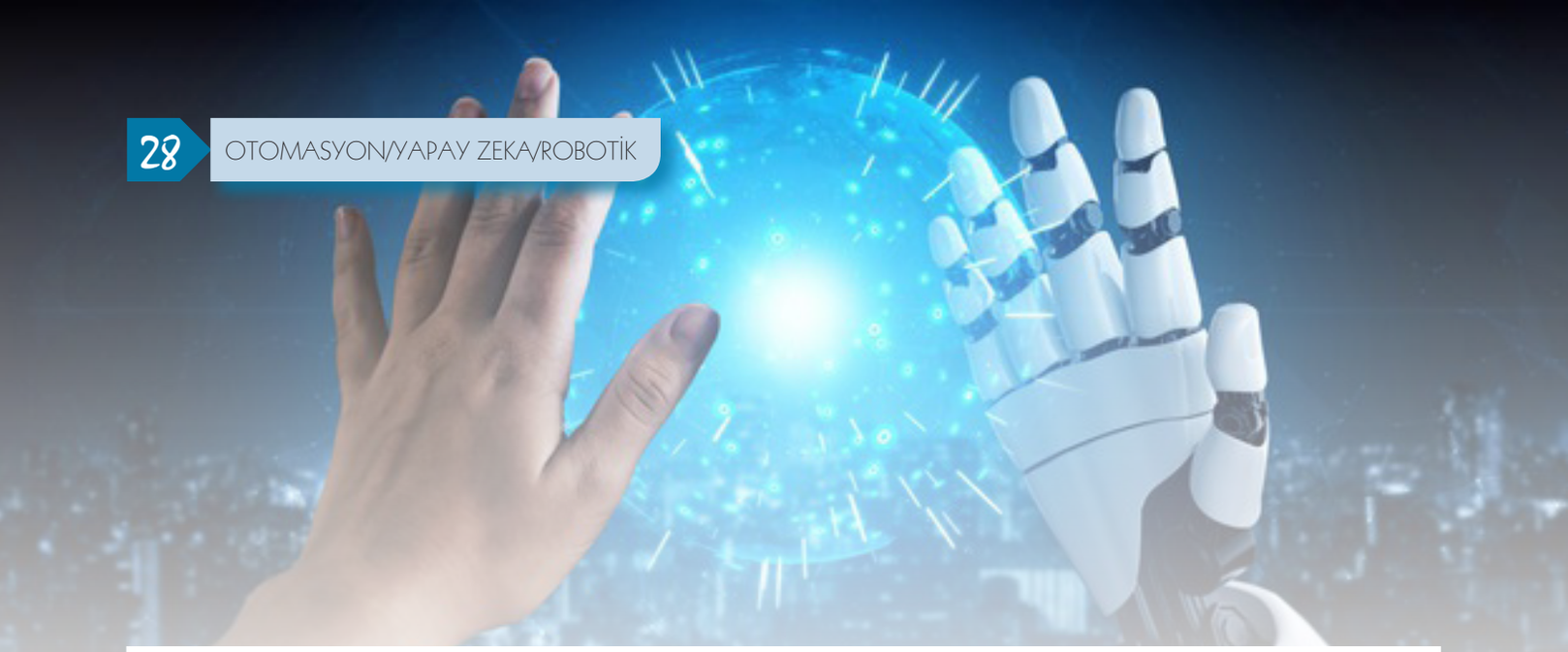


ÇOKLU OTONOM İŞBİRLİKÇİ ROBOTLAR KULLANARAK YÜK TAŞIMA PROTOTİPİ

Elif Salur[1], Sena Büyükbezirci[2], Batuhan Efe Bayramoğlu[3], Onurkan Karaca[4], Halit Ergezer[5]

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile beraber otomatik yönlendirmeli araçlar, endüstriyel ortamlarda kullanılmaya başlanmıştır. Üretim yoğunluğunun yüksek olduğu sektörlerde avantaj sağladığı için, gelecekte otomatik yönlendirmeli araçların daha fazla alanda etkin rol oynaması öngörülmektedir. Araçlar pek çok farklı görevi aynı anda gerçekleştirebilmeleri sayesinde öncelikle bulundukları çalışma alanının verimliliğini arttırmaları ve bunun paralelinde verdikleri hizmetler sonucu kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Genellikle yük taşıma amacı ile kullanılan bu sistemlerin asıl amacı doğru yükü istenilen lokasyona uygun sürede güvenli bir şekilde taşımaktır. Güvenlik unsuru dikkate alınarak programlandığı için personel ve yapılar etrafında çalışabilir. Artan güvenlik olanakları ve sensörler sayesinde kaza veya tehlike durumu ortadan kalkarak operasyonel aksama en aza indirgenir. Otomatik yönlendirmeli araçlar 7/24 çalışma sistemi ile çalışırken insan üzerindeki iş yükünü en aza indirgenmesini sağlar. Bu çalışmada, araçların içinde bulunduğu koşul ve olanaklar göz önünde bulundurularak; ana bir kontrol merkezinden yönetilebilen, kontrol merkezi ile haberleşebilen, kendi konumunu ve çalıştığı ortamı algılayabilen, istenen görevleri tamamlayıp belirli bir hatta düzene girebilen, işbirlikçi olarak görev yapabilen bir prototip sistemin geliştirilmesi ve tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda sistemin benzetimi yapılmış ve prototip üretilmiştir. Tasarlanan prototip çeşitli çalışma ortamlarına bütünleşebilir şekilde tasarlanmıştır. Araç, çalışacağı ortamda bulunan yayın kaynaklarından aldığı işaretlere göre konumunu otonom olarak belirleyebilmektedir. Araçlar merkezi bir kontrol bilgisayarı tarafından yönetilmektedir. Kontrol merkezinden istenen

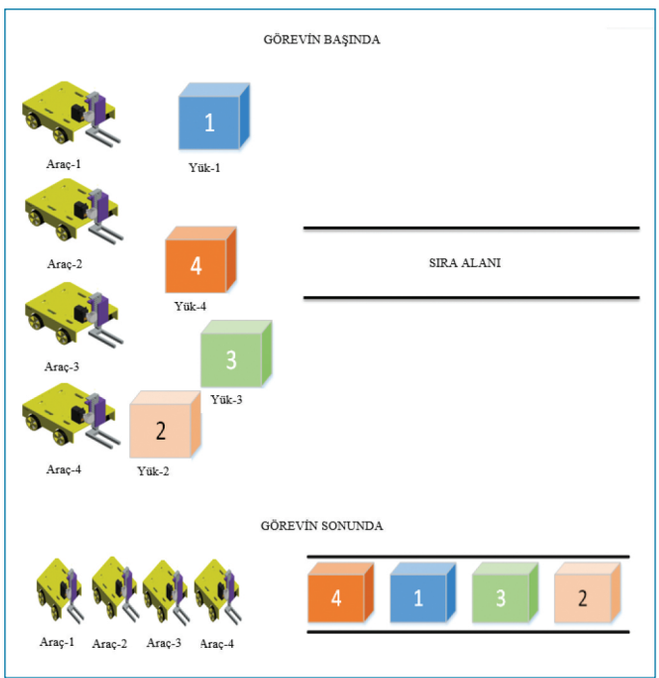
[1] Çankaya Üniversitesi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, c1617039@student.cankaya.edu.tr
[2] Çankaya Üniversitesi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, c1617015@student.cankaya.edu.tr
[3] Çankaya Üniversitesi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, c1617014@student.cankaya.edu.tr
[4] Çankaya Üniversitesi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, c1717403@student.cankaya.edu.tr
[5] Dr. Öğr. Üyesi, Çankaya Üniversitesi Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, halitergezer@cankaya.edu.tr

görevler doğrultusunda, ortamda bulunan birden fazla yükü algılamaya çalışmaktadır. Belirtilen yüklerin hangi sırada aranacağı ve yerleştirileceği kontrol merkezinden tayin edilecektir. Yükleri aramaya başladığında takip ettiği yolda yönelimini çeşitli algoritmalar sayesinde gerçekleştirir. Bahsi geçen prototipler görev alanının neresinde olduklarını bilmeli, hedefe giderken izleyecekleri uygun yolu, yolda uğrayacakları dış etkiler ve çeşitli engeller karşısında gidecekleri yeni olası yolu belirlemektedir [1]. Engel algılama, anlık haritalandırma, yön değiştirme, rota üzerinde yük algıladığında aracın yavaşlaması ve haritalandırma yaparak yeni rota belirleyip harekete devam etmesi gibi aşamalar izlenmektedir [2]. Bu doğrultuda, uygun yönelimle ve yapacağı olası manevraları belirleyip, seçilen yöntemleri kullanarak ilerleyeceği yolu otonom bir şekilde bulur.

Prototip, belirlenen hedefe giderken kameradan gelen görüntüleri işleyerek değerlendirir, hedefe doğru yol alırken yolda tespit ettiklerini tanır [3]. İstenilen yüklerin özelliklerini görüntü işleme yardımıyla, kameradan alınan bilgiler ile doğrular [4]. Araç, istenilen yükü bulduğu zaman bu bilgiyi kontrol merkezine bildirir. Bu bilgi sayesinde yeni görev atanır ya da ortamda çalışan diğer araçlara kontrol merkezinden bilgi aktarılır. Araçlar ve kontrol merkezi arasında haberleşme devamlı olarak sağlanmaktadır. Hedeflenen yük bulunduktan sonra, araç tarafından istenilen alana götürülür. Bu alanda araçlar belirli bir sırada düzeni sağlarlar ve bu noktada araçların yönelimleri önem arz eder. Araçlar tek bir sıra halinde istenilen alanda hareket ederek birbirlerinin hareketlerini kısıtlamazlar. Tüm bu işlemler tanımlanan görevlerin sonuna kadar devam etmektedir.

2. PROBLEM TANIMI

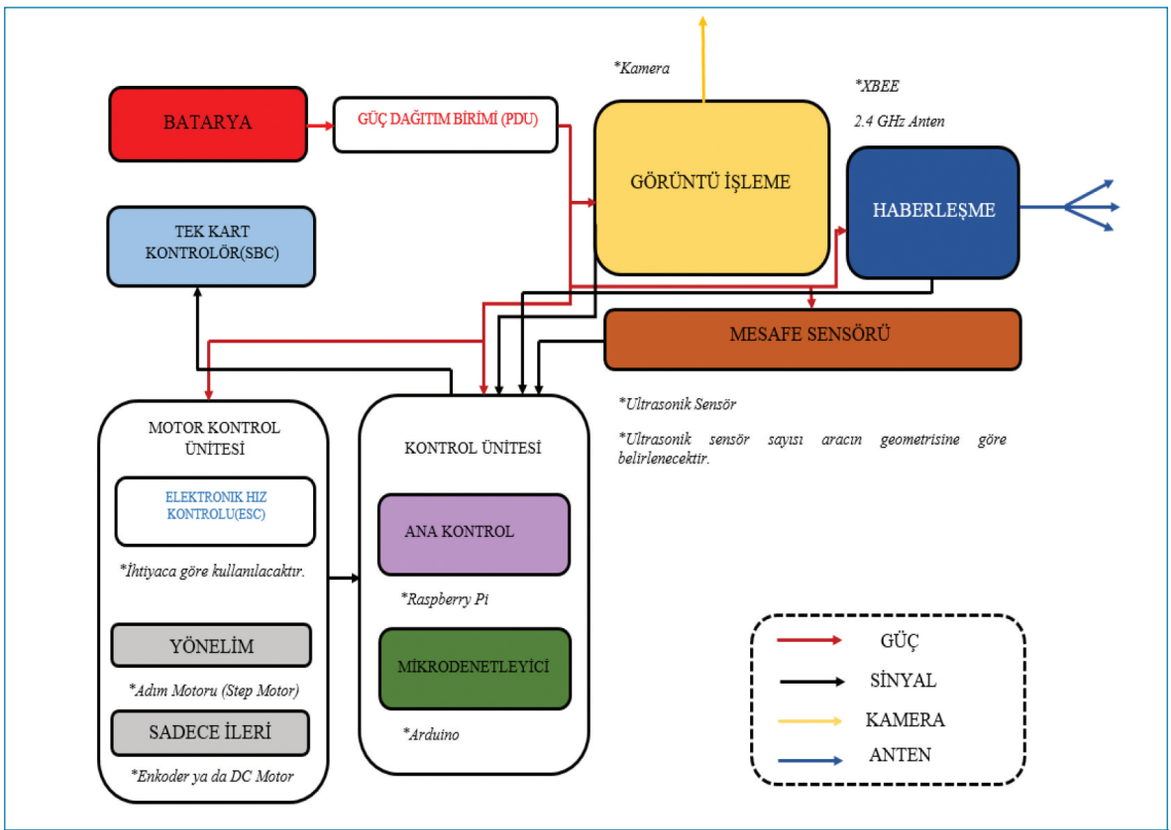
Çalışmanın amacı doğrultusunda, yükleri önceden tanımlanmış sıraya göre yerleştirmek için birden çok otonom araç tasarlanır. Tasarlanması hedeflenen araçlarla ilgili çeşitli problemler tanımlanmıştır. Araçların, çalışma alanın büyüklüğüne bağlı olarak yüklerin dağınık olması sonucunda araçlar istenilen yükleri zaman kaybı olmadan belirtilen görev tayinine göre bulmalıdır. Bu problem doğrultusunda yüklerin sırası görevden önce tanımlanacaktır. Sonuç olarak yüklerin sırasını belirleyecek ve araçlara emir komutunu gönderecek bir kontrol bilgisayarı bulunmalıdır. Araçların araması gereken yüke göre bir yol belirlemesi ve yolda önüne çıkan yabancı cisimleri algılayarak kendi yönelimi ve konumunu bilmesi gerekmektedir [5]. Oluşturacağı rotada farklı cisimler ile karşılaşabileceği gibi ortamda çalışan diğer araçlarla da karşılaşabilir ya da ortamdaki yükü aynı anda diğer araçlar da bulabilir. Bu durumda araçlar kontrol bilgisayarına geri bildirim vermeli ve sürekli haberleşme sağlamalıdır. Araçlar tam otonom çalışmalı ve kontrol bilgisayarı ile arasında hiçbir fiziksel kablolu bağlantı olmamalıdır [6]. Yükleri sıralamak için araçlar işbirliği içinde çalışmalıdır, sıra alanında birbirlerini kısıtlamamalı ve birbiriyle çarpışmamalıdır. Araçlar kutuları önceden tanımlanmış sırayla sıraya itmeli veya çekmelidir. Buna bağlı olarak sıra alanında bir araç bulunuyorsa diğer araçlar onu beklemeli ve aralarında belirli bir düzene girmeleri gerekmektedir.



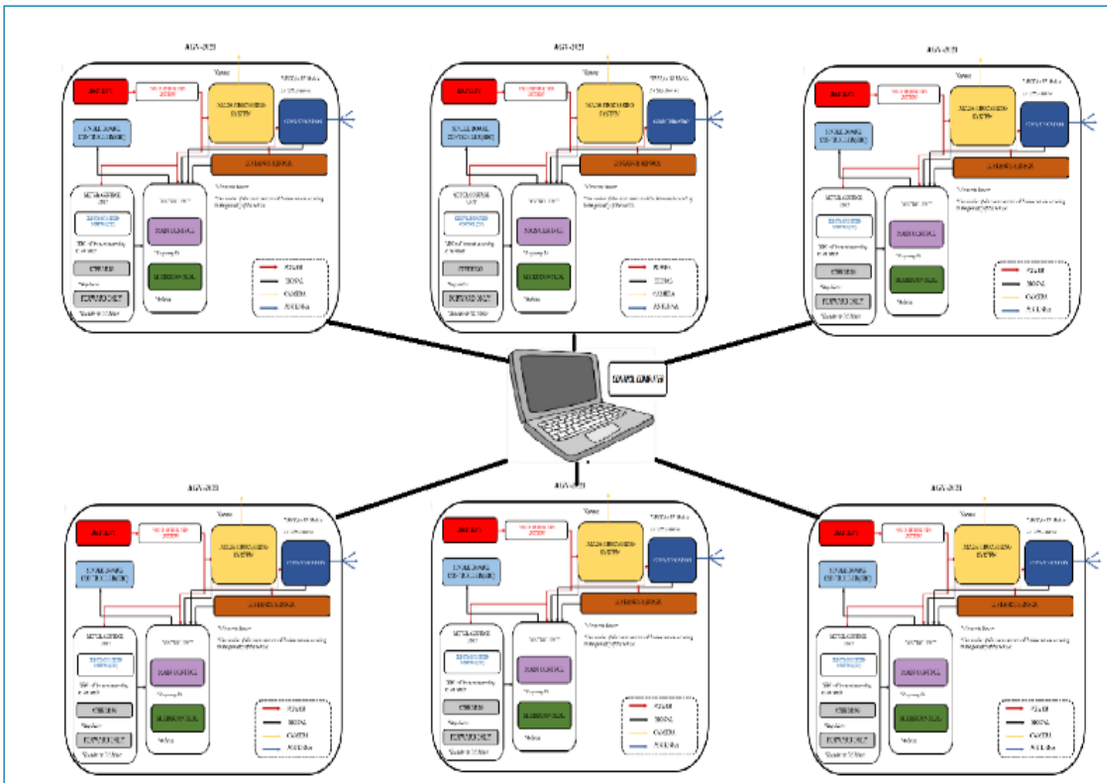
Şekil 1. Temsili Çalışma Ortamı

3. SİSTEM MİMARİSİ

Çalışmanın amacına ve çalışma prensibine uygun olacak şekilde sistem mimarisi oluşturulmuştur. Sistem mimarisinde projenin tüm alt birimleri birbiriyle etkileşimde olacak şekilde bölümlere ayrılmıştır. Buradaki amaç, ana kontrol bilgisayarı ile diğer birimlerin arasındaki haberleşmenin ve alt birimlerin birbirleriyle olan etkileşimini göstermektir. Araçların geometrisine ve tasarımına uygun olacak şekilde malzeme ve malzeme sayısı seçimi kararlaştırılmıştır.



Şekil 2. Sistem Mimarisi

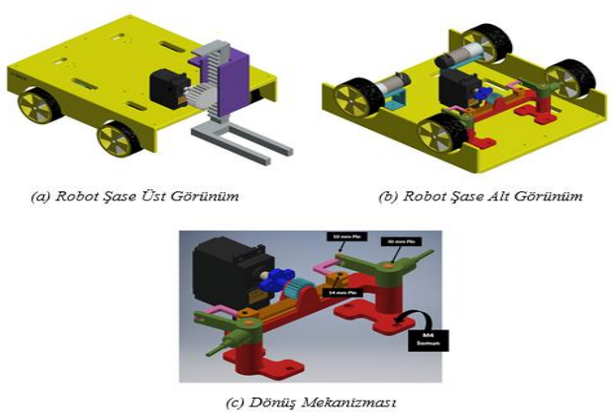


Şekil 3. Kontrol Bilgisayarı ve Araçların Haberleşmesi

Sistem mimarisi, ana kontrol bilgisayarı ile sistemin çift yönlü haberleşme yaptığını göstermektedir. Bu durumun sonucu olarak kontrol bilgisayarına gelen bilgi akışı ikiye ayrılmıştır. Bilgi akışı zaman tabanlı algoritmalar ve olay tabanlı algoritmalardır. Bu algoritmalara; kontrol, enkoder, konumlandırma, Dubin rotası ve görüntü işleme algoritmaları örnek verilebilir. Şekil 2 ve Şekil 3'te sistem mimarisi belirtilmiştir.

4. ARAÇ MODELLEME

Yüklerin taşınması için forklift mekanizması tasarlanmıştır. Forklift mekanizması yükler algılandığında aktive edilmektedir [7]. Bu mekanizma, yükü bulunduğu yerden alıp otonom bir şekilde yükleme yapmaktadır. Hareketin sağlanması için servo motor kullanılmıştır. Araçlar Autodesk Inventor ortamında tasarlanmıştır.



Şekil 4. Robot Mekanik Tasarım

Pil Ömrü: Hesaplamalar toplam çekilen akım miktarı göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

$$Pil\ Ömrü\ = \frac{Pil\ Kapasitesi}{Tüketim * (1 - Deşarj\ Güvenliği)} \quad (1)$$

Tablo 2. Motor Hesaplama Sonuçları

Sürtünme Kuvveti	5,817 N
İvme	1,748 m/s^2
Tork	0,162 N.m
Güç	9,26 W
Akım	0,77 A

Motor Hesaplamaları: Tekerlekli bir mobil robot için gerekli tork, güç, akım hesaplamaları yapılmıştır.

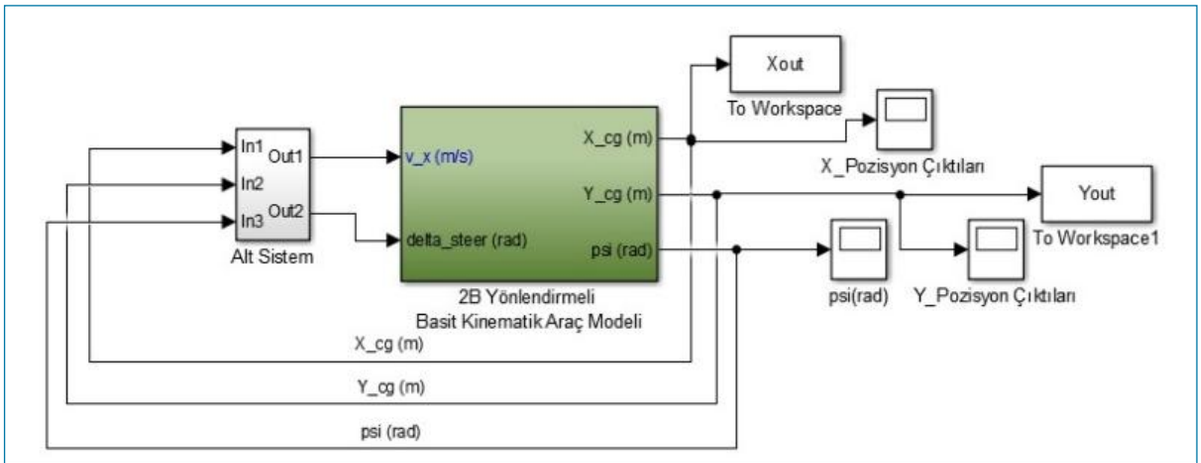
Tablo 1. Batarya Ömrü

Pil Ömrü = $\frac{2800\frac{mAh}{1000}}{21{,}7\ A}\ (1 - 0{,}20)$
Pil Ömrü = 0,16129 saat = 9,68 dakika

Yukarıda gösterilen hesaplama sonuçlarına uygun batarya ve motor seçimi yapılmıştır.

5. ALGORİTMALAR

MATLAB çalışma ortamı ile çeşitli algoritmalar, sistemlerin veri analizleri, matematik ve mühendislik hesaplamalar gerçekleştirilir. Algoritma tasarımı, kod dizimi ve testi için esneklik sağlayarak işlevselliği artırır. Tasarlanan prototiplerin simülasyonu bu ortamda gerçekleştirilmiştir. Grafik sistemi ile elde edilen çıktılar gözlemlenmiştir. Araçların kontrolcü tasarımı, enkoder, konumlandırma ve



Şekil 5. MATLAB/Simulink Kontrol Modellemesi

Dubin rota algoritması MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

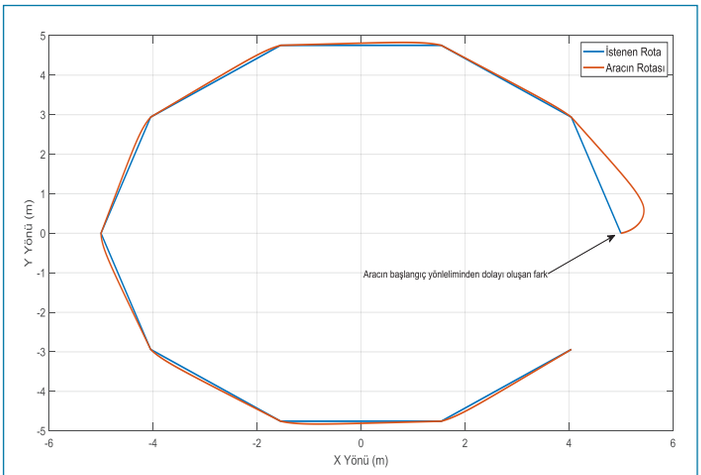
5.1 Kontrol Algoritması

Kontrol algoritmasından alınan çeşitli geri bildirimler ile aracın pozisyon kontrolü sağlanmıştır. Aracın konumunu kontrol etmek için denetçi kullanılmıştır. X ve Y pozisyonlarından alınan veriler, aracın kontrolcüsüne geri verilmiştir.

Modellemede yönelim ve hız olarak iki girdi kullanılmıştır. Varılmak istenen hedef ve aracın o anki konumu arasındaki fark matematiksel olarak hesaplanmıştır. Kontrolcü izlenen yola bağlı olarak aracın tekerlek yönelim açısına karar verir ancak izlenecek yola farklı yöntemlerle karar verilir. Araç kontrolcüsü değişen çevresel etmenlere bağlı olarak parametreleri değiştirir.

5.2 Enkoder

Enkoderli motor, bağlı olduğu milin konumlarını ve geri bildirimlerini algılamaya yarayan, elektrik darbe sinyali üreten elektromekanik bir cihazdır. Aracın tekerleklerine takılı devir başına darbe yayan şaft kodlayıcılar bulunmaktadır. Enkoder kodlayıcı aracın konumunu, darbe sayısını, hızını veya yönünü belirlemek için kullanılır.



Şekil 6. Yönelim ve Konum Grafiği

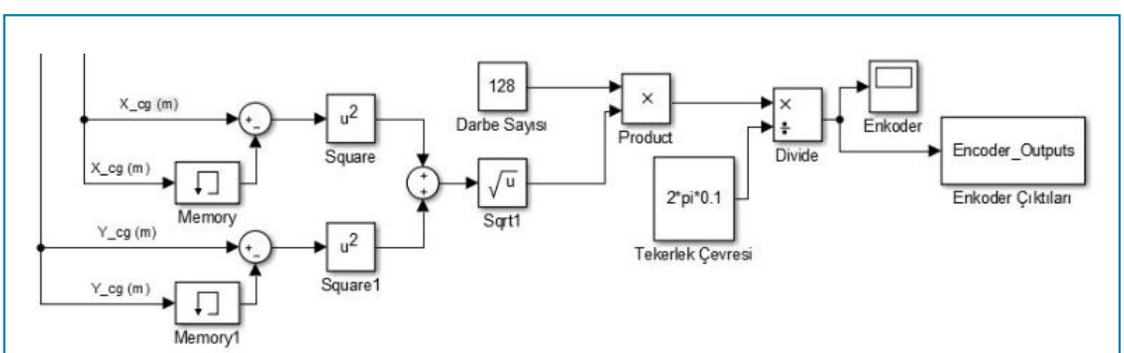
Çalışma ortamı göz önünde bulundurulduğunda GPS kullanamayacağı ve çizgi izlemeyeceği için aracın kendi konumunu ve yönelimini belirlemesi önem arz etmektedir. Bu sebepten dolayı aracın üzerinde bulunan enkoderden belirli zaman aralığında alınan darbe sayısı aracın son durumunu, ilk durumuna göre belirleyip hangi pozisyonda olduğu hakkında bilgi verir. Şekil 7'de enkoder modellemesi yapılmıştır.

5.3 Konumlandırma

Odometri ile birlikte çok yönlü yöntem [8] Kalman filtre [9] yardımı sayesinde kaynaştırılmış (fusion) ve aracın kendi konum bilgisini belirlemesine olanak sağlanmıştır. [10] Bu yöntem ile otonom bir aracın belirli, iki farklı durumunun arasındaki farkı ilk duruma göre kıyaslayarak kat ettiği yolu bulabilmesi için kullanılmıştır. Kapalı alanlarda çalışan araçlar yönelim ve pozisyon bilgisi için kendi iç donanımında bulunan algılayıcılara ihtiyaç duyarlar. Odometri algoritması, hareket algılayıcılardan gelen verileri kullanarak başlangıç konumuna göre konumdaki değişikliği tahmin etmek için kullanılmıştır. Aracın hareketi, tekerleklerin dönüş sayısı enkoderden gelen çıktıya göre mesafe tahmin edilmiştir. Aracın nerede olduğunu bulmak için belirli bir süre içinde iki tekerleğin kaç devir yaptığı hesaba katılmıştır.

5.4 Dubin Rota Algoritması

Dubin rotası, farklı üç yol segmenti ile minimum yarıçaplı



Şekil 7. MATLAB/Simulink Enkoder Modellemesi

daireler ve düz çizgi parçaları oluşturarak teğetleri birleştirip en kısa yolu belirlemektedir. Dubin rota algoritması, minimum uzunluğu bulmak için başlangıç ve bitiş koordinatlarının yanı sıra yönlerini de öngörmektedir. Dubin rotası tekerlekli araçlar için en uygun yolun hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem doğrultusunda geometrik ve analitik hesaplamalar kullanılmaktadır.

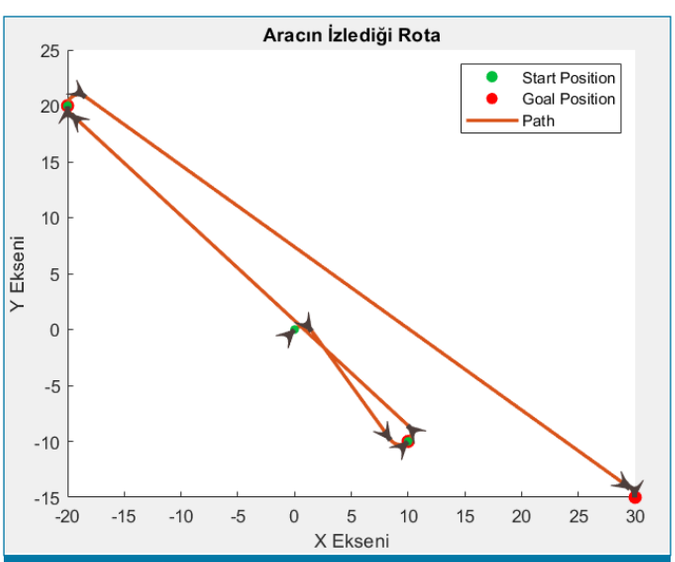
$$\dot{x} = V \cos\theta \quad (2)$$

$$\dot{y} = V \sin\theta \quad (3)$$

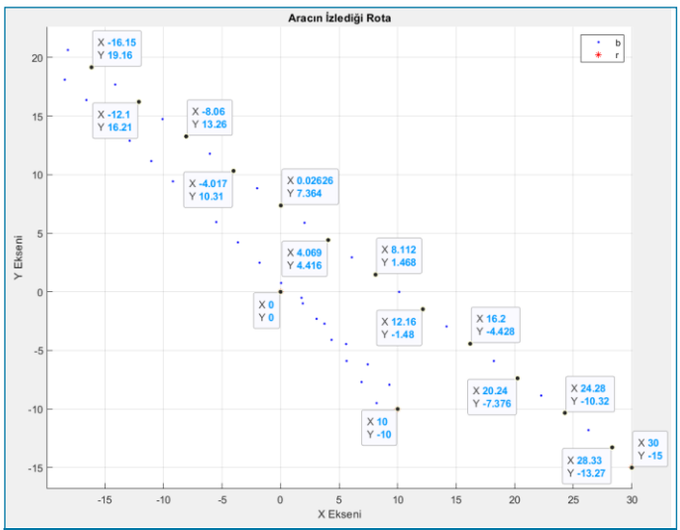
$$\dot{\theta} = u \quad (4)$$

Bu analitik denklemlerde x ve y aracın konumunu, θ açısı ise aracın rotasını belirtmektedir. Araç V sabit hızında hareket ettiğinden dönüş hızı u ile sınırlıdır. Başlangıç ve bitiş noktaları göz önünde bulundurularak ilk ve son teğetler iki noktayı birleştiren en kısa yolu verir. Bu yol üzerindeki elde edilen çeşitli ara noktalar, aracın nerede olduğunu ve nereye gitmesi gerektiğini temsil eder. Farklı üç yol segmenti sağa dönüş (R), sola dönüş (L), düz sürüş (S) şeklindedir. En kısa yol her zaman altı türden oluşmaktadır: 'LSL, RLR, LSR, LRL, RSR, RSL'[11].

Şekil 8'de görüldüğü gibi başlangıç noktası (0,0) ve 45° yönelim ile hedef noktası (10,-10) noktasına 45° yönelim ile araç mümkün olan en kısa yolunu 'RSL' yolu olarak seçmiştir. Bulunduğu yerden (-20,20) noktasına 90° yönelim ile 'LSR' yolunu seçmiştir. Bitiş koordinatları (30,-15) noktasına 270° yönelim ile araç en kısa yolunu 'RSR' yolu olarak seçmiştir. Şekil 9'da aracın gittiği yol üzerindeki ara noktalar gösterilmiştir.



Şekil 8. Aracın İzlediği Rota



Şekil 9. Ara Nokta (Waypoint) Çıktısı

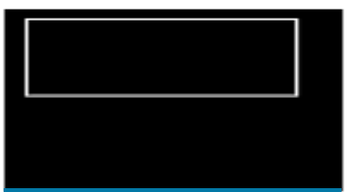
5.5 Görüntü İşleme Algoritması

Araçların üzerinde sisteme uygun bütünleştirilmiş kameralar yer almaktadır. Bu çalışmada, öncelikli olarak yüklerin konumuna ve renklerine göre ayırt edilebilir olması gerekmektedir. Bu doğrultuda MATLAB ortamında görüntü işleme algoritması oluşturulmuştur. Birçok açık kütüphaneden yararlanılmıştır. Taşınacak yüklerin çalışma ortamında elde edilecek görüntülerine benzer görüntülerle veri seti oluşturulmuştur. Yüklerin renklerinden algılanması hedeflenmiştir. Bu kavram doğrulaması çalışması kapsamında verilen bir karardır, ancak farklı çalışma ortamlarında yüklerin ayırt edilmesi için farklı yöntemler kullanılabilir. Örneğin, araçları birbirinden ayırt etmek için oluşturulan karekod yöntemi aynı zamanda yükleri birbirinden ayırt etmek için de kullanılabilir.

Çalışmalarımızda RGB formatında görüntüler kullanılmıştır. Bunun amacı ise görüntünün rengini tespit etmektir. (Şekil 10).

Şekil 10. Kırmızı Renkli Nesnenin Tespiti

Görüntünün rengini ayırt ettikten sonra köşelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Köşelerini ayırt ederek cismin normal boyutuna göre kameraya olan uzaklığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Canny Kenar Bulma Yöntemi kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Görüntünün Çerçevesinin Oluşturulması

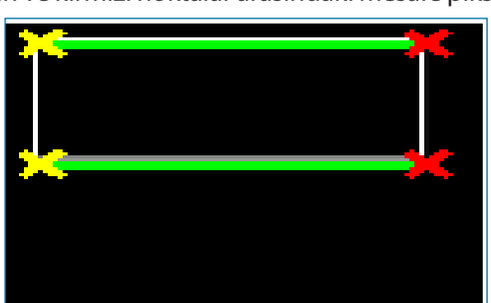
Görüntünün uzunluk tespitinin yapılabilmesi için öncelikle kenarları bulunur, daha sonra köşelerinin çizerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle *Hough Transform* [12] komutu kullanılmaktadır (Şekil 12). Hough Transfrom hesaplanması için sistemde üç formül kullanılmaktadır. Bu formüller sayesinde hesaplanan değerlere göre yükün köşelerini çizgi halinde ayırt etmemiz sağlanmaktadır.

$$y = a.x + b \tag{5}$$

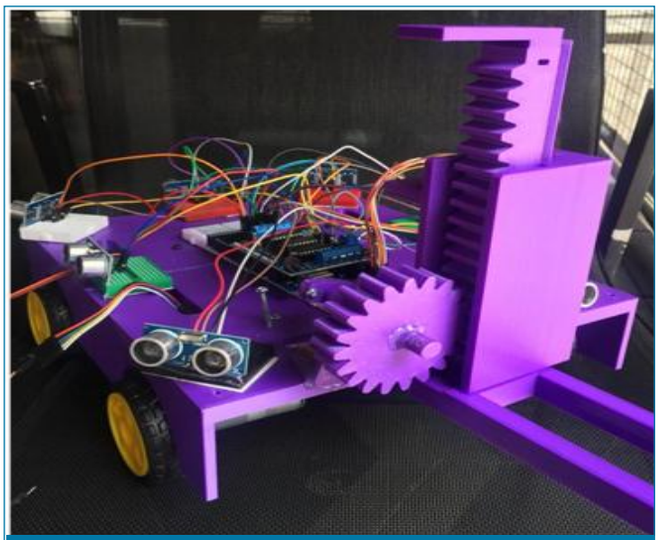
$$r = x.\cos\theta + y.\sin\theta \tag{6}$$

$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta}.x + \frac{r}{\sin\theta} \tag{7}$$

Sonuç olarak yükün kameraya olan uzaklığını bulabilmek için çizdirilmiş olan köşe çizgisinin uzunluğu piksel olarak hesaplanmıştır. Piksel değerinin, bir referans uzaklığına göre kameranın yüke yaklaştıkça piksel değerinin büyümesi ve uzaklaştıkça piksel değerinin azalması ile kameranın cisme yakınlaşıp yakınlaşmadığı bilgisi sisteme aktarılır. Bu çalışmada örnek olarak verilen görüntüde (Şekil 12) sarı ve kırmızı noktalar arasındaki mesafe piksel olarak



Şekil 12. Görüntünün Kenar Uzunluğunun Bulunması



Şekil 13. 3 Boyutlu Yazıcı Çıktıları

80 pikseldir. Seçilmiş referans değerine göre kameraya olan uzaklığı ise 8 cm olarak hesaplanmıştır.

Araç tanıma algoritması için özel karekodlar oluşturulmuştur. Her bir araç için oluşturulan karekodlar okutulmuştur. Algoritmaya uygun olarak Python kodu oluşturulmuştur. Okutulan karekod içerisine yerleştirilmiş bilgiler Python kodu çıktısı olarak alınmıştır. Araç şase ve forklift mekanizması 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 13).Robotların üretimi için 1.75 mm PLA filament kullanılmıştır. Daha pürüzsüz yüzey ve yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla PLA filament tercih edilmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, hızla gelişen sanayii alt yapılarında kullanılabilecek, çoklu otonom araçların birlikte çalışabilirliği incelenmiştir. Düşük maliyetli ve küçük ölçekli otonom araçlarla oluşturulan prototip sistem kullanılarak kavramın geliştirilmesine çalışılmaktadır. Bu tür ürünler ile farklı sektörlerde pek çok görevi aynı anda gerçekleştirerek verimliliğin arttırılacağı açıktır. Günümüzde otonom araçlar pek çok fabrikada kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte birden fazla aracın bir arada insan faktörü olmadan tam otonom bir şekilde çalışması gerekeceği açıktır. Bu tip sistemler sayesinde verimlilik artışının yanı sıra oluşabilecek iş kazaları da minimuma indirilmiş olacaktır. Çalışmamızda araçların merkezi bir kontrol bilgisayarı tarafından yönlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. İncelenen konulardan en önemlileri taşınması istenen yükle-

rin konumlarının bilinmemesi, araçların hareketlerinin yol-izleyici vb. yapılarda olmaması ve işbirlikçi bir şekilde problemin ele alınması olarak sıralanabilir. İleriki çalışmalarda merkezi olmayan yapılarla problemin çözümünün ele alınması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Wang, C., and Mao, J.,** 2019. "Summary of AGV Path Planning", 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE), Xiamen, China, pp. 332-335.
2. **Quan, S. and Chen, J.** 2019. "AGV Localization Based on Odometry and LiDAR", 2nd World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM), Shanghai, China, pp. 483-486.
3. **Cucchiara, R., Perini, E. and Pistoni, G.** 2007. "Efficient Stereo Vision for Obstacle Detection and AGV Navigation", 14th Int. Conf. on Image Analysis and Processing (ICIAP 2007), Modena, pp. 291-296.
4. **Ilas, C.** 2013. "Electronic sensing technologies for autonomous ground vehicles: A review", 8th Int. Symposıum On Advanced Topıcs In Electrıcal Engıneerıng (ATEE), Bucharest, pp. 1-6.
5. **Brandao, A.S, Sasaki, A. S, Castelano Jr., C.R., Cruz R.R. and Carelli, R.** 2012. "Autonomous Navigation with Obstacle Avoidance for a Car-Like Robot", Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium, Fortaleza, pp. 156-161.
6. **Chakma, R. et al.** 2019. "Navigation and Tracking of AGV in ware house via Wireless Sensor Network", IEEE 3rd Int. Electrical and Energy Confe. (CIEEC), Beijing, China, pp. 1686-1690.
7. **Li, L., et al.** 2015. "Vision-based intelligent forklift Automatic Guided Vehicle (AGV)", IEEE Int. Conf. on Automation Science and Engineering (CASE), Gothenburg, pp. 264-265.
8. **Colistra, G., and Atzori, L.** 2012. "Estimation of Physical Layer Performance in WSNs Exploiting the Method of Indirect Observations", J. Sens. Actuator Netw. pp. 272-298.
9. **Xu, B. and Wang, D.** 2018. "Magnetic Locating AGV Navigation Based on Kalman Filter and PID Control", Chinese Automation Congress (CAC), Xi'an, China, pp. 2509-2512.
10. **Pierlot, V., and Van Droogenbroeck, M.** 2014. "A New Three Object Triangulation Algorithm for Mobile Robot Positioning", in IEEE Transactions on Robotics, vol. 30, no. 3, pp. 566-577.
11. **Wang, Y., Cai, W. and Zheng, Y. R.** 2017. "Dubins curves for 3D multi-vehicle path planning using spline interpolation" , OCEANS - Anchorage, AK, pp. 1-5.
12. **Aggarwal, N. and Karl, W.C.** 2000. "Line detection in images through regularized Hough transform", Proc. Int. Conf. on Image Processing, Vancouver, BC, Canada, pp. 873-876.