız oranlarının eğimlerindeki yakınlık olarak gözlenmiştir. Yüksek olduğu durumlarda robot genel yol planlayıcısının oluşturduğu rota üzerine yakın seyretmekte ve bu yol üzerinde sapmanın az olduğu tespit edilmiştir. Ancak değerler çok yüksek olması durumunda lokal planlayıcısı sapmalar neticesinde yeni hız değerleri yayın yaparak robotun stabil olmamasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu değerler düşük düzeyde olması durumunda, genel yol üzerinden sapmalar gözlenmiştir. Bu durum geniş alanlarda sorun teşkil etmezken dar alanlardaki navigasyon işlemlerinden takılmalar sebep olduğu bulunmuştur. Dar alanlarda çalışacak robotlar için bu değerler yüksek olması önerilmektedir.

Hedef mesafe eğilim değeri hız komutlarıyla oluşan lokal planlayıcı vektörünün son noktası ile global yol üzerindeki noktaların yakınlık derecesi olarak saptanmıştır. Bu değerler yüksek olması durumunda lokal planlayıcının hız değerleri global yol ile eşleştiği gözlenmiştir. Bu değerler düşük olduğu durumlarda lokal planlayıcının genel yoldan saptığı bulunmuştur. Bu durum dar alanlarda takılmalara veya engeller ile çarpışmalara sebep olduğu gözlenmiştir. Bu değerler dar alanlarda çalışacak robotlar için düşük düzeyde olması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 2020FEBE024 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. **Zheng K.** 2016. ROS Navigation Tuning Guide, ROS, ROW Wiki. Macenski S. ,2013, Inflation Costmap Plugin, http://wiki.ros.org/costmap_2d/hydro/inflation, 18 04 2021. PlayFish, 2019, URDF, <http://wiki.ros.org/urdf> , 2021 04 20.
2. **Casas, G.** 2021. Building a Visual Robot Model with URDF from Scratch, <http://wiki.ros.org/urdf/Tutorials/Building%20a%20Visual%20Robot%20Model%20with%20URDF%20from%20Scratch> ,20 04 2021.
3. **Mota, J.** 2020. dwa_local_planner, http://wiki.ros.org/dwa_local_planner , 2021 04 16.
4. **Zheng, K.** 2018. Basic Navigation Tuning Guide, <http://wiki.ros.org/navigation/Tutorials/Navigation%20Tuning%20Guide> , 2021 04 20.
5. **Guimares, R. Andre, Joao, Thiago, Vinicius,** 2016. ROS Navigation: Concepts and Tutorial, Anis Koubaa, no. 625, 978-3-319-26054-9, Springer, pp. 121-160, Poland.
6. **Henkel C, Alexander, Weiliang,** 2016. Energy Efficient Dynamic Window Approach for Local Path Planning in Mobile Service Robotics, ScienceDirect, no. 49, pp. 32-37.
7. Fox Dieter, Wolfram, Sebastian, 1997, The Dynamic Window Approach to Collision



Avoidance, IEEE Robotics & Automation Magazine, DOI: 10.1109/100.580977 no: 4, pp:23-33.

8. **Cybulski, B.** Wegierska, Granosik, Accuracy comparison of navigation local planners on ROS-based mobile robot, 12th International Workshop on Robot Motion and Control, Temmuz 8-10, Poznan, POLAND, 2019.
9. David, V. Lu, Dave, Williwim, Layered Costmaps for Context-Sensitive Navigation, 2014 IEEE/RSJ International Conference on, Chicago, USA, 2014.
10. Haddad H, Khatib, Chatila, Reactive Navigation in Outdoor Environments using Potential Fields, Intemational Conference on Robotics & Automation, Leuven, Belgium, 1998.
11. **David V. Lu**, 2013. costmap_2d hydro inflation, http://wiki.ros.org/costmap_2d/hydro/inflation , 2021 04 19.
12. D. A. B. Atalay Tayfun Türedi, Endüstriyel Robotik Otomasyon Sistemlerinde Görülen Hataların Ve Sistem Güvenilirliğinin Hata Türleri ve Etkileri Yöntemi ile Analizi, Mühendis ve Makina, cilt 57, no. 672, pp. 56-61, 2015.
13. **S. Yılmaz**, Bakım Uygulamalarında Robotların Yardımcı Ekipman Olarak Kullanılması,» Mühendis ve Makina, cilt 61, no. 699, pp. 132-143, 2020.