

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336722459>

Manipulator Design and Optimization in Industrial Fiber Laser Machine

Conference Paper · June 2018

CITATIONS

0

READS

21

2 authors:



Abdullah Özkan

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Haşmet Çağrı Sezgen

Necmettin Erbakan Üniversitesi

7 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

SEE PROFILE



Manipulator Design and Optimization in Industrial Fiber Laser Machine

Abdullah ÖZKAN, *abdullah.ozkan@mvd.com.tr* MVD Makina A.Ş Ar-Ge Merkezi, 42050 Konya

Haşmet Çağrı SEZGEN, *cagrisezgen@gmail.com* Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 42140 Konya

ÖZET

İlerleyen dijitalleşmeyle beraber bilgisayar programlarının kapsadığı mühendislik desteği alanı da artmaktadır. Yapısal tasarımda istenilen mukavemet ve rijitlik değerlerini elde edebilmek için hesaplanması gereken gerilme, uzama değerleri, dayanım ve rijitlik değerlerinde düşüş olmadan kütle azaltma gibi bir çok parametreye bilgisayar destekli mühendislik programlarıyla yaklaşım yapılabilmektedir. Bu çalışmada fiber lazer makinesinin köprü olarak adlandırılan üç ekseninde hareket eden yapının, çalışma koşulları altındaki gerilme ve uzamaların sonlu elemanlar programı ile tespit edilmesi, topolojik optimizasyon ile kütle azaltılarak, rijitliğin artırılması amaçlanmıştır. Topolojik optimizasyon sonrası tasarımlar karşılaştırılmış, sonuçlarda iyileşme gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Topolojik optimizasyon, Yapısal tasarım

ABSTRACT

Along with the progressive digitalization, the field of engineering support covered by computer programs is also increasing. In order to obtain the desired strength and stiffness values in the structural design, many parameters such as stress, elongation values, mass and stiffness without decreasing the values of stiffness and stiffness can be approximated by computer aided engineering programs. In this study, it is aimed to increase the rigidity of the fiber laser machine by means of topological optimization and to reduce the mass by determining the stresses and extensions under the working conditions by using the finite element program. After topological optimization, designs were compared and improvement was observed in the results.

Keywords: Topological optimization, Structural design



GİRİŞ

Tasarlanmak istenen parçaların sınırlı bir hacme sığması, ağırlığının düşük olması ve istenen mukavim değerleri de sağlaması gerekmektedir. Bu işlemler için aklımıza kaba taslak fikirler gelişebilir, bunları teker teker modelleyerek deneme yanılma yöntemiyle analiz etmek hem çok uzun bir süreç hem de bir çok bilinmezlik getirecektir. Topolojik Optimizasyon tekniği ile rijitlik, hacim, kütle özelliklerini istediğimiz değerlerde tutmasını sağlayarak tasarımda optimizasyona gidebiliriz.

Çalışmanın uygulanacağı endüstriyel alan fiber lazer sac kesim tezgahı köprü tasarımı üzerinedir. Fiber lazer kesim; lazer ışınının fiber kablo ile taşınması sonucu kesim yapılması işlemidir. Lazer sac kesim, elde edilen lazer ışını ile çeşitli tezgahlarda levha halindeki sacların istenilen şekil veya resme göre cnc kontrollü olarak kesilmesidir. Gelişen teknolojiyle birlikte lazer sac kesim makineleri sağladığı yüksek verim, düşük maliyetle beraber otomobil, beyaz eşya, asansör gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Yapılmış olan çalışma ile kesim işleminde yüzeyde istenen kalite elde edilmiş olup, hızlı kesimle beraber hız ve ivme değerlerinde de istenilen verilere ulaşılmış olacaktır.

Çalışmanın temel amacı, maliyetinin büyük bir kısmı çelik olan lazer kesim makinesinin optimum güvenlik katsayısında hafifletilmesi ve bunun yanı sıra oluşacak yer değiştirme değerlerinin en düşük düzeye indirilmesi sağlanacaktır.

Bu çalışma iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada lazerin ilk halinin statik ve dinamik analizleri yapılacak, elde edilen sonuçlar doğrultusunda topolojik optimizasyonu gerçekleştirilecektir. Geri beslemeli olarak analizler ve iyileştirmeler optimum geometri elde edilene kadar devam edecektir.



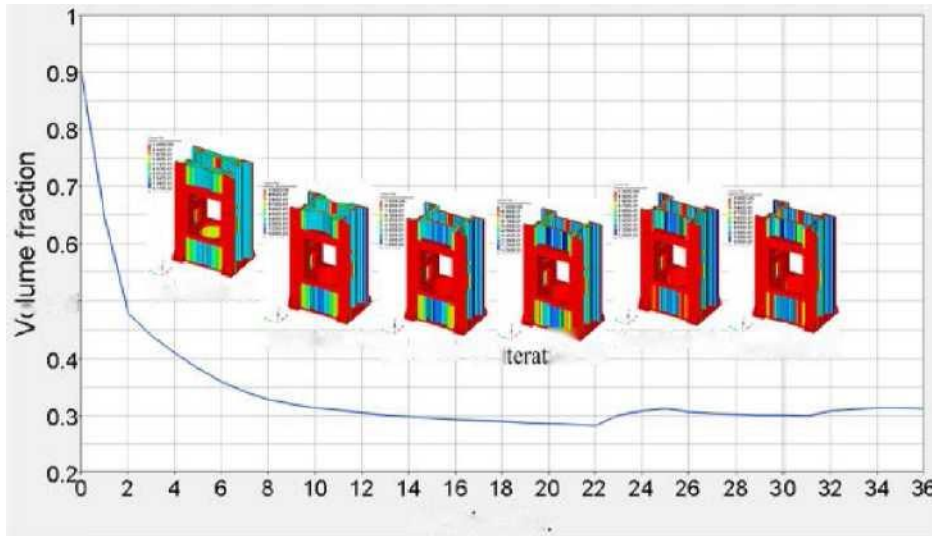
ÇALIŞMADA İZLENEN İŞLEM ADIMLARI

Yapılan her adım alt başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. Basitleştirilmiş tüm modelin konum-hız-ivme grafiklerinin diferansiyel yöntemlerle elde edilmesi ve simülasyon modeli ile karşılaştırılması
2. Hareketli kafa ve köprü dinamik analizlerinde deformasyonun en fazla olduğu durumun kafanın tam orta ve köşelerde olduğu anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden ilerleyen analizlerde kafayı hareketsiz olarak bu konumlarda konumlandırılarak analizlerin sürdürülmesine karar verilmiştir. Ayrıca tüm dinamik hareket yerine en fazla deformasyonun olduğu aralık tespit edilmiştir ve sonraki analizlerde sadece bu aralık kullanılmıştır.
3. Farklı mesh modelleri, farklı joint, contact modelleri ve çözücü matematiksel modelleri denenerek Transient Structural analiz için en kısa zamanda en uygun çözümü verecek model elde edilmiştir.
4. Dinamik model elde edildikten sonra analiz sürelerini daha da kısaltmak ve topolojik optimizasyonun yapılabilmesi için statik modele geçilmiştir. Statik modelde yapılacak optimizasyonlar tekrar dinamik modele verilecek geri beslemeli bir çalışma yürütülmesine karar verilmiştir.

Literatürde Yer Alan Bazı Çalışmalar

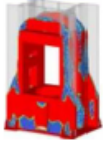

Yapılan bu çalışmada, tek silindiri H tipi bir hidrolik silindirin sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizi yapılmıştır. Daha sonra pres gövdesi gerilme, rijitlik ve hacim parametrelerine göre topolojik olarak optimize edilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü üzere yaklaşık 30 iterasyondan sonra optimize model oluşturulmuştur. Ayrıca optimizasyon modeli oluşturulurken presin çalışma ve montaj şartlarına uygun olarak sınır şartları tanımlanmıştır. [Xiqing Dao, 2015]



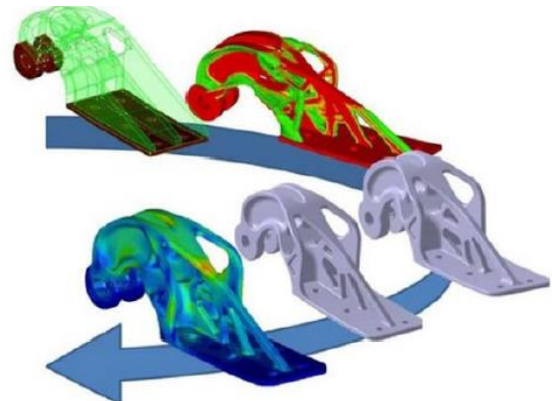
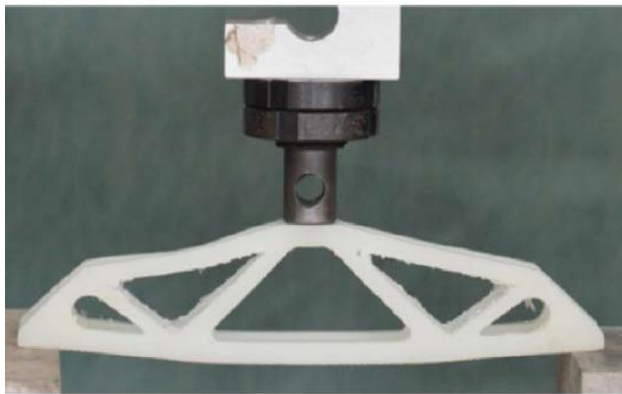
Şekil 1 Optimize Model İterasyonları.



Sonuç olarak %13.66 oranında hacim küçültülürken, rijitlik ve gerilme değerleri hemen hemen aynı kalmıştır.

	Objective	Constraints				
	V/m^3	c/KJ	d_1/mm	d_2/mm	d_3/mm	f_1/Hz
 Initial frame	2.71033	2.469430	0.2960	0.1156	0.08661	41.00986
Optimization result	4.47511	2.219515	0.2781	0.0918	0.08245	46.50987
 Final frame						

Başka bir çalışmanın amacı, uçak ve uzay yapı tasarımında uygulanan topoloji optimizasyon tekniklerindeki son gelişmeleri araştırmaktır Şekil 2'de görüldüğü üzere.ileri görüşlü bir perspektif sağlamak için, dinamik yanıt tasarımında, şekil koruma tasarımında, akıllı yapı tasarımında, yapısal özellikler tasarımında ve katkı imalatında topoloji optimizasyonunun potansiyel uygulamaları sunulmaktadır. [James K.Guest,2009]

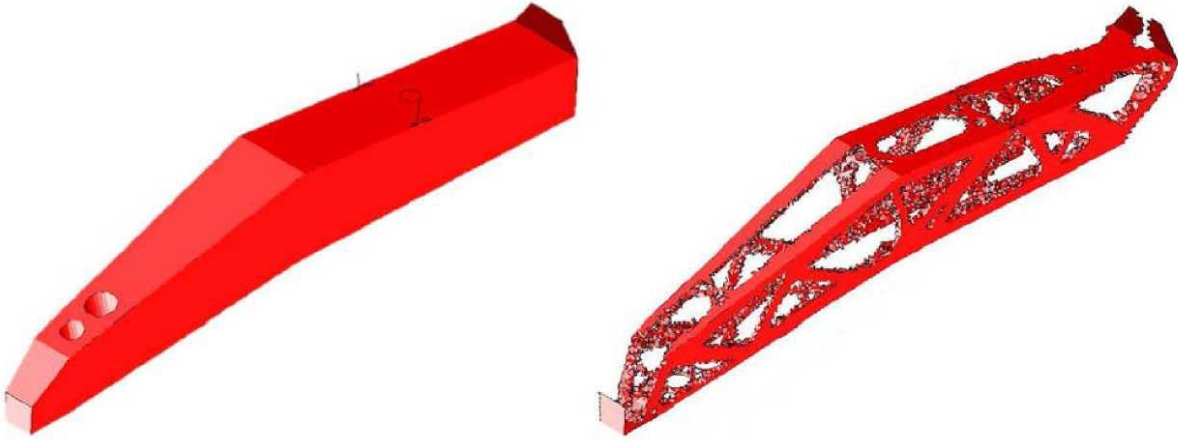


Şekil 2 Yapı Tasarımında Topolojik Optimizasyon Çalışmaları



Başka bir çalışmada özellikle uzay ve havacılıkta kullanılan geometriler topolojik olarak optimize edilmiştir. Şekil 3'te görülen Tasarımlar için FEA kullanılmış ve daha sonra dayanım testleri ile doğrulanmıştır.

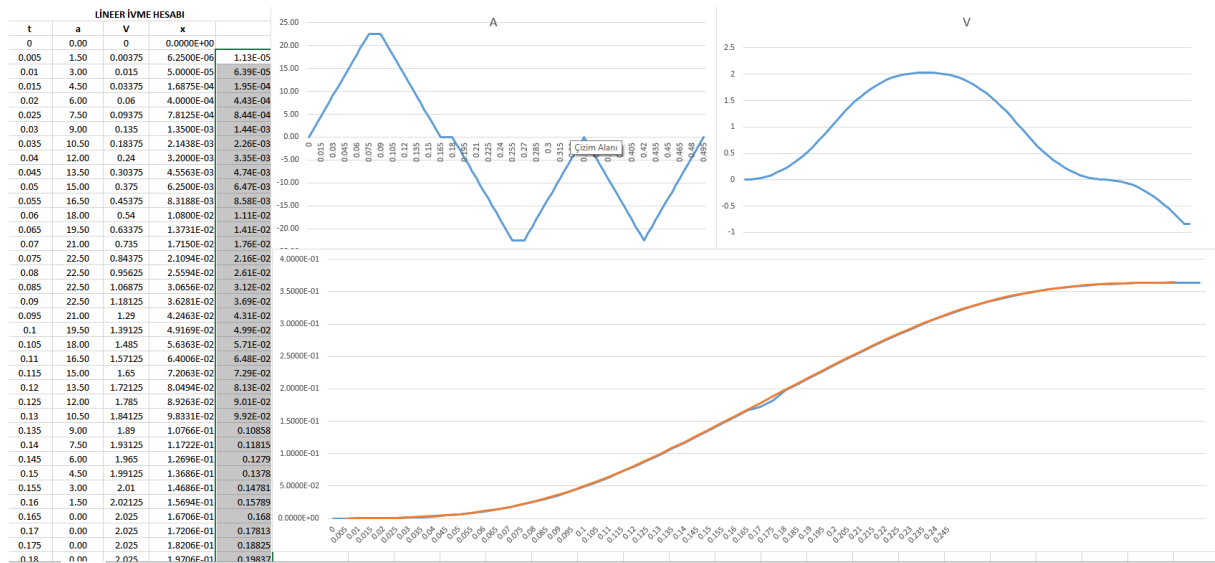
Zhu, Ji-Hong, Wei-Hong Zhang, and Liang Xia. "Topology optimization in aircraft and aerospace structures design." Archives of Computational Methods in Engineering 23.4 (2016): 595-622.



Şekil 3 Havacılıkta Kullanılan Bir Geometrinin Topolojik Optimizasyonu

Konum-Hız-İvme Grafiklerinin Elde Edilmesi

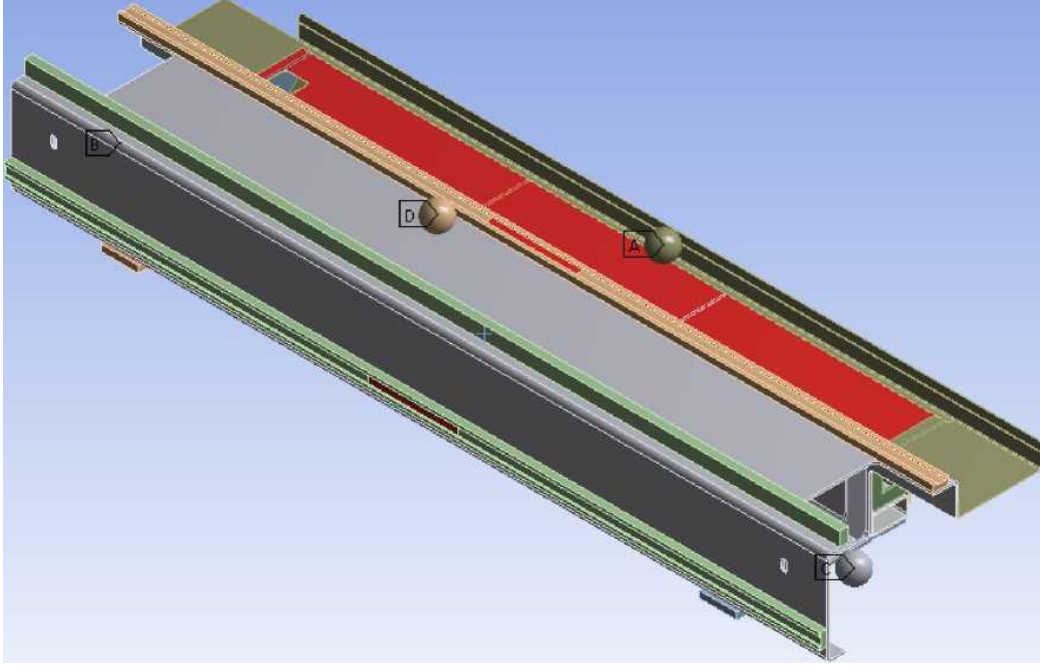
Çalışmanın yapıldığı lazer makinesinin maksimum ivme değeri ve ivme değişim zaman aralıkları maksimum değerlere göre alınmıştır. Bu girdiler ile Tablo 2'de görülen hız-zaman parabolü ve konum-zaman hiperbolü diferansiyel denklemlerin çözümü ile elde edilmiştir.



Tablo 2 Hız-zaman ve Konum-Zaman Grafikleri



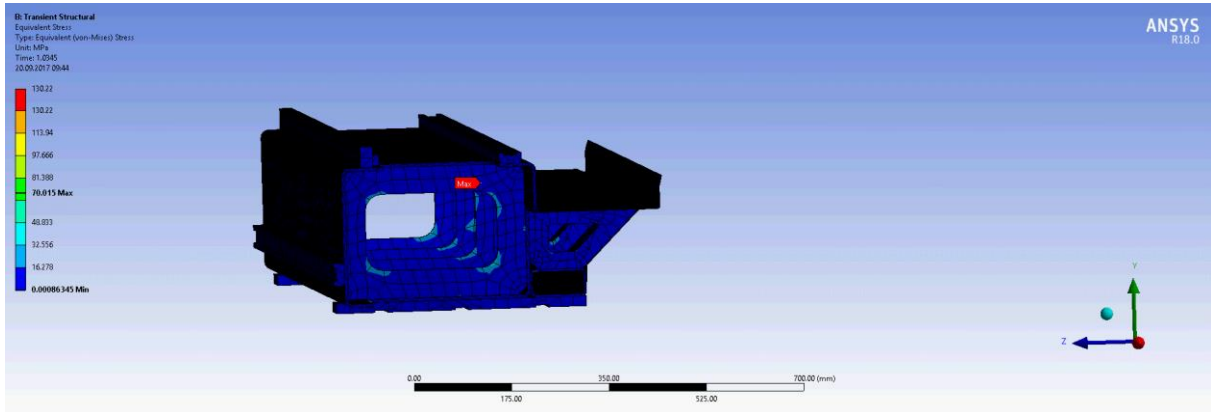
Elde edilen teorik sonuçlar, analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve yaklaşık %99 uyumluluk göstermiştir. Simülasyon Çözüm süreleri karşılaştırıldığında en hızlı çözüm girdisi ivme-zaman olmuştur. Bu yüzden bundan sonraki analizlerde sadece ivme-zaman girdisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 4'te Köprü geometrisinin optimizasyondan önceki hali verilmektedir.



Şekil 4 Köprü Geometrisinin Optimizasyondan Önceki Durumu

Analizi basitleştirmek için 2 motor, lazer kafası ve kablolar matematiksel olarak basitleştirilmiştir. Bunun için her bir alt model için kütle merkezi(x,y,z), kütle, kütle ataletleri (Px,Py,Pz) ve yük basma yüzleri olarak matematiksel model oluşturulmuştur. Fakat elde edilmesi beklenen deformasyon hassasiyetinin yüksek olmasından ötürü istenilen hassasiyet toleransı elde edilememiştir.

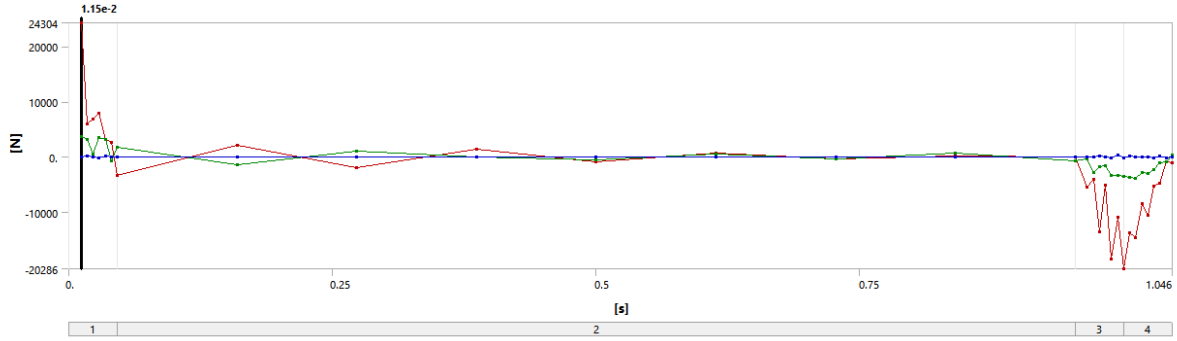
Dinamik analiz gerilme değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



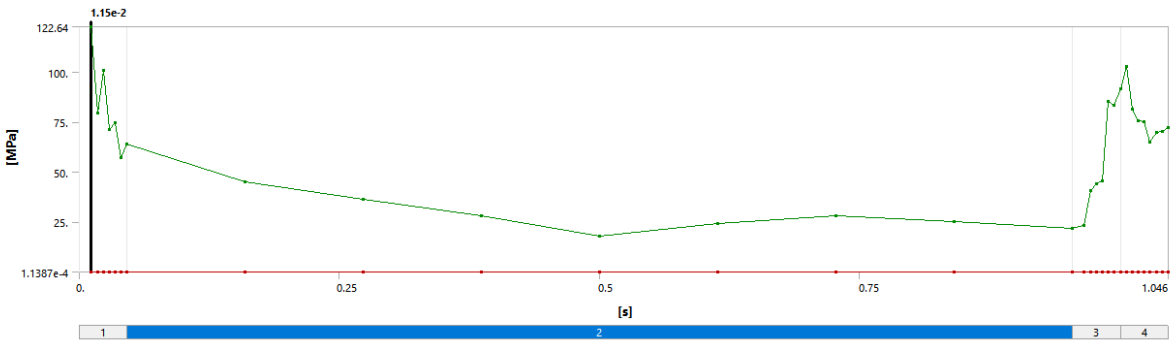
Şekil 5 Dinamik analiz gerilme değerleri



Maksimum ivmeyle durma anındaki ataletinden kaynaklı kuvvetlerden ötürü gerilme en yüksek değerini almaktadır. Çalışmanın devamında sadece bu an kullanılarak analizle yürütülecektir. Dinamik analiz boyunca elde edilen kuvvet-zaman ve gerilme zaman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir.



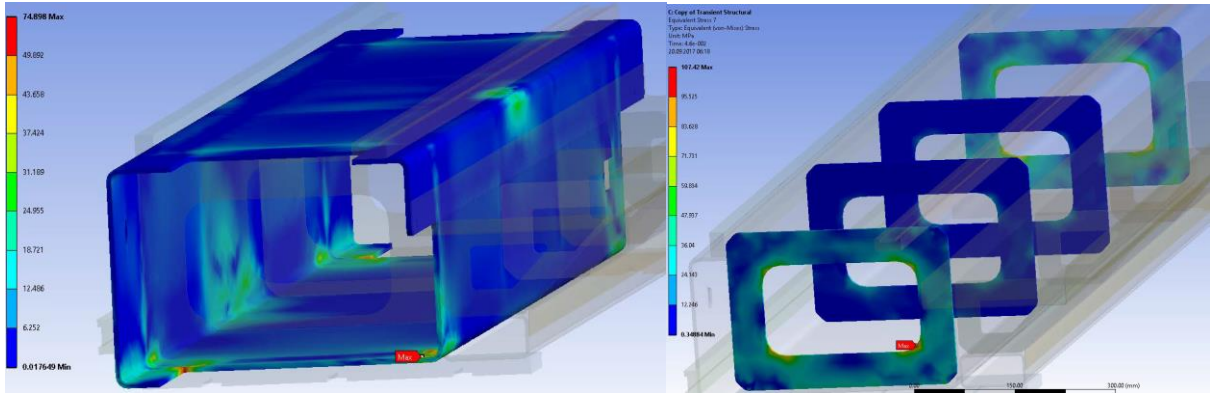
Kuvvet-Zaman Grafiği



Gerilme-Zaman Grafiği

Şekil 6 Dinamik Analiz Boyunca Zamana Bağlı Kuvvetler ve Gerilmeler

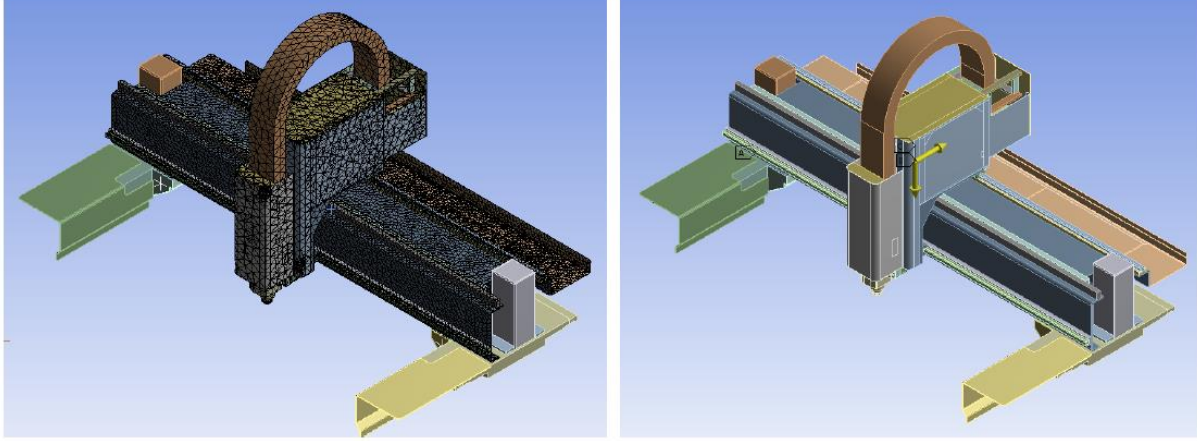
Ortalama gerilim sonuçları Von-Misses kriterine göre yorumlanmıştır.



Şekil 7 Gerilme Sonuçları (Köprü profili üzerinde max 74MPa, Bayraklarda 107MPa)



Statik Modelin Oluşturulması



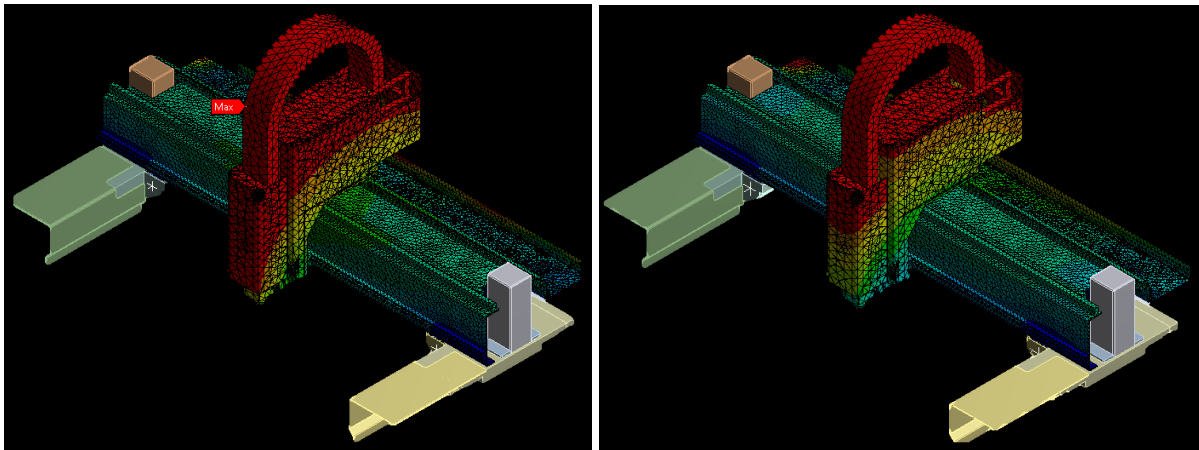
(a)

(b)

Şekil 8 Analiz Modeli Oluşturma, (a)Mesh Örgülü Geometri, (b)Mesh Örgüsüz Geometri

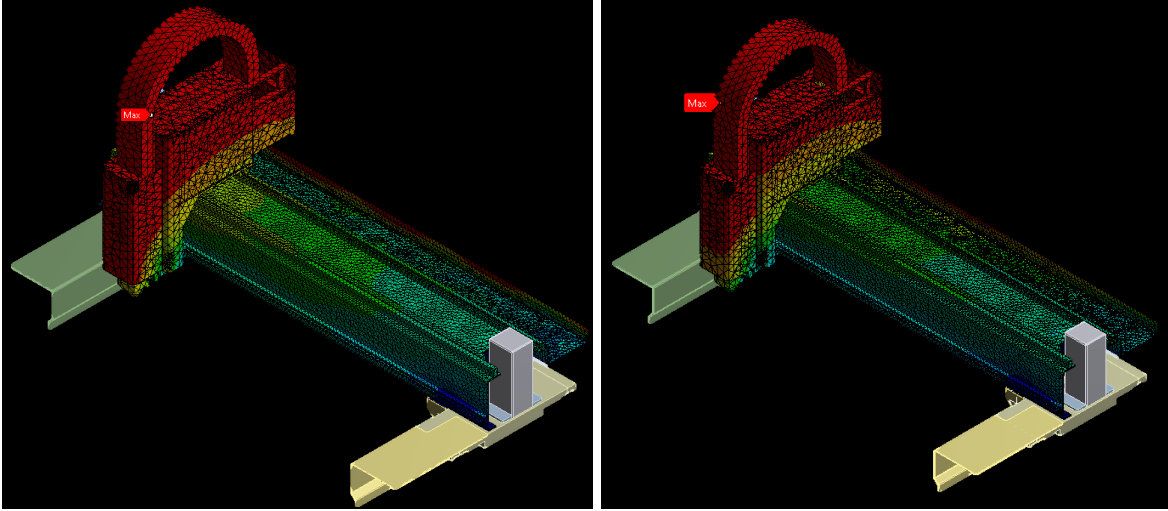
Statik analiz modellenirken, dinamik analizde en fazla deformasyonun olduğu anı temsilen diferansiyel bir zaman parçası alınmıştır. Bu diferansiyel zaman için yükler ve sınır şartları belirlenmiştir. (Statik analizde modelin hareketine izin yoktur. Sadece parçaların birim şekil değiştirmesine izin vardır.) Dinamik harekette oluşan yük kütle atalet kuvvetidir. Rijit kabuldeki kütle merkezinden etki eden kütle ataletinin aksine flexible kabulde modelin her bir node'una ters yönde etki etmektedir. Ayrıca modelin hareketini sınırlamak için gerçeğe uygun olarak tahrik bölgelerinden sınırlandırılmıştır.

Statik model için, köprü; ileri ve geri yönlü, lazer kafası köşede ve ortada olmak üzere 4 varyasyon Şekil 9'da görüldüğü gibi denenmiştir.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 9 , 4 farklı hareket modelinin statik analiz edilerek üst kafa konumunun belirlenmesi,
(a)Orta konumlu köprü ileri hareket , (b)Orta konumlu köprü geri yönlü hareket ,
(c)Kenar konumda köprü ileri yönlü hareket , (d) Kenar konumda köprü geri yönlü hareket

Yapılan analizlerin karşılaştırılması sonucu deformasyon açısından en tehlikeli konum orta, hareketin ise ileri olduğu hesaplanmıştır, elde edilen analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.. Topolojik optimizasyon çalışmaları her ne kadar tüm durumu kapsayacak şekilde yapılacak olsa da öncelik bu duruma verilecektir.

Deformasyon	ORTA KONUM İLERİ HAREKET	ORTA KONUM GERİ HAREKET	KÖŞE KONUM İLERİ HAREKET	KÖŞE KONUM GERİ HAREKET
X	-6.3683e-005 mm	3.0977e-005 mm	-5.4624e-003 mm	3.4544e-003 mm
Y	-3.62e-002 mm	1.9254e-002 mm	-2.5013e-002 mm	1.9006e-002 mm
Z	-6.9091e-003 mm	9.9041e-004 mm	-1.336e-002 mm	1.043e-002 mm
Toplam	3.6853e-002 mm	1.9279e-002 mm	2.8859e-002 mm	2.1932e-002 mm

Tablo 3 , 4 Varyasyon Statik Analiz Modelinden Alınan Sonuçlar

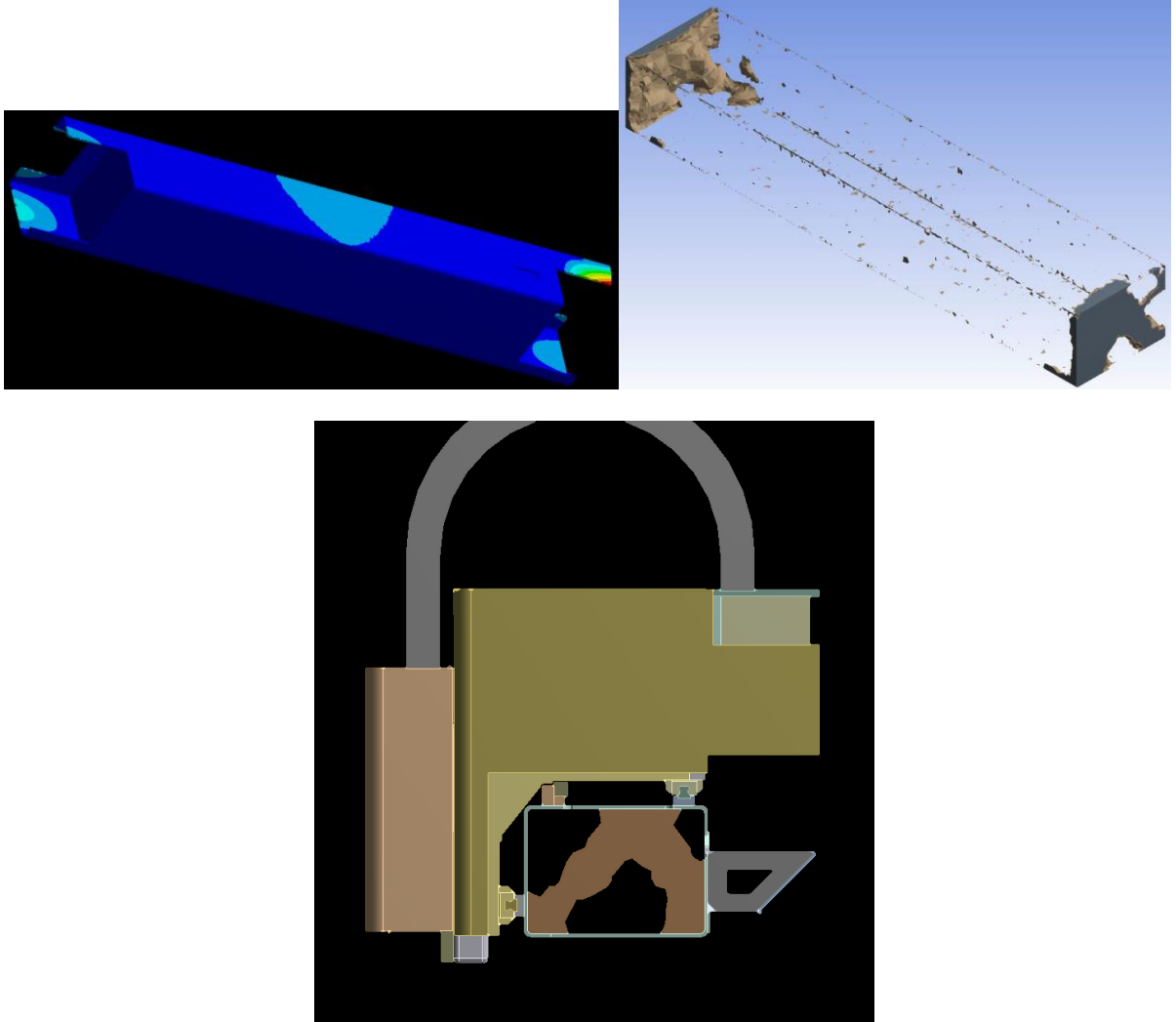
Optimizasyon Çalışmaları

Çalışmada amaç, rijitliğin artırılmasıyla beraber deformasyonların düşürülmesi, model üzerinden kütle eksiltme sağlamaktır. Kütle çıkarılması durumunda geometrinin kütle atalet momenti düşecek ve topolojik optimizasyonla doğru gerilme dağılımı sağlanacaktır. Köprü taşıyıcı profili için rijitliği koruyarak kütle azaltma çalışması, bayraklar için rijitliği artıracak tasarım çalışması yapılacaktır.



Bayrak Geometrisinin Topolojik Optimizasyonla Belirlenmesi

Köprü bayrak modelini iyileştirmek için köprünün içi tamamen doldurulup, lazer uç noktasının istenilen deformasyonuna göre kütükten kütle çıkarılması tanımlanmıştır. Gerilme vektörlerinin doğrultusunda malzemenin gerekli kalınlığını bırakacak şekilde boşaltılan kütleden Şekil 10'daki görünüm elde edilmiştir.



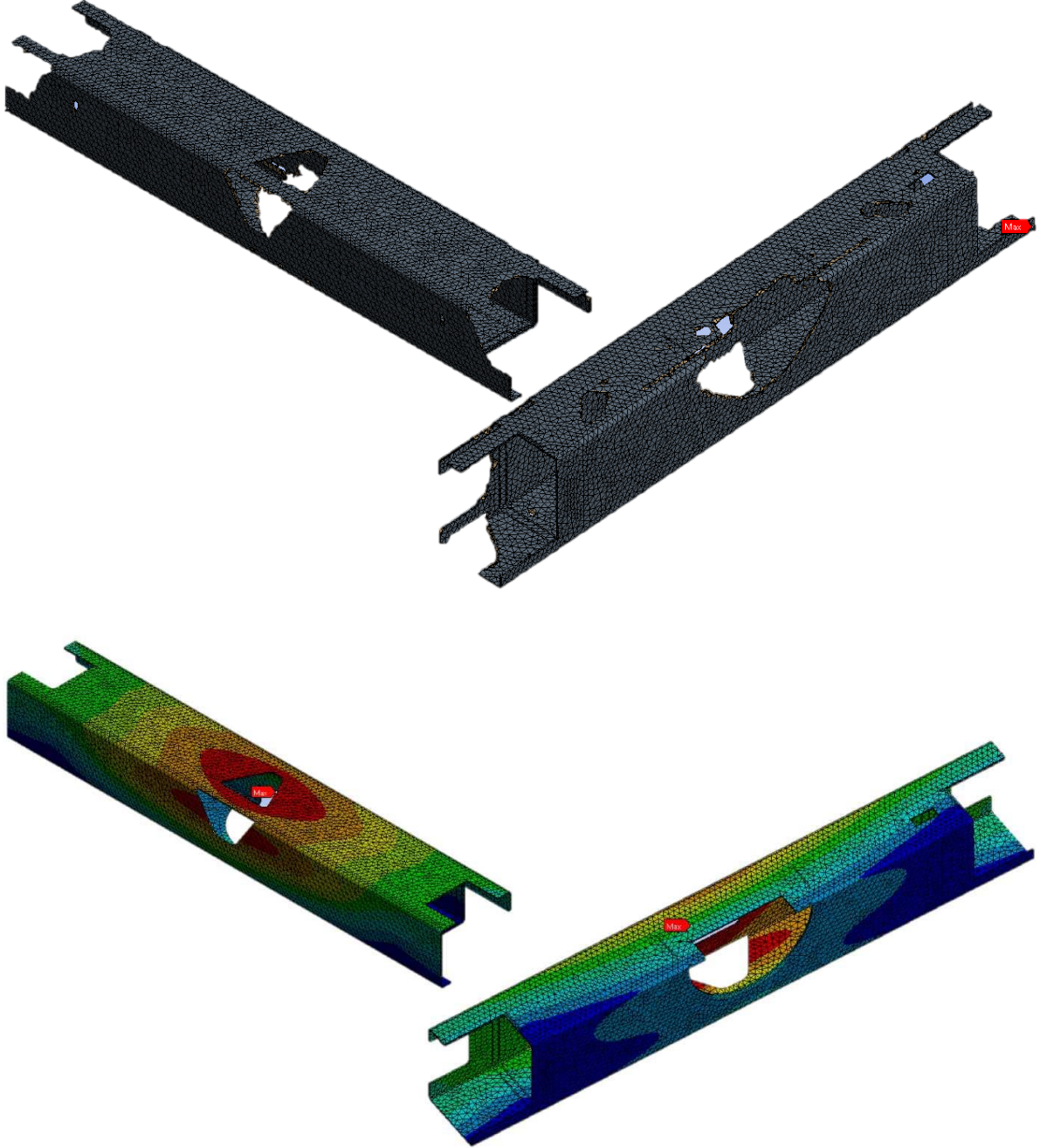
Şekil 10 Dolu Kütük Malzemedan Topolojik Optimizasyon Boşaltması İle Bayrak Geometrisinin Belirlenmesi

Köprü Profil Geometrisinin Topolojik Optimizasyonla Belirlenmesi

Taşıyıcı profil köprü üzerinden gereksiz kütlelerin çıkarılması ve kütle atalet momentinin düşürülmesi için topolojik optimizasyon uygulanmıştır. Topolojik optimizasyon sonucu çıkan



geometri Şekil 11’de verilmiştir. Profilin çoğunlukla orta kısımlarından kütle boşaltması çıkması çalışmada irdelenmiştir.



Şekil 11 Profil Malzemeden Topolojik Optimizasyon Boşaltması İle Kütle boşaltmalarının Belirlenmesi

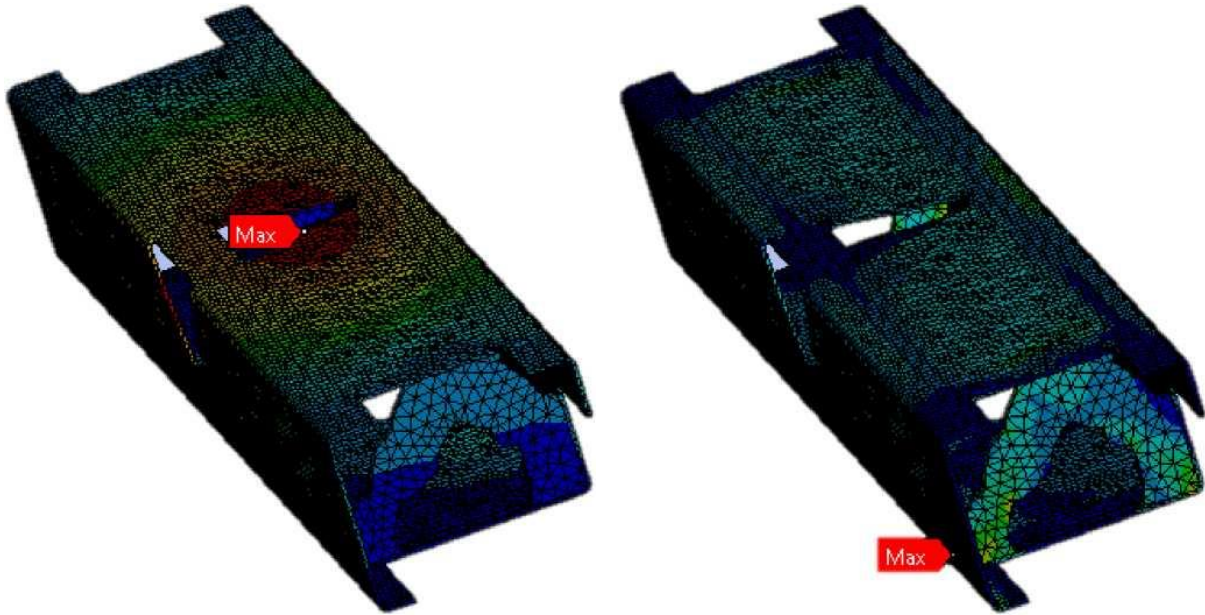


Deformasyon	LAZER UÇ NOKTA DEFORMASYONU
X	-3.47E-05
Y	-3.02E-02
Z	-4.20E-03
Toplam	3.04E-02

Tablo 4 Topolojik Optimizasyon Sonucu Kütle Çıkarılan Köprü Profili Geometrisiyle Elde Edilen Statik Analiz Deformasyon Sonuçları

Modelin İlk Hali ile Optimizasyon Sonrası Kıyaslama

Topolojik optimizasyon sonrası kütle boşaltmayla beraber çalışma sınır koşulları altında daha düşük yer değiştirme değerlerine sahip rijit yapıda geometri elde etmek amaçlanmıştır. Taşıyıcı köprü profili kütle boşaltması ve bayrak geometri tasarımı sonrası elde edilen topolojik optimizasyon sonlu elemanlar modeli Şekil 12’de verilmiştir. Statik analiz sonucu elde edilen değerler ise Tablo 5’te verilmiştir.



Şekil 12 Topolojik Optimizasyon Sonrası Elde Edilen Geometrinin Sonlu Elemanlar Modeli



Deformasyon	LAZER UÇ NOKTA DEFORMASYONU
X	-2.69E-05
Y	-2.35E-02
Z	-1.71E-03
Toplam	2.36E-02

Tablo 5 Topolojik Optimizasyon Sonrası Elde Edilen Modelin Statik Analizi Sonucu Deformasyon Çıktıları

Sonuç ve Değerlendirme

Orijinal model ile optimize model arasındaki kritik kıyaslama değerimiz olan deformasyon çıktılarının karşılaştırılması Tablo 6'da verilmiştir. Kesim hassasiyeti için en önemli eksen modelde Z eksenidir (Makine üzerinde X eksen), daha sonra Y eksenidir. Deformasyondan kazanımla beraber kütle hafifletmesi sağlanmıştır, orijinal modelde 105kg olan kütle optimizasyon sonrası 95kg ağırlığındadır. Bu da sadece rijitliğe değil, motor gereksinimleri, kalkış tork ve ivmelenme rampasının düşmesi gibi sistem dinamiğine de katkı sağlamaktadır.

ORJİNAL MODEL		OPTİMİZE EDİLMİŞ MODEL		OPTİMİZASYON YÜZDELERİ	
Deformasyon	LAZER UÇ NOKTA DEFORMASYONU	Deformasyon	LAZER UÇ NOKTA DEFORMASYONU	Deformasyon	LAZER UÇ NOKTA DEFORMASYONU
X	-4.36E-05	X	-2.69E-05	X	38.25
Y	-3.62E-02	Y	-2.35E-02	Y	35.07
Z	-6.96E-03	Z	-1.71E-03	Z	75.40
Toplam	3.68E-02	Toplam	2.36E-02	Toplam	36.06

Tablo 6 Orijinal Model ile Optimize Edilmiş Modelin Deformasyon Çıktıları Kıyaslaması

Yapılan bu çalışmada optimum rijit model elde edilmiştir. Bundan sonraki aşamalarda karar verilecek farklı modeller üzerinde çalışılacaktır.

Yapılan çalışmaları, başka bir metot ile doğrulamak için ,ön gerilmeli modal analiz yapılmıştır ve optimize edilmiş modelin lazerin ucuna etki edecek mod şeklindeki doğal frekansının geciktiğini gözlemledik. Doğal frekans malzemenin rijitliği ve kütlesiyle alakalı bir olgudur. Buradan çıkan sonuca göre Şekil 13'de görülen değerler doğal frekans değerinin arttığını ve bununla orantılı olarak rijitliğin arttığının sonucunu elde etmemize imkan sağlamaktadır.



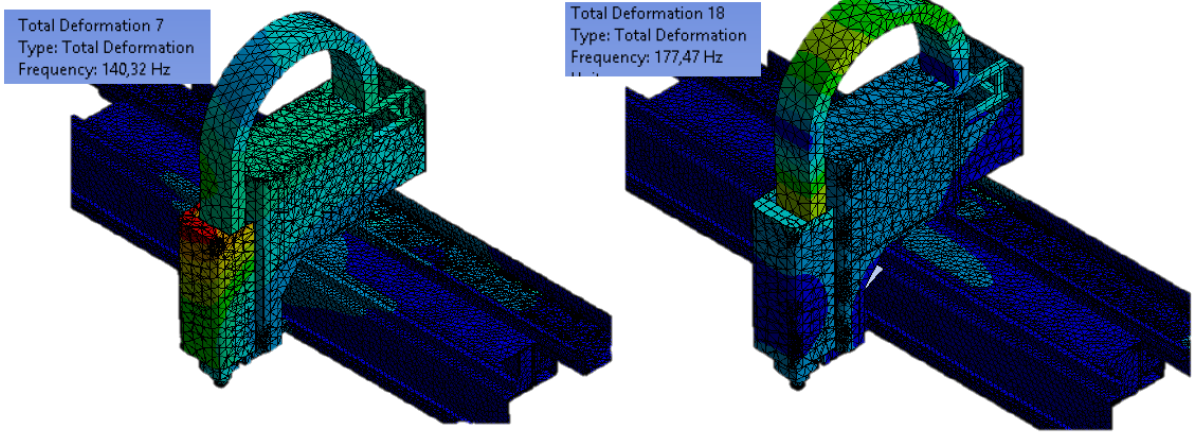
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Where:

ω_n = natural frequency

k = stiffness

m = mass



Şekil 13 Orijinal ve Optimize Edilmiş Modellerin Doğal Frekans Karşılaştırması

KAYNAKÇA

1. **James K.Guest (2009)**, "Reducing dimensionality in topology optimization using adaptive design variable fields", Research Article, International Journal for Numerical Methods in Engineering.
2. **Xiqing Dao (2015)**, "Yuefeng Li, The Structural Static Analysis of Four-Column Hydraulic Press", Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, China