

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL TASARIMDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU VE
BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan SARAÇ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ

MART 2026

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL TASARIMDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU VE
BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan SARAÇ
(36233631004)

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ
Eş Danışman: Doç. Dr. Mustafa ALBAYRAK

MART 2026

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ENDÜSTRİYEL TASARIMDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU VE
BİR UYGULAMA

Tezi Hazırlayan: Batuhan SARAÇ
Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında bilgi, deneyim ve değerli önerileri ile bana rehberlik eden, çalışma sürecinde sağladığı destekler için danışmanım Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ 'a,

Çalışma sürecinde sağladığı akademik katkılar ve yapıcı önerileri için Sayın Doç. Dr. Mustafa ALBAYRAK 'a

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, sabır ve anlayışlarıyla yanımda olan anneme ve eşime,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Endüstriyel Tasarımda Topoloji Optimizasyonu ve Bir Uygulama” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Batuhan SARAÇ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yapısal Optimizasyon.....	1
1.1.1 Boyut optimizasyonu	2
1.1.2 Şekil optimizasyonu	2
1.1.3 Topoloji optimizasyonu	3
1.2 Topoloji Optimizasyonu Yaklaşımları	4
1.2.1 Yoğunluğa dayalı yöntemler	4
1.3 Topoloji Optimizasyonu ve Sonlu Elemanlar Analizi (FEA).....	6
1.4 Kaldırma ve Taşıma Aparatları.....	6
1.5 Model Malzemesinin Tanımı.....	7
1.6 Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM).....	8
1.6.1 Sonlu elemanlar analizinin avantajları	8
1.6.2 Sonlu elemanlar analizinin dezavantajları.....	8
1.7 Kullanılan Yazılımlar	8
1.7.1 ANSYS Workbench yazılımı	9
1.7.2 Solidworks yazılımı.....	9
1.8 Literatür Araştırması.....	9
2. MATERYAL VE METOD	16
2.1 Modelin CAD Dosyalarının SolidWorks Yazılımında Tasarımı.....	17
2.1.1 Modeli oluşturan parçaların teknik resimleri	18
2.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması	23
2.3 Modelin ANSYS Workbench Yazılımına Aktarılması	24
2.4 Mesh (Ağ Yapısının) Oluşturulması.....	26
2.5 Sınır Şartlarının ve Yüklemelerin Tanımlanması	27
2.6 Analizlerin Eklenmesi ve Sonuçların Görüntülenmesi.....	30
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
3.1 Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Çalışması	36
4. SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1: Model malzemesinin kimyasal bileşimi (Korkmaz, 2021).	7
Çizelge 2.1: S355 yapısal çelik malzeme özellikleri (Bilim etiği-4).	23
Çizelge 2.2: Mesh bilgileri.	27



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Yapısal optimizasyon a) Bir kafes yapının boyut optimizasyonu, b) şekil optimizasyonu, c) topoloji optimizasyonu (Bendsøe ve Sigmund, 2004). ...	2
Şekil 1.2: Boyut optimizasyonu.	2
Şekil 1.3: Şekil optimizasyonu.	3
Şekil 1.4: Elemanlara tanımlanan yoğunluk katsayıları (Güney ve Uzun, 2024).	5
Şekil 1.5: Optimizasyon uygulanacak kaldırma-taşıma aparatı.	7
Şekil 1.6: Kütlesi %30 oranında azaltılmış dişli (Doğan ve Kamer, 2021).	10
Şekil 1.7: Kütlesi %18,5 oranında azaltılan otomobil ön tampon braket (Sarvan ve diğ., 2022).	10
Şekil 1.8: Maksimum gerilmesi yarıya indirilen robot kol (Bulduk ve diğ., 2022).	11
Şekil 1.9: Ağırlığı %6,93 oranında azaltılan volan (Sırmalılar ve diğ., 2022).	11
Şekil 1.10: Ağırlığı %8,96 oranında azaltılan otobüsün gövde yapısı (Karamert ve Demir, 2022).	12
Şekil 1.11: Kütlesi %9,04 oranında azaltılan koşum takımı üzengisi (Ulusoy ve diğ., 2022).	12
Şekil 1.12: Kütlesi %52,4 azaltılan Dron gövdesi (Gafurzade, 2022).	13
Şekil 1.13: %11,65 oranında hafifletilen fren pedalı (Albak, 2019).	14
Şekil 1.14: Kütlesi %19,25 oranında azaltılan alt salıncak takımı (Topaç ve diğ., 2017).	14
Şekil 1.15: Ağırlığı %30 oranında azaltılan mini kazıcı-yükleyici ekskavatörün arka kolu (Khairalla, 2024).	15
Şekil 1.16: Ağırlığı %30, %40, %50 oranında azaltılan N95 maskesi (Özsoy ve diğ., 2020).	15
Şekil 2.1: Modelin başlangıçtaki ağırlığı.	16
Şekil 2.2: Optimizasyon metodolojisi (Nazlı ve Özsoy, 2024).	17
Şekil 2.3: Modelin montajlı görünümü.	18
Şekil 2.4: 1 nolu parçanın teknik resmi.	18
Şekil 2.5: 2 nolu parçanın teknik resmi.	19
Şekil 2.6: 3 nolu parçanın teknik resmi.	19
Şekil 2.7: 4 nolu parçanın teknik resmi.	20
Şekil 2.8: 5 nolu parçanın teknik resmi.	20
Şekil 2.9: 6 nolu parçanın teknik resmi.	21
Şekil 2.10: 7 nolu parçanın teknik resmi.	21
Şekil 2.11: Modelin SolidWorks çizimi.	22
Şekil 2.12: Modeldeki civata tasarımı.	22
Şekil 2.13: ANSYS Workbench’de “Static Structural” modülünün seçimi.	23
Şekil 2.14: Malzeme özelliklerinin tanımlanması.	24
Şekil 2.15: SpaceClaim modülünün açılması.	24
Şekil 2.16: Modelin SpaceClaim’e yüklenmesi.	25
Şekil 2.17: Mechanical modülünün açılması.	25
Şekil 2.18: Optimizasyon öncesi model görseli.	26
Şekil 2.19: Mesh eleman sayısı ve düğüm noktası bilgileri.	26
Şekil 2.20: Mesh elemanları kalite grafiği.	27
Şekil 2.21: Mesh yapısı.	27
Şekil 2.22: Sabitleme komutu.	28
Şekil 2.23: Sabitlenen parça.	28
Şekil 2.24: Kuvvet yükleme.	29
Şekil 2.25: -y yönünde uygulanan yükler.	29

Şekil 2.26: Uygulanan yüklemeler.....	30
Şekil 2.27: von-Mises gerilme analizi eklenmesi.	31
Şekil 2.28: Toplam deformasyon analizi eklenmesi.	32
Şekil 2.29: Analiz çözümlerinin yapılması.	33
Şekil 3.1: Toplam deformasyon analizi sonucu.	34
Şekil 3.2: von-Mises gerilmesi analiz sonucu.....	35
Şekil 3.3: Güvenlik katsayısı analizinin eklenmesi.....	35
Şekil 3.4: Güvenlik katsayısı analiz sonucu.....	36
Şekil 3.5: Structural Optimization modülünün eklenmesi.	36
Şekil 3.6: Topoloji optimizasyonu için tasarım yüzeylerinin belirlenmesi.....	37
Şekil 3.7: Topoloji optimizasyonu için amacın belirlenmesi.....	38
Şekil 3.8: 3 farklı bölgeye ait tasarım önerilerinin karşılaştırılması.	39
Şekil 3.9: Modelin “.stl” olarak kaydedilmesi.	40
Şekil 3.10: Düzeltme yapılan yüzeyler örnek-1.....	40
Şekil 3.11: Düzeltme yapılan yüzeyler örnek-2.	40
Şekil 3.12: Cıvata etrafında oluşan kütle azalması.	41
Şekil 3.13: a) Modelin başlangıçtaki tasarımı b) Topoloji optimizasyonu sonrası elde edilen yeni tasarım.....	42
Şekil 3.14: Topoloji optimizasyonu sonrası modelin ağırlığı.	42
Şekil 3.15: Topoloji optimizasyonu sonrası toplam yer değiştirme.....	43
Şekil 3.16: Topoloji optimizasyonu sonrası von-Mises gerilmesi.	44
Şekil 3.17: Topoloji optimizasyonu sonrası güvenlik katsayısı.....	44
Şekil 3.18: Optimizasyon öncesi ve sonrasında elde edilen parametrelerin karşılaştırılması.	46

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

OCM	: Optimality Criteria Method
2D	: Two Dimesional
3D	: Three-Dimensional
ABS	: Akrilonitril Bütadiyen Stiren
CAD	: Computer Aided Desing
CAE	: Computer Aided Engineering
ESO	: Evolutionary Structural Optimization
FEA	: Finite Element Analysis
FEM	: Finite Element Method
GPa	: Gigapascal
HM	: Homogenization Method
LSA	: Level Set Approach
MPa	: Megapascal
N	: Newton
SAE	: Society of Automotive Engineers
SIMP	: Solid Isotropic Material with Penalization
g/cm³	: Yoğunluk
E	: Elastisite Matrisi
E⁰	: Tam Dolu Malzemenin Elastisite Matrisi
Ω	: Tasarım Alanı
Ω_{mat}	: Malzeme Bulunan Bölge
ρ	: Yoğunluk Vektörü
ρ_e	: Her Bir Sonlu Elemanın Yoğunluğu
ρ_{min}	: Minimum Yoğunluk
V	: Başlangıç Tasarım Alanı Hacmi
Vol(Ω_{mat})	: Malzeme Bulunan Bölgenin Hacmi
p	: Penalize Faktörü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL TASARIMDA TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU VE BİR UYGULAMA

BATUHAN SARAÇ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

54+IX sayfa

2026

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ

Bu çalışmada, endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kaldırma/taşıma aparatı incelenmiştir. Modelin ilk olarak yapısal analizi yapıp daha sonra topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılarak kütlelerinin azaltılması hedeflenmiştir. Çalışmanın amacı, yapısal dayanımı ve güvenlik kriterlerini koruyarak malzeme kullanımını en aza indirmektir.

Ölçüleri alınan aparatın tüm parçaları SolidWorks 2025 yazılımında katı modellemeleri yapılmıştır. Analizlerinin yapılması için ANSYS Workbench 2021 R2 yazılımına model aktarılmıştır. Belirlenen sınır şartları ve yüklemeler sonucunda analiz sonuçları, maksimum gerilme 118,59 MPa, toplam deformasyon 4,33 mm ve emniyet katsayısı 2,99 olarak hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra kütle azaltmak için hedef belirlenmiştir. Bu hedef doğrultusunda yazılımın önermiş olduğu tasarımlar incelenip, uygun olan tasarım seçilmiştir. Eksik veya bozuk yüzeyler düzeltilmiştir. Elde edilen yeni tasarıma tekrar statik analizler uygulanarak çalışma koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Optimizasyon sonrası analiz sonuçları maksimum gerilme 116,81 MPa, toplam deformasyon 4,52 mm ve güvenlik katsayısı 3,03 olduğu görülmüştür. Topoloji optimizasyonu sonucunda elde edilen model ile başlangıçtaki modelin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde toplam deformasyonda sınırlı bir artış olsa da maksimum gerilme değerinde de sınırlı bir azalma olduğu görülmüştür. Analizler sonucunda güvenlik katsayısı da göz önünde bulundurularak, modelin yük taşıma kapasitesinin olumsuz yönde etkilenmediği görülmüştür. Çalışmanın analiz sonuçları ile literatürdeki benzer optimizasyon çalışmaları sonuçları karşılaştırıldığında, güvenlik katsayısına göre modelin yapısal açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada topoloji optimizasyonu ile daha hafif ve yapısal performansı korunmuş yeni bir tasarım elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi, Statik analiz, Topoloji optimizasyonu, Yapısal dayanım

ABSTRACT

Master Thesis

TOPOLOGY OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL DESIGN AND AN APPLICATION

BATUHAN SARAÇ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Applied Sciences and Technology

54+IX sayfa

2026

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ

This study examines a lifting/handling apparatus commonly used in industrial settings. The model was first subjected to structural analysis, followed by topology optimization to reduce its mass. The aim of the study is to minimize material usage while maintaining structural strength and safety criteria.

All parts of the apparatus whose dimensions were measured were solid modeled in SolidWorks 2025 software. The model was transferred to ANSYS Workbench 2021 R2 software for analysis. As a result of the specified boundary conditions and loads, the analysis results were calculated as maximum stress 118.59 MPa, total deformation 4.33 mm, and safety factor 2.99. After this stage, a target was set to reduce mass. Designs suggested by the software were examined in line with this target, and the appropriate design was selected. Missing or broken surfaces were corrected. Static analyses were reapplied to the new design to verify whether it met the working conditions. The analysis results after optimization showed a maximum stress of 116.81 MPa, total deformation of 4.52 mm, and a safety factor of 3.03. The analysis results of the model obtained from topology optimization were compared with those of the initial model. When the analysis results are examined, it is seen that although there is a limited increase in total deformation, there is also a limited decrease in the maximum stress value. Considering the safety factor in the analysis results, it is seen that the load-bearing capacity of the model is not negatively affected. When the analysis results of this study are compared with the results of similar optimization studies in the literature, it is seen that the model remains within structurally acceptable limits according to the safety factor. As a result, this study has achieved a new design that is lighter and maintains structural performance through topology optimization.

Keywords: Finite element method, Static analysis, Structural strength, Topology optimization

1. GİRİŞ

Optimizasyon, bir sistemi veya süreci optimize etmek için kullanılan bir kavramdır. Bir diğer ifade ile optimizasyon, bir amaç fonksiyonunun hedeflenen kısıtlamalar çerçevesinde maksimizasyonu veya minimizasyonu işlemidir. Genellikle kaynakların etkin ve verimli çalışmasını sağlar.

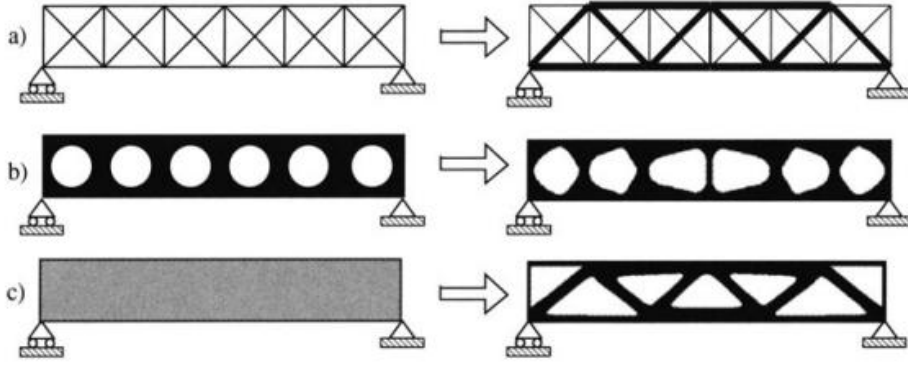
Modern endüstrideki rekabet ortamında dayanıklı tasarımlar ile işletmeler avantaj sağlayamamaktadır. Şirketler, tasarımlarında dayanıklılığın yanı sıra hafiflik ve düşük maliyet kriterlerini de karşılama mecburiyetiyle karşı karşıya kalmıştır. Çeşitli malzeme seçimleriyle daha hafif, dayanıklı ve ekonomik tasarımlar elde edilebilse de araştırmacılar, malzeme türünü değiştirmeden belirli kısıtlar altında en iyi sonucu veren optimizasyon teknikleri üzerinde yoğunlaşmışlardır (Kahraman ve Küçük, 2020).

Optimizasyon; işletme, ekonomi, mühendislik, makine ve elemanlarının tasarımı, lojistik gibi birçok alanda uygulanır. Optimizasyon türleri kullanım alanlarına göre değişkenlik göstermektedir. Optimizasyon türleri;

- Üretim optimizasyonu,
- Maliyet optimizasyonu,
- Yapısal optimizasyon vs.

1.1 Yapısal Optimizasyon

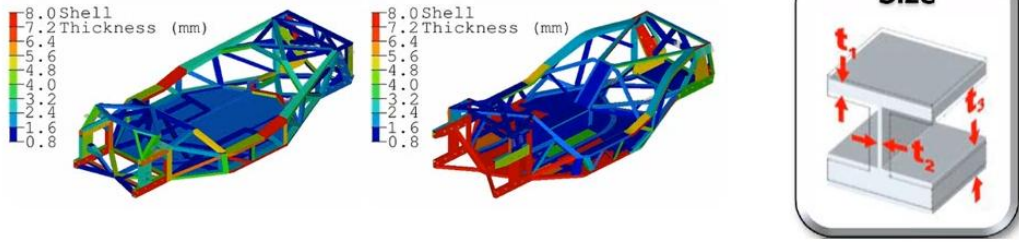
Yapısal optimizasyon, yapısal analiz ile optimizasyon metotlarının birleşimiyle elde edilen bir tekniktir. Yapısal analiz, prototip üretiminde veya günlük hayatta karşımıza çıkan yapı veya sistemlerde kullanılan malzemelerin mukavemetini, gerilmesini, uğramış olduğu deformasyonu, dayanıklılığı vs. gibi özellikleri değerlendirme sürecidir. Üç farklı teknikten oluşan yapısal optimizasyon yöntemleri; boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu başlıkları altında sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Yapısal optimizasyon a) Bir kafes yapının boyut optimizasyonu, b) şekil optimizasyonu, c) topoloji optimizasyonu (Bendsøe ve Sigmund, 2004).

1.1.1 Boyut optimizasyonu

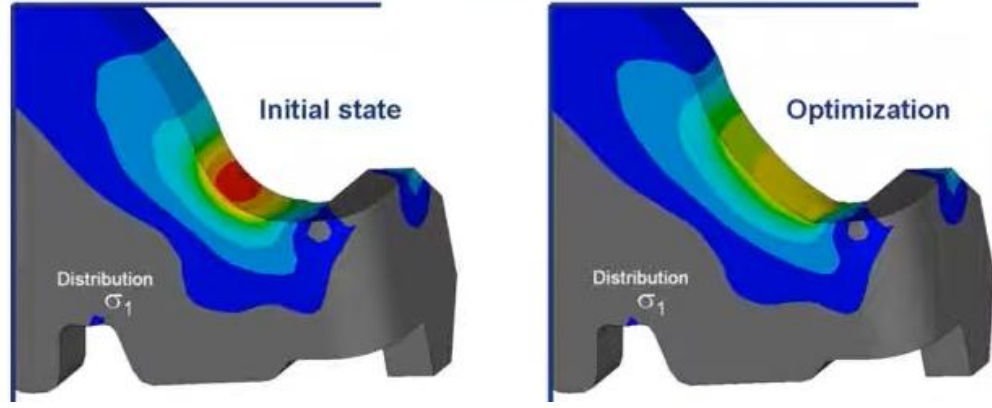
Boyut optimizasyonunda amaç, yapının genel tasarım uzayını değiştirmeden, tasarımdaki profil ölçülerini ve plaka kalınlıklarını vs. gibi parametreleri optimize etmektir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Boyut optimizasyonu.

1.1.2 Şekil optimizasyonu

Şekil optimizasyonundaki amaç, yapıdaki radyusların veya deliklerin optimum tasarım geometrisini elde etmektir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Şekil optimizasyonu.

1.1.3 Topoloji optimizasyonu

Yapısal bir optimizasyon metodu olan topoloji optimizasyonu, temellerini uygulamalı matematik disiplinin almaktadır. Makine, malzeme, otomotiv, inşaat ve havacılık mühendisliği gibi pek çok farklı disiplinde topoloji optimizasyonu yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Topoloji optimizasyonu, temel olarak mevcut sınır koşulları ve tasarım alanı çerçevesinde en verimli malzeme dağılımını tespit etmeyi amaçlayan bir süreçtir (Kahraman ve Küçük, 2020).

Bu metodun hedeflediği temel nokta, yapısal sistemin malzeme yerleşimini optimize ederek sistem kriterlerinin karşılanmasıdır. Topoloji optimizasyonu, havacılık, otomotiv endüstrisi, tıbbi cihazlar ve yapısal mühendislik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ağırlık azaltma, malzeme maliyetlerini düşürme, üretim süreçlerini optimize etme ve daha sürdürülebilir tasarımlar oluşturma gibi birçok fayda sağlar.

Bununla beraber topoloji optimizasyonunun birçok avantajı bulunmaktadır:

- Modelin ağırlığını azaltmak,
- Performansı iyileştirmek,
- Malzeme verimliliğini artırmak,
- Dayanıklılık ve fonksiyonellik dengesi vs.

Topoloji optimizasyonu yepyeni bir topoloji formu oluşturabilir. Düğüm düzenini tasarım alanındaki herhangi bir konumda ayarlayabilir veya herhangi bir konumda bir delik açabilir. Bu nedenle, topoloji optimizasyonu, optimizasyon sürecinde gerçek kuvvet iletim

yolu ve malzeme ekonomisiyle daha uyumlu yeni bir topolojik konfigürasyon üretebilir (Diao ve diğ, 2020).

Topoloji optimizasyonu ile ilgili ilk makale, 1904 yılında, Avustralyalı makine mühendisi Michell (1904) tarafından yayınlandı. Michell'in makalesi, tek bir koşul ve gerilme kısıtlaması ile kirişlerin en az hacimli topolojisi sorununu ele almıştır (Tyflopoulos ve diğ, 2018). Topoloji optimizasyonu, bileşen hacmini düşürürken aynı zamanda en yüksek rijitliği (minimum komplians) veya en yüksek doğal frekansı sağlayan ideal malzeme yerleşimini saptamayı hedefler. Topoloji optimizasyonu sorunlarını gidermek için kullanılan temel tekniklerden biri olan homojenleştirme metodu, literatüre 1988'de Bendsøe ve Kikuchi tarafından kazandırılmıştır. Literatürde sıklıkla başvurulanan bir diğer yaklaşım olan yoğunluk metodu (density method), 1993 senesinde R.J. Yang ile C.H. Cuhang tarafından ortaya konulmuştur. Söz konusu teknik, akademik literatür içerisinde malzeme dağılım metodu (material distribution method) ismiyle de tanımlanmaktadır (Göv ve Kütük, 2007).

1.2 Topoloji Optimizasyonu Yaklaşımları

Topoloji optimizasyonu süreçlerini iyileştirmek amacıyla geliştirilen çeşitli etkin teknikler mevcuttur (Kara ve diğ, 2022).

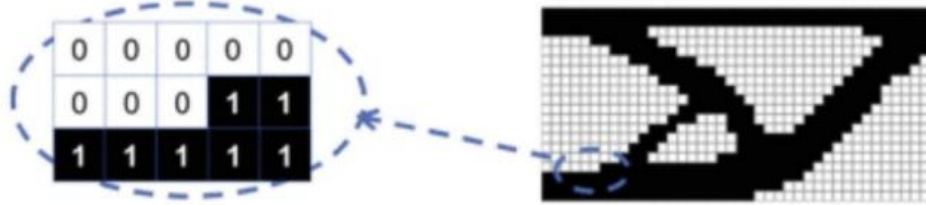
- Optimizasyon Kriterleri Metodu (*OCM*),
- Seviye Kümesi Yaklaşımı (*LSA*),
- Homojenleştirme Metodu (*HM*),
- Evrimsel Yapı Optimizasyonu (*ESO*),
- Penalizasyon ile Katı İzotropik Malzeme Metodu (*SIMP*) vs.

Bu çalışmadaki modele SIMP metodu, yoğunluk tabanlı optimizasyon uygulanmıştır.

1.2.1 Yoğunluğa dayalı yöntemler

Yoğunluk esaslı yaklaşımlar arasında yer alan SIMP metodu; farklı yükleme, kısıt ve sınır koşulları altındaki bir bileşende malzemenin en ideal biçimde yerleştirilmesini hedefleyen bir topoloji optimizasyonu tekniğidir. Bu yöntem, belirlenen sınırlara sadık kalarak optimizasyon amaçlarını gerçekleştirmeyi sağlar. Bu yaklaşımda, parça üzerindeki dış yüklerin ve kısıtlamaların oluşturduğu gerilmeler ilk aşamada sonlu elemanlar analizi ile hesaplanmakta; ardından elde edilen bu gerilme verileri doğrultusunda her bir eleman için uygun yoğunluk katsayıları atanmaktadır. Tanımlanan yoğunluk katsayıları, 0 ile 1 değerleri arasında değişen bir aralıkta belirlenmektedir. Bir elemanın sıfır değerine sahip olması, o

bölgede herhangi bir malzeme yoğunluğunun bulunmadığını ifade eder. Yoğunluğu sıfır olan elemanlar yok sayılarak parça yapısından çıkarılmakta ve böylece fonksiyonel elemanlardan oluşan içyapı düzeni elde edilmektedir. Elemanlara atanan yoğunluk katsayıları Şekil 1.4’de gösterilmiştir (Güney ve Uzun, 2024).



Şekil 1.4: Elemanlara tanımlanan yoğunluk katsayıları (Güney ve Uzun, 2024).

Matematiksel terimlerle ifade etmek gerekirse, Ω mevcut tasarım alanı olmak üzere optimal bir $\Omega_{mat} \subset \Omega$ alt kümesini ararız. Tasarım değişkeni x , artık eleman yoğunluklarını ρ_e içeren yoğunluk vektörü ρ ile temsil edilmektedir. Denklem (1.1)’deki gibi yerel rijitlik tensörü E , ρ ’yu bir tam sayı formülasyonu olarak dahil ederek şu şekilde formüle edilebilir (Larsson, 2016).

$$E(\rho) = \rho E^0 \quad (1.1)$$

$$\rho_e = \begin{cases} 1 & \text{eğer } e \in \Omega_{mat} \\ 0 & \text{eğer } e \in \Omega \setminus \Omega_{mat} \end{cases} \quad (1.2)$$

ve hacim kısıtı,

$$\int_{\Omega} \rho \, d\Omega = \text{Vol}(\Omega_{mat}) \leq V \quad (1.3)$$

V , başlangıç tasarım alanının hacmidir. $\rho_e = 1$ olduğunda bir elemanın dolu olduğu, $\rho_e = 0$ olan bir elemanın ise boş bir eleman olduğu kabul edilir. Optimizasyon problemi için gradyan tabanlı bir çözüm stratejisi kullanmak amacıyla denklem (1.2)’de açıklanan tam sayı probleminin, yoğunluk fonksiyonunun 0 ile 1 arasında değerler alabilmesi için sürekli bir fonksiyon olarak formüle edilmesi gerekir. Tam sayı problemini esnetmek için en yaygın yöntem SIMP (Penalizasyon ile Katı İzotropik Malzeme Metodu) yöntemidir. Bu durumda denklem (1.4)’de yoğunluk fonksiyonu (Larsson, 2016).

$$E = \rho^p E^0, \rho \in [\rho_{min}, 1], p > 1 \quad (1.4)$$

burada p , ara yoğunluktaki elemanları 0 veya 1'e yaklaştıran penalize faktörüdür. ρ_{min} ise tekil gerilme yığılmalarını önlemede kullanılan en düşük yoğunluk değeridir. Poisson oranı 0,3 olan malzemeler için, penalizasyon değerinin (p) 3'e eşit ya da büyük olması önerilir (Larsson, 2016).

1.3 Topoloji Optimizasyonu ve Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

Gerçek geometrik yapıların doğrudan formüle edilmesindeki zorluklar sebebiyle, sonlu elemanlar gerilme analizinde bu yapılar bilgisayar ortamında çözümlenmesi daha basit olan alt elemanlara bölünerek modellenir. Tanımlanmış olan tüm fiziksel yasalar, başlangıçtaki karmaşık yapı yerine daha yalın geometrik özelliklere sahip olan bu küçük parçaların her biri için ayrı ayrı uygulanır. Nesnenin tamamının sonlu elemanlara ayrıştırılabilmesi süreci, bir ağ yapısının (mesh) oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Nesnenin fiziksel boyutları ve geometrik formu dikkate alınarak uygun elemanlara ayrıştırılmış formu, sayısal model olarak tanımlanmaktadır. Sayısal modeli meydana getiren elemanların birbiriyle birleştiği ara yüzeylerde, etkileşimi sağlamak amacıyla düğüm noktaları (nodes) tanımlanmaktadır. Kuvvet dağılımının daha yüksek bir hassasiyetle saptanabilmesi için sayısal modelde mümkün mertebe fazla sayıda eleman kullanılması büyük önem taşır. Tanımlanan bir referans sistemine göre tüm düğüm noktalarının x, y ve z eksenlerindeki koordinat değerleri belirlenerek sayısal analiz ortamına aktarılmaktadır. Geometrik modeli meydana getiren tüm elemanların yapısal karakteristiğini tanımlayan Poisson oranı ve elastisite modülü gibi malzeme parametreleri, analiz yazılımına veri olarak girilmektedir. Hazırlanan matematiksel modelde, düğüm noktalarına tanımlanan dış yükler ve sınır koşulları neticesinde oluşan yapısal değişimler sistem matrislerine dönüştürülmekte ve bu matris takımları bilgisayar yazılımları aracılığıyla çözümlenmektedir. Bu yöntemle, her bir alt eleman bazında hesaplanan veriler birleştirilerek, yapının bütününde meydana gelen gerilme (stress) ve şekil değiştirme (strain) dağılımları elde edilmektedir (Güler ve Şen, 2015).

1.4 Kaldırma ve Taşıma Aparatları

Endüstriyel tesislerde güvenli ve verimli işleyişin temel öğelerinden birisi doğru ve amacına uygun bir ekipman seçimi ve kullanımıdır. Yüklerin güvenli şekilde taşınması, iş

kazalarını azaltır, üretimin sürekliliğini ve hızlanmasını sağlar, işçilik maliyetlerini düşürme gibi birçok avantaj sağlar. Çalışmada kullanılacak model Şekil 1.5’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Optimizasyon uygulanacak kaldırma-taşıma aparatı.

1.5 Model Malzemesinin Tanımı

Bu çalışmada analizi yapılacak modelin malzemesi S355 yapı çeliği olarak belirlenmiştir.

Yapı çeliği; otomotiv ve savunma sanayisinden endüstriyel tesislere, demiryolu ve köprü inşaatlarından zemin altyapı projelerine, ayrıca açık deniz dalgakıranları ve gemi imalatına kadar oldukça geniş bir yelpazede yaygın olarak tercih edilmektedir (Garip, 2022).

S355 yapı çeliği, yüksek mukavemeti ve üstün kaynaklanabilirlik özellikleri sebebiyle sıklıkla tercih edilir. S355 çeliğinin alaşım yapısı Çizelge 1.1’de de gösterildiği gibi; %0,12 karbon, %1,50 manganez, %0,025 fosfor, %0,50 silisyum, %0,020 kükürt, %0,02 alüminyum, %0,09 niobyum, %0,15 titanyum ve %0,20 vanadyum içeren bir alaşım yapısına sahiptir. Söz konusu alaşım elementleri, çeliğin mukavemet ve süneklik dengesini optimize ederken, kaynak işlemleri sırasında meydana gelebilecek gevrekleşme riskini de en aza indirmektedir. Özellikle Mn, Nb, Ti ve V gibi mikro alaşım elementleri, sağladıkları tane inceltici mekanizması sayesinde malzemenin mekanik performansını iyileştirirken, ısıdan etkilenen bölgelerde oluşabilecek çatlak hassasiyetini önemli ölçüde düşürmektedir (Korkmaz, 2021).

Çizelge 1.1: Model malzemesinin kimyasal bileşimi (Korkmaz, 2021).

Elementler	C	Mn	P	Si	S	Al	Nb	Ti	V	Fe
Ağırlık (%)	0,12	1,50	0,025	0,50	0,020	0,020	0,09	0,15	0,20	Geriye Kalan

1.6 Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), modelde bulunan sınır şartlarını göz önüne alarak sistemi simüle etmek için matematiksel yaklaşımlar kullanır. Bu sayede karmaşık bir problemi basit hale getirir ve bu şekilde çözüme ulaşmaya çalışır. Sonlu elemanlar analizi (FEA), sonlu elemanlar metodu ile yapılan hesaplamalara dayanarak bir nesnenin davranışlarını tahmin etme yöntemidir. Sonlu elemanlar metodu her ne kadar matematiksel bir teknik olsa da sonlu elemanlar analizi, sonlu elemanlar metodu' nun sağladığı sonuçların yorumlanmasıdır (Bilim etiği-1).

1.6.1 Sonlu elemanlar analizinin avantajları

- Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları ile entegre çalışıyor olması,
- Karmaşık geometriye sahip sistemlerin analizlerinin yapılabilmesi,
- Yüzey gerinim, iç gerilmeler ve potansiyel çatlak bölgeleri gibi kritik alanları belirler,
- Hatalı prototip üretiminden kaynaklı oluşabilecek maliyetlerin ve zaman kayıplarının önüne geçme,
- Malzemenin uğramış olduğu deformasyon bölgelerini, sıcaklık dağılımlarını ve gerilme yoğunluklarını görsellerle raporlanabilir olması vs.

1.6.2 Sonlu elemanlar analizinin dezavantajları

- Gerçek dünyadaki kontak, temas, bağlantı problemlerinin tanımlanması zor olabilir,
- Karmaşık modellerde eleman ve düğüm sayısı çok fazla olacağından yüksek donanımda ekipman gereksinimi,
- Sonlu elemanlar analizi sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırılıp doğrulaması yapılmalıdır,
- Mesh kalitesi sonuçların doğruluğunu etkilediği için mesh oluşturmak bazen zor olabilir vs.

1.7 Kullanılan Yazılımlar

Sonlu elemanlar analizi (FEA) yazılımları ve CAD yazılımları birbiri ile entegre bir şekilde çalışır. Bu çalışmada da FEA yazılımı olarak ANSYS Workbench 2021 R2, CAD yazılımı olarak da SolidWorks 2025 kullanıldı.

1.7.1 ANSYS Workbench yazılımı

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok kullanılan bilgisayar destekli mühendislik (CAE) programlarının başında gelen ANSYS yazılımı da sonlu elemanlar yöntemini kullanmaktadır. ANSYS, mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde etkili çalışmalara olanak verir. Karmaşık geometrilere sahip yapıların analizi için kullanılan ANSYS Workbench, sonlu elemanlar yöntemini temel alarak bileşen ve alt sistemlerin gerçek dünya koşullarındaki davranışlarını simüle eder ve yüksek doğrulukta sonuçlar sunar (Bilim etiği-2).

1.7.2 Solidworks yazılımı

CAD yazılımlarından birisi olan SolidWorks, farklı alanlardaki mühendis ve tasarımcılara iki boyutlu (2D) çizimler ve üç boyutlu (3D) modeller oluşturmak için sıklıkla kullanılmaktadır.

Jon Hirschtick tarafından 1993 yılında Massachusetts'te kurulan SolidWorks Corporation, yazılımın ilk sürümünü 1995 yılında piyasaya sürmüştür. 1997 yılında Dassault Systemes bünyesine katılan program, Windows işletim sistemine entegre edilen ilk üç boyutlu katı modelleme (3D CAD) yazılımı olma özelliğini taşımaktadır (Bilim etiği-3).

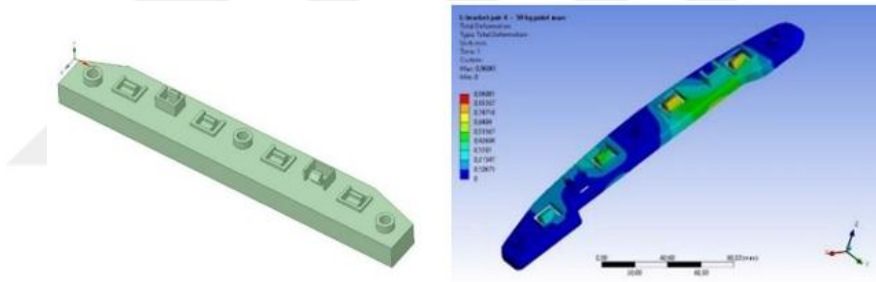
1.8 Literatür Araştırması

Doğan ve Kamer, 2021 yılındaki çalışmalarında eklemeli imalat yöntemi ve topoloji optimizasyonu tekniklerini entegre ederek; hafiflik, sürdürülebilirlik ve inovatif tasarım kriterlerini karşılayan yeni nesil bir dişli mekanizması geliştirmişlerdir. Tasarlanan dişli geometrileri ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak statik mukavemet analizleri gerçekleştirilmiş ve mukavemet açısından performansları kıyaslanmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda, mukavemet değerlerinde yaklaşık %15 oranında bir kayıp yaşanmasına karşın, toplam kütlede yaklaşık %30 seviyesinde bir hafifletme sağlanan yeni bir dişli geometrisi elde edilmiştir (Doğan ve Kamer, 2021).



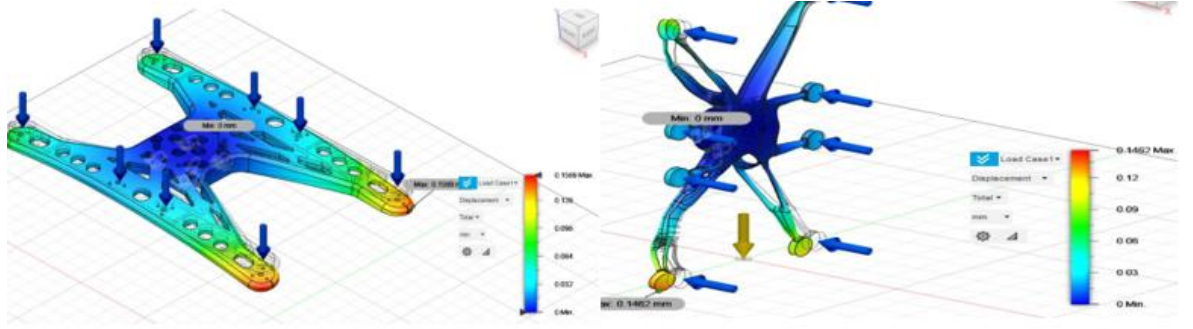
Şekil 1.6: Kütlesi %30 oranında azaltılmış dişli (Doğan ve Kamer, 2021).

Sarvan ve arkadaşları, 2022 yılındaki çalışmalarında otomobil ön tampon braketini ele almışlardır. Ön tampon braket, ön tampon bağlantı bölgesi ile araç çamurluk paneli arasında bağlantı ara parçası olarak görev yapmaktadır. Braketin tasarım iyileştirmesi için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır. Bu çalışmada modelde; gerilim değerinde %42,7 azalma, deformasyon değerinde %48 azalma ve kütle değerinde de %18,5 azalma gerçekleştirilmiştir (Sarvan ve diğ, 2022).



Şekil 1.7: Kütlesi %18,5 oranında azaltılan otomobil ön tampon braket (Sarvan ve diğ, 2022).

Bulduk ve arkadaşları, 2022 yılındaki çalışmalarında klasik tekniklerle tasarlanan bir robot kol sonu takımının, üretken tasarım yazılımları aracılığıyla yeniden optimize edilmesini ve tasarlanmasını ele almışlardır. Fusion 360 platformunda gerçekleştirilen analizler neticesinde; üretken tasarım yöntemiyle geliştirilen uç işlevcinin, geleneksel tasarıma kıyasla yer değiştirme miktarında üç kat, maksimum gerilme değerlerinde ise iki kat iyileşme sergilediği saptanmıştır (Bulduk ve diğ, 2022).



Şekil 1.8: Maksimum gerilmesi yarıya indirilen robot kol (Bulduk ve diğ, 2022).

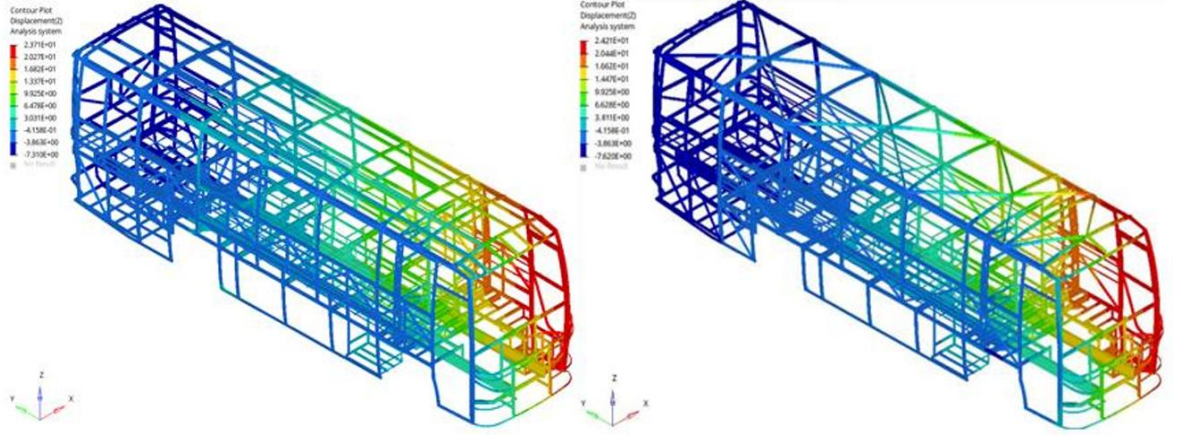
Sırmalılar ve arkadaşları, 2022 yılındaki çalışmalarında otomobil endüstrisinde kullanılan volanın malzeme maliyetini azaltmak üzere boyut optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyonun yapılmasında bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi ile volanın çalışma koşulları simüle edilmiş, parametrik optimizasyon yöntemi ile volan için istenen mekanik özellikleri sağlamanın yanı sıra maliyeti en düşük tutacak şekilde optimizasyon yapılmıştır. Bu çalışma sonunda volan ağırlığından %6,93 azaltma sağlanmıştır (Sırmalılar ve diğ, 2022).



Şekil 1.9: Ağırlığı %6,93 oranında azaltılan volan (Sırmalılar ve diğ, 2022).

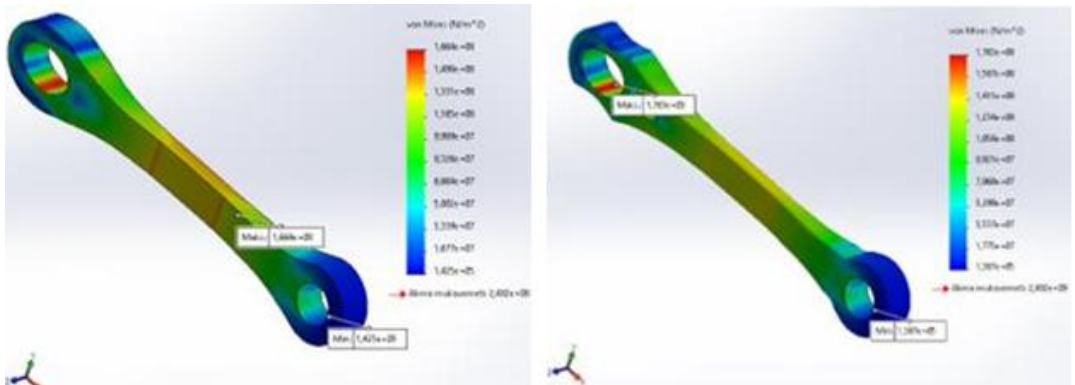
Karamert ve Demir, 2022 yılındaki çalışmalarında ticari bir otobüs gövdesine topoloji optimizasyonu tekniklerini uygulayarak, gövdeyi oluşturan profil örgü yapısının yeniden yapılandırılması üzerine kapsamlı bir optimizasyon süreci yürütmüşlerdir. Gövde yapısı, sonlu elemanlar analizi (FEA) tabanlı bilgisayar simülasyonları aracılığıyla yapısal bir optimizasyon sürecinden geçirilmiştir. Bu optimizasyon çalışmaları öncesi ve sonrasındaki analizler ile ölçülen gövde katınlıkları karşılaştırılmış ve gövde katılığında

%2,78'lik bir azalma gözlenmiş ve otobüs gövde yapısında da %8,96'lık ağırlık kazancı elde edilmiştir (Karamert ve Demir, 2022).



Şekil 1.10: Ağırlığı %8,96 oranında azaltılan otobüsün gövde yapısı (Karamert ve Demir, 2022).

Ulusoy ve arkadaşları, 2022 yılındaki çalışmalarında raylı sistem araçlarının koşum takımı üzengisi için topoloji optimizasyonu metodolojisi uygulamıştır. Koşum takımı, yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan raylı sistem araçlarının birlikte hareket edebilmesini sağlayan bağlantı ekipmanlarının genel adıdır. Bu çalışmada, modelin iyileştirilerek ağırlığının azaltılması hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında SolidWorks ortamında 3D tasarımı oluşturulmuş, yoğunluk tabanlı yöntemden türetilen SIMP yöntemi ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Topoloji optimizasyonu uygulaması sonucu, koşum takımı üzengisinin kütlesi %9,04 oranında azaltılmıştır (Ulusoy ve diğ, 2022).



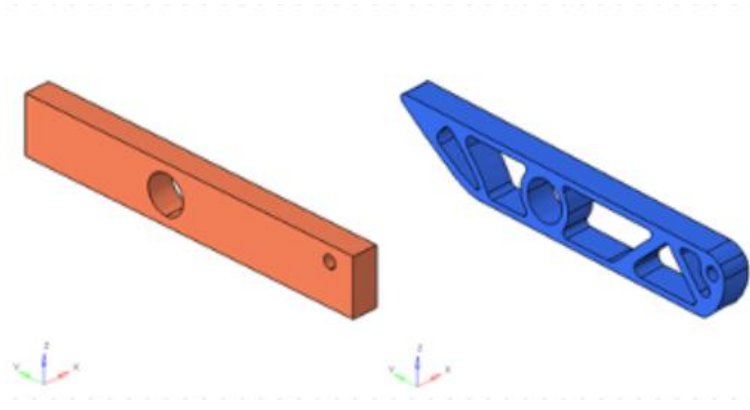
Şekil 1.11: Kütlesi %9,04 oranında azaltılan koşum takımı üzengisi (Ulusoy ve diğ, 2022).

Gafurzade, 2022 yılındaki çalışmasında dron gövde parçasına topoloji optimizasyonu uygulamıştır. Tasarımı Fusion 360, analizler ise ANSYS Workbench 'de yapılmıştır. Çalışmada karbon elyaf takviyeli ABS malzeme, saf ABS ve ONYX malzemeleri kullanılmıştır. Başlangıç halinde 4.1734 kg olan kütle, topoloji optimizasyonu yapıldıktan sonra %52,4 oranında kütle azaltılıp 2.1873 kg'a kadar düşürülmüştür. Diğer imalat yöntemlerinde bu şekilde bir parçanın imalatı yapılıyor olsaydı; kalıp malzemesi, çalışan, makine gibi faktörlerin devreye girmesi, maliyetleri önemli oranda artırmakta ve süreci karmaşık hale getirmiş olacaktı. Ancak eriyik biriktirme yönteminde bunu benzer proseslerin bulunmaması parçaların direkt olarak modelden üretilebilirliği, imalat için farklı ekipmana ve çalışana gerek kalmaması süreci kolaylaştırmaktadır. Üretimi gerçekleştirilecek olan dronun tarımsal ilaçlama gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılması amaçlanmaktadır (Gafurzade, 2022).



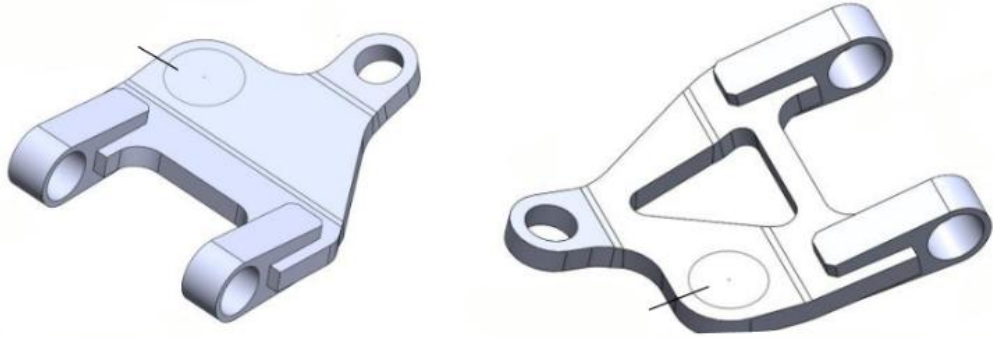
Şekil 1.12: Kütlesi %52,4 azaltılan Dron gövdesi (Gafurzade, 2022).

Albak, 2019 yılındaki çalışmasında Formula SAE (*Society of Automotive Engineers*) aracı için parça ağırlıklarının azaltılması amacıyla, fren pedalına yapısal optimizasyon uygulamıştır. Fren pedalı tasarım sürecinde; yüksek mukavemeti, üstün mekanik karakteristikleri ve maliyet etkinliği göz önünde bulundurularak, malzeme tercihi Alüminyum 7075-T6 alaşımından yana kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonunda sonlu elemanlar modellemeleri için HyperMesh, topoloji optimizasyonunda Optistruct ve sonuçları incelemek için ise HyperView programları kullanılmıştır. Topoloji optimizasyonunda malzeme dağılım metodu seçilmiştir. Yeni oluşturulan fren pedalı tasarımı ilk tasarıma göre %11,65 daha hafiftir (Albak, 2019).



Şekil 1.13: %11,65 oranında hafifletilen fren pedalı (Albak, 2019).

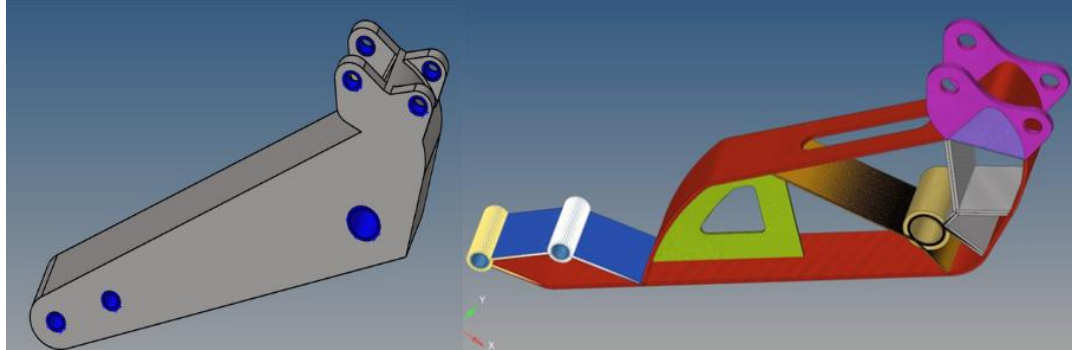
Topaç ve arkadaşları, 2017 yılındaki çalışmalarında dört çekişli, iki akslı bir askeri taşıtın bağımsız ön süspansiyonunda kullanılacak alt salıncağın yapısal tasarımını topoloji optimizasyonu yardımıyla gerçekleştirmiştir. Topoloji optimizasyonu yönteminin odağında, tasarım alanı içerisindeki malzeme yoğunluğunu optimize ederek, hedeflenen yükler altında maksimum rijitlik sağlayan geometrik formu elde etmek yer almaktadır. Çalışmada ANSYS Workbench uygulaması bünyesinde bulunan topoloji optimizasyonu modülünden yararlanılmıştır. Elde edilen yeni tasarımda, ilk tasarıma göre %19,25 oranında kütle azaltımı gerçekleştirilmiştir (Topaç ve diğ, 2017).



Şekil 1.14: Kütlesi %19,25 oranında azaltılan alt salıncak takımı (Topaç ve diğ, 2017).

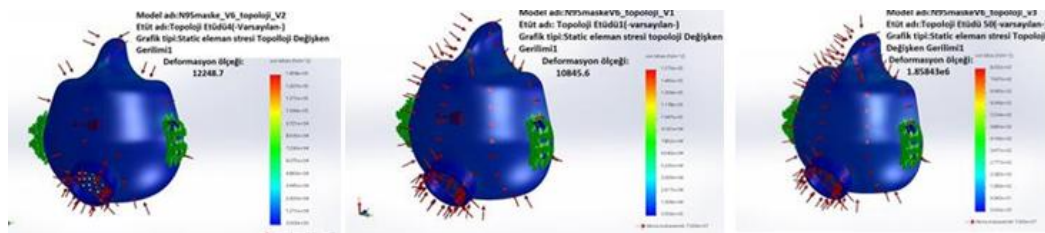
Khairalla, 2024 yılındaki çalışmalarında mini kazıcı-yükleyici ekskavatörün arka koluna topoloji ve şekil optimizasyonunu uygulanacak ve aynı zamanda malzeme değişikliği ile ağırlığının azaltılması hedeflemektedir. Çalışmanın tasarımı SolidWorks, topoloji uygulaması ise HyperWorks programında gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta dökme demir ile üretilen modelin ağırlığı 26 kg, alaşım çelik ile üretilen modelin ağırlığı 25 kg'dır. Topoloji

optimizasyonu sonrası dökme demir olan model 20,71 kg'a, alaşım çelik olan model ise 20,79 kg'a düşmüştür. Optimizasyon sonrasında, her iki malzeme için optimum tasarımın ağırlığı, optimize edilmeyen tasarıma göre yaklaşık %30 daha hafiftir (Khairalla, 2024).



Şekil 1.15: Ağırlığı %30 oranında azaltılan mini kazıcı-yükleyici ekskavatörün arka kolu (Khairalla, 2024).

Özsoy ve arkadaşları, 2020 yılındaki çalışmalarında, 3D Printer (Crealty3D Ender-3 Pro) ve SolidWorks programı ile topoloji optimizasyon modülü kullanarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Tamamlanan çalışma günlük hayatta kullanılan N95 maske tasarımı üzerinde yapılan topoloji optimizasyonunu kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlarda N95 maske %30, %40 ve %50 hafifletme oranında topoloji optimizasyonu uygulanmıştır (Özsoy ve diğ, 2020).



Şekil 1.16: Ağırlığı %30, %40, %50 oranında azaltılan N95 maskesi (Özsoy ve diğ, 2020).

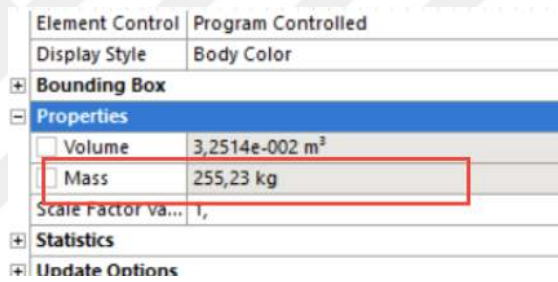
Bu model üzerinde çalışmamın asıl nedeni; yapmış olduğum literatür araştırmalarının çoğunda tek bir parça için yapılan analizler ve optimizasyonlar bulunmaktadır (Becergeren ve diğ, 2022; Chen ve diğ, 2025; Görgün, 2022; Kayacan ve Alshihabi, 2024; Kılıçarpa ve diğ, 2022; Ramasamy ve diğ, 2025; Nalbant, 2021; Şanlıer ve diğ, 2021; Şen, 2021; Tanrıverdi ve Ay, 2020; Yuan ve diğ, 2025). Bu çalışmanın farkı ve önemi, çoklu parçadan oluşup bunların montajlanarak analizin ve optimizasyonunun yapılmasıdır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, endüstriyel alanlarda kaldırma veya taşıma görevi gören örnek bir aparata topoloji optimizasyon uygulanmıştır. Oldukça ağır ve birçok alanda sık kullanıldığı için bu parça seçilmiştir.

Montajlı halde olan modelin başlangıçtaki sınır şartlarını korumak ve aynı yüklemeler ile daha az malzeme kullanarak yeni bir tasarım elde etmek ve bu şekilde daha az malzeme ile aynı görevi yapan yeni bir tasarım elde etmek hedeflenmiştir.

Çalışmanın amacı, Şekil 2.1’de gösterilen yaklaşık 255 kg ağırlığı olan modeli daha hafif hale getirerek hem malzeme kullanımını azaltmak hem de enerji verimliliğini artırmaktır.

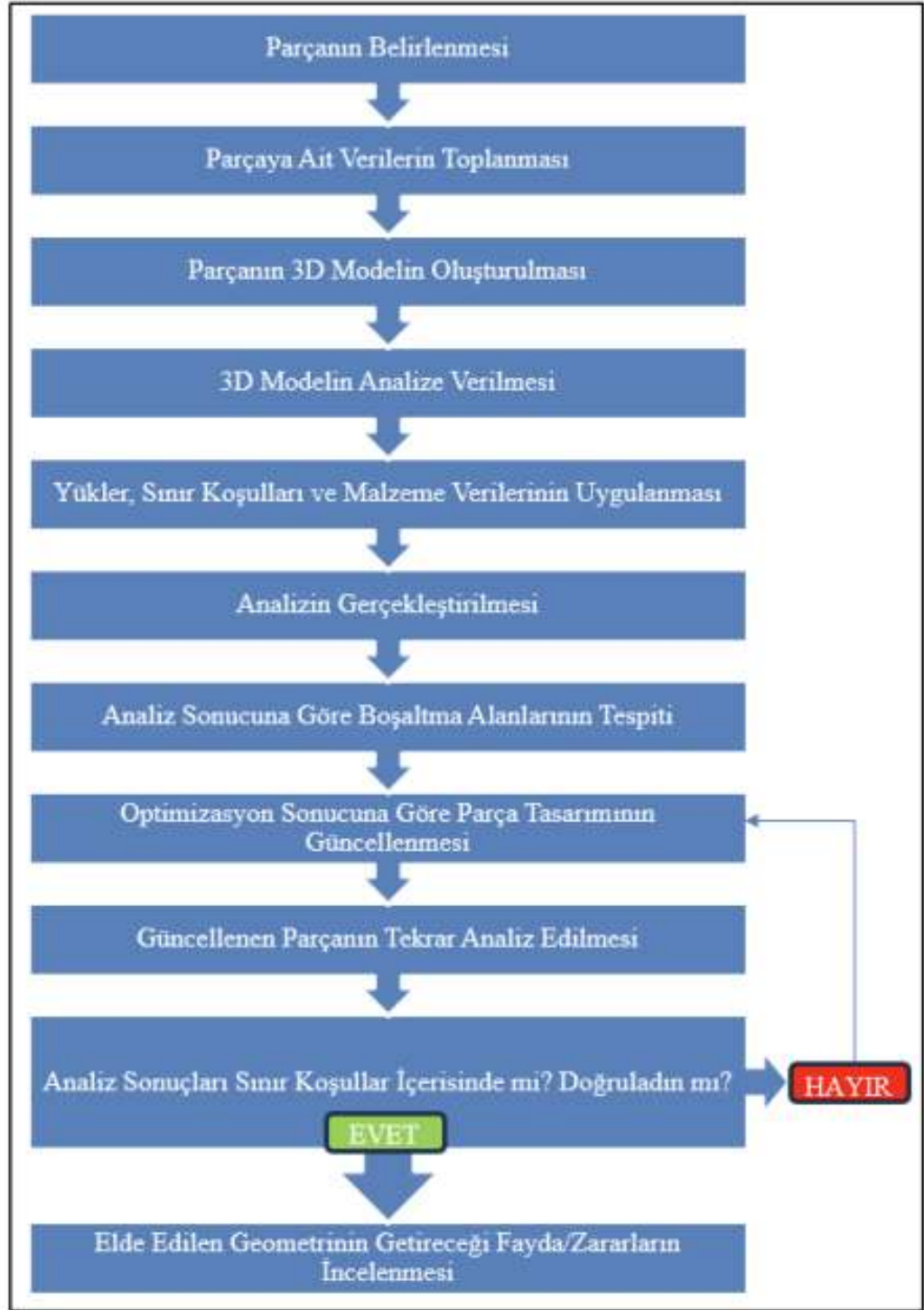


Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
+ Bounding Box	
- Properties	
☐ Volume	3,2514e-002 m ³
☐ Mass	255,23 kg
Scale Factor va...	1,
+ Statistics	
+ Update Options	

Şekil 2.1: Modelin başlangıçtaki ağırlığı.

Enerji verimliliğinin artması, daha düşük enerji maliyetleri anlamına gelir. Bununla beraber enerji tüketiminin azalması, karbon salınımını da düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Sonuç olarak hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha avantajlı bir durum ortaya çıkarır.

Şekil 2.2’de çalışmanın optimizasyon metodolojisi verilmiştir. Çalışma bu aşamalar takip edilerek tamamlanmıştır.

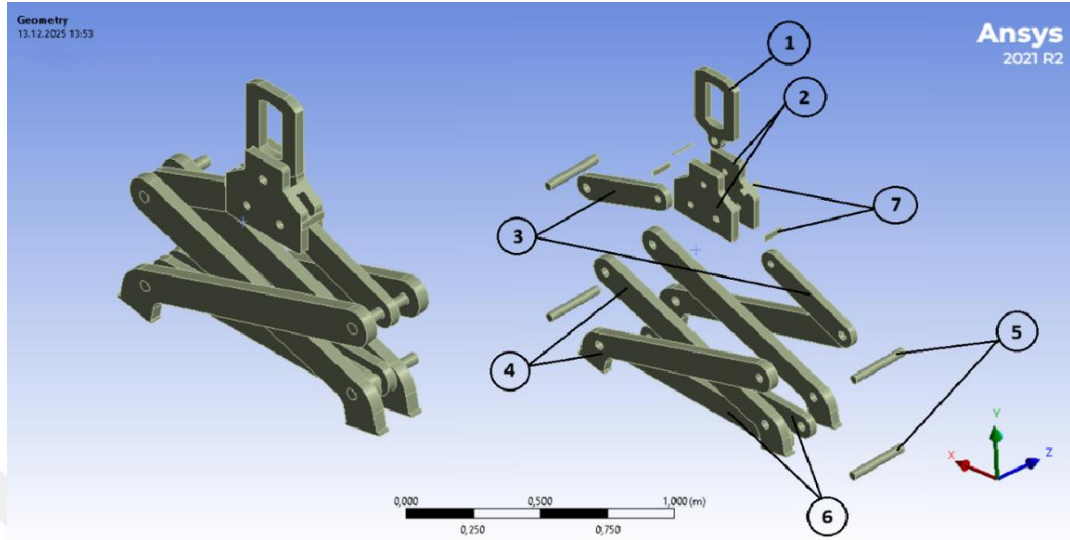


Şekil 2.2: Optimizasyon metodolojisi (Nazlı ve Özsoy, 2024).

2.1 Modelin CAD Dosyalarının SolidWorks Yazılımında Tasarımı

Bu model, cıvata bağlantıları hariç olmak üzere 11 ayrı parçadan oluşmaktadır. Halihazırda kullanılmakta olan kaldırma-taşıma aparatı olup, ölçüleri modelin üzerinden

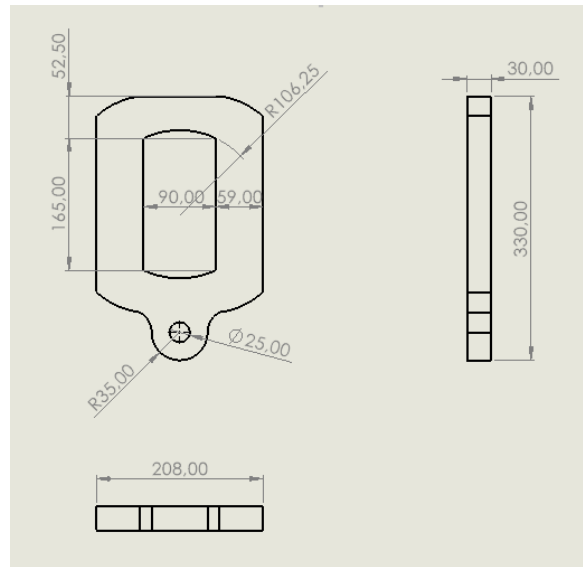
alınarak SolidWorks 2025 yazılımında çizilmiştir. Modelin montajlı hali ve modeli oluşturan parçalar numaralandırılarak Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Modelin montajlı görünümü.

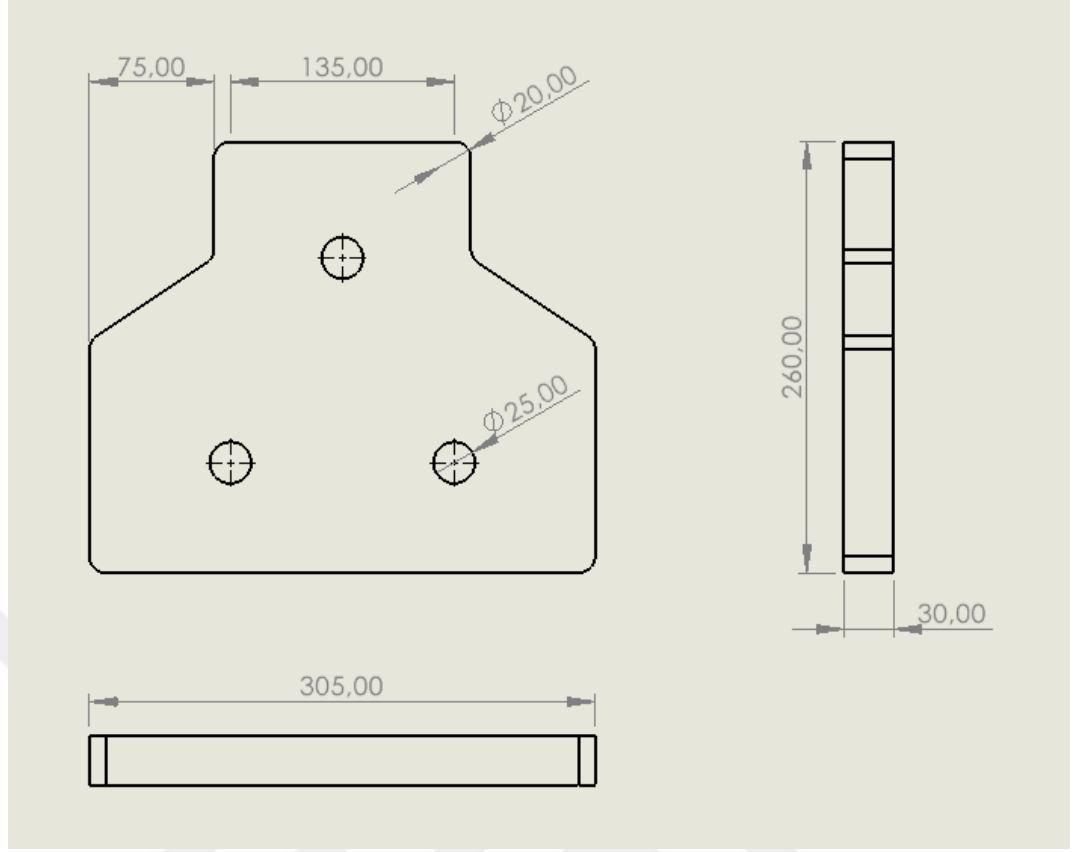
2.1.1 Modeli oluşturan parçaların teknik resimleri

Şekil 2.3’deki, 1 nolu parçanın teknik resmi ölçüleri ile birlikte Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



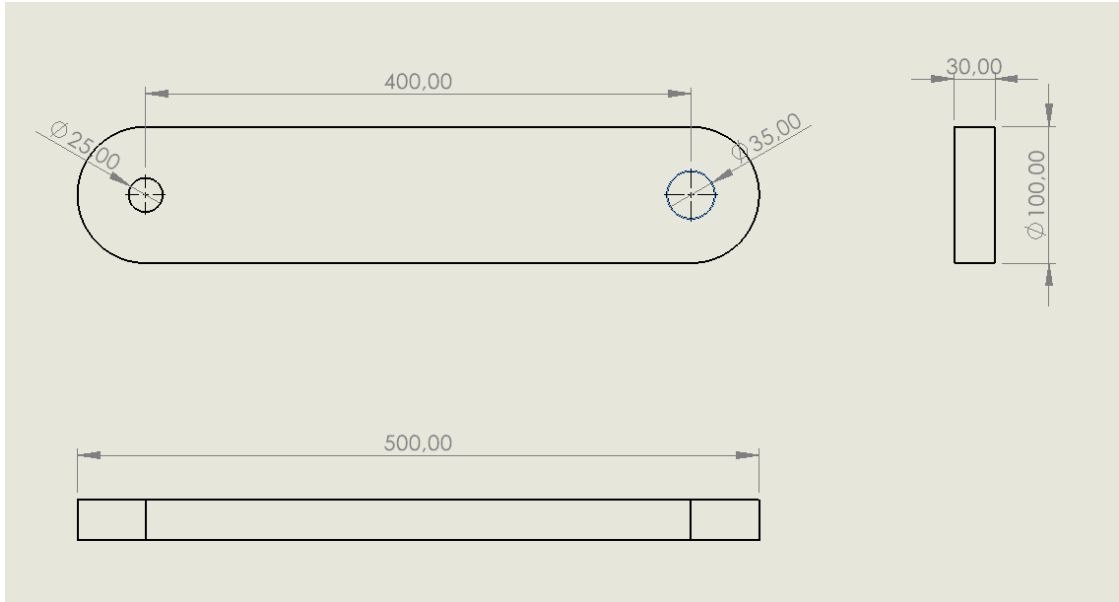
Şekil 2.4: 1 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3’deki, 2 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



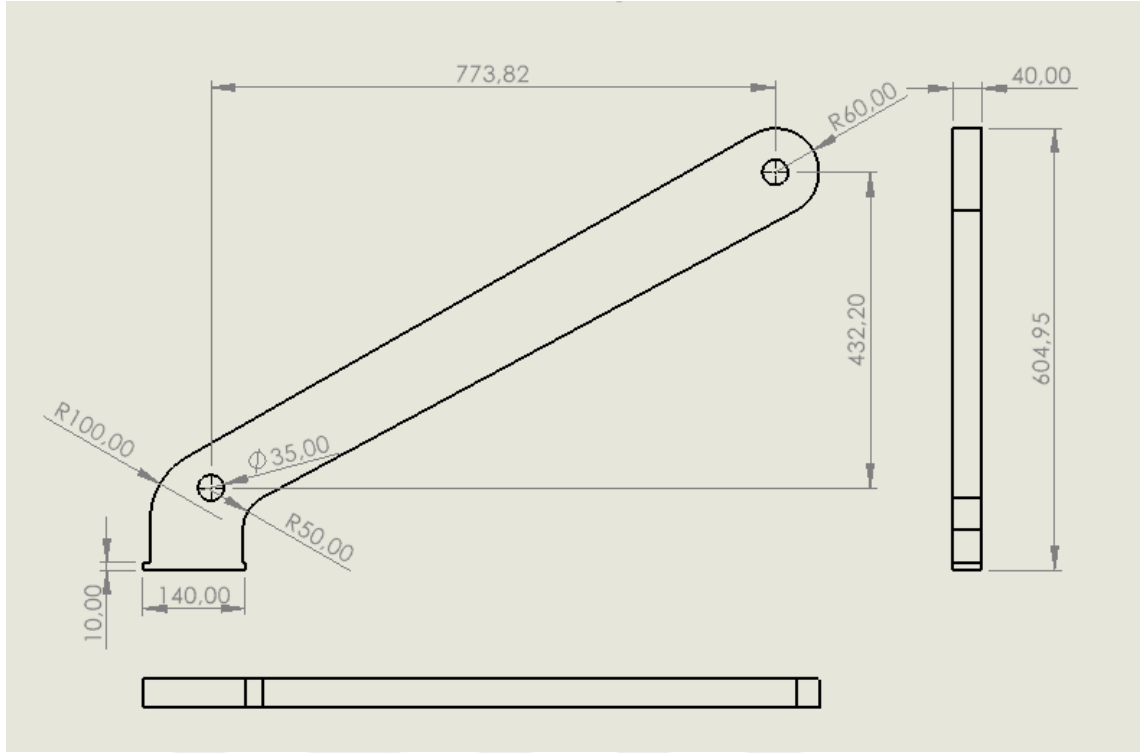
Şekil 2.5: 2 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3'deki, 3 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.6'de gösterilmiştir.



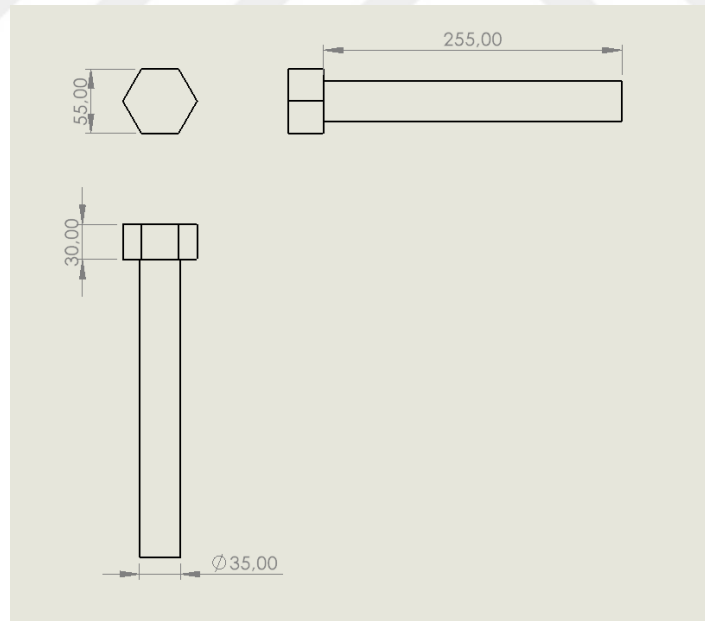
Şekil 2.6: 3 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3'deki, 4 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



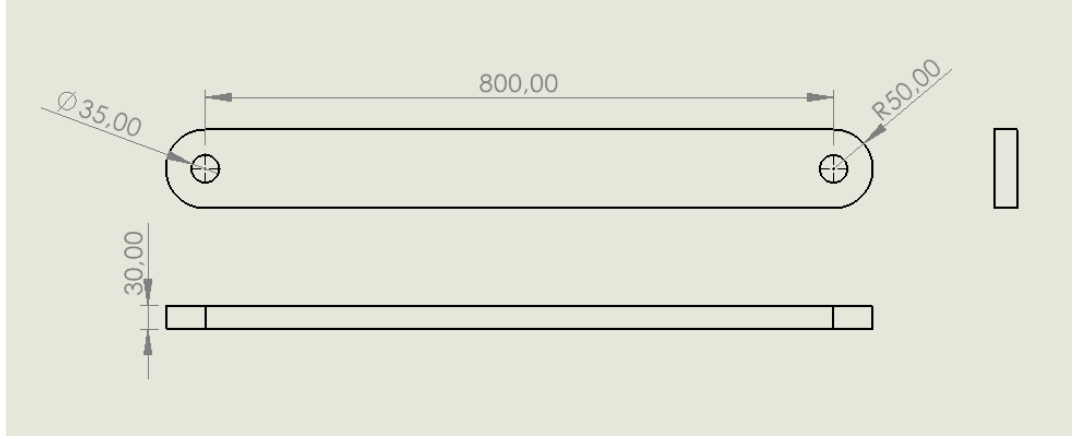
Şekil 2.7: 4 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3'deki, 5 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



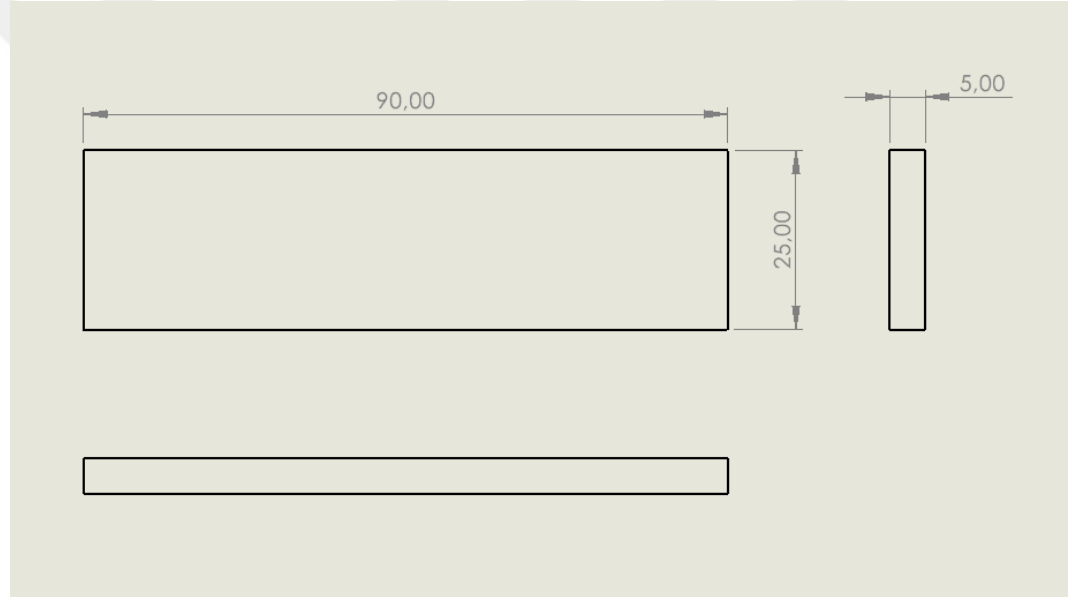
Şekil 2.8: 5 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3'deki, 6 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.9'de gösterilmiştir.



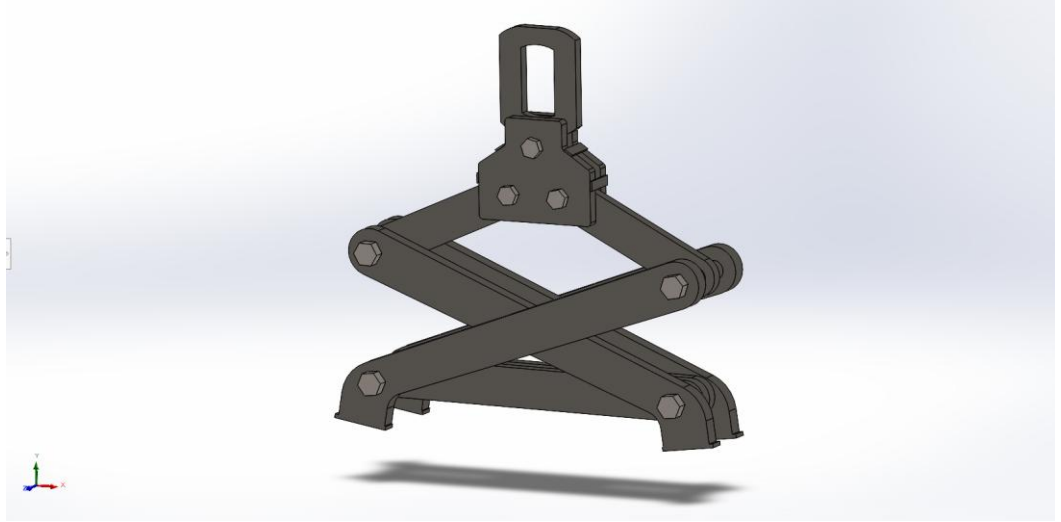
Şekil 2.9: 6 nolu parçanın teknik resmi.

Şekil 2.3'deki, 7 nolu parçanın teknik resmi Şekil 2.10'de gösterilmiştir.



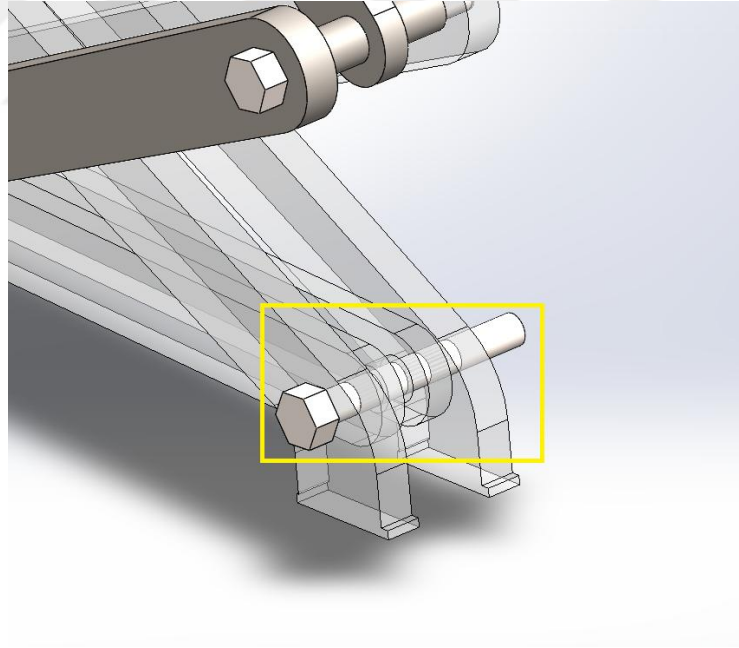
Şekil 2.10: 7 nolu parçanın teknik resmi.

Daha sonra Şekil 2.11'deki gibi bu parçalar montajlanarak tek bir model haline getirilmiştir.



Şekil 2.11: Modelin SolidWorks çizimi.

Cıvatalar detaylı dişli yapılar olduğundan dolayı, analiz aşamasında çözüm süresini çok uzatır ve bilgisayarın kapasitesini verimsiz kullanmamıza neden olur. Bu problemleri bir miktar da olsa basitleştirmek için modelde yer alan tüm cıvatalar, düz bir mil olarak tasarlanıp, bu şekilde kabul edilip analizleri yapılmıştır (Şekil 2.12).



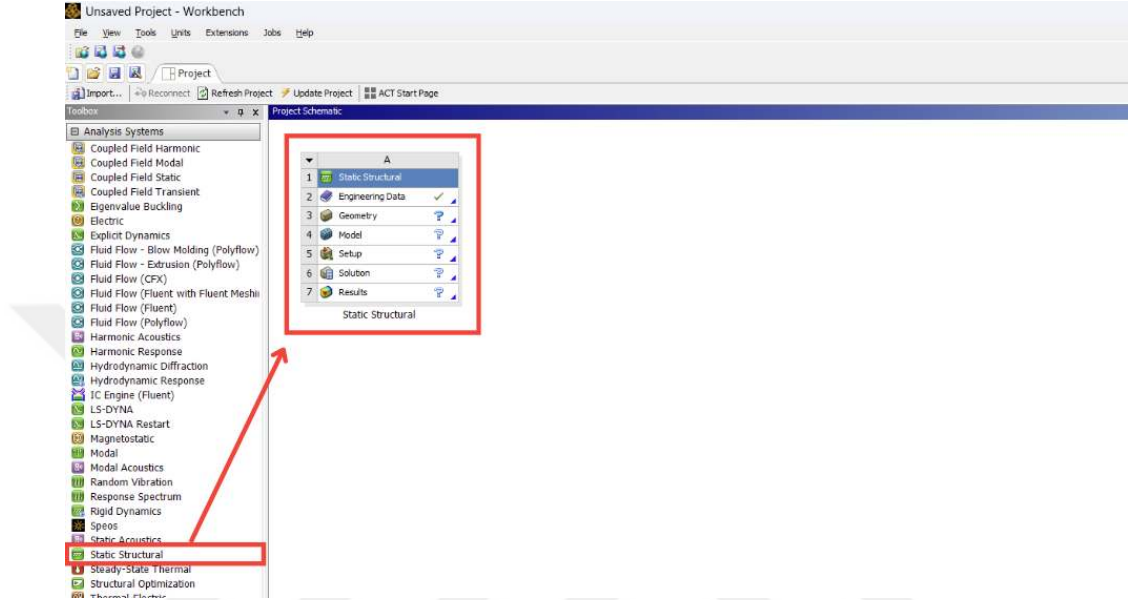
Şekil 2.12: Modeldeki cıvata tasarımı.

SolidWorks 2025’de çizilen ve montajı yapılan model analizlerinin yapılması için, modelin “.step” formatlı dosyası ANSYS Workbench 2021 yazılımına aktarılmıştır.

Lineer statik analiz ifadesi, mühendislik disiplinlerinde ve fiziksel sistemlerin teorik incelenmesinde, yapısal davranışları tanımlamak için başvurulan temel bir yaklaşımdır. Bu

terim, sistemde yer alan malzeme davranışının lineer ve statik koşullarda incelendiği bir tür analizi ifade etmektedir (Khairalla, 2024).

Bu çalışmada; atalet kuvvetleri, darbe, çarpışma gibi ani ve süreklili yüklemeler, ivmelenme gibi etkenler olmadığından bu problem statik bir problemdir. Dolayısı ile ANSYS Workbench'in "Static Structural" modülünde analizler yapılmıştır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: ANSYS Workbench'de "Static Structural" modülünün seçimi.

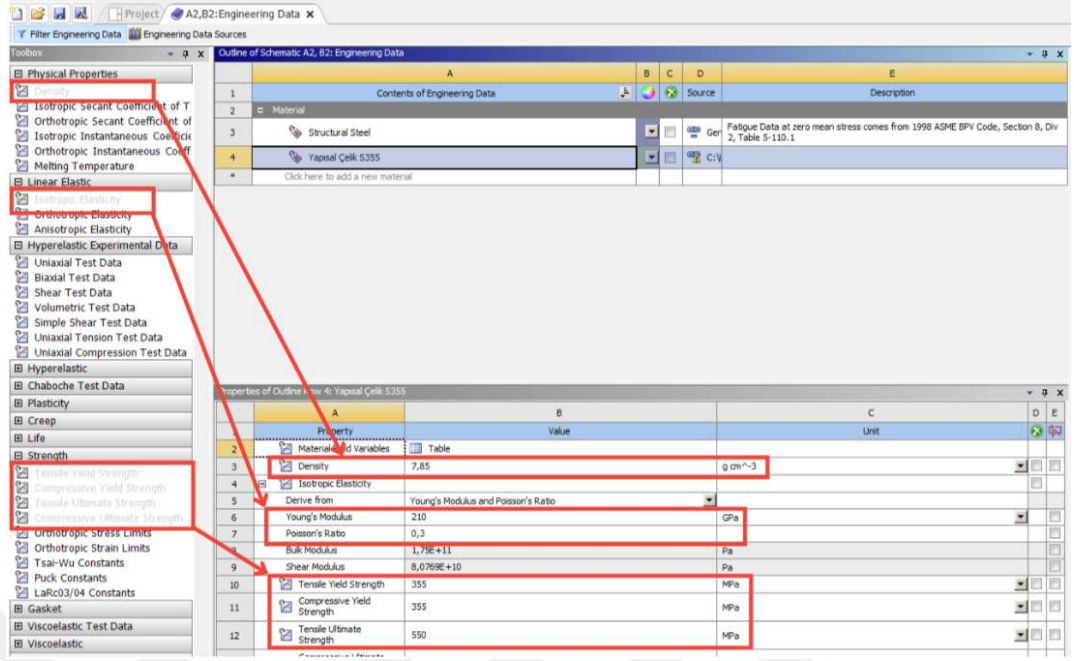
2.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Malzeme özellikleri "Engineering Data" kısmında yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan malzeme S355 yapısal çelik seçilmiştir. Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1: S355 yapısal çelik malzeme özellikleri (Bilim etiği-4).

Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk	7,85 g/cm ³
Mekanik Özellikler	
Elastisite Modülü	210 GPa
Poisson Oranı	0,3
Akma Dayanımı	355 MPa
Çekme Dayanımı	550 MPa

Şekil 2.14'de görüldüğü gibi eklenmesi istenilen malzeme özellikleri sol tarafta yer alan unsur ağacından gösterilen alana sürüklenerek eklenmiştir.

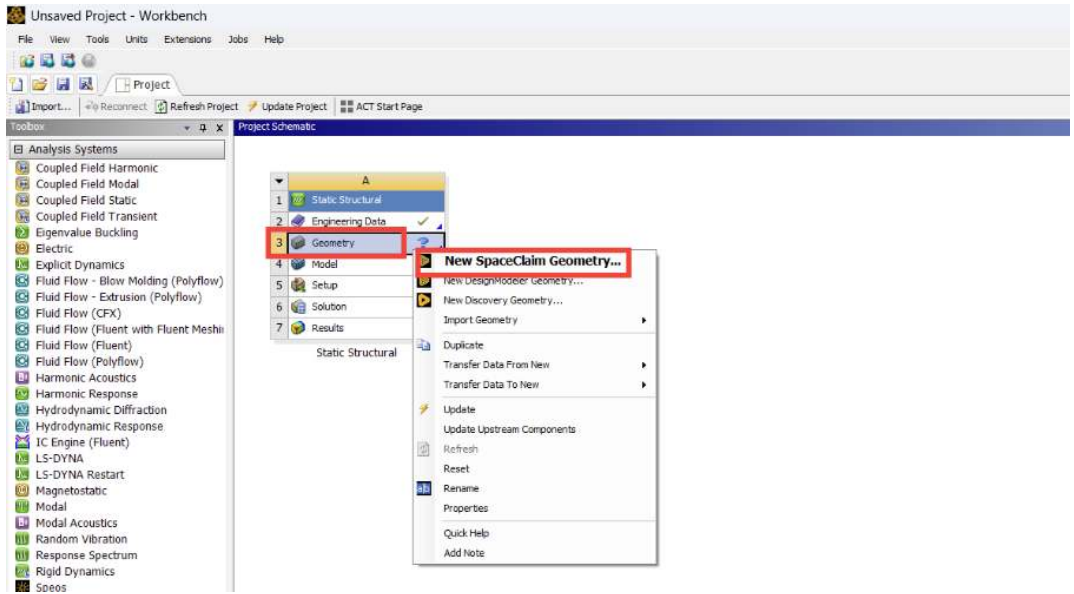


Şekil 2.14: Malzeme özelliklerinin tanımlanması.

Özellikler değerleri ve birimleri ile birlikte girilmiştir. Buradaki işlem bittikten sonra yazılıma modeli yüklemek için bu sayfa kapatılıp, modülün ana ekranına tekrar geçiş yapılır.

2.3 Modelin ANSYS Workbench Yazılımına Aktarılması

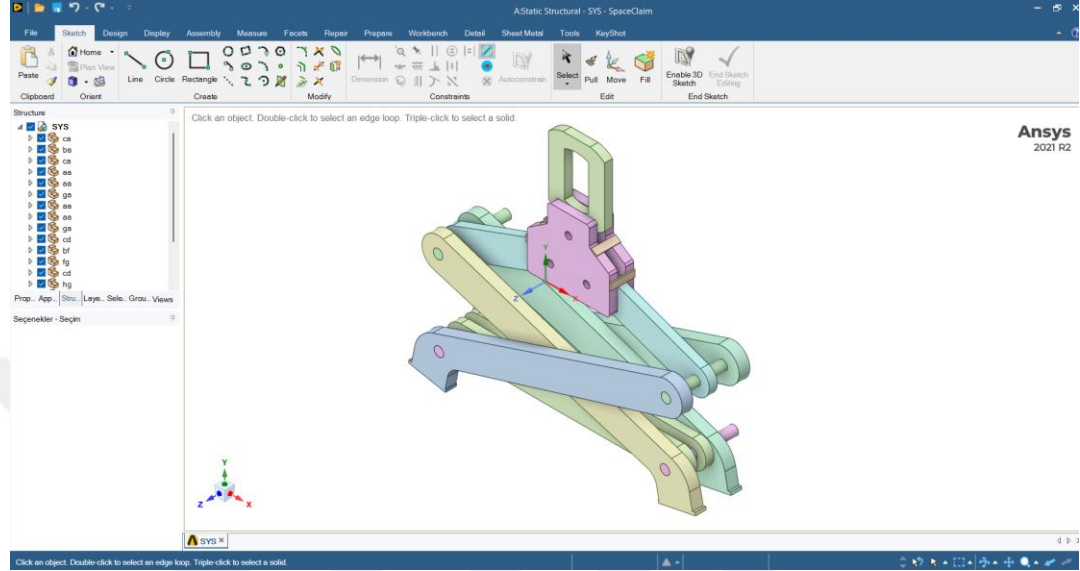
“Geometry” seçildikten sonra “New SpaceClaim Geometry...” seçilerek Space Claim’e giriş yapılmıştır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: SpaceClaim modülünün açılması.

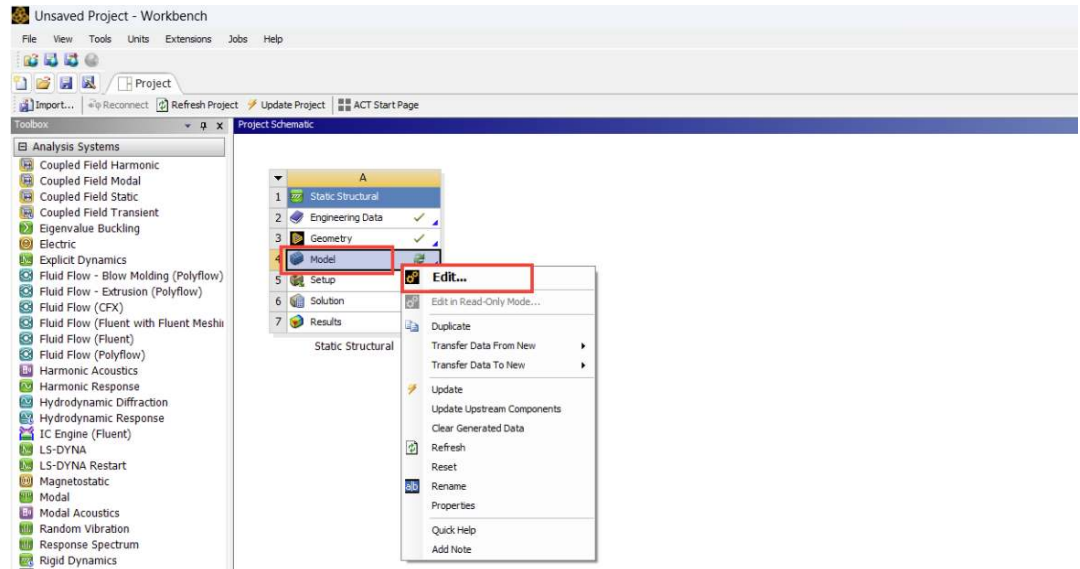
Bu modül ile 3D modelleri hızlı bir şekilde oluşturabilir veya düzenleyebiliriz. Bu modül ANSYS Workbench ile entegre olarak çalışmaktadır.

Daha önceden “.step” formatında kaydedilen modelin dosyası bu kısma yüklenmiştir (Şekil 2.16).



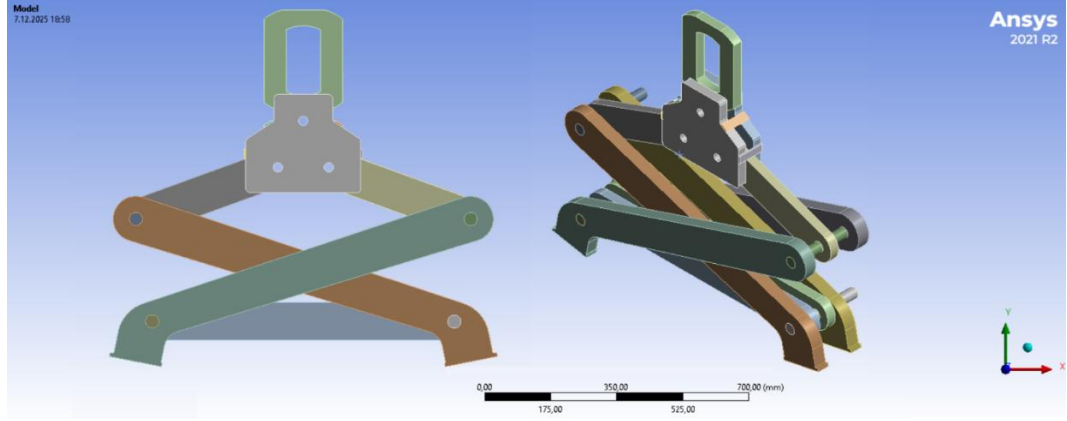
Şekil 2.16: Modelin SpaceClaim’e yüklenmesi.

ANSYS Workbench ana ekranında ilk olarak “Model” daha sonra “Edit...” seçeneği seçilerek “Mechanical” modülüne giriş yapılmıştır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Mechanical modülünün açılması.

Topoloji optimizasyonu yapılmadan önceki görseli Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Optimizasyon öncesi model görseli.

2.4 Mesh (Ağ Yapısının) Oluşturulması

Mesh, modeldeki parçaların iç yapısını küçük elemanlara ayırma işlemidir. Düğüm noktaları ise, bu elemanları birbiri ile kesiştiği noktalardır. Yapacağımız ve yapılmak istenen tüm analizler (gerilme, deformasyon vs.) bu noktalar üzerinde hesaplanır. Mesh işlemi analizin doğruluğu ve güvenilirliği konusunda önemlidir. Küçük bir mesh genelde daha doğru sonuçlar verir fakat aynı zamanda hesaplama süresini oldukça uzatır. Büyük mesh ise, çözüm süresini kısaltacak olsa da analizin doğruluğu gerçeğe yakın olmayabilir.

Cıvatalarda herhangi bir optimizasyon işlemi yapılmayacağı için, modelde yer alan cıvataların her biri 10 mm, diğer parçalar ise 6 mm olacak şekilde ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu değerler ile 175.239 adet mesh elemanına karşılık, 821.853 adet düğüm noktası oluşmuştur. Modelde oluşan mesh ve düğüm sayıları Şekil 2.19’de gösterilmiştir.

Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechan
☐ Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Aspect Ratio
☐ Min	1,0198
☐ Max	5,514
☐ Average	1,2023
☐ Standard Deviation	0,22263
Inflation	
Advanced	
Statistics	
☐ Nodes	821853
☐ Elements	175239

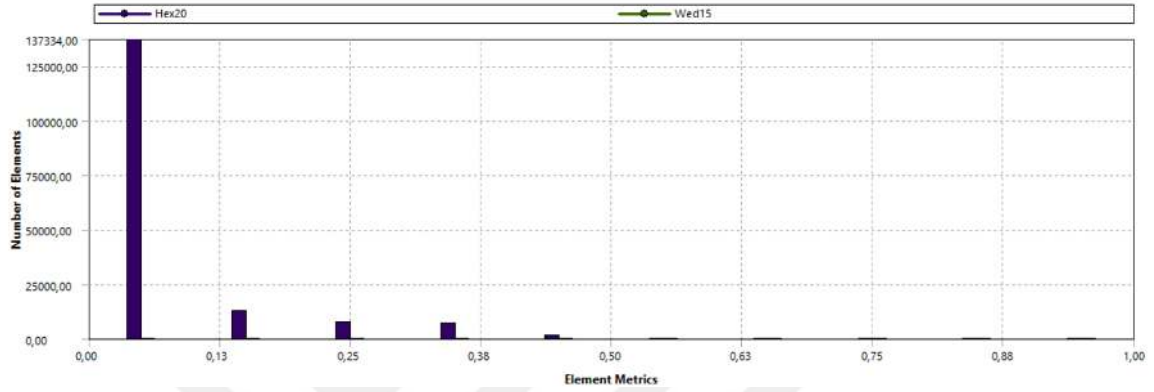
Şekil 2.19: Mesh eleman sayısı ve düğüm noktası bilgileri.

Mesh kalitesi ile ilgili bilgiler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Mesh bilgileri.

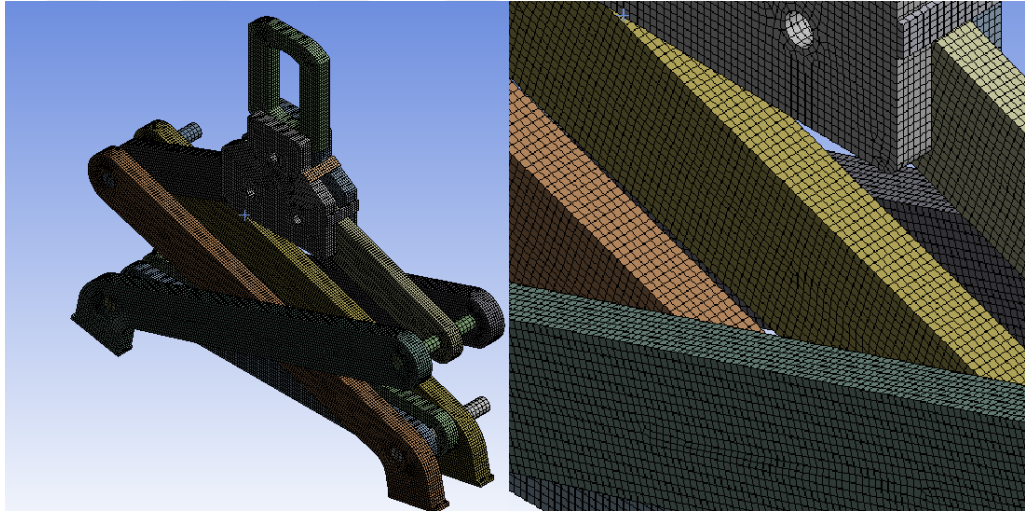
Ölçüt	Ortalama Değer
Element Quality	0,97166
Skewness (Çarpıklık)	0,051482

Modelleme için yapılan bu mesh işleminin kalitesi *skewness* cinsinden olup, Şekil 2.20’da görüldüğü gibi kaliteli bir mesh yapısı elde edilmiştir.



Şekil 2.20: Mesh elemanları kalite grafiği.

Model üzerinde ağ yapıları Şekil 2.21’de gösterilmiştir.

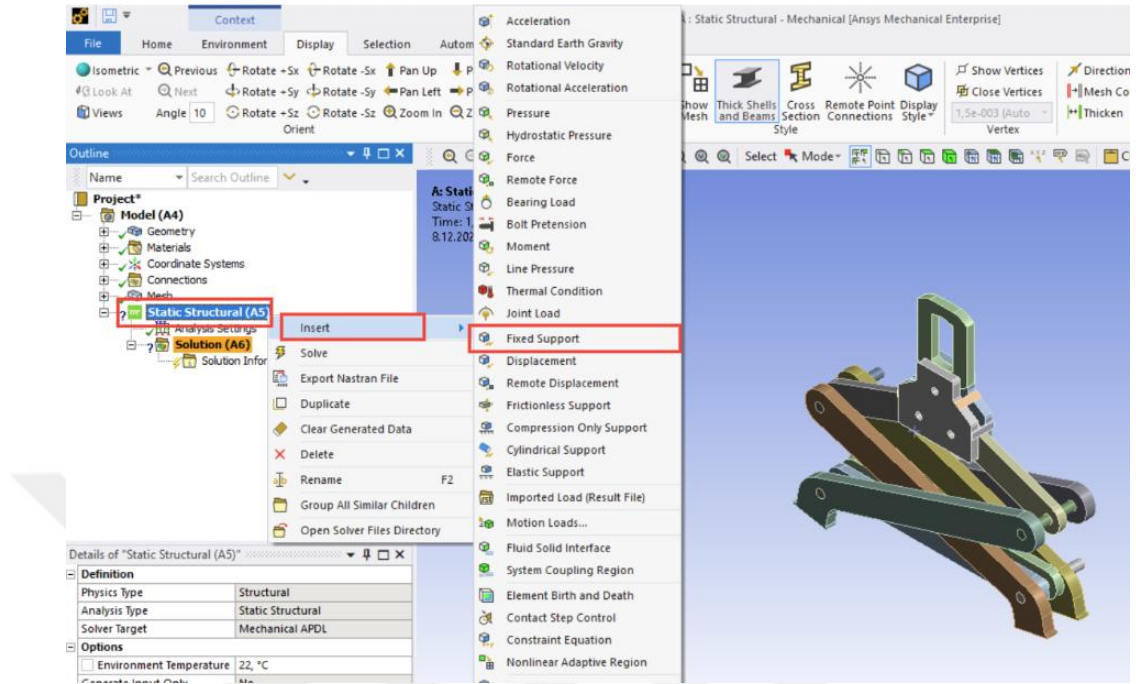


Şekil 2.21: Mesh yapısı.

2.5 Sınır Şartlarının ve Yüklemelerin Tanımlanması

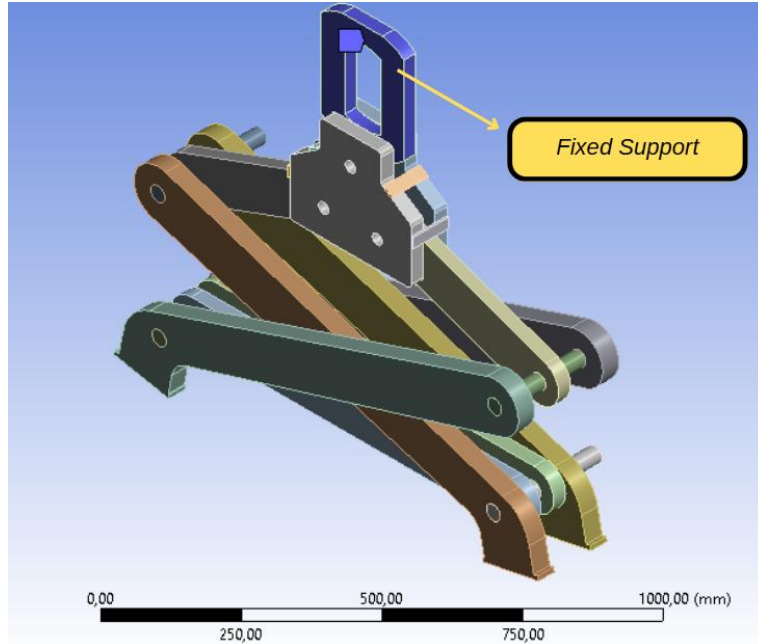
Bu bölümde malzeme tanımlanması ve ağ yapısı oluşturulan modelin analizine geçilmiştir. İlk olarak aparat gezer köprülÜ vince bağı çalışmaktadır. Bu vince bağı olan kanca, analizini yaptığımız aparatın üst kısmına yerleştirilerek çalışmaktadır. Bu yüzden

aparatin üst kısmı sabit olarak kabul edilmiştir. Bu işlem; “*Static Structural*”, “*Insert*”, “*Fixed Support*” adımları takip edilerek yapılmaktadır (Şekil 2.22).



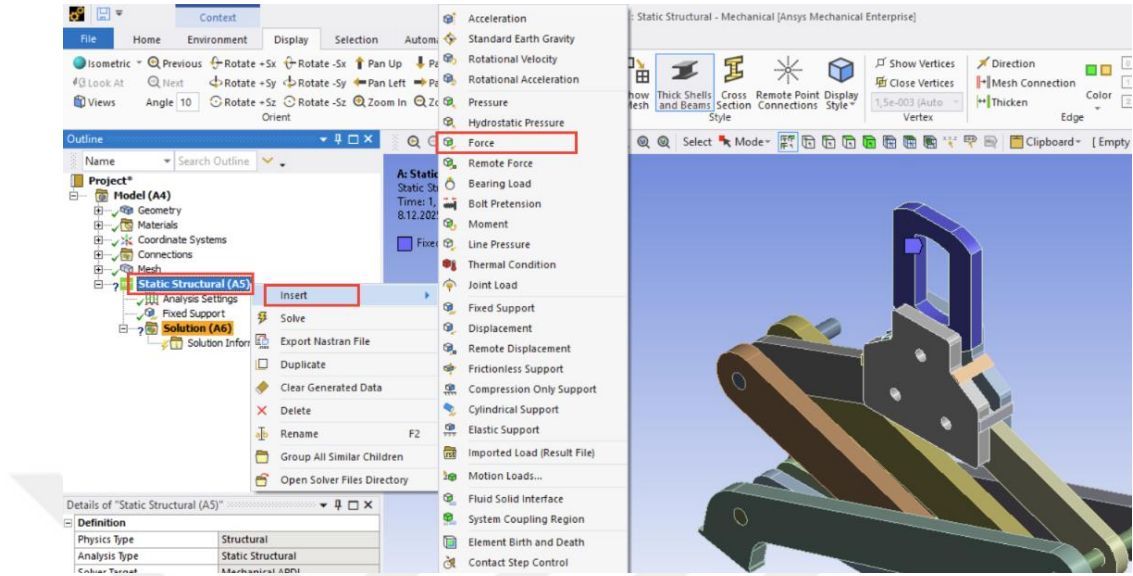
Şekil 2.22: Sabitleme komutu.

Sabitlemek istediğimiz parça seçilip onaylanmıştır (Şekil 2.23).



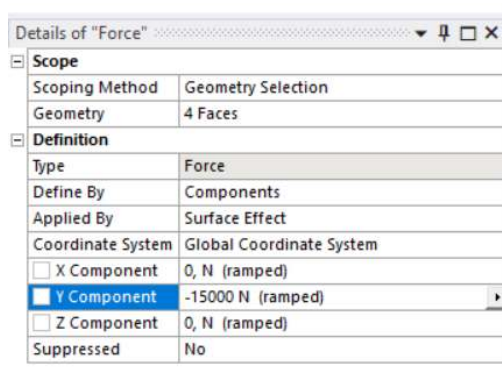
Şekil 2.23: Sabitlenen parça.

Bu aşamada modelin taşıyacağı yükler tanımlanmıştır. Bu işlem, “*Static Structural*”, “*Insert*”, “*Force*” adımları takip edilerek yapılmıştır (Şekil 2.24).

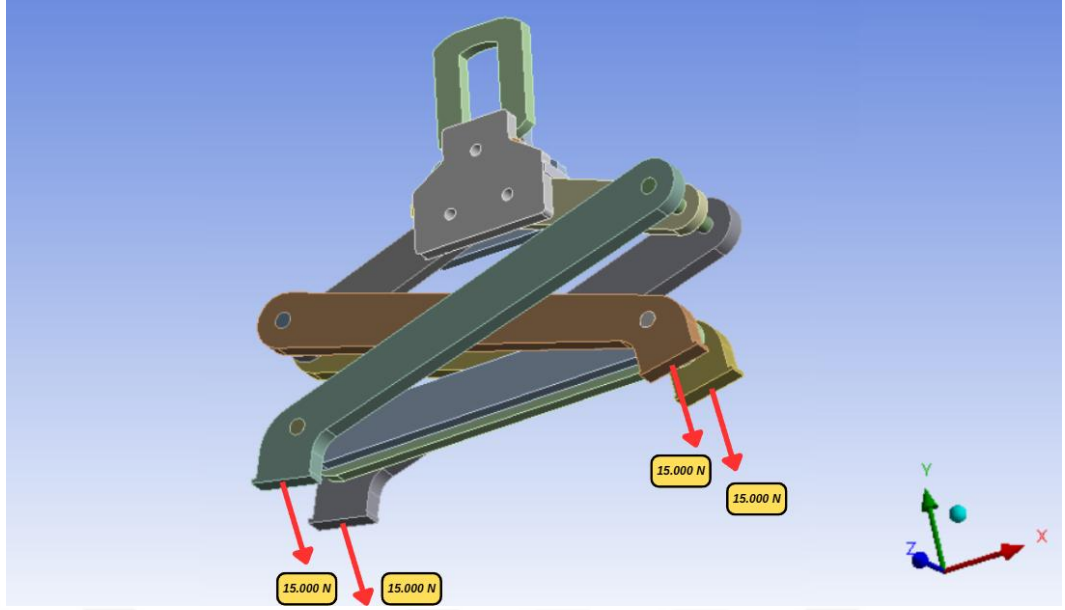


Şekil 2.24: Kuvvet yükleme.

Bu modelin 6.000 kg kütle taşıdığı göz önünde bulundurularak bunu ANSYS Workbench yazılımında belirtmek gerekmektedir. Bunun için, Şekil 2.25’de modelin her bir ayağına (-y eksenini yönünde) ve Şekil 2.26’da 15.000 N’luk yükler uygulanmıştır.



Şekil 2.25: -y yönünde uygulanan yükler.

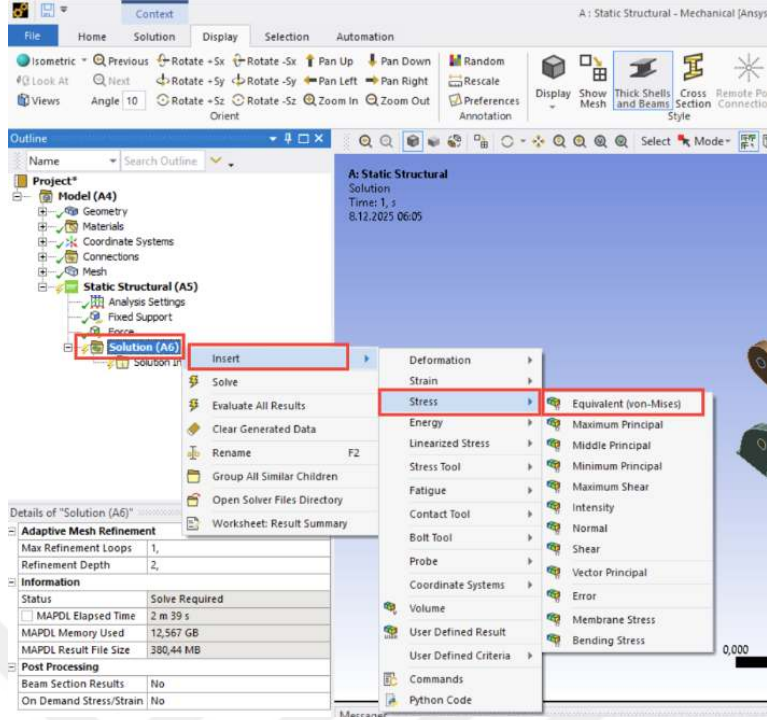


Şekil 2.26: Uygulanan yüklemeler.

Bu parametrelerin belirlenmesi ile birlikte modelin sınır şartları ve yüklemeleri tanımlanmıştır. Bu aşamada sonucunu görmek istediğimiz analizler eklenmiştir.

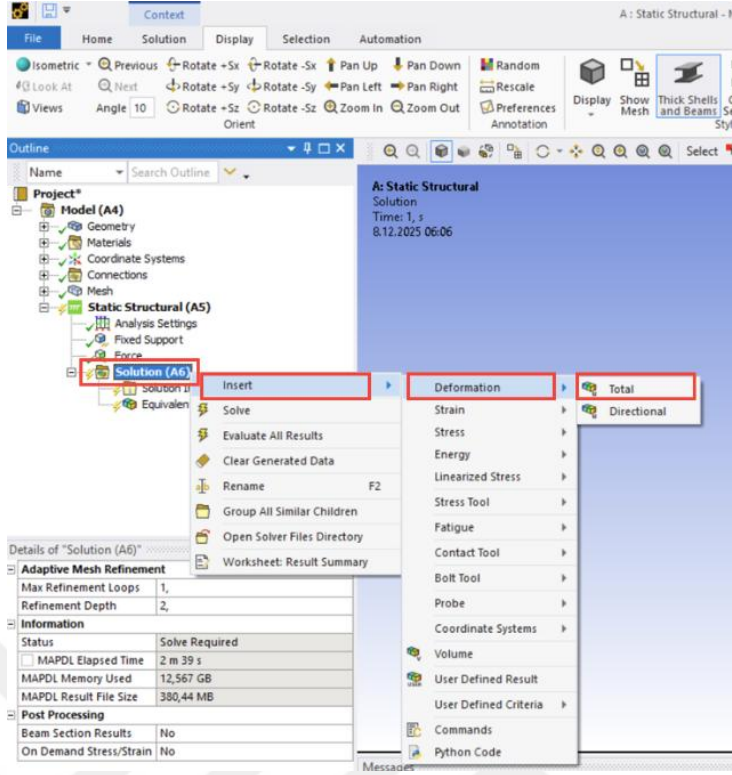
2.6 Analizlerin Eklenmesi ve Sonuçların Görüntülenmesi

Bu bölümde, modelin sınır şartları ve yüklemeler gibi parametreler eklendikten sonra sonucunu görmek istediğimiz gerilme ve yer değiştirme analizleri tanımlanmıştır. Bunun için ilk olarak von-Mises gerilmesi eklenmiştir. Bu işlem için, Şekil 2.27'deki gibi “Solution”, “Insert”, “Stress”, “Equivalent (von-Mises)” adımları takip edilmiştir.



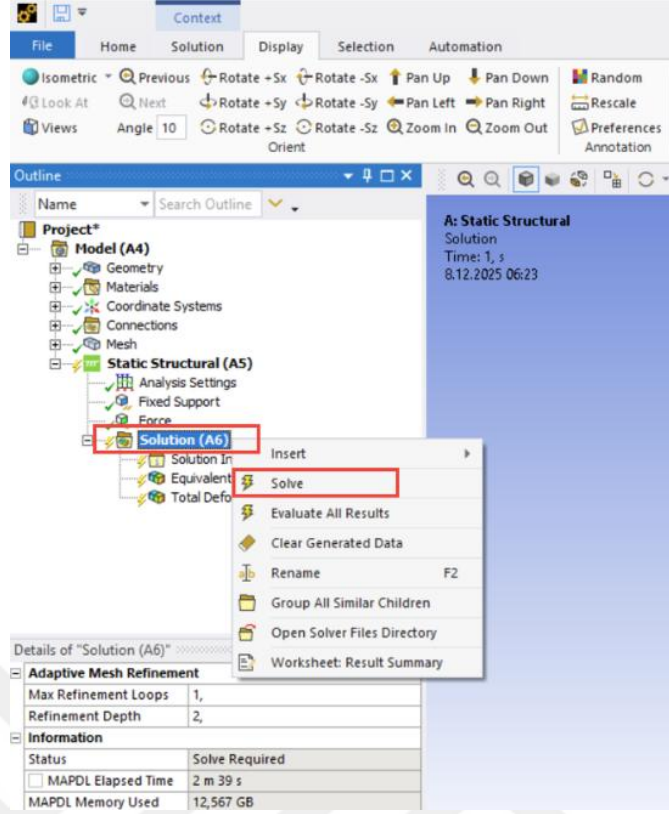
Şekil 2.27: von-Mises gerilme analizi eklenmesi.

Bir diğer sonucunu görmek istediğimiz değer ise toplam deformasyondur. Analizi eklemek için izlenmesi gereken işlem adımları; “*Solution*”, “*Insert*”, “*Deformation*”, “*Total*” takip edilmiştir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28: Toplam deformasyon analizi eklenmesi.

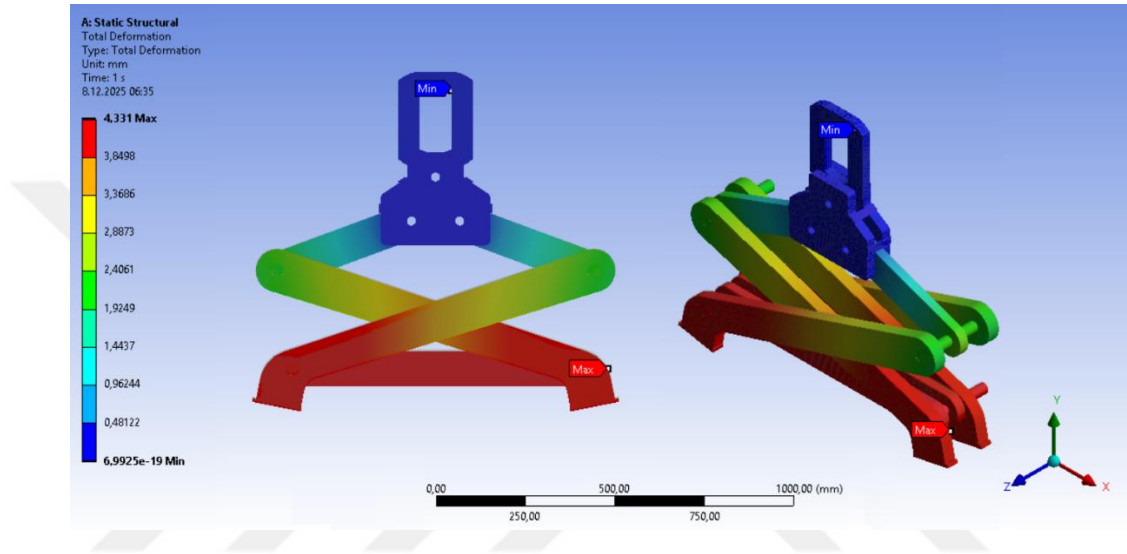
Çözüm için gerekli sınır şartları, yüklemeler ve analiz sonucu istenen analiz çeşitleri eklendikten sonra bu analizlerin çözümü yapılmıştır. Bunun için “Solution”, “Solve” adımları takip edilmiştir (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: Analiz çözümlerinin yapılması.

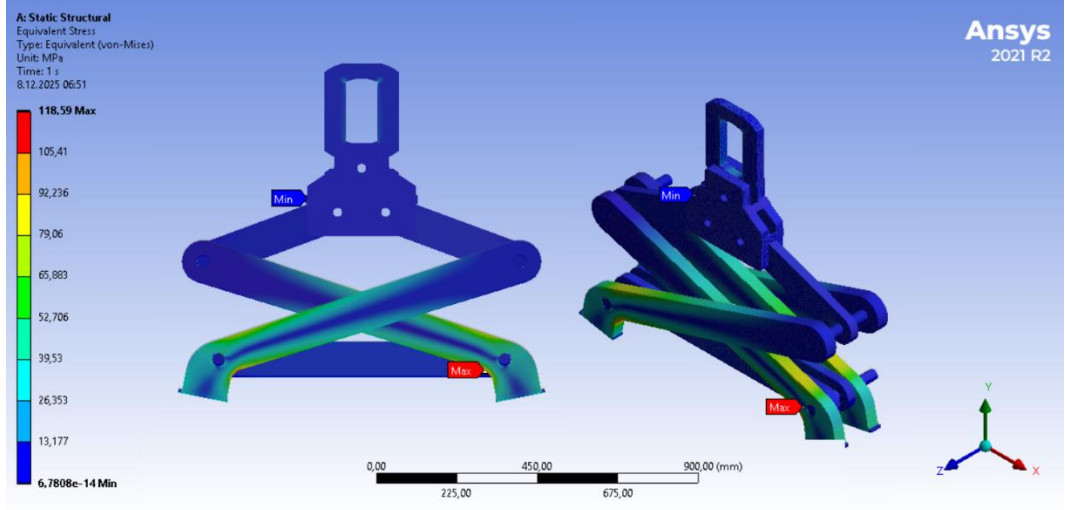
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde bütün analizlerin çözümü yapılmıştır. Çözümleme sonucu elde edilen toplam yer değiştirme miktarı maksimum 4,33 mm olup; maksimum deformasyon, sabit olan parçaya en uzak olan kısımda ve yüklemelerin olduğu bölgelere yakın kısımlarda meydana gelmiştir. Sabitlenen parçanın ise, yer değiştirmenin olmadığı (sıfır olduğu) görülmektedir (Şekil 3.1).



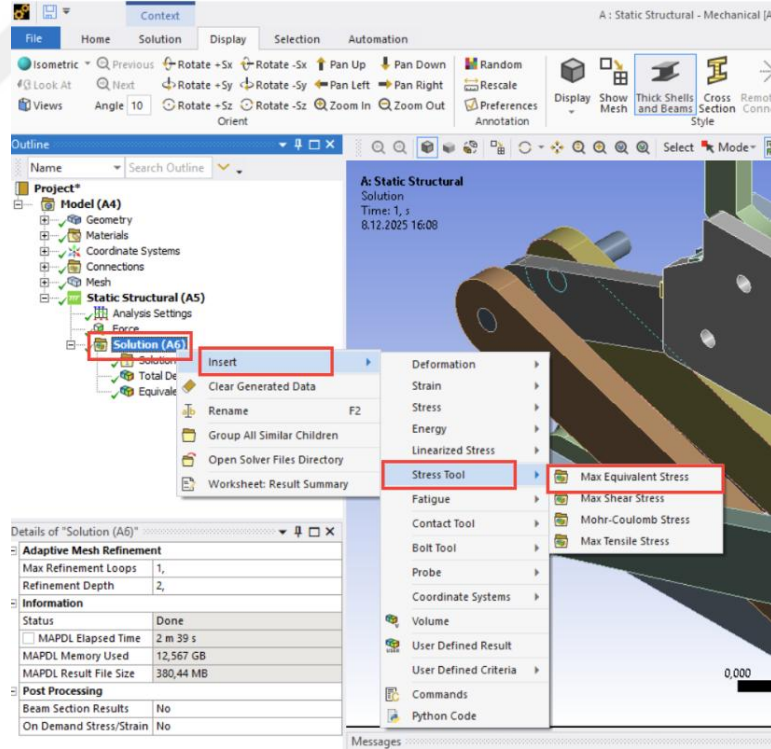
Şekil 3.1: Toplam deformasyon analizi sonucu.

Diğer analiz olan von-Mises gerilmesi analiz sonucu ise, maksimum gerilmenin 118,59 MPa olduğu ve parçanın alt kısmında olup modelin kaldırılacağı malzemenin sıkıştırıldığı bölgeye yakın bir alanda meydana geldiği görülmektedir. Minimum gerilmenin olduğu bölge ise, modelin daha az yük aldığı bölgelerde olduğu görülmektedir (Şekil 3.2).



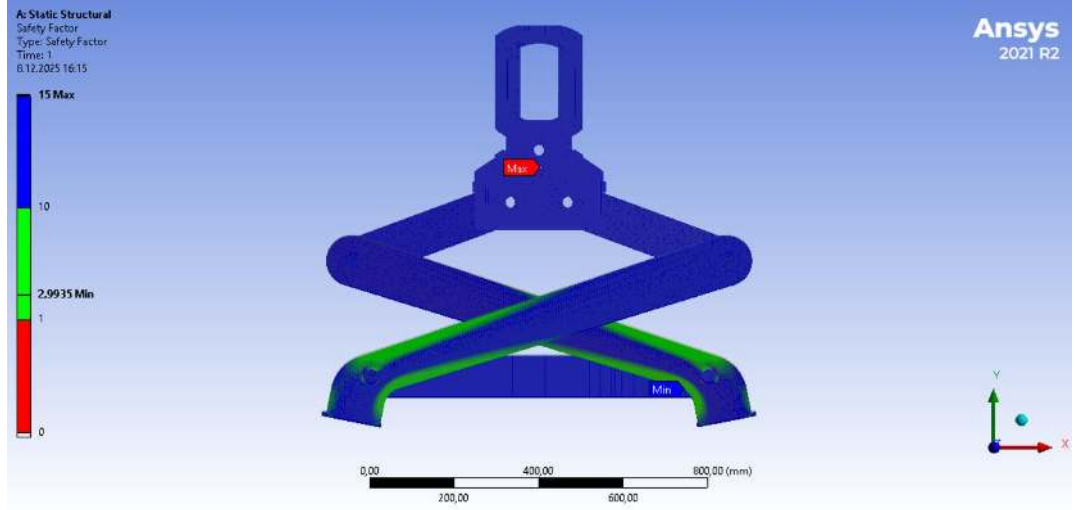
Şekil 3.2: von-Mises gerilmesi analiz sonucu.

Son olarak da çıkan sonuçların güvenli olup olmadığını görebilmek için analizlere güvenlik katsayısı da eklenmiştir. Bu işlem için; “*Solution*”, “*Insert*”, “*Stress Tool*”, “*Max Equivalent Stress*” adımları takip edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Güvenlik katsayısı analizinin eklenmesi.

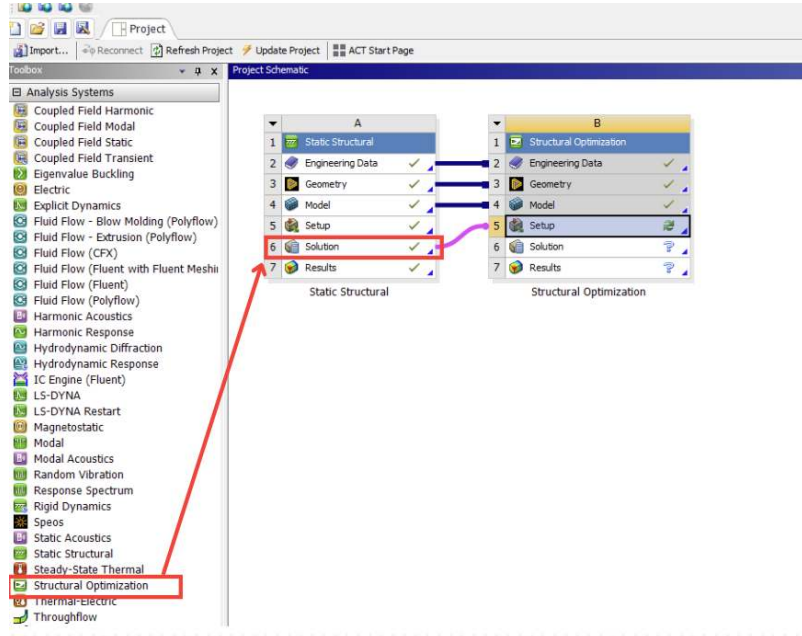
Güvenlik katsayısının 2,99 olduğu hesaplanmıştır. Maksimum gerilmelerin meydana geldiği bölgelerde güvenlik katsayısının minimum olduğu Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4: Güvenlik katsayısı analiz sonucu.

3.1 Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Çalışması

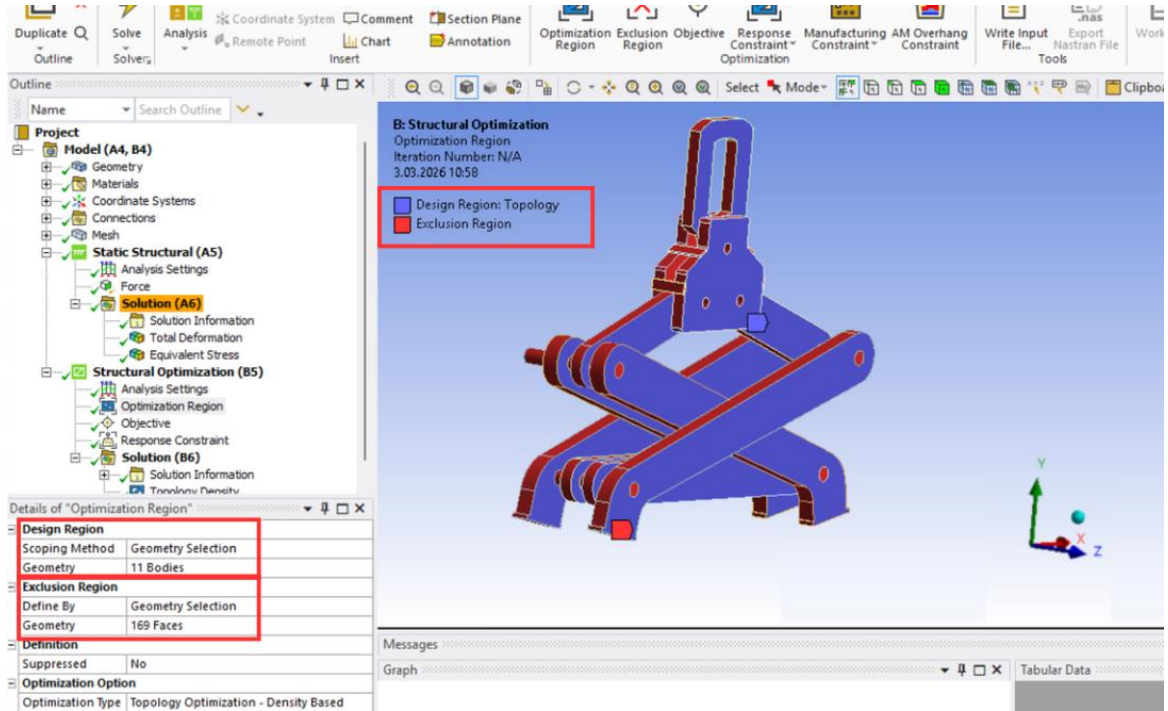
Bu bölümde, gerilme ve toplam deformasyon değerleri belirlenen modele topoloji optimizasyonu uygulanmıştır. Bunun için ANSYS Workbench ana ekranında bulunan “Toolbox” kısmındaki “Structural Optimization”, statik analizi yaptığımız kısımdaki “Solution” üzerine sürüklenerek topoloji optimizasyonu modülü eklenmiştir. Bu şekilde yapmış olduğumuz analizler topoloji optimizasyonu modülüne tanıtılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Structural Optimization modülünün eklenmesi.

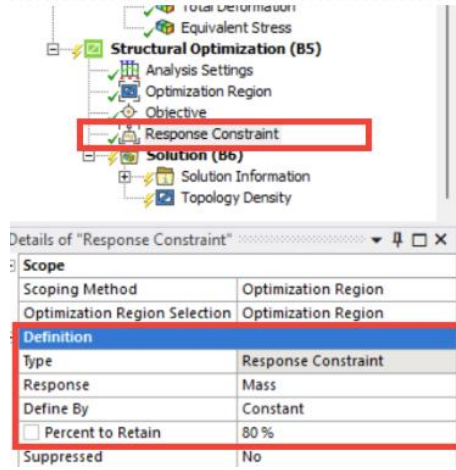
“*Structural Optimization*” kısmının altında bulunan “*Setup*” üzerinde sağa tıklanarak “*Edit...*” seçilmiştir. Açılan “*Mechanical*” ekranında “*Optimizastion Region*” seçilmiştir.

Bu bölüm bizim optimizasyon bölgemizdir. Bu aşamada “*Desing Region*” kısmı, mavi renkli yüzeyler üzerinde optimizasyon yapacağı belirtilmiştir. “*Exclusion Region*” kısmı ise, hariç tutulacağı bölgeler (kırmızı renkli yüzeyler) herhangi bir optimizasyon yapmayacağını belirtir. Bu çalışmada daha çok parçaların yüzeyinde işlem yapılmasını istediğimiz için kırmızı renkli alanlar optimizasyon dışında tutulmuştur (Şekil 3.6).



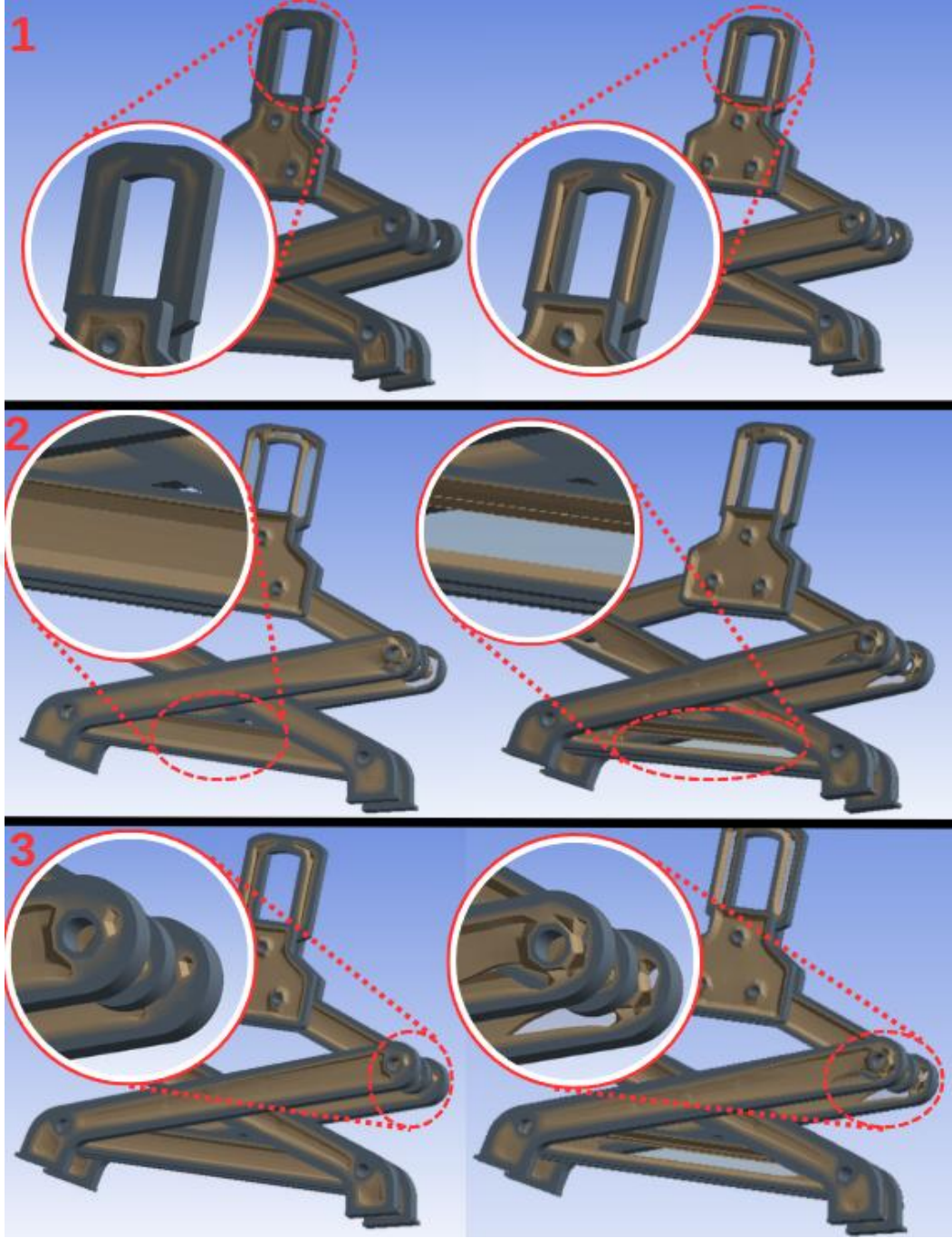
Şekil 3.6: Topoloji optimizasyonu için tasarım yüzeylerinin belirlenmesi.

Bu aşamada “*Response Constraint*” seçilerek açılan kısımdan, amacımız kütle azaltmak olduğu için “*Mass*” seçilmiştir. Başlangıçta %20 oranında kütle azaltma hedeflenmiştir. Dolayısı ile “*Percent to Retain*” kısmına elde tutulacak yüzde değeri olarak %80 yazılmıştır (Şekil 3.7).



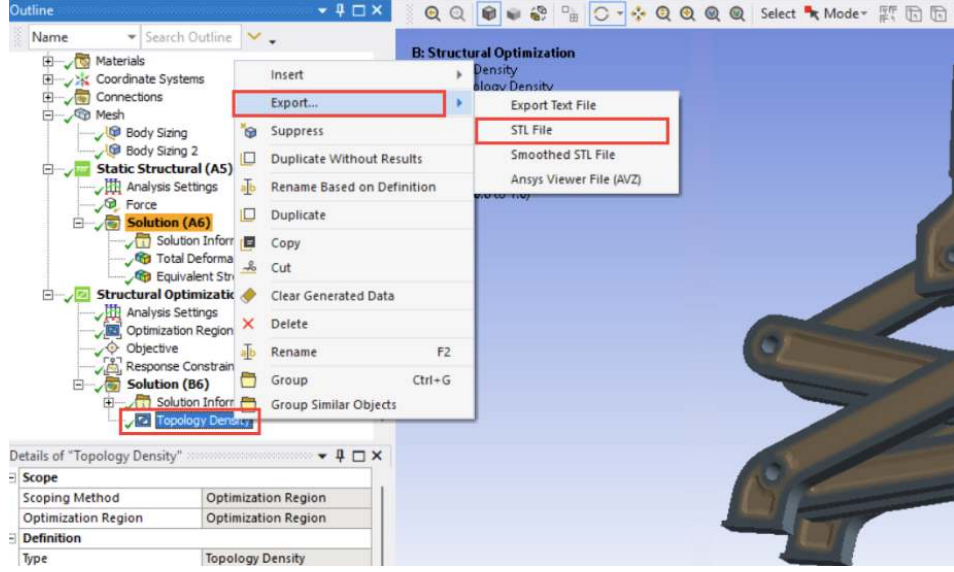
Şekil 3.7: Topoloji optimizasyonu için amacın belirlenmesi.

Çözüm için “*Solution*”, “*Solve*” adımları takip edilmiştir. İterasyonlar halinde çözümler yapılmıştır. Yazılımın bize önerdiği alternatif tasarımlar arasından değerlendirme yapıp en ideal olan model seçilmiştir. Örnek olması amacıyla 3 tane iterasyon çözümü Şekil 3.8’da gösterilip, işaretlenen bölgelerde oluşan tasarım farklılıkları açıkça gösterilmiştir.



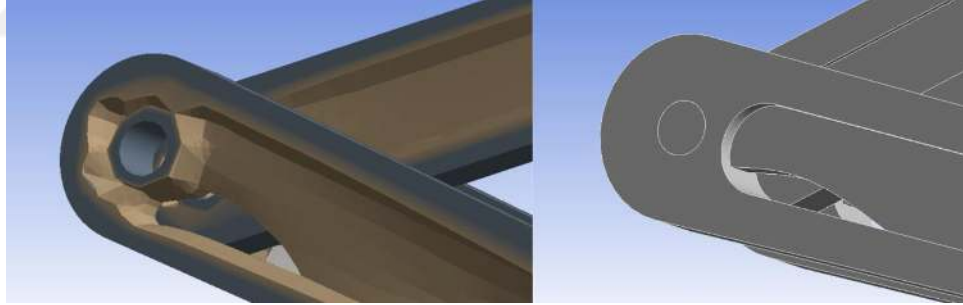
Şekil 3.8: 3 farklı bölgeye ait tasarım önerilerinin karşılaştırılması.

Bu modellerden kütlesi fazla azaltılmayan biri seçilip kılavuz olarak kabul edilmiştir. “.stl” formatında bozuk olan yüzeyleri düzeltilmiştir. Bununla birlikte bozuk yüzeylerin düzeltilmesi aşamasında, bize önerilen tüm parçalar incelenip kütle azaltma işlemi hangi yüzeylerde ortak yapıldıysa, bu işlemde göz önünde bulundurularak yeni model tasarlanmıştır. Bu işlemler için kılavuz olarak kabul edilen optimize edilmiş model belirlenip, “Topology Density” sağ tıklanarak “Export...”, “STL File” seçilerek model dosyası indirilmiştir (Şekil 3.9).

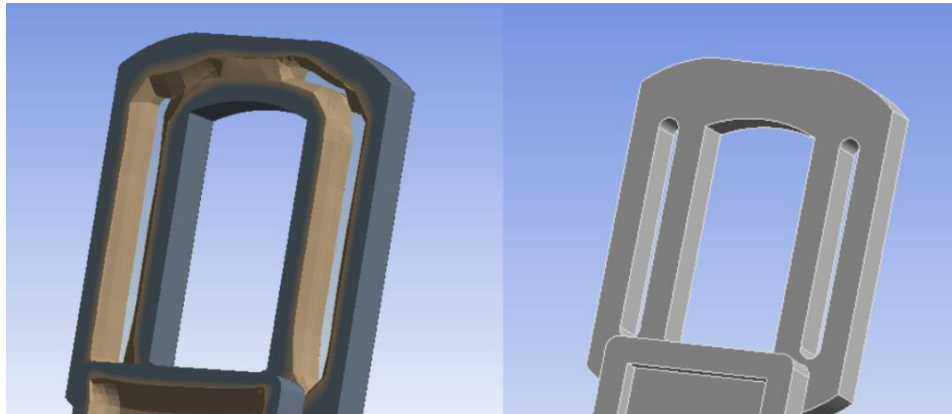


Şekil 3.9: Modelin “.stl” olarak kaydedilmesi.

Bu aşamada indirilen model dosyası SolidWorks 2025’e aktarılıp bozuk yüzeyleri düzeltilmiştir. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de, örnek olması amacıyla bahsedilen bozuk yüzeylerin olduğu bölgelerden iki tanesi, düzeltme öncesi ve sonrası olacak şekilde karşılaştırılmıştır.

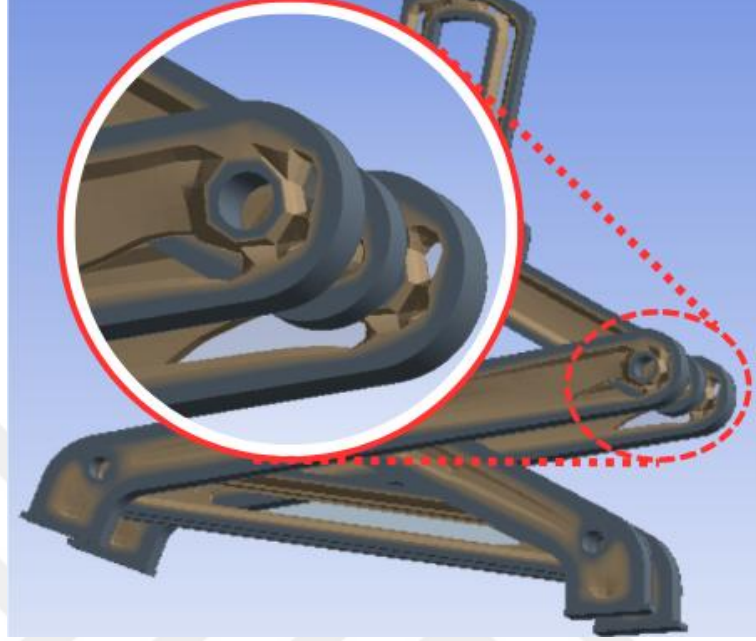


Şekil 3.10: Düzeltme yapılan yüzeyler örnek-1.



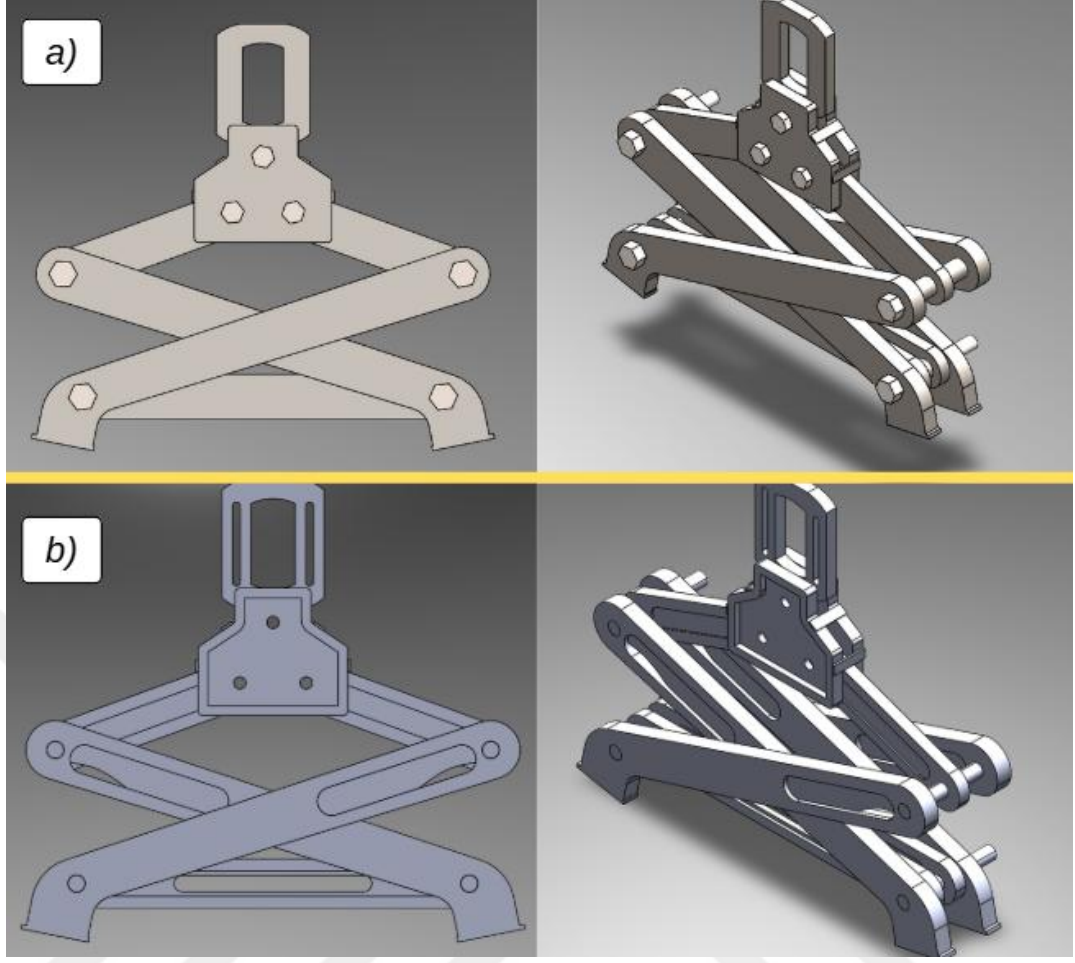
Şekil 3.11: Düzeltme yapılan yüzeyler örnek-2.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi yazılım, parçaların cıvata bağlantılarının olduğu bölgelerden de kütle azaltması uygulamıştır. Fakat cıvata bağlantılarının olduğu bölgeler kritik bölgeler olduğundan bu alanlarda kütle azaltma uygulaması tercih edilmemiştir.



Şekil 3.12: Cıvata etrafında oluşan kütle azalması.

Topoloji optimizasyonu sonrası elde edilen modelin son hali, Şekil 3.13’de modelin ilk hali ile kıyaslanarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13: a) Modelin başlangıçtaki tasarımı b) Topoloji optimizasyonu sonrası elde edilen yeni tasarım.

Bu şekilde elde edilen modelin kütlesi Şekil 3.14’de görüldüğü gibi 217 kg olmuştur.

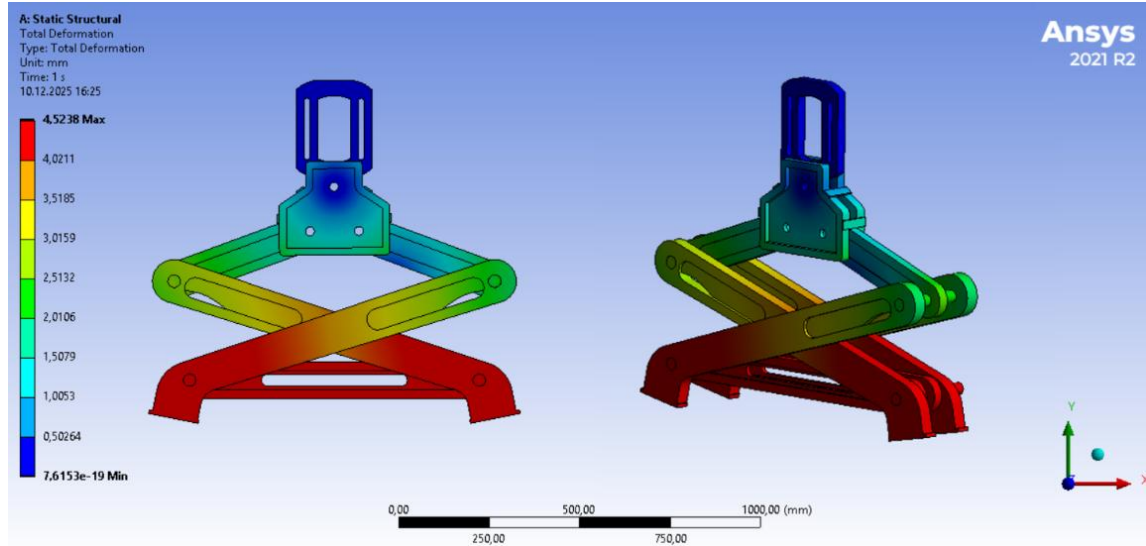
Display style	Body Color
☒ Bounding Box	
☒ Properties	
☐ Volume	2,7644e-002 m ³
☒ Mass	217, kg
Scale Factor Va...	1,
☒ Statistics	

Şekil 3.14: Topoloji optimizasyonu sonrası modelin ağırlığı.

Yeni elde edilen modelin, aynı yüklemeler ile başlangıçtaki sınır şartlarını karşılayıp karşılamadığını görmek için doğrulama amaçlı, gerilme ve deformasyon analizi tekrar yapılması gerekmektedir. Bunun için düzeltilen model çalışmanın başında olduğu gibi yeni bir ANSYS Workbench çalışma alanına gönderilmiştir. Optimizasyon öncesi olduğu gibi;

mesh işlemleri, sınır şartları ve yükleme işlemleri aynı olacak şekilde tekrar analizleri yapılmıştır.

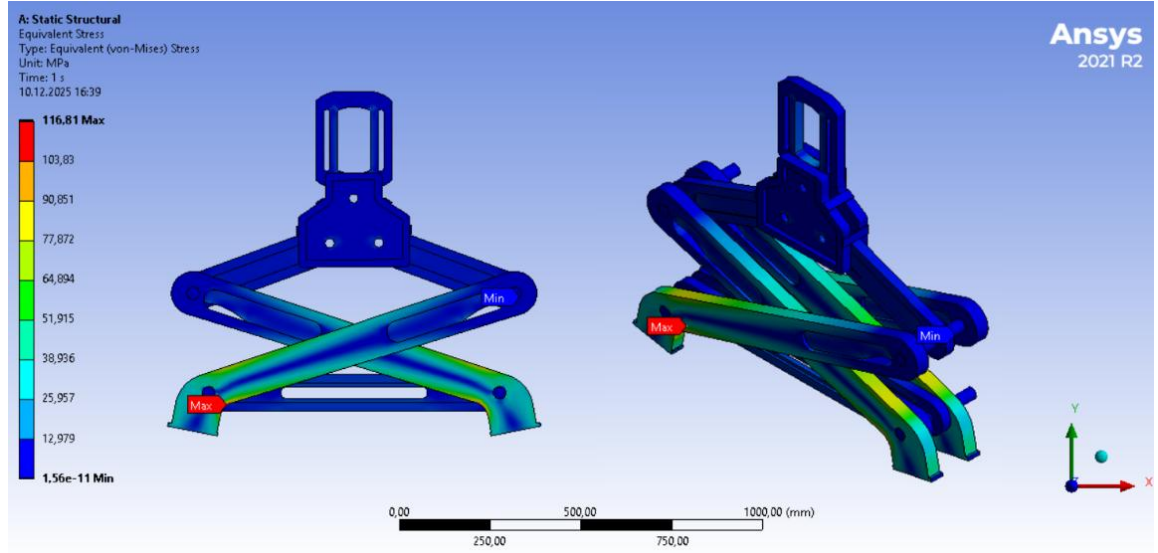
İlk olarak modele toplam deformasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre maksimum deformasyon 4,52 mm olduğu görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Topoloji optimizasyonu sonrası toplam yer değiştirme.

Toplam deformasyon ile ilgili yapılan optimizasyon çalışmaları incelendiğinde; Değirmencioğlu ve arkadaşları, 2023 yılında yaptıkları çalışmada toplam yer değiştirme miktarını sabit tutarak endüstriyel robotlarda kullanılan çoklu tutucuyu incelemişlerdir ve %13,25 oranında kütlede azalma elde etmişlerdir (Değirmencioğlu ve diğ, 2023). Bir diğer çalışmada ise, Öğüçlü ve Yıldırım yapmış oldukları çalışmalarında, ilk hafifletilmiş tasarımda başlangıca göre toplam deformasyon miktarında %20,12 artış olmasına rağmen kütlede %30,53 oranında azalma; ikinci hafifletilmiş tasarımda başlangıca göre toplam deformasyon miktarında %12,03 artış olmasına rağmen kütlede %20,11 oranında azalma elde etmişlerdir (Öğüçlü ve Yıldırım, 2022).

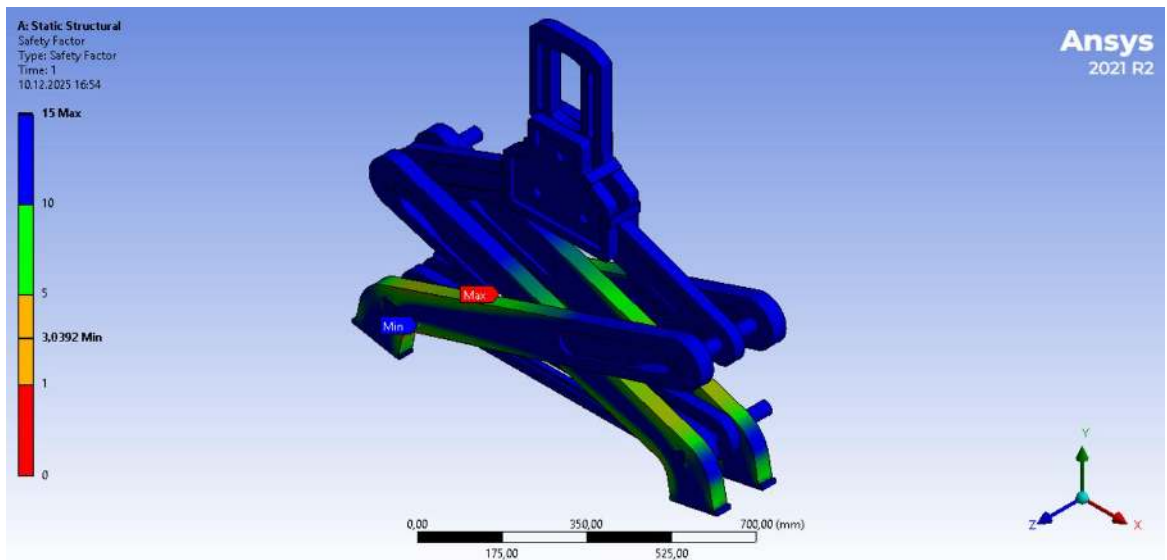
Daha sonra modele von-Mises gerilmesi analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Şekil 3.16'da görüldüğü gibi, optimizasyon öncesi gerçekleştirilen analiz ile aynı bölgede ve malzemenin sıkıştırıldığı kavisli parçanın iç yüzeyinde maksimum gerilme 116,81 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.16: Topoloji optimizasyonu sonrası von-Mises gerilmesi.

Çalışmamızda elde etmiş olduğumuz von-Mises gerilmesi miktarını yapılan diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştıracak olursak; Değirmencioğlu ve diğerleri, 2023 yılında yaptıkları çalışmada maksimum von-Mises gerilmesi miktarını %3,40 azaltarak kütlede %13,25 oranında azalma elde etmişlerdir (Değirmencioğlu ve diğ, 2023). Bir diğer çalışmada ise, Kip ve Gören, yapmış oldukları çalışmada maksimum von-Mises gerilmesi miktarını %22 azaltarak kütlede %0,32 oranında azalma elde etmişlerdir (Kip ve Gören, 2022).

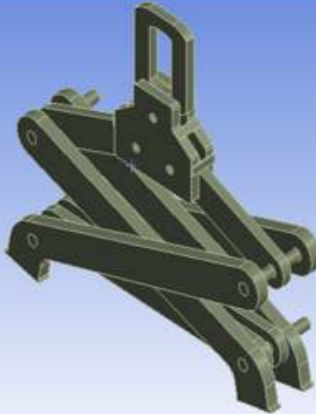
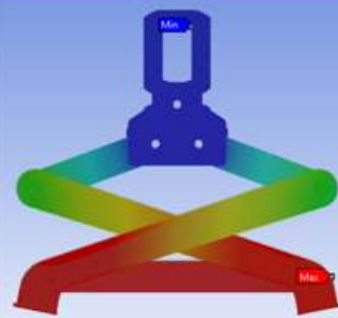
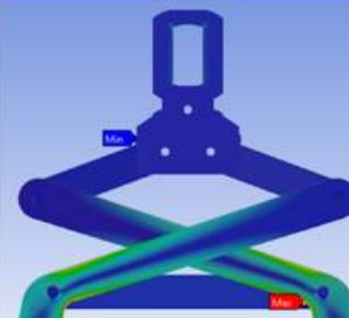
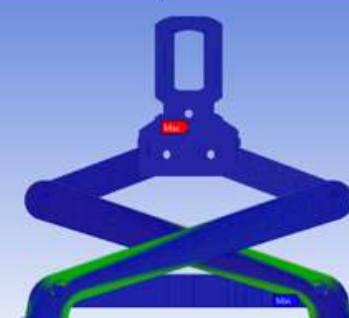
Yeni modelin güvenli bir şekilde çalışıp çalışmadığını görmek için tekrar güvenlik katsayısı analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Şekil 3.17’de 3,0392 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.17: Topoloji optimizasyonu sonrası güvenlik katsayısı.

Çalışmamızda elde etmiş olduğumuz güvenlik katsayılarını yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştıracak olursak; Kara ve diğerleri, 2022 yılında yaptıkları çalışmada güvenlik katsayısını 3,12'den 2,12'ye indirerek % 32,05 oranında azalma elde etmiş olsada, kütlede %75,22 azalma meydana gelmiştir (Kara ve diğ, 2022). Rayed ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmalarında güvenlik katsayısını 3 alarak, kütlede %11,63 oranında azaltarak yeni bir tasarım elde etmişlerdir (Rayed ve diğ, 2021). Khairalla, çalışmasında güvenlik katsayısını 2 alarak kütlede yaklaşık %30 azalma elde etmiştir (Khairalla, 2024). Büyük, çelik malzemeden üretilecek olan salıncak kolu için güvenlik katsayısını 1,32 olarak kabul edip kütlesinde % 14,9 azalma elde etmiştir (Büyük, 2024). Düzcan, topoloji optimizasyonu çalışmasının sonucunda güvenlik katsayısını 2,12'den 1,82'ye indirerek yaklaşık %14,15 oranında azalmaya karşın kütlede %32,2 oranında azalma elde etmişlerdir (Düzcan, 2019). Tüm bu sonuçlarda ve maksimum gerilmenin malzemenin akma dayanımından yaklaşık üç kat altında çıkmış olması göz önünde bulundurulunca, bu çalışmada yer alan modelin üretime uygun bir tasarımda olduğu görülmektedir.

Şekil 3.18'de modelin ilk hali ile optimizasyonu gerçekleştirilen modelin kütlesi, toplam deformasyonu, maksimum gerilmesi ve güvenlik katsayısı gibi parametreler karşılaştırılmıştır.

Optimizasyon Öncesi				
	Kütle	Toplam Deformasyon	Maksimum Gerilme	Güvenlik Katsayısı
	255,23 kg	4,331 mm	118,59 Mpa	2,9935
				
Optimizasyon Sonrası				
	Kütle	Toplam Deformasyon	Maksimum Gerilme	Güvenlik Katsayısı
	217 kg	4,5238 mm	116,81 Mpa	3,0392
Değişim	↓ % 14,97	↑ % 4,45	↓ % 1,50	↑ % 1,52

Şekil 3.18: Optimizasyon öncesi ve sonrasında elde edilen parametrelerin karşılaştırılması.

Şekil 3.18 incelendiğinde hedeflenen %20 kütle azaltılmasına yaklaşılarak %14,97 oranında bir kütle kaybı elde edilmiştir. Buna karşın toplam deformasyonda %4,45 artış, maksimum gerilmede %1,50 azalma ve güvenlik katsayısında ise gerilmeye bağlı olarak %1,52 oranında bir artış elde edilmiştir. Görüldüğü üzere yaklaşık %15 oranında daha hafif bir yapı ile başlangıçtaki deformasyon ve gerilmelere yakın bir dağılım elde edilmiştir.



4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, endüstriyel alanlarda kullanılan kaldırma ve/veya taşıma görevi gören örnek bir aparat ele alınmıştır. Modele ANSYS Workbench yazılımında, sonlu elemanlar analizi (FEA) ile kütle azaltmak hedeflenmiştir.

Yapılan optimizasyon ile %14,97 oranında kütle azaltımı sonrası modelin toplam deformasyonunda yaklaşık %4,5 oranında bir artış oluşsa da maksimum gerilme değerindeki düşüş ve bunu destekleyen güvenlik katsayısındaki artış modelin güvenli çalışması konusunda olumlu bir durumdur. Deformasyon miktarının artması ve buna karşın gerilmenin düşmesi, optimizasyon çalışmasının başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bunun sebebi ise, topoloji optimizasyonu algoritması sadece malzemenin kütlesini azaltmakla kalmayıp gerilmenin fazla olduğu yüzeylerin daha homojen bir gerilme dağılımına olmasını sağlamaktadır. Bu sayede daha az malzeme ile daha dengeli malzeme dağılımı elde edilerek maksimum gerilmede %1,5 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Deformasyonun artış göstermesinin sebebi ise, beklendiği gibi parçaların boyutlarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Modelin yeni tasarımı, yapılan analizler sonucunda yeterli dayanımı sağladığı görülmüştür. Analiz sürecinin başında %20'lik bir kütle azaltma hedeflenmiş fakat parçaların cıvata bağlantı bölgelerinde kütle azaltma işlemi yapmak riskli olacağından o bölgelere müdahale edilmemiştir. Buna rağmen topoloji optimizasyonu sonucunda modelde;

- Yaklaşık %15 oranın kütle azaldığı gözlemlenmiştir.
- Maksimum gerilmede %1,5 oranında bir azalma meydana gelmiştir.
- Güvenlik katsayısında ise 2,99'dan 3,03'e çıkarak %1,52 oranında artış olduğu görülmüştür.
- Modelde oluşan maksimum gerilme 116,81 MPa iken kullanılan malzemenin akma dayanımı 355 MPa olduğundan yaklaşık üç kat altında bir gerilme elde edilmiştir.

Tüm bu süreçlerin sonunda aparatın fonksiyonel görevini yerine getirirken malzeme içerisindeki gereksiz malzeme kullanımı engellemiştir. Modeli bu şekilde üretmek; ilk tasarımında geleneksel üretim yöntemleri kullanılacak iken, yeni modelle birlikte bize metal 3D yazıcı ile üretim yapma imkânı sunmaktadır. Bu üretim yöntemi başta maliyetli gibi görünse de karbon salınımı, çevresel etkilere göre daha çevre dostudur.

Sonuç olarak bu çalışmada topoloji optimizasyonu ile daha hafif ve yapısal performansı korunmuş yeni bir tasarım elde edilmiştir. Bu çalışmanın benzer mühendislik uygulamalarında hafifletme ve tasarım iyileştirme konularına katkı sağlayacağı düşünülmüştür.



KAYNAKLAR

- Albak, E. İ.** (2019). Optimum Design Of Brake Pedal Using Topology Optimization Method Intended For Weight Reduction On The Formula SAE Car. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 328-334.
<https://doi.org/10.29137/umagd.467057>
- Becerger, B., Çakmak, M., Maral, M. F., Dayanç, A., & Karakoç, F.** (2022). Design Approaches on Inner Bodies of Gears with Methods Topology Optimization and Lattice Structures. *European Journal of Science and Technology*, 85-90.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.1144818>
- Bendsøe Martin P. & Sigmund, O.** (2004). Topology Optimization By Distribution of Isotropic Material. İçinde *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications* (ss. 1-69). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05086-6_1
- Bilim etiği-1.** (t.y.). (*Bilim etiği-1*). Erişim: 14.01.2026,
<https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-finite-element-analysis>.
- Bilim etiği-2.** (t.y.). (*Bilim etiği-2*). Erişim: 14.01.2026, <https://cadsay.com/ansys-nedir>.
- Bilim etiği-3.** (t.y.). (*Bilim etiği-3*). Erişim: 14.01.2026,
<https://tr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>.
- Bilim etiği-4.** (t.y.). (*Bilim etiği-4*). Erişim: 14.01.2026,
<https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>.
- Bulduk, H. H.** (2022). Klasik Tasarım Teknikleri ile Tasarlanmış Robot Kol Sonu Takımının Üretken Tasarım Yazılımı ile Yeniden Tasarlanması. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(2), 103-116.
<https://doi.org/10.55213/kmujens.1132867>
- Büyük, F. N.** (2024). *Binek Araçlar İçin Salıncak Kolu Tasarımı ve Topoloji Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi)*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Chen, Y., Zhou, A., Gao, J., Yang, P., Hu, K., & Teng, Q.** (2025). Lightweight Design of Suspension Arm in Squeeze Casting Based on Multi-condition Topology Optimization. *Tezhong Zhuzao Ji Youse Hejin/Special Casting and Nonferrous Alloys*, 45(9), 1312-1319. <https://doi.org/10.15980/j.tzzz.H20240021>
- Değirmencioğlu, F., Koşer, Y. C., & Yıldız, A.** (2023). Endüstriyel Robotlarda Kullanılan Çoklu Tutucunun Yapısal Analizi ve Optimizasyonu. *International Journal of Science, Technology and Desing*, 4(2), 2023.
- Diao, J., Zhang, C., Huang, Q., & Wang, F.** (2020). Topology Optimization of Aircraft Flip Spreader for Lightweight. *Journal of Physics: Conference Series*, 1650(3).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1650/3/032149>

- Doğan, O., & Kamer, M. S.** (2021). Optimum Spur Gear Design and Production With Additive Manufacturing Method. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10, 1093-1103. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.912566>
- Düzcan, Y.** (2019). *Yapısal Optimizasyon Teknikleri ile Taşıt Süspansiyon Bileşenlerinin Geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Gafurzade, F.** (2022). *İnsansız Hava Araçlarına Ait Termoplastik Kompozit Yapısal Parçaların Topoloji Optimizasyonu Yöntemi ile Tasarımı ve Eklemeli İmalat Metodu ile Üretim Şartlarının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Garip, O.** (2022). *Zırh Çeliklerinin Yapı ve Islah Çelikleri ile Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Görgün, E.** (2022). Topology Optimization of Freight Wagon Chassis Under Multi Loading Conditions. *The Black Sea Journal of Sciences*, 12(2), 593-604. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1078425>
- Göv, İ., & Kütük, M. A.** (2007). *Topoloji Optimizasyonunda Eleman Silme Metodunun Uygulanması*. 437-446. <https://polen.itu.edu.tr:8443/server/api/core/bitstreams/29047ddb-3127-450f-8e69-632e5545c133/content>
- Güler, M., & Şen, S.** (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi hakkında Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 56-66. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ordubtd/article/132196>
- Güney, E., & Uzun, G.** (2024). Topoloji Optimizasyonu Yöntemlerinin Döner Kanatlı İnsansız Hava Aracı Tasarımına Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 10(3), 496-521. <https://doi.org/10.30855/gmbd.0705ar04>
- Kahraman, F., & Küçük, M.** (2020). Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma. *European Journal of Science and Technology*, 623-631. <https://doi.org/10.31590/ejosat.789424>
- Kara, R., Taşkın, V., & Demirhan, P. A.** (2022). Direksiyon Mafsalları Parçasının Statik Analizi ve Topoloji Optimizasyonu. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*. <http://dergipark.gov.tr/tujes>
- Karamert, S., & Demir, A.** (2022). Ticari Otobüs Gövde Yapısında Topoloji Optimizasyonu Çalışması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(2), 229-234. <https://doi.org/10.7240/jeps.988228>
- Kayacan, M. Y., & Alshihabi, M.** (2024). Adaptive Topology Optimization For Additive Manufacturing In Aerospace Applications. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 30(2), 145-154. <https://doi.org/10.5505/pajes.2023.52578>

- Khairalla, Y.** (2024). *Mekanik Sistemlerde Yapısal Analiz ve Optimizasyon Teknikleri ile Ağırlık Azaltılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Kılıçarpa, U. A., Yıldız, B. S., & Yıldız, A. R.** (2022). Optimum Desing Of Thermo-Plunger Support In Commercial Vehicles By Using Structural Desing And Finite Element Methods. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1137-1146. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1176365>
- Kip, M., & Gören, A.** (2022). Topology Optimization Study for Rear Swing Arm of a Lightweight Solar-Powered Vehicle. *Journal of Scientific Technology and Engineering Research*. <https://doi.org/10.53525/jster.1141878>
- Korkmaz, K.** (2021). *S355 Klevis Braketlerin Projeksiyon Kaynak Prosesi Parametre Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi)*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Bursa.
- Larsson, R.** (2016). *Methodology for Topology and Shape Optimization: Application to a Rear Lower Control Arm*. Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, Göteborg, Sweden.
- Nalbant, M. H.** (2021). *Dövme Yöntemi ile Üretilmiş Rotilli Salıncak Kolunun Topoloji Optimizasyonu ile Tasarım İyileştirmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Nazlı, A., & Özsoy, N.** (2024). Bir Otomobil Salıncığının Topoloji Optimizasyonu. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 607-622. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1431634>
- Öğüçlü, Ö., & Yıldırım, Ç. Y.** (2022). Geri Dönüşüm Makinalarında Topoloji Optimizasyonu ile Hafifletilmiş Tasarımların Karşılaştırılması. *4. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi*, 847-856.
- Özsoy, K., Şentürk, E., Aydoğan, D., & Korucu, Ö. E.** (2020). 3B Yazıcı Teknolojisi İçin Topoloji Optimizasyonu: N95 Maske Üzerine Bir Çalışma. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 152-159. <https://doi.org/10.46810/tdfd.754863>
- Ramasamy, M. N., Slíva, A., Govindaraj, P., & Nag, A.** (2025). Topology Optimization and Testing of Connecting Rod Based on Static and Dynamic Analyses. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/app15042081>
- Rayed, A. M., Esakki, B., Ponnambalam, A., Banik, S. C., & Aly, K.** (2021). Optimization of UAV Structure and Evaluation of Vibrational and Fatigue Characteristics Through Simulation Studies. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 12. <https://doi.org/10.1051/smdo/2021020>
- Savran, E., Vargelci, S., Catenaro, L., & Karpát, F.** (2022). Otomobil Ön Tampon Braketinde Tasarım İyileştirmesi. *European Journal of Science and Technology*, 45(Özel Sayı), 120-125. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1219759>

- Sırmahlar, M. Y., Haktanır, M., Saklakoğlu, N., & Eş, C.** (2022). Ağır Ticari Araçlarda Kullanılan Bir Volanın Parametrik Optimizasyon Yöntemleriyle Tasarımının İyileştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1341-1353. <https://doi.org/10.21923/jesd.1044799>
- Şanlier, C., Börklü, H. R., & Eldem, C.** (2021). Dizüstü Bilgisayar Sehpa'sı Tasarımı: Geleneksel ve Yeni İmalat Yöntemleri İçin Yapılan Tasarımlar ve Karşılaştırılması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(1), 65-75. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.836004>
- Şen, E.** (2021). *Direksiyonlama Aksonun Topoloji Optimizasyonu ile Tasarlanması ve Doğrulanması (Yüksek Lisans Tezi)*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tanrıverdi, K., & Ay, M.** (2020). Bir Çelik Konstrüksiyon Cıvatasının Sınır Koşulları Altında Topoloji Optimizasyonu. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural and Medical Sciences*, 7(12), 3-3. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.272>
- Topaç, M. M., Bahar, E., Kaplan, A., & Sarıkaya, E. Z.** (2017). *Topoloji Optimizasyonu Yardımıyla Askeri Taşıt Bağımsız Ön Süspansiyonu İçin Alt Salıncak Tasarımı*.
- Tyflopoulos, E., Flem, D. T., Steinert, M., & Olsen, A.** (2018). State of The Art of Generative Design and Topology Optimization and Potential Research Needs. *NordDesign 2018*.
- Ulusoy, E., İstek, M., & Günay, M.** (2022). Raylı Sistem Araçlarının Koşum Takımı Üzengisi İçin Topoloji Optimizasyonu Uygulaması. *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, (16), 139-152. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.1123977>
- Yuan, S., Wang, J., Duan, Y., Hao, L., & Zhan, X.** (2025). Topological Optimization Design of SLM Additive Manufactured Unmanned Aerial Vehicle Bearing Joint Structure Based on Variable Density Method. *Chinese Journal of Engineering*, 47(1), 56-65. <https://doi.org/10.13374/j.issn2095-9389.2024.05.17.002>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Batuhan SARAÇ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2026, İnönü Üniversitesi, Uygulamalı Bil. ve Tek. ABD

