

Mobil Robotlar için Yük Altındaki Davranış Analizinin İncelenmesi

Halil İbrahim YAMAÇ^{1*}, Taner YILMAZ²

^{1,2} Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{*1} halilymc@gmail.com, ² tnrylmz@live.com

(Geliş/Received: 04/01/2022;

Kabul/Accepted: 11/02/2022)

Öz: Robotların kullanımı özelliklerinden kaynaklı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Endüstriyel alandaki gelişmeler, robotlara duyulan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Bu amaca yönelik çalışmalara araştırmacıları yönlentmiştir. Bu doğrultuda kullanılan robotlardan biri olan yük robotlarının birçok örnekleri mevcuttur. Bu araştırmanın amacı endüstri alanında faaliyet gösteren kuruluşlar ve araştırmacılar için yük robotları tasarımında önemli parametrelerin incelenmesi ile literatüre katkı sağlamaktır. Bu parametrelerden olan robot gövdesi ve montaj noktalarının analizleri yapılmıştır. Toplam deformasyon ve yük analizi, bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programı ile incelenmiştir. Üç farklı yük altında (7,5 kN, 10 kN, 12,5 kN) yapılan analizler sonucunda gerilme sonuçlarında ciddi bir değişim gözlemlenmez iken, deformasyon sonuçlarında 0,23 mm -1,03 mm aralığında kısmi artışlar görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel Mobil Robot, Sonlu Eleman Analizi, Otonom Robotlar.

Examination of Behavior Analysis Under Load for Mobile Robots

Abstract: The use of robots is increasing day by day due to their features. Developments in the industrial field have led to an increase in the need for robots. It has directed researchers to studies for this purpose. There are many examples of cargo robots, one of the robots used in this direction. The aim of this research is to contribute to the literature by examining the important parameters in the design of payload robots for organizations and researchers operating in the field of industry. The robot body and mounting points, which are among these parameters, were analyzed. Total deformation and load analysis were analyzed with the finite element software ANSYS. As a result of the analyzes performed under three different loads (7.5 kN, 10 kN, 12.5 kN), no significant change was observed in the stress results, while 0,23 mm -1,03 mm increases were observed in the deformation results.

Key words: Industrial Mobile Robot, Finite Element Analysis, Autonomous Robots.

1. Giriş

Robotik, modern teknolojinin birkaç farklı mühendislik alanını bir arada uygulayan dallarından biridir. Robotik, sistemlerin teorisi ve uygulaması ile ilgili olan bilim temelli bir teknolojidir [1]. Robotik sistemlerin uygulama alanlarının gelişimi incelendiğinde, her gün kullanım ve uygulama alanlarının arttığı görülmektedir. Robotik sistemler, askeri alanlar başta olmak üzere, sağlık sektöründe, rehabilitasyon çalışmalarında, endüstriyel ve sanayi uygulamalarında, evlerimizde vb. birçok alanda güvenle kullanılmaktadır [2].

Mobil robotlar, bir yerden başka bir yere operatörlerin yardımı olmadan hareket edebilen robotlardır. Yalnızca belirli bir çalışma alanına taşınabilen endüstriyel robotların çoğundan farklı olarak, önceden tanımlanmış bir çalışma alanında arzulanan hedeflerini gerçekleştirmek için serbestçe dolaşma özelliğine sahiptirler. Bu hareket kabiliyeti, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış ortamlardaki geniş bir uygulama alanında kullanılmalarını sağlamaktadır [3].

Mobil zemin robotları, tekerlekli mobil robotlar (WMR) ve bacaklı mobil robotlar (LMR) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Tekerlekli robotlar diğer mobil robotlara göre daha yaygın kullanım alanına sahiptirler [4]. Bu robotların cazip olma nedeni uygulamada daha düşük mekanik karmaşıklığa sahip olmaları ve enerji tüketimlerinin daha az olması gibi avantajlarının olmasıdır. [5].

Günümüzde Robot ve insan etkileşiminin endüstriyel amaçlı örnekleri oldukça yaygındır. Bu doğrultuda insan ihtiyacı gerektiren sistemler, yerini robotlara bırakmaya başlamıştır. Endüstrideki gelişmeler endüstri 4.0 devriminin hızlanmasına neden olmuştur. Üretimde nesnelere ve hizmetlerin interneti ile siber fiziksel sistem uygulamaları teknolojik gelişmelerin ardından kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum Endüstri 4.0 devriminin

* Sorumlu yazar: tnrylmz@live.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4628-0971, ² 0000-0002-1721-9071

başlamasına neden olmuştur [6]. Nesnelerin interneti, hizmetlerin interneti, siber-fiziksel sistemleri endüstri devriminin ana öğeleri olarak görülmektedir. Bu öğelerin entegrasyonu ile de akıllı fabrikalar doğmuştur [7].

Akıllı fabrika kavramının net bir tanımı bulunmamasına rağmen mevcuttaki tüm tanımlar düşünüldüğünde akıllı fabrika kavramını; otomasyon, yazılım kombinasyonları, donanım, mekanik altyapı gibi teknolojik gelişmelere uyumlu olan ve yeniden yapılandırılabilen üretim süreçleriyle; imalat kaynaklı sorunları dinamik, esnek ve çevik bir biçimde çözebilen fabrika olarak tanımlamak mümkündür [8].

Bu teknolojik gelişmeler sonucu robotiğin endüstri ile entegrasyonu hız kazanmıştır. Endüstriyel amaçlı kullanılan yaygın robot tipleri:

- Üretim için kullanılan robotlar,
- Bakım, onarım amaçlı kullanılan yardımcı robotik sistemler,
- Paketleme amaçlı robotik sistemler,
- Çok amaçlı otonom asistan robotlar.

Otonom robotlar, sensörler, kameralar, yapay zeka uygulamaları vb. sistemler sayesinde çevreden edindiği bilgilere göre hareket eden ve verilen görevleri kendi kendine yerine getiren robotlardır [9]. Bu tarz robotların bir türü de yük amaçlı tasarlanan otonom mobil robotlardır. Endüstriyel amaçlı otonom mobil robotlar her türlü sanayi tesislerinde ve lojistik amaçlı birçok sektörde kullanım alanına sahiptir [10]. Bu doğrultuda akademik ve ticari amaçlı çalışmalar mevcuttur.

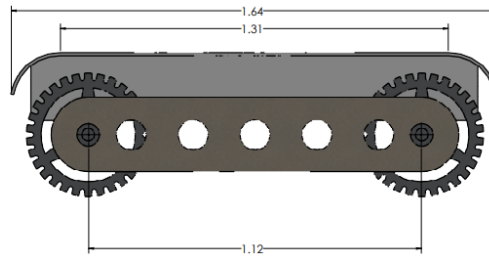
Yük amaçlı robotlar, yük taşıma amaçlı kullanılan çekici ve forkliftlerde olduğu gibi kaldırma ve taşıma şekillerine göre tasarımları değişiklik göstermektedir [11]. Bu amaçla tasarlanması hedeflenen sistemin tasarımının gerçekleştirilmesinde en önemli parametreler taşınması hedeflenen yükün ağırlığı ve boyutları olarak ön plana çıkmaktadır. Bu alanda yapılan prototiplerin deneysel testleri, bulunan hatalar maliyet açısından olumsuz sonuçlar doğurabildiğinden, simülasyon programları aracılığı tasarımı süreci, maliyeti ve optimizasyonu için büyük bir kolaylık sağlamaktadır [12].

Mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan yazılım programlarından biri olan ANSYS ile disiplinler arası (mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi vb.) çalışmaların sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analizlerini yapabilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometrilere sahip cisimlerin çok sayıda parçalara bölerek işlem kolaylığı sağlamaktadır. Böylece sonlu sayıdaki elemanın analizi sonucu elde edilen sonuçlar birleştirilerek tek ve tutarlı bir analiz sonucu elde edilmektedir [13].

Bu çalışmanın amacı, ANSYS simülasyon programı aracılığı ile prototip üretimine ihtiyaç duyulmadan bir otonom yük robotunun farklı taşıma kapasitelerine göre gerilme ve deformasyon analizi yapılarak tasarımın sonuçları gözlenmiş ve bu alanda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutarak literatüre katkıda bulunması hedeflenmiştir.

2. Gereçler ve Yöntem

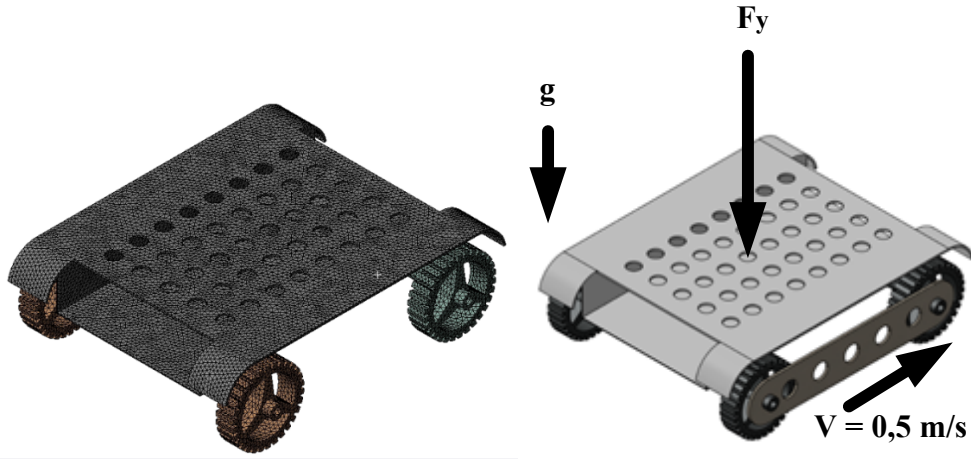
Şekil 1’de görüldüğü üzere analizi yapılması için tasarlanan örnek yük robotu, Solidworks programı aracılığı ile 3 boyutlu ortamda hazırlanmıştır.



Şekil 1. Tasarlanan mobil robot platformunun 3 boyutlu görseli.

Günümüzdeki örneklerinden esinlenerek tasarlanan robot platformu yaklaşık olarak 1,6 x 1,35 x 0,40 m boyutlarında 4 tekerlekli olarak hazırlanmıştır. 330 kg olan robotun ağırlığına ek olarak kullanılan sürüş tekerleklerinin çapı 0,21 m. olarak belirlenmiştir. Tekerlerde kullanılan 2 adet motor aracılığı ile robot hareketleri sağlanmıştır.

ANSYS programı Static Structural modülünde analizler yapılmıştır. ANSYS sonlu farklar yöntemi kullanarak denklemleri yakınsama yöntemi ile çözmektedir [14]. Ağ yapısı ve analiz sınır şartları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan mobil robot platformunun 3 boyutlu görseli.

Ağ yapısı için element sayısı 103250, node sayısı 198172 ve element kalitesi en az ve en çok değerleri $5,9 \times 10^{-2}$ ve 0,99; skewness değeri ortalaması 0,23 olarak çözümde kullanılmıştır.

Analiz için hazırlanan bu sistemin kendi yük ağırlığının (330kg.) yanı sıra -y ekseninde yerçekimi tanımlanmıştır. Uygulanan yük zemine paralel olarak robot üzerine uygulanmıştır. Yük parametreleri olarak 7,5kN, 10kN, 12,5kN belirlenmiştir. Uygulanan yükün neticesinde robot gövdesi, tekerlere bağlantıyı sağlayan mil ve tekerler üzerindeki kuvvet, kuvvetin sebep olduğu gerilim ve deformasyonların analizi incelenmiştir. Analiz sırasında kuvvetin sebep olduğu veriler incelenirken robot 0,5 m/s hızla hareketini sağlamaktadır.

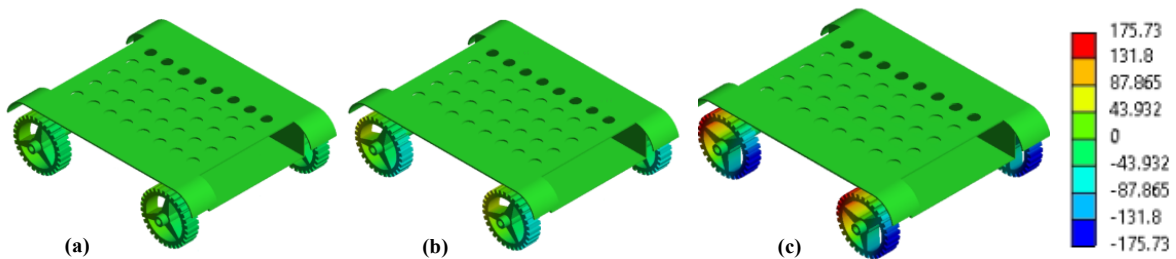
Analizler için kullanılan robot modelinde gövde paslanmaz çelik ile aks ve tekerlerde ise alüminyum alaşım kullanılmıştır. Malzemelere ait özellikler ise Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemeler ve özellikleri

	Birim	Paslanmaz Çelik	Alüminyum Alaşım
Yoğunluk	kg/m ³	7750	2770
Young Modülü	MPa	$1,93e^5$	71000
Poisson Oranı	MPa	0,31	0,33
Bulk Modülü		$1,693e^5$	69608
Kayma Modülü	MPa	73664	26692
Akma Dayanımı	MPa	207	280
Çekme Dayanımı	MPa	586	310

3. Bulgular ve Tartışma

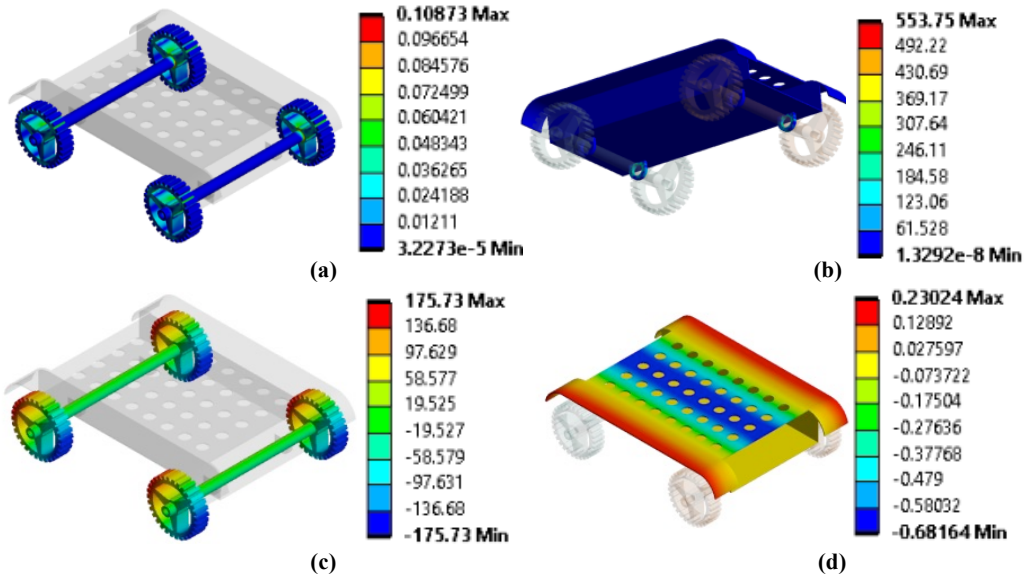
Robotun 12,5 kN’luk yük altında ki hareketinde tüm parçalar üzerinde meydana gelen deformasyon Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Robotun zamana bağlı hareketindeki toplam deformasyonu a) 0,2 saniye b) 0,4 saniye c) 0,7 saniye

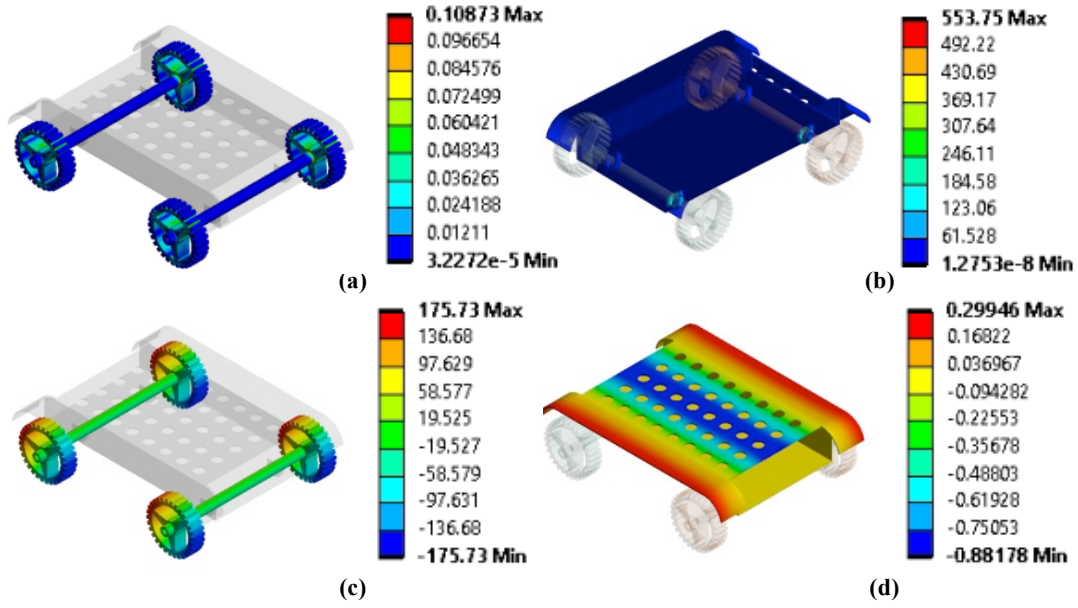
Burada zamana bağlı olarak yükün hareket ettirilmesinde en çok deformasyonun tekerler üzerinde meydana geldiği görülmektedir. Simülasyon sonucunda 0,4 saniyeden 0,7 saniyeye gelene kadar tekerler üzerinde bir deformasyon artışı meydana geldiği görülmektedir. Maksimum değerin 0,7 saniyede yaklaşık 175×10^{-3} mm olduğu ilgili şekilden anlaşılmaktadır. Gövdede oluşan deformasyonun değişiminin ihmal edilebilecek kadar az olduğu söylenebilir.

Yapılan analiz sonuçlarında üç farklı yük etkisinde robot üzerinde meydana gelen gerilim ve deformasyon sonuçları hesaplanmıştır. 7,5 kN yük için robotun gerilim ve deformasyon verileri Şekil 4’de gösterilmiştir.



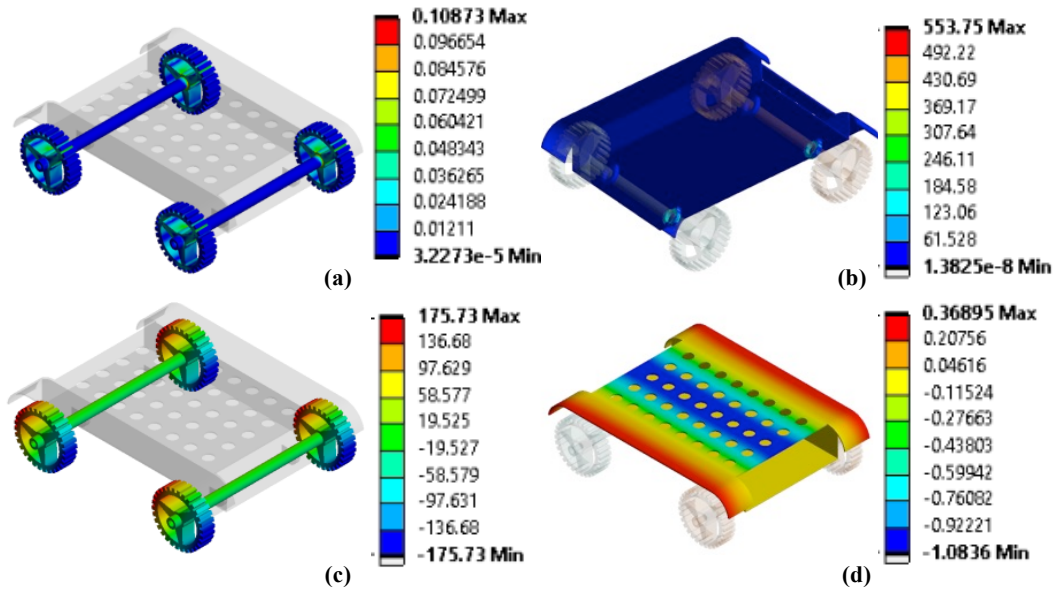
Şekil 4. 7,5 kN Yük altında (a) Aks ve tekerlek gerilme sonuçları (MPa) (b) Gövde gerilme sonuçları (MPa) (c) Aks ve tekerlek deformasyonu (nm) (d) Gövde deformasyonu (mm)

Şekil 4a’da aks ve tekerler üzerindeki gerilmenin maksimum değeri yaklaşık 0,11 MPa olarak görülmektedir. Aksların dönüşü sırasında gövdeden gelen yük etkisi tekerlere iletiildiği için bu kısımlarda daha büyük gerilme gözlenmiştir. Şekil 4c’de aks ve tekerler üzerinde oluşan deformasyon görülmektedir. Deformasyonun maksimum değeri yaklaşık 175×10^{-3} mm olarak tekerlerin zeminden uzak kısmında meydana gelmiştir. Yük ve hareket kaynaklı, gövde üzerinde oluşan gerilme ve deformasyon sırasıyla Şekil 4b ve Şekil 4c’de verilmiştir. Gövdede meydana gelen gerilmenin sonucu düşük seviyelerde kaldığı gözlemlenmiştir. Gövdeyle tek parça olan aks ile gövdenin birleşim bölgesinde gerilme değerinin 553 MPa – $1,3292 \times 10^{-8}$ aralığında kaldığı görülmüştür. Bunun sebebi gövde üzerinde ki yükün robotun hareketi sırasında bu birleşim bölgesine etki etmesidir. Gövdede meydana gelen toplam deformasyonun maksimum değeri yaklaşık 0,2 mm’dir ve bu değer gövdenin yan uç kısımlarında meydana gelmiştir. Şekil 4’te seçilen parametreler Şekil 5 ve Şekil 6 için de geçerlidir.



Şekil 5. 10 kN Yük altında (a) Aks ve tekerlek gerilme sonuçları (MPa) (b) Gövde gerilme sonuçları (MPa)(c) Aks ve tekerlek deformasyonu (mm) (d) Gövde deformasyonu (mm)

$F_y = 10$ kN için elde edilen sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Aks ve teker parçaları üzerinde yapılan gerilme ve deformasyon analizinde ciddi bir farklılık oluşmamıştır. Bunun haricinde gövde deformasyon analizinde 0,29 mm - -0,88mm aralığında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 12,5 kN Yük altında (a) aks ve tekerlek gerilme sonuçları (MPa) (b) Gövde gerilme sonuçları (MPa)(c) Aks ve tekerlek deformasyonu (mm) (d) Gövde deformasyonu (mm)

Şekil 6'da $F_y=12,5$ kN yük altında sonuçlar gözlemlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te olduğu gibi gövde, aks ve tekerlerin gerilme ve deformasyonları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aks ve tekerler üzerinde gerilim ve deformasyonda değişim gözlenmez iken, robot gövdesinde gerilme analizinde çok küçük değerlerde artış olurken deformasyon artışı görülmüştür.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, modellenen yük robotu için 7,5kN, 10kN ve 12,5kN olmak üzere 3 farklı yük altında 0,5m/s hızla seyir halinde iken analiz çalışması yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları için, 3 farklı kuvvet parametresinde gerilme ve deformasyon analiz sonuçları incelenmiştir.

Gerilme ve deformasyon sonuçları incelendiğinde değişimlerin ihmal edilebilecek kadar düşük bir seviyede olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların geliştirilmesi için tekerler ve gövde arasında eklenebilecek destek parçaları ile gövdenin kenar kısımlarında meydana gelen deformasyonun daha düşük seviyelere gelebileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda farklı malzeme seçimlerinin gerilme ve deformasyon analizinde daha başarılı sonuçlar elde edebileceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, gerçekleştirilmesi hedeflenen benzer tasarımlar için kritik bir konu olan taşınacak yükün etkisinin tasarımdaki önemi için bir farkındalık oluşturmaya hedeflenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Tzafestas SG. Mobile Robot Control V. Introd to Mob Robot Control. 2014;319–84.
- [2] Quaglia G, Oderio R, Bruzzone L, Razzoli R. A modular approach for a family of ground mobile robots. *Int J Adv Robot Syst*. 2013;10.
- [3] Tantawi KH, Sokolov A, Tantawi O. Advances in Industrial Robotics: From Industry 3.0 Automation to Industry 4.0 Collaboration. *TIMES-iCON 2019 - 2019 4th Technol Innov Manag Eng Sci Int Conf*. 2019;4–7.
- [4] Sosa-Cervantes CY, Silva-Ortigoza R, Márquez-Sánchez C, Taud H, Saldaña-González G. Trajectory Tracking Task in Wheeled Mobile Robots: A Review. *Proc - 2014 IEEE Int Conf Mechatronics, Electron Automot Eng ICMEAE 2014*. 2014;110–5.
- [5] Chirag Savant. Design of Driveline for Mobile Robot Platform. 2018;63.
- [6] Wang T, Ramik DM, Sabourin C, Madani K. Intelligent systems for industrial robotics: Application in logistic field. *Ind Rob*. 2012;39(3):251–9.
- [7] Schluse M, Priggemeyer M, Roßmann J. The virtual robotics lab in education: Hands-on experiments with virtual robotic systems in the industry 4.0 era. *52nd Int Symp Robot ISR 2020*. 2020;191–8.
- [8] Wall T. Responsible consumption and production. 2021. 32–33 p.
- [9] Jalled F, Voronkov I. Object Detection using Image Processing. 2016;1–6. Available from: <http://arxiv.org/abs/1611.07791>
- [10] Cupek R, Drewniak M, Fojcik M, Kyrkjebø E, Lin JCW, Mrozek D, et al. Autonomous guided vehicles for smart industries – the state-of-the-art and research challenges. *Lect Notes Comput Sci (including Subser Lect Notes Artif Intell Lect Notes Bioinformatics)*. 2020;12141 LNCS:330–43.
- [11] Morihiro Y, Takahashi N, Nonaka K, Sekiguchi K. Model Predictive Load Distribution Control for Leg/Wheel Mobile Robots on Rough Terrain. *IFAC-PapersOnLine [Internet]*. 2018;51(22):441–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.594>
- [12] Li P, Yang H, Li H, Liang S. Nonlinear ESO-based tracking control for warehouse mobile robots with detachable loads. *Rob Auton Syst [Internet]*. 2021;149:103965.
- [13] Cao Y, Li Q, Yu L. A software for design and analysis of PMSM based on ANSYS. *2009 1st Int Conf Inf Sci Eng ICISE 2009*. 2009;78–81.
- [14] ANSYS Inc. ANSYS Manual - Release 5.6 [Internet]. Theory Reference. 1999. p. 1–1286. Available from: <http://research.me.udel.edu/~lwang/teaching/MEx81/ansys56manual.pdf>