

KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/pub/kmujens>

4(2), 103-116, (2022) © KMUJENS

e-ISSN: 2687-5071

<https://doi.org/10.55213/kmujens.1132867>



Klasik Tasarım Teknikleri ile Tasarlanmış Robot Kol Sonu Takımının Üretken Tasarım Yazılımı ile Yeniden Tasarlanması

Robot End of Arm Group That Designed with Classic Design Techniques Redesign with Generative Design Software

Hüseyin Hakkı BULDUK^{1,*}, Muhammet Tarık YILDIRIM¹, Safer ÇOKATAR¹,
Oğuzhan GÜNER¹, Ersin TOPTAŞ¹, Hamit Özkan GÜLSOY²

¹Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul,
Türkiye

²Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi,
İstanbul, Türkiye

(Alındı: 19 Haziran 2022; Kabul edildi: 26 Eylül 2022)

Özet. Üretken tasarım kullanıcının belirlediği fiziksel kriterler doğrultusunda doğayı taklit ederek daha az malzeme ve daha az kütle ile ürünün mukavemetini düşürmeksizin ürün tasarımı yapmak amacı ile kullanılan tasarım aracıdır. Robot kol sonu takımı şasesinin sağlamlığı ve dayanıklılığı üretim sistemlerinde kullanımı için çok önemlidir. Çünkü üretim esnasında birçok farklı sorun ile karşılaşarak şasesinin sağlamlığı çevresel etmenler tarafından sınırlanabilmektedir. Önceden tahmin edilemeyen zamansız gerçekleşebilecek olayların aksine robot kol doğrudan itme, çekme, basma vb. birçok görev için kullanılabilir. Bu çalışmada ise klasik tasarım yöntemleri ile daha önce üretilmiş, tutucu gruplarının yeri ve robot şasesine sabitlenecek bölümleri belli olan robot kol sonu takımının üretken tasarım yazılımı ile incelenmesi üzerine odaklanılmıştır. Çalışma sonucunda üretken tasarım tekniği ile üretilen kol sonu takımının klasik tasarım ile üretilen kol sonu takımına göre yer değiştirme miktarının

3 kat azaldığı, maksimum gerilmenin 2 kat azaldığı Fusion 360 programında yapılan testler ile gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üretken tasarım, robot kol sonu takımı, Topoloji optimizasyonu

Abstract. Generative design is a design tool used to design a product without reducing the strength of the product with less material and less mass by imitating nature in accordance with the physical criteria set by the user. During production many different problems are encountered and the robustness of the chassis can be tested by environmental factors. In contrast to events that can occur unpredictably and untimely, the robot end of arm group can be using as push, pull, press process etc. so it can be used for many tasks. Productive design as a result of determining the physical forces determined on the specified points, it transmits the result of unlimited product design to the consumer through computer learning. In this study, the focus is on the generative design software of the robot end of arm group, that the location of the gripper groups and the parts to be fixed to the robot chassis are determined before, which was produced with classical design methods. As a result of the study, it was observed that the amount of displacement of the arm end tool produced by the productive design technique was reduced by 3 times compared to the arm end tool produced by the classical design, and the maximum stress was reduced by 2 times by tests performed in the Fusion 360 program.

Key words: Generative design, robot arm end assembly, Topology optimization

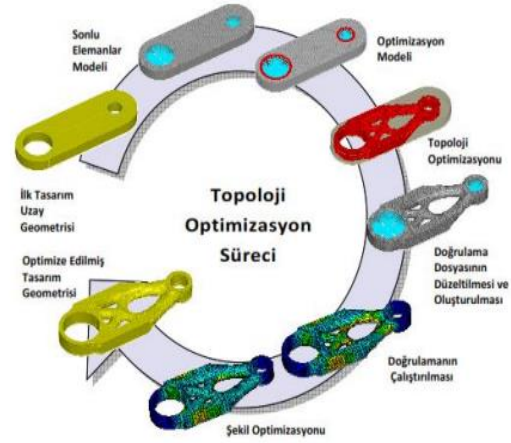
1. Giriş

Üretken tasarım bir tasarım araştırma sürecidir. Tasarımcı veya mühendisler, tasarım hedeflerini, ayrıca performans veya mekan gereksinimleri, malzemeler, üretim yöntemleri ve maliyet kısıtlamaları gibi parametreleri tasarım yazılımına girer. Yazılım, bir çözümün tüm olası permütasyonlarını araştırarak, hızlıca tasarım alternatifleri oluşturur. Üretken tasarım sistemi, girdi olarak bir problem tanımını alır ve belirli bir

problem için tek veya en uygun çözümleri üretir. Her seferinde neyin işe yarayıp neyin yaramadığını test eder ve öğrenir [5, 9]. Belirlenen kriterler doğrultusunda daha az malzeme ve daha az kütle ile istenen mukavemetteki ürünü üretmeyi hedefler. Üretken tasarım yazılımı esasında doğayı taklit ederek kullanıcının belirlediği kriterler doğrultusunda hareket eder. Hedeflerin belirlenmesi ile başlayan süreç kullanıcının belirlediği malzeme seçimi, yükler, üretim yöntemleri gibi kriterleri belirlemesi ile devam eder, belirlenen yükler ve malzeme seçimi sonrasında klasik tasarımdan üretken tasarıma ürünün evreleri Şekil 1’de görülmektedir. Makine öğrenmesi sayesinde kullanıcıya bir çok çözüm yolu geri dönüşü sağlanır. Üretken tasarım, günümüzün sınırlamalarını şaşırtabilecek ve yenilikçiler için bir tasarım portföyü sağlayabilecek üretimin geleceğidir [1].



Şekil 1. Üretken tasarım örneği [10]



Şekil 2. Topoloji optimizasyonu örneği [8]

Üretken tasarım, bir dizi kısıtlamayı karşılayan bir dizi tasarım çözümü oluşturmak için yapay zeka güdümlü bir yazılım programı kullanan yinelemeli bir tasarım keşif sürecidir. Sürecin bir mühendisin bilgisine dayalı bir modelle başladığı geleneksel tasarımın aksine, üretken tasarım tasarım parametreleriyle başlar ve modeli oluşturmak için yapay zekayı kullanır. Mühendisler, tasarım parametrelerini giderek daha rafine bir geri bildirim döngüsünde değiştirerek, ürün bileşenlerini daha hafif, daha güçlü ve daha uygun maliyetli hale getirmek gibi çok çeşitli mühendislik zorluklarına yüksek düzeyde optimize edilmiş ve özelleştirilmiş tasarım çözümleri bulabilirler [4].

Topoloji optimizasyonunda ise hedef parçanın işlevi değiştirilmeksizin ağırlığını azaltarak en uygun tasarımı elde etmektir. Görevi ve mukavemeti değiştirilmeksizin topoloji optimizasyonu uygulanmış ve ağırlığı azaltılmış bir ürün Şekil 2’de görülmektedir. Üretken tasarım ve topoloji optimizasyonu gibi bu tasarım araçları genel itibari ile maksimum rijitlik ve minimum ağırlık prensibi ile sınır ve gerilim şartları korunarak parça geometrisinin tekrar şekillendirilmesi prensibine dayanmaktadır [3]. Topoloji optimizasyonu, sadece ürünün ağırlığını hafifletme istenildiği durumlarda kullanılırken Üretken Tasarım, istediğiniz şekli bilmediğiniz fakat üzerine binecek yüklerin yönünü, kuvvetini, ürünün mesnetleneceği noktaları, kullanılmasını istediğiniz hammaddesini, üretim yöntemini bildiğiniz durumlarda üretken tasarım yazılımı sayesinde kullanıcıya belirlediği kriterlere uygun ürünler sunmaktadır.

Kol sonu takımı robotik tutucu teknolojisinin teknik terimidir [7]. Robot sisteminin ürün ile doğrudan etkileşime geçen bölümüdür. Kol sonu takımı, bir robota belirli bir işlevsellik kazandırır ve farklı uygulamalara uyacak şekilde değiştirilebilir ve hatta aynı anda birkaç işlemi barındıracak şekilde üretilebilir [6]. Bu sebepten dolayı kol sonu takımı robotlu otomasyon sistemlerinde hayati öneme sahiptir. Ürün yeri değiştirme, kaynak yapma, vakum yapmak vb. özellikler kol sonu takımına kazandırılacak özelliklerden birkaçıdır. 3 eksen üstü robotlu otomasyon sistemleri kurulumu esnasında robotun kendi üzerindeki yanlış konumlandırma, robotun sistem ile paralel konumlandırılmaması gibi durumlar programsal olarak düzeltilerken hassas üru yerleştirilmesi gereken, hassas kaynak yapılması gereken kısacası milimetrenin 100’de birinin önemli olabileceği uygulamalar mevcuttur bu gibi uygulamaların kurulumu esnasında, üretim esnasında veya kullanıcı hatası gibi durumlarda kol sonu takımı beklenmeyen darbeye maruz kalarak mukavemeti çevresel etmenler tarafından sınıanabilmektedir. Üretimin aksamaması, hata oranlarının en aza indirilmesi için kol sonun takımının mukavim olması hayati önem arz etmektedir.

Günümüzde küresel rekabet ortamında yarış içerisinde kalabilmek üretimi artırmak veya hata oranlarını en aza indirmek sebebi ile gelişen robot teknolojisi yaygın olarak kullanılmakta ve günden güne küçük ölçekli firmalar tarafından da tercih edilebilir hale gelmektedir. Sorunların görünür nedenlerinden çok “kök” nedenlerine ulaşma ve hatanın

gerçekleşmemesinin standardize edilmesi doğrudan müşteri memnuniyetini etkileyebilmektedir [12]. İnsana bağlı sistemlerde hata kök nedeni insan psikolojisi, dalgınlık vb. derinlemesine konular olması ve bu kök nedenlerin giderilmesi maliyet ve zaman anlamında robotlara kıyasla çok daha maliyetli ve fizibil olmaması robotların endüstride kullanılmasını destekleyen konulardan birisidir. Robot sistemlerinde standart ve bir çok ürün için farklı şekilde aynı şase üzerine üretim sistemi kurabilmenin temel şartı tüm bu sistemlerin rijit ve sağlam olmasıdır. Sağlam ve rijit olan sistemlerde ise kullanıcının hata kök nedenini bulması kolaylaşarak üretime daha çok katkı sağlayacaktır. Bu sistemlerin en ucunda bulunan, sistemlerin ürüne son dokunuşunu yapan robot kol sonu takımlarının rijit ve sağlam olması sistemin kendisinin sabit olması kadar önemlidir.

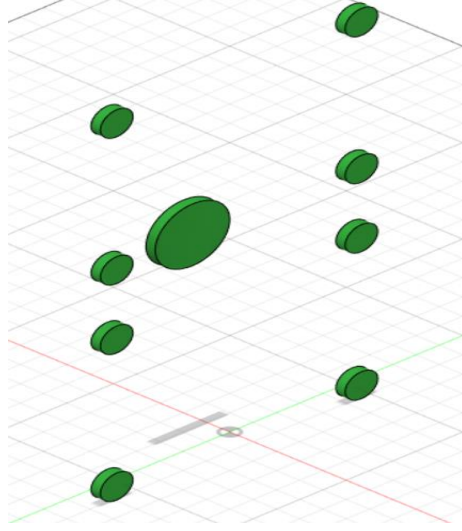
Günümüzde yüksek hızlı plastik enjeksiyon makineleri üreticinin taleplerini ve üretim sistemlerini hızla değiştirmektedir. Hızlı üretim yapan plastik enjeksiyon makineleri üretim hızını yakalamak, üretilen ürün üzerinde üretim sonrasında hızlı bir şekilde istenilen işlemleri uygulamak, kalıp içerisine beslenecek olan ürünü hızlıca yerleştirmek gibi sebeplerle plastik enjeksiyon makineleri ile senkronize şekilde çalışmakta olan birçok robotik sistem bulunmaktadır. İnsan hatasını en aza indirmek, risk faktörünü ortadan kaldırmak, maliyeti düşürmek, çevrim sürelerini kısaltarak daha kısa sürede daha fazla ürün elde etmek bunların başlıca sebeplerindendir.

Otomasyon, insan ergonomik kısıtlamalarını ve diğer sağlık ve güvenlik sorunlarını ortadan kaldırırken, zamandan tasarruf ederek ve yaratıcı çalışma ve stratejik düşünme görevleri için başka türlü kullanılabilecek boşa harcanan insan potansiyelinden kaçınarak ürün kalitesinin tutarlılığını artırır [2]. Günümüz robot teknolojisi 1 ton ve üzeri ağır yükleri bile taşıyabiliyor ve hassas bir şekilde istenen konuma konumlandırıyor olmasının yanında yüksek kuvvetlerde ve ivmelerde hareket edebilmektedir bu sebeplerden dolayı robot üreticileri robotların çevre makine parkuruna zarar vermemesi, olabilecek insan hatası sonucu iş kazalarının en küçük seviyede atlatılması amacı robotlarda çarpmaya karşı sistemler kendini sürekli olarak denetlemektedir. Aynı durum robotun plastik enjeksiyon kalıbına ürün yerleştirme esnasında ürünü yuvasına doğru şekilde oturtmamasına rağmen ürünü yuvaya yerleştirmeye çalışmasından kaynaklı olarak robot kendi şasesini ve sistemlerini koruma altına almak amacı ile çarpışma alarmına geçerek

işlemi durduracak şekilde tasarlanmış ve programlanmıştır. Robot kol sonu takımı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardan biriside robotun yük taşıma kapasitesidir. Her ne kadar üretilecek olan kol sonu takımının ağırlığı robotun yük taşıma sınırı altında bulunsa da işlemin çevrim süresi veya eş zamanlı çalıştığı makinanın örneğin plastik enjeksiyon makinasının çevrim sürelerini yakalamak zorundadır. Bu sebeple üretilecek olan kol sonu takımlarının hafif olması robotun işlemlerini daha hızlı yapmasına sebebiyet vererek çevrim süresini kısaltacaktır. Bununla beraber robot eksenlerinde zamanla oluşabilecek deformasyonlarında önüne geçecektir. Bu sebeplerden dolayı kol sonu takımları olabildiğince hafif ve aynı zamanda oluşabilecek yüklerle karşıda son derece dayanıklı olmalıdır. Bu çalışmada, plastik enjeksiyonda ürün yerleştirmesi işlemi yapan klasik tasarım ile tasarlanılan kol sonu takımı ve aynı görev için üretken tasarım yöntemi ile tasarlanılan kol sonu takımları üzerine normal şartlar altında oluşabilecek yüklerden daha fazla yükler aynı noktalara verilerek tasarımlar arasındaki güvenlik faktörü, maksimum gerilme, maksimum yer değiştirme ve ağırlık değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

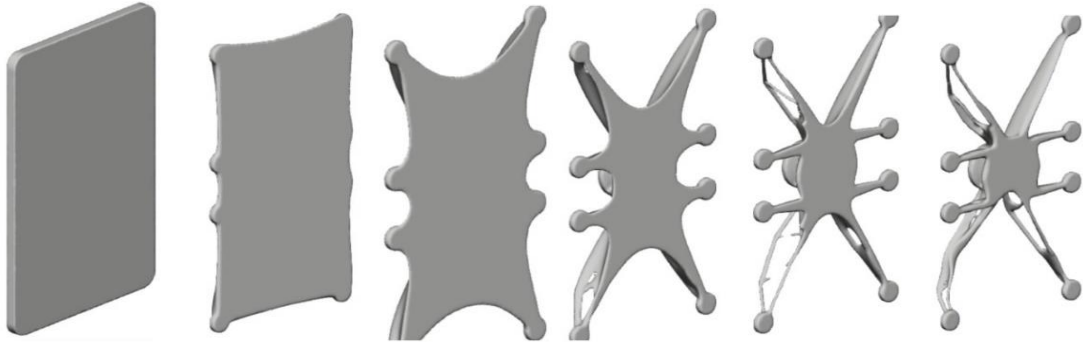
2. Materyal ve Metod

Üretken tasarım algoritması adımlar öncelikle tasarımını istediğiniz ürünün sabitlenecek, kullanılacak olan bölümlerinin seçimi ile başlar devamında ise yazılım isten, istemediğiniz bölümleri seçmenizi ister. Şekil 3'te görüldüğü gibi tutucuları sabitleyeceğimiz bölümler ve kartezyen robota sabitlenecek bölümler seçilmiştir. İlk tasarım, Koruma geometrisini (sonuçta korunması gereken geometri), Engel geometrisini (sonucun geçmemesi gereken geometri) ve başlangıç şeklini (gerekirse, sonuçta bir dereceye kadar çoğaltılabilen geometri) tasarımını içerir [11].



Şekil 3. Tasarımda istenilen bölümlerin seçilmesi

Devam eden adımda ise ürünün sabit kalacağı bölüm ve üzerine binecek yükler belirlenir. Üzerine binecek yükler klasik tasarım ile tasarlanmış kol sonu takımının kullanıldığı Kartezyen robotun çarpışma alarmı olan 10N'nun 20 katı olan 200N olarak belirlenmiş ve bu değerler verilmiştir. Devam eden adımlarda ürünün güvenlik faktörü 4 ve malzemesi klasik tasarım ile aynı olması amacı ile Alüminyum 6061 olarak belirlenmiştir. Şekil 4'te üretken tasarım yazılımının belirlediğimiz kriterlere göre ürünü tasarlama basamakları gösterilmektedir.

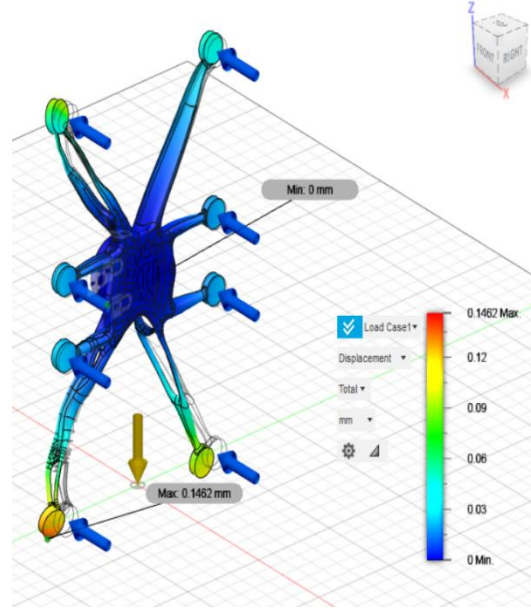


Şekil 4. Üretken tasarım basamakları

Şekil 4'te görüldüğü gibi ilk adımlarda en mukavim ve en ağır ürünü sunan yazılım ilerleyen aşamalarda ürünün geometrisini ve ağırlığını belirlediğimiz malzemeye, güvenlik faktörüne ve üretim aşamasında kullanacağımız üretim yöntemine göre son ürünü belirlediğimiz parametreler içinde kalacak şekilde tasarlamaktadır.

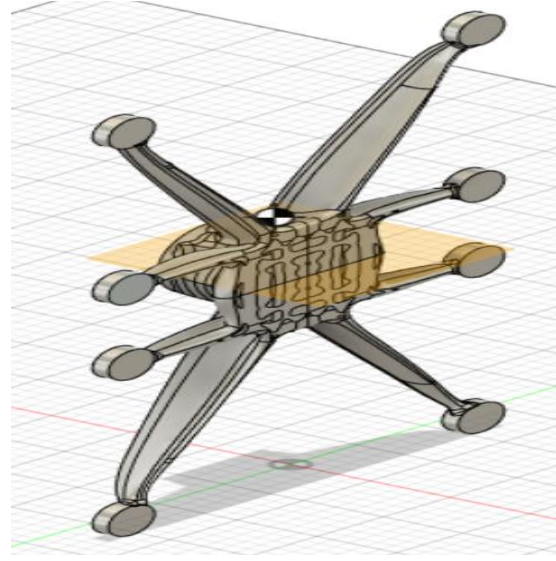
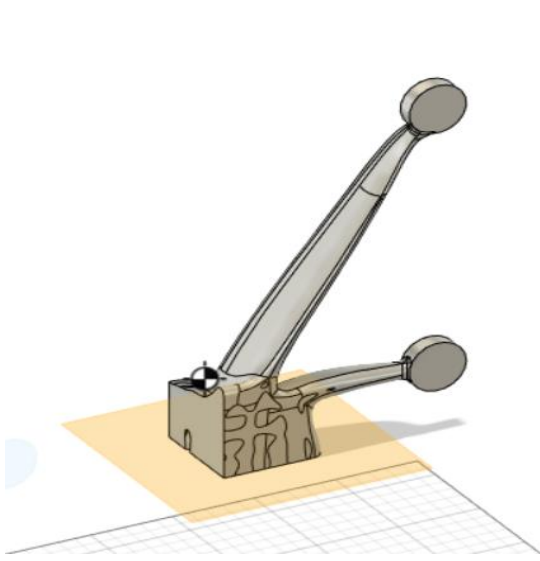


Şekil 5. Üretken tasarım sonucu



Şekil 6. Üretken tasarım yer değiştirme

Üretken tasarım yazılımının yaptığı derleme sonucunda verdiği değerler ve ürünü talaş kaldırma yöntemleri de dikkate alınarak doğrudan kuvvet testlerine tabii tutulmuş ve sonuçlar incelendiğinde yüksek değerlere sahip tutucu bölümleri Şekil 6'da görüldüğü gibi tespit edilmiştir. Devamında Şekil 7 görünen en iyi değerlere sahip bölüm tespit edilerek program içerisinde aynalama yöntemi kullanılarak çoğaltılmış ve sonucunda tutucu konumlarının Şekil 9'da üretken tasarım yazılımının konumları ile aynı konuma yerleşmiş ve Şekil 8'de yer alan kol sonu takımı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7. Üretken tasarım sonucu üretilen en verimli bölüm Şekil 8. Üretken tasarım yazılımına yapılan revizyon sonucu

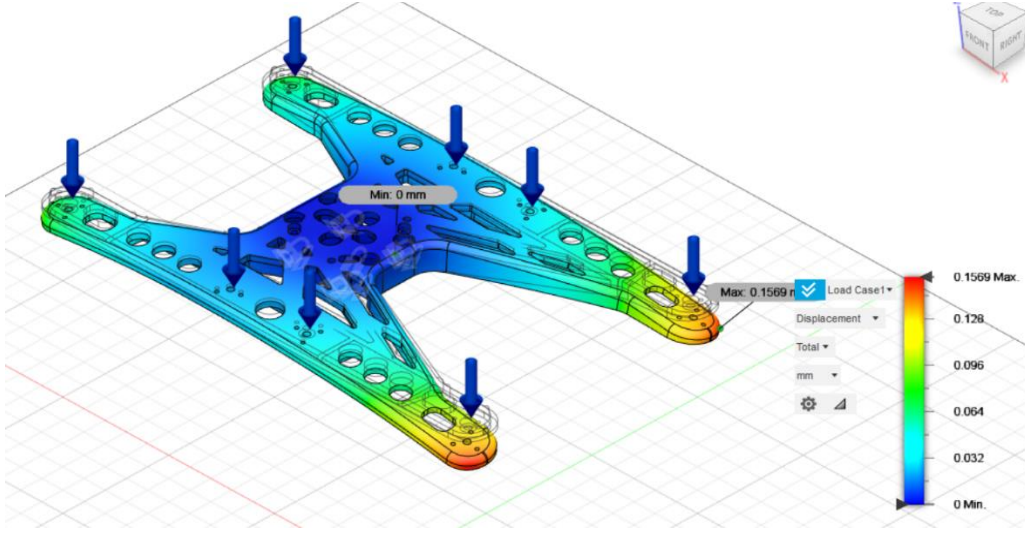
3. Tartışma

Yalnızca üretken tasarım yazılımı kullanılarak üretilen kol sonu takımı değerleri Tablo-1’de incelendiğinde klasik tasarıma göre maks. gerilme %65,28 oranında artmış, maks yer değiştirme %6,81 azalmış ve ağırlık %8,13 düşmüştür. Üretken tasarım yazılımı kullanılarak üretilen robot kol sonu takımının yapılan yükleme testleri sonucunda üretken tasarım tarafından üretilen ince çapa sahip bölümlerinin diğer bölümlere göre daha az mukavim olması sebebi ile yazılımın ürettiği ürüne ek olarak yalnızca daha mukavim olan bölümler aynalama yöntemi ile çoğaltılarak yeni robot kol sonu takımı elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda ise revize edilmiş kol sonu takımı üretken tasarıma göre maks gerilme %56,45 düşüş yaşanmış maks yer değiştirme ise %67,15 oranında azalma göstermiş ve ağırlık %13,18 artmıştır. Üretken tasarım yazılımında verilen sonuçlarda ise geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmeye uygun olmaması sebebi ve belirgin şekilde ince tasarlanmış olan parçaların mukavemetinin diğer bölgeler göre düşük olması sebebi ile revize edilmiş tasarım üretilmiş, parça geleneksel üretim yöntemleri ile üretilebilir hale getirilmiştir. Üretken tasarım yazılımı sonucu incelendiğinde göze en çok çarpan fark olan ağırlık hususunda yalnızca 166 gramlık fark oluşmuş fakat bu fark robot çevrim

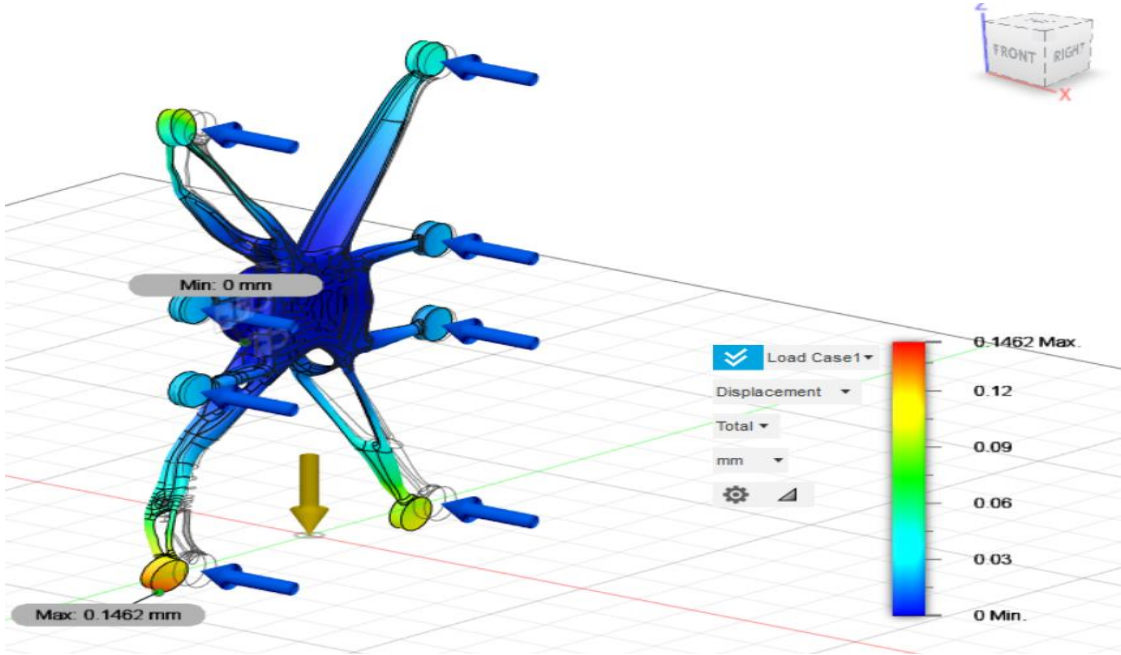
sürelerini etkileyebilecek fark değildir. Bunun yanı sıra üretken tasarım yazılımının verdiği 0.1462mm yer değiştirme miktarında klasik tasarıma göre daha olumlu yönde azalmış fakat klasik tasarıma talaşlı imalat ile üretim anlamında kıyaslandığında pozitif bir tablo çizememektedir. Revize edilmiş üretken tasarımda ise maks gerilme ve maks yer değiştirme için klasik tasarıma göre ciddi farklar vermiş ve aynı zamanda üretilebilir bir sonuç alınmıştır. Aynı zamanda revize edilmiş üretken tasarım ağırlık sonucunun klasik tasarıma göre ağırlaşmıştır ortaya çıkan 305 gr lık ağırlık farkı çevrim sürelerinde herhangi uzamaya sebep olabilecek fark değildir.

Tablo 1 Modellere ait Fiziksel Ve Dayanım parametreleri karşılaştırması

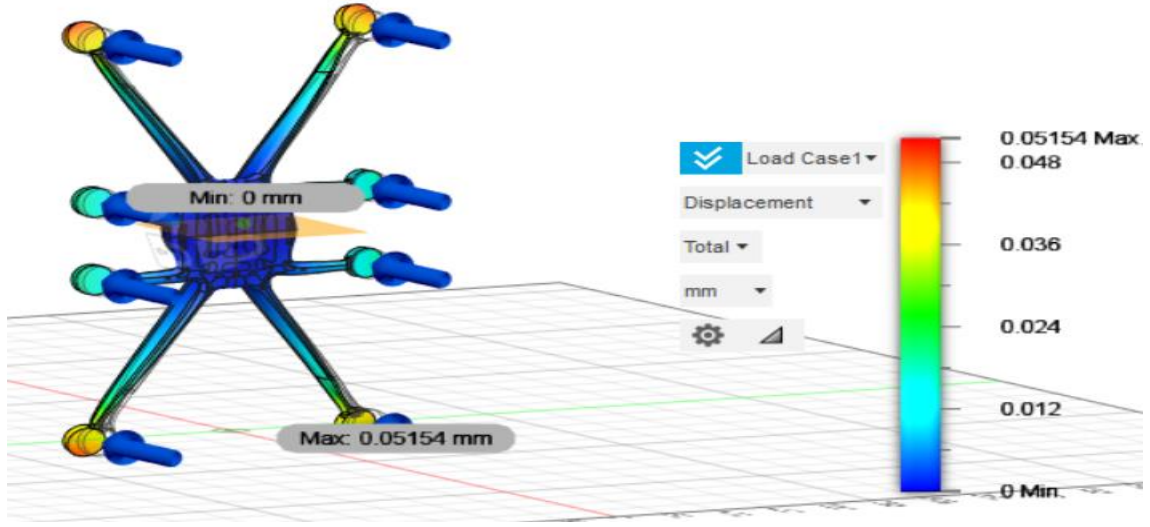
| | KLASİK TASARIM | ÜRETKEN TASARIM | REVİZE EDİLMİŞ ÜRETKEN TASARIM |
|----------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Güvenlik Faktörü | 15 | 15 | 15 |
| Maks. Gerilme | 10.6Mpa | 17.52Mpa | 4.616Mpa |
| Maks. Yer Değiştirme | 0.1569mm | 0.1462mm | 0.05154mm |
| Ağırlık | 2.04kg | 1.874kg | 2.309kg |



Şekil 9. Klasik tasarım yer değiştirme



Şekil 10. Üretken tasarım yer değiştirme



Şekil 11. Revize edilmiş üretken tasarım yer değiştirme

4. SONUÇ

Üretken tasarım programına klasik tasarımla aynı olacak şekilde verilen kriterler sonucunda, üretken tasarım yazılımı klasik tasarıma göre ağırlık olarak gözle görünür fark ortaya koymuştur. Yapılan bu tasarım robotun bir döngü için harcadığı süre için büyük getiriler ortaya koymayacak farklılardır. Bunun yanı sıra maksimum gerilmenin artması ve yer değiştirme oranlarında gözle görünür farklar olmaması üretken tasarım için olumlu sonuç vermemiştir. Yapılan revizyonlar sonucunda ortaya çıkan revizyon üretken tasarım ise klasik tasarıma kıyasla yer değiştirme ve gerilme oranları incelendiğinde ciddi farklar ortaya koymuş fakat ciddi bir fark olmasa da ağırlık olarak yukarı çıkmıştır. Üretken tasarım yazılımının ağırlığı azaltmak amacı ile yaptığı inceltme işlemleri parçanın rijitliği için negatif etkiye sebep olmuştur. Bu değerler neticesinde kullanıcının kendisinin üretken tasarım yazılımının sonuçlarından gözlemlediği analiz sonucunda yine üretken tasarım yazılımından faydalanarak üretken tasarım yazılımına belirttiği ağırlığın azalması kriterlerini ortadan kaldırarak daha rijit bir ürün elde etmiştir. Bunun yanı sıra üretken tasarım yazılımı sonuçlarının spesifik olması ve geleneksel talaş kaldırma yöntemleri ile üretilebilirliğini azaltmakla beraber ürünün tercih edilebilirliğinde azaltmaktadır. Sonuç olarak üretken tasarım yazılımı yalnızca yazılım sonucunda alınan verilerle doğrudan üretilecek ürünü tayin etmek doğru olmayacağı gibi sonuçlar

doğrultusunda değişebilecek öncelikler sebebi ile üretken tasarım sonuçları analiz edilerek ortaya çıkması istenen ürün için öncelikler doğru belirlenerek son kullanıcı tarafından yazılım dışına çıkmaktan çekinilmemelidir. Bu sonuçla beraber doğru girdiler ve son kullanıcı tarafından yapılan düzenlemeler sayesinde maliyetin ikinci planda tutulduğu sektörlerle beraber endüstride bir çok ihtiyaca cevap verebilecek potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Aman B., Generative Design for Performance Enhancement, Weight Reduction, and its Industrial Implications, arXiv preprint arXiv:2007.14138, (2020).
- [2] Ambekar P., Mohebbi M., Jayawardhana B., & Sloot E., Flexible end of arm tool (EOAT) for the automation of lacquering part (un) loading at Philips Drachten (Doctoral dissertation), (2022).
- [3] Eren A.G.O. & Sezer H.K., Üretken Tasarım ve Topoloji Optimizasyonu Yaklaşımlarıyla Ürün Tasarımı, Uluslararası Bilim, Teknoloji Ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, Türkiye.
- [4] <https://formlabs.com/blog/generative-design/> (erişim 15 Mayıs 2022).
- [5] <https://www.autodesk.com.tr/campaigns/generative-design> (erişim 10 Haziran 2022).
- [6] <https://www.automate.org/blogs/eoat-in-robots-a-basic-overview> (erişim 28 Mayıs 2022).
- [7] <https://www.robotshop.com/community/blog/show/everything-you-need-to-know-about-end-of-arm-tooling-1> (erişim 4 Mayıs 2022).

- [8] Kahraman F., & Küçük M., Otomotiv endüstrisinde topoloji optimizasyonu ile ağırlık azaltma uygulaması üzerine bir araştırma, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 623-631, (2020).
- [9] Khan S. & Awan M.J., A generative design technique for exploring shape variations, *Advanced Engineering Informatics*, 38, 712-724, (2018).
- [10] Marinov M., Amagliani M., Barback T., Flower J., Barley S., Furuta S. & Wolski P., Generative design conversion to editable and watertight boundary representation, *Computer-Aided Design*, 115, 194-205, (2019).
- [11] Use the Edit Model workspace to prepare existing parts for generative design | Fusion 360 | Autodesk Knowledge Network, <https://knowledge.autodesk.com/support/fusion-360/gettingstarted/caas/simplecontent/content/use-the-edit-model-workspace-to-prepare-existing-parts-forgenerative-design.html>; (Erişim :2 haziran 2022).
- [12] Zerenler M. & Karaboğa K., Müşteri memnuniyetinin sağlanmasında hataların önlenmesine yönelik üretim odaklı bir bakış açısı: Poka-Yoke sistemleri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 31(1), 263-275, (2014).