



Endüstriyel Robotlarda Kullanılan Çoklu Tutucunun Yapısal Analizi ve Optimizasyonu

Furkan DEĞİRMENCİOĞLU¹, Yunus Can KOŞER², Ahmet YILDIZ³,

¹B.U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Bursa, TURKIYE, ORCID ID 0009-0008-4835-1842

²Sanver Engineering & Automation System, Nilüfer/Bursa, TURKIYE, ORCID ID 0009-0004-6685-1315

³B.U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Bursa, TURKIYE, ORCID ID 0000-0001-5434-4368

Corresponding Author: Furkan DEĞİRMENCİOĞLU, 532210001@ogr.uludag.edu.tr

Özet

Günümüzde birçok farklı sanayi sektöründe kullanılan endüstriyel robot uygulamaları seri üretimin verimli bir şekilde gerçekleşmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Endüstriyel robotlar; makine ve otomotiv sektöründe taşıma, montaj, boyama, paketlenme, kaynak-kesme vb. işlemlerde kullanıldığı gibi sağlık, havacılık ve savunma sanayi sektöründe de birçok yerde kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan robotların optimum tasarımı ile daha hafif yapıda olması başta enerji sarfıyatı olmak üzere, maliyet; hareket kabiliyeti; yüksek işlevsellik; kompakt tasarım gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel robotlarda kullanılmaya yönelik tasarlanmış çoklu tutucunun yapısal analizleri yapılmış ve topoloji optimizasyonu ile hafifletme çalışması yapılmıştır. Öncelikle mevcut yapının sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analizleri yapılmış ve şekil değişikliği ile maksimum gerilmeleri belirlenmiştir. Daha sonra kütlelerinin yaklaşık %20 oranında azaltılması hedeflenerek boşaltma yerleri belirlenmiş ve buna uygun yeni bir tasarım elde edilmiştir. Yenilenen tasarımın analizleri tekrarlanmış ve benzer emniyet katsayıları elde edilmiştir. Böylece süreli bir çalışmaya maruz kalan bir robot tutucunun enerji tüketiminin azaltılması için önemli bir iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Article Info

Research Article

Received: 15/11/2023

Accepted: 27/12/2023

Anahtar Kelimeler

Robot, tutucu, gripper, yapısal analiz, optimizasyon

Öne Çıkanlar

Robotik sistemlerin yapısal analizi, Çoklu gripper tasarımı, Robot Tutucu kolun hafifletilmesi ve optimizasyonu

Structural Analysis and Optimization of Multi-grippers Used in Industrial Robots

Abstract

Industrial robot applications used in many different industrial sectors have an important place in terms of efficient mass production in today. Industrial robots; transportation, assembly, painting, packaging, welding-cutting, etc. in the machinery and automotive industry. It is used in many places in the health-care, aviation and defense industry sectors as well as in operations. The optimum design and lighter structure of the robots used in industry provide many advantages such as energy consumption, cost, mobility, high functionality and compact design. In this study, structural analysis of the multi-gripper designed for use in industrial robots was made and a light-weighting study was carried out with topology optimization. First of all, the structural analysis of the existing structure was made using the finite element method and the shape change and maximum stresses were determined. Then, the unloading locations were determined, aiming to reduce its mass by approximately 20%, and a new design was obtained. The analyzes of the renewed design were repeated and similar safety coefficients were obtained. Thus, a significant improvement work has been carried out to reduce the energy consumption of a robot gripper that is subjected to prolonged operation.

Keywords

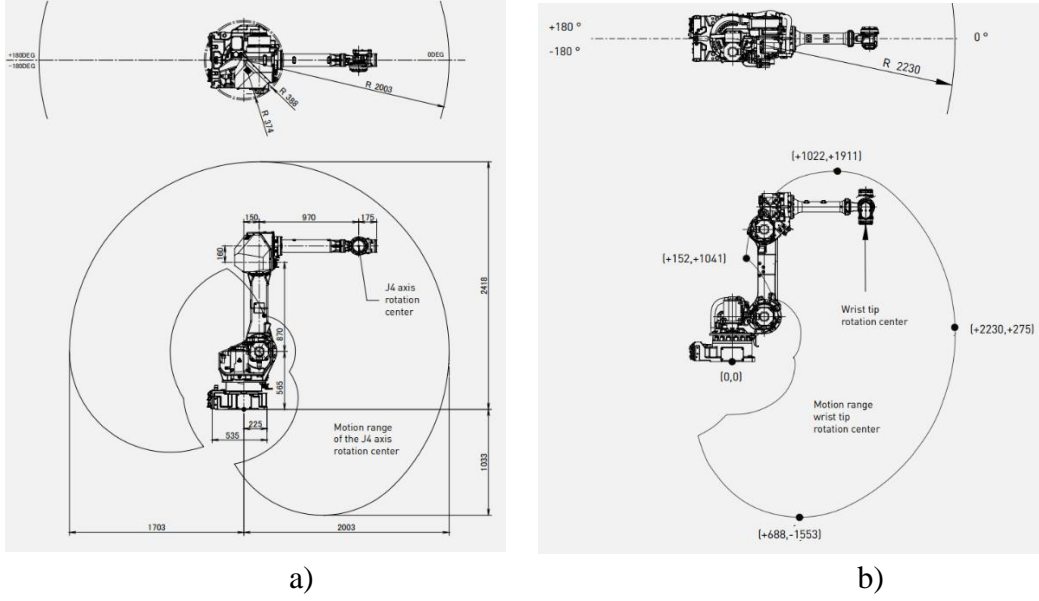
Robot, gripper, gripper, structural analysis, optimization

Highlights

Structural analysis of robotic systems, Multi-gripper design, Lightweighting and optimization of the robot gripper arm

1. Giriş

Endüstriyel robotlar; makine, otomotiv, havacılık ve sağlık endüstrisinde taşıma, montaj, boyama, paketlenme ve kaynak-kesme gibi işlemleri yerine getirmek için yaygın şekilde kullanılan otomatik kontrollü mekanik sistemlerdir (1,2,3). Endüstriyel robotlar ile daha doğru, daha hassas ve daha hızlı üretim prosesleri sağlanması sayesinde bu tür robot teknolojileri endüstrinin vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir. Üretim hızını arttırmanın ve yüksek kalitede parça üretmenin yanı sıra, imalat işlemlerinde görevli kişilerin özellikle ağır işlemler gerektiren operasyonlardan kaçınarak daha ergonomik çalışma ortamına kavuşmaları için de endüstriyel robotlar yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Fanuc 50 kg (a) ve 80 kg (b) robotların çalışma bölgelerinin karşılaştırılması (4)

Endüstriyel robotlarda taşıma kapasitesine göre robot seçimi en büyük kriterlerden biri olarak belirleyici rol oynamaktadır. Şekil 1’de iki farklı taşıma kapasitesine sahip endüstriyel bir robotun çalışma bölgeleri görülmektedir. Şekilde görülen büyük kapasiteli robotun uzayabileceği mesafe daha yüksek olsa da, arkaya dönebilme kapasitesi küçük kapasiteli robota göre daha düşüktür. Robotta bulunan dördüncü eksen, büyük robotta motor merkezinden 20° hareket yapabilirken küçük robotta 234° hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Robotun toplam ağırlığının düşürülmesi daha küçük boyutlu robot seçimine olanak sağlayabileceğinden küçük robotta enerji tüketimi daha düşük olacaktır. Mekanik karkasa ters ya da açılı bağlanma gibi durumlardan ötürü küçük robot tercih edilecektir. Ayrıca küçük robotların ivmelenmede eksen hızları büyük robotlara göre daha yüksektir. Özellikle robot eğimli veya engebeli arazide çalışıyorsa, daha yüksek ivmeye ihtiyaç duyacaktır. İvme artışıyla beraber üretim artışının sağlanması gerçekleştirilebilir. Hızlı hareket eden bir robot daha az buffer istasyon ve daha hızlı malzeme aktarım / iş yapabilme kabiliyeti sağlamaktadır. Robotlar genelde kapalı çevrim bir döngü halinde çalıştığından beklenen iş gücü yüksektir. Tüm bunlar göz önüne alındığında robotta zaman zaman yüzde otuzlara vuran gripper tutucunun hafifletilmesi büyük önem arz etmektedir. Aynı zamanda değişken yük altında sabit gripper kolları robotun taşıyabileceği kapasite aşılmasında eksen kilitlemelerine ve eksen yük binmesi sonrası robot mekanik yapısının bozulmasına sebep olacaktır. Robot merkezden uzaklaştıkça taşıyabileceği yük momenti azaldığından robot erişim ve yerleşim anlamında da hafifletmenin avantajı olacaktır.

Otomotiv sektöründe taşıt sistemlerinin parametre optimizasyonu için birçok yöntem mevcuttur (5,6,7,8). Parçalarda ağırlık azaltmak için sonlu elemanlar metodunun parçası olan topoloji optimizasyonu uygulanabilir. Parçalara uygulanan topoloji optimizasyonu genel olarak parçanın mukavemetinde çok fazla değişiklik yaratmadan parçanın

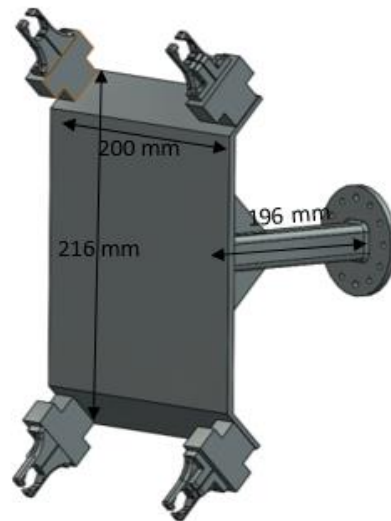
hafifletilmesini sağlar (9,10,11,12,13). Ayrıca topoloji optimizasyonu sonucunda ortaya çıkan tasarım parçaların doğal frekansını ve genel mukavemetini en az etkileyecek şekilde belirlenir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan üretim hatlarındaki robotların tasarımında da optimizasyon teknikleri benzer şekilde kullanılmaktadır. Endüstriyel robotun doğru konumlanmasına yönelik kinematik analizler ve yörünge optimizasyonu ile ilgili çalışmalar mevcuttur (14,15,16). Bunun yanı sıra robot tutucularının optimizasyonu da hafifletme için önemlidir (17,18,19,20). Datta ve diğ. (19) bir robot tutucunun çok amaçlı evrimsel algoritma kullanarak, değiştirilmiş biyo-amaçlı problemi çözmek ve bağlantıların boyutlarını tutucunun eklem açısını en iyi şekilde bulmak için optimizasyon ile robot tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada robot tutucunun önce yapısal analiz uygulanarak maksimum yer değiştirme ve gerilme değerleri dikkate alınarak hafifletme çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonrasında robot eline topoloji optimizasyonu uygulanarak, robot tutucu eklemeli imalat yöntemiyle üretilmeyeceğinden, optimizasyon sonuçlarına göre ağırlık azaltımı tasarımcı tarafından gerçekleştirilmiştir. Son işlem olarak kütle azaltarak yapılan yeni tasarım üzerinde tekrardan statik analiz yapılarak yer değiştirme ve gerilme değerleri incelenmiştir. Böylece şekil değişikli ve mukavemet değerleri değişmeden robot tutucunun %20 hafifletilmesi gerçekleştirilmiştir.

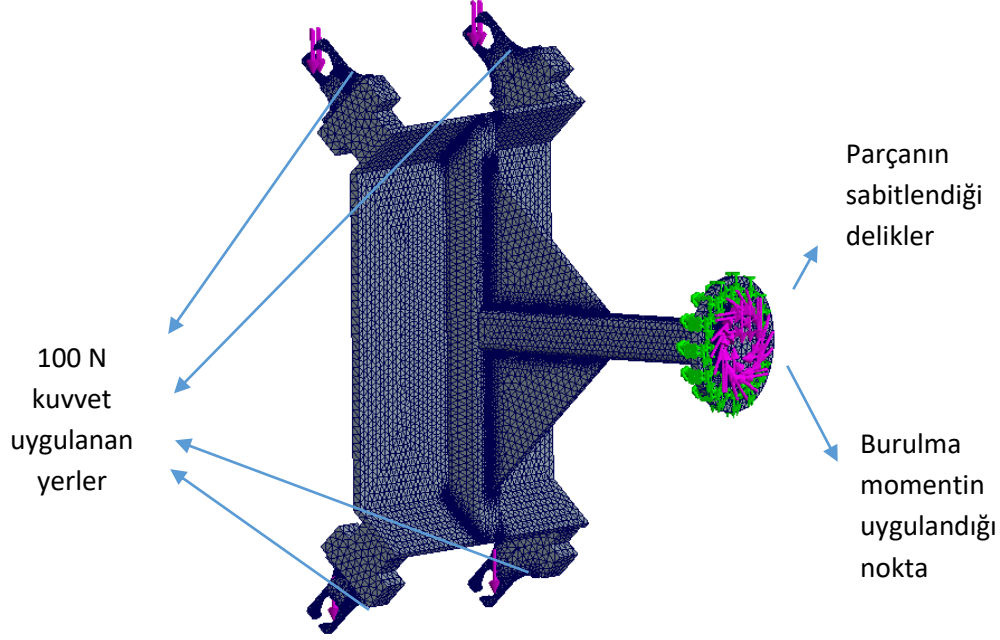
2. Çoklu Tutucunun Tasarımı ve Yapısal Analizleri

Söz konusu analizlere tabi tutulacak multi-fonksiyonel çoklu tutucunun robot tutucunun tasarımı Şekil 2’de görülmektedir. Buradaki robot tutucu kolun üzerinde 4 adet gripper mevcuttur. Bunların bir arada çalışmasını sağlayan yapı optimizasyon ile daha düşük enerji tüketimi hedefi için hafifletilmeye çalışılacaktır.



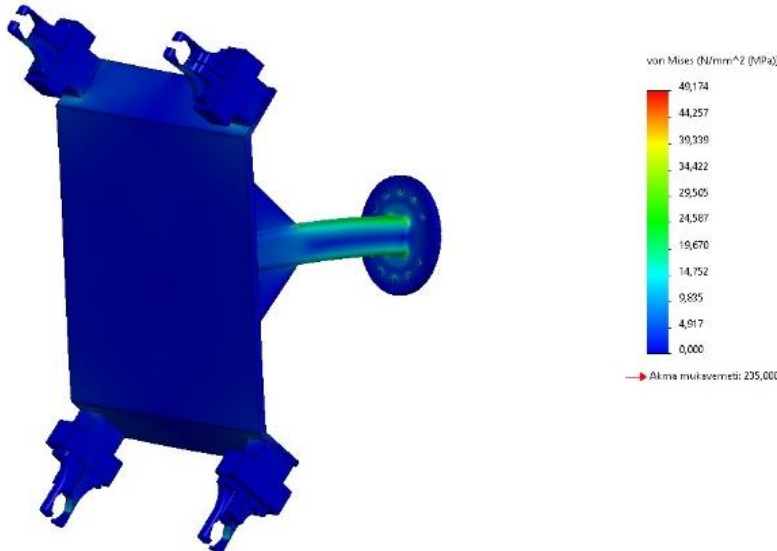
Şekil 2. Topoloji öncesi robot tutucunun tasarımı

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapısal optimizasyonu gerçekleştirilen tutucunun sınır şartları ve mesh yapısı Şekil 3’ de gösterilmiştir. Toplam eleman sayısı 196022 ve toplam düğüm sayısı 324270’ dir.

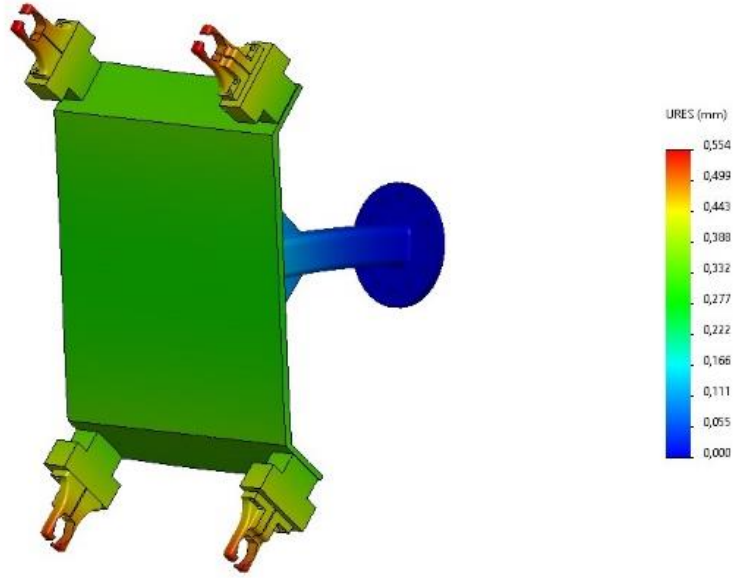


Şekil 3. Analizi yapılan robot tutucunun mesh yapısı ve sınır şartları

Tutucuya Şekil 3’de belirtilen yerlerden 100 N kuvvet ve 31 Nm moment uygulanmıştır. Kuvvet ve moment değerleri robotun endüstriyel üretim hattında 6. Eksende taşıyacağı parça üzerine gelen yüklerle uygun olarak seçilmiştir. Uygulanan kuvvet ve momente göre önce parçaya statik analiz uygulanmış ve gerilme ile şekil değişikliği sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5’de görüldüğü gibi sırasıyla maksimum 49,174 MPa ve 0,554 mm olarak elde edilmiştir.

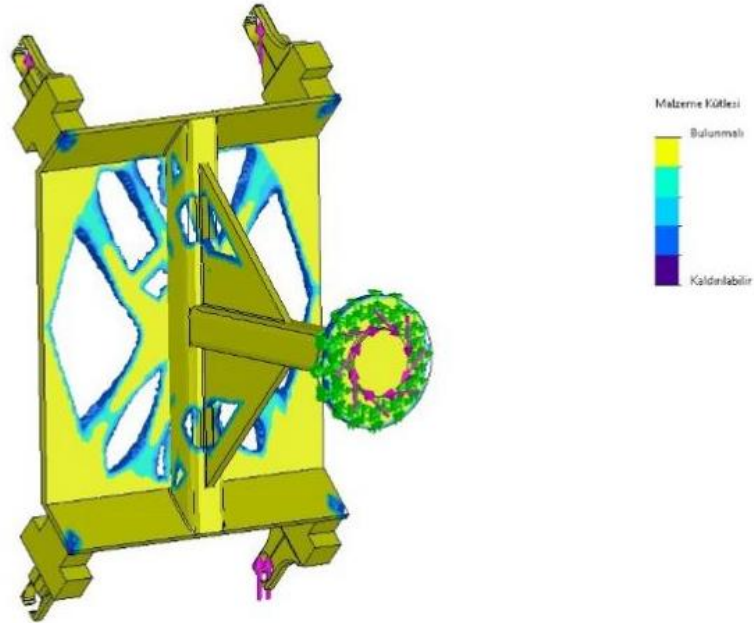


Şekil 4. Topoloji optimizasyonu öncesi gerilme değeri



Şekil 5. Topoloji optimizasyonu öncesi yer değıştirme değeri

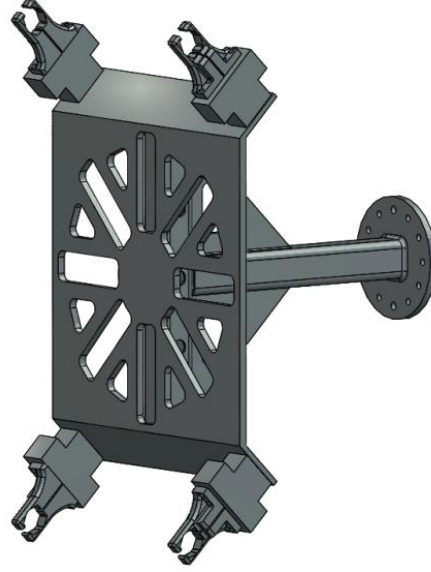
Statik analizin sonrasında parçaya topoloji optimizasyonu uygulanarak gereksiz hacimler parçadan çıkarılmıştır. Amaç olarak kütlede yaklaşık olarak %20 hafifletilmesi hedeflenmiş ve yapılan analiz sonucu kaldırılabilir paket programında otomatik olarak kaldırılabilir alanlar Şekil 6’da ki gibi bulunmuştur.



Şekil 6. Topoloji optimizasyonu sonucu kaldırılabilir alanların tespiti

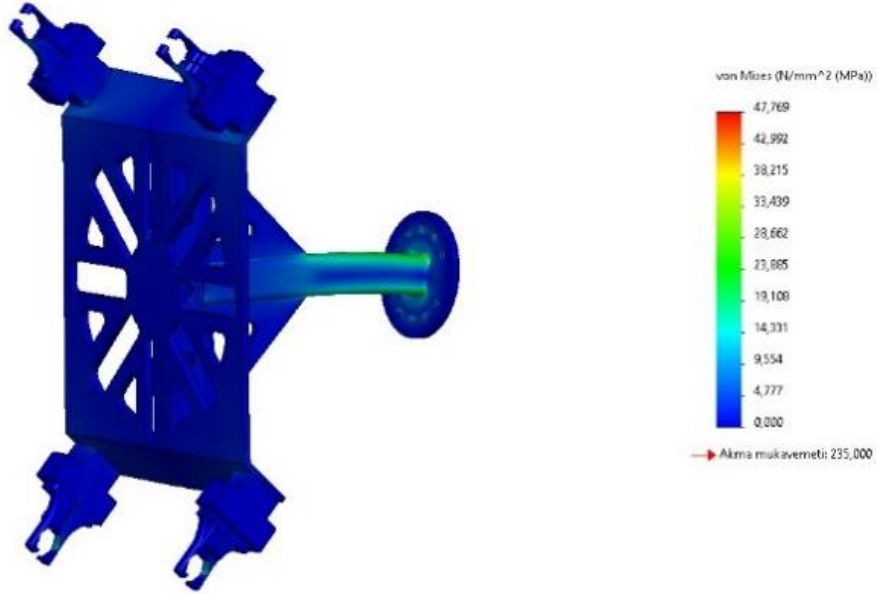
Optimizasyon sonucu parçada ilgili kısımlar boşaltıldıktan sonra parça tekrardan Şekil 7’deki gibi tasarlanmıştır. Yeni tasarımla birlikte gripper tutucunun ilk kütlesi 23,5 kilogramdan 18,65 kilograma düşürülmüştür. Gripper tutucunun yeni tasarımının

doğrulanması için statik analiz tekrardan uygulanarak çıkarılan kütlenin parçanın mukavemete etkisi incelenmiştir.

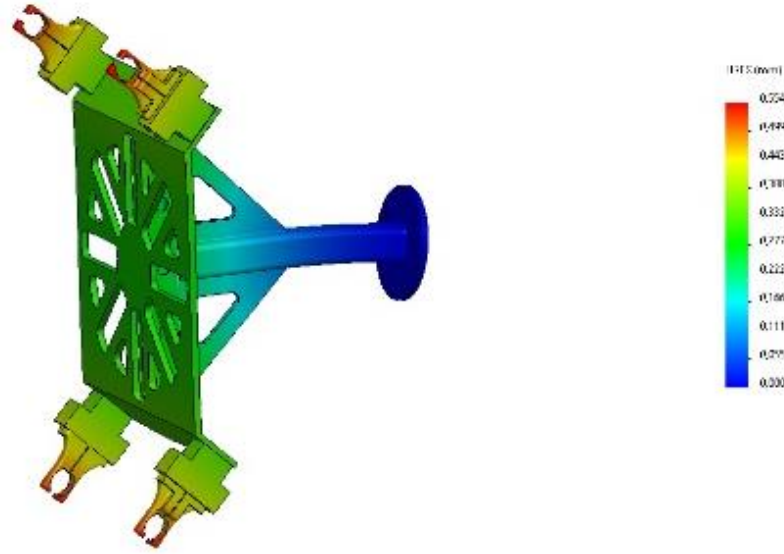


Şekil 7. Topoloji optimizasyonu sonucunda gerçekleştirilen yeni tasarım

Parçadan gereksiz hacimler çıkarıldıktan sonra yapılan analizlerin sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9’ da verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere, maksimum gerilme değeri 47,5 MPa ve yer değiştirme değeri ise 0,554 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Yeni tasarım sonrası tekrarlanan analize ait gerilme değeri sonuçları



Şekil 9. Yeni tasarımın yer değiştirmesine ait sonlu elemanlar analizi

Tablo 1. İki farklı tasarımdan elde edilen değerlerin karşılaştırılması

	Normal Gripper Tutucu	Ağırlığı Azaltılmış Gripper Tutucu
Kütle (kg)	21,5	18,65
Maksimum Gerilme (Mpa)	49,174	47,5
Maksimum Yer değiştirme (mm)	0,554	0,554

3. Sonuç

Bu çalışmada çoklu bir robot tutucunun yapısal analizleri incelenmiş ve hafifletmek için topoloji optimizasyonu uygulanmıştır. Robot tutucunun önce mevcut hali ile analizleri yapılmış ve maksimum gerilme ve şekil değişikliği değerleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı mukavemeti sağlayacak tarzda kütesinin %20 hafifletilmesi amacı ile topoloji optimizasyonu yapılmış ve yeni tasarıma göre analizler tekrarlanmıştır. İstenilen hedefler doğrultusunda robot tutucunun daha hafif bir yapısı elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda gripper yk azaltılmasının robot seçiminde, robotun kaldıracakı yüke göre daha küçük robotların kullanılabilmesine imkan sağlayabilmekte ve böylece daha geniş alanda ve eğimli yüzeylerde çalışabilme gibi avantajlar sağlayabilecek bir tasarım elde edilmiştir. Dolayısıyla hafifletme ile bir düşük model robot seçimi yapılabilir. Böylece enerji ve yatırım maliyeti düşük olabilmektedir. Çalışmanın robotlu üretim hattı imal eden firmalar için bir referans çalışma olabileceği düşünülmektedir.

Finansal Destek

Yoktur

Çıkar Çatışması

Yoktur.

Yazar Katkısı

Ahmet Yıldız: Makale fikir ve içeriğinin oluşturulması, tasarım çalışmaları ve yazımı, makale organizasyonu

Furkan Değirmencioğlu: Tasarım ve analiz çalışmaları, makale yazımı ve yorumlaması,

Yunus Koşer: Makale konusu ile ilgili bulguların yorumlanması, makale yazımı

4. Kaynaklar

- [1] Khouja, M. ve Offodile, O.F.,1994. The industrial robot selection problem: literature review and directions for future research, IIE Transactions, 26, 4.
- [2] Kavala Sen, D., Yildiz, A., ve Kopmaz, O.,2022. Optimal Design of a Five-Bar Planar Manipulator and Its Controller by Using Different Algorithms for Minimum Shaking Forces and Moments for the Largest Trajectory in a Usable Workspace, Machines, 10, 11, 971.
- [3] Molaei, F. ve Ghatrehsamani, S., 2022. Kinematic-Based Multi-Objective Design Optimization of a Grapevine Pruning Robotic Manipulator. AgriEngineering, 4, 1, 606-625.
- [4] URL1, 15.11.2023. <https://www.fanuc.eu/tr/tr/robotlar/robot-filtre-sayfas%c4%b1/r-1000-serisi>
- [5] Yildiz, A., 2021. Parametric synthesis of two different trunk lid mechanisms for sedan vehicles using population-based optimisation algorithms, Mechanism and Machine Theory, 156, 2, 104130
- [6] Bingül, Ö., ve Yildiz, A., 2023. Fuzzy logic and proportional integral derivative based multi-objective optimization of active suspension system of a 4× 4 in-wheel motor driven electrical vehicle, Journal of Vibration and Control, 29, 5-6, 1366-1386.
- [7] Yildiz, A., ve Yilmaz, Ö., ve Karabulut, H., 2022. Structural design optimization of the arc spring and dual-mass flywheel integrated with different optimization methods, Materials Testing, 64, 2, 240-248.
- [8] Yildiz, A., 2019. A comparative study on the optimal non-linear seat and suspension design for an electric vehicle using different population-based optimisation algorithms, International Journal of Vehicle Design, 80, 2-4, 241-256.
- [9] Bendsoe, M.P., 1989. Optimal Shape Design As A Material Distribution Problem, Structural Optimization 1, 1,193–202.
- [10] Bendsoe, M. P., 2005. Lund, E., Olhof, N., ve Sigmund, O., Topology Optimization Broadening The Areas of Application, Department of Mechanical Engineering, Aalborg University DK-9220 Aalborg Ø, Denmark.

- [11] Kahraman, F., ve Küçük, M., 2020. Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma, Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği. Bölümü, Tarsus, Türkiye, 789424.
- [12] Chaudhari, P., ve Khairnar, R., 2020. Weight Optimization Of Hub And Knuckle Using Topology Optimization, International Journal of Mechanical Engineering, 7, 6, 20–23.
- [13] Liu, S., Li, Q., Liu, J., Chen, W., ve Zhang, Y.A., 2018. Realization Method for Transforming a Topology Optimization Design into Additive Manufacturing Structures, Engineering, 4, 1, 277-285.
- [14] Lopez-Franco, C., Diaz, D., Hernandez-Barragan, J., Arana-Daniel, N., Lopez-Franco, M., 2022. A Metaheuristic Optimization Approach for Trajectory Tracking of Robot Manipulators, Mathematics 10,1, 1051.
- [15] Singh, G., ve Banga, V.K., 2022. Kinematics and trajectory planning analysis based on hybrid optimization algorithms for an industrial robotic manipulators, Soft Computing, 26, 11339–11372.
- [16] Ajwad, S.A., Iqbal. J., ve Islam M.R., 2018. Optimal and robust control of multi DOF robotic manipulator: design and hardware realization. Cybern Syst, 49,1, 77–93.
- [17] Sun, Y., Liu, Y., Pancheri, F. ve Lueth, T. C., 2022. LARG: A Lightweight Robotic Gripper With 3-D Topology Optimized Adaptive Fingers, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 27,4, 2026-2034.
- [18] Dinakaran, V.P., Balasubramaniyan, M. P., ve Le. Q. H., 2023. A novel multi objective constraints based industrial gripper design with optimized stiffness for object grasping, Robotics and Autonomous Systems, 160, 1, 104303.
- [19] Datta, R., Pradhan, S., ve Bhattacharya, B., 2016. Analysis and design optimization of a robotic gripper using multiobjective genetic algorithm, IEEE Trans. Syst. Man Cybern: Syst. 46,1, 16–26.
- [20] Wang, R., Zhang, X., Zhu, B., Zhang, H., Chen, B., ve Wang, H., 2020. Topology optimization of a cable-driven soft robotic gripper, Struct. Multidiscip. Optim., 62, 5, 2749–2763.