

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE SABİT BİR BOM SİSTEMİNİN TOPOLOJİ
OPTİMİZASYONU**

ÖNDER CAN ARDA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Fatih KARAÇAM

EDİRNE-2024

Önder Can ARDA'nın hazırladığı “**SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE SABİT BİR BOM SİSTEMİNİN TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Metin AYDOĞDU

Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Fatih KARAÇAM

Tez Savunma Tarihi: 13/06/2024

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Fatih KARAÇAM

İmza

Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Muharrem Tolga SAKALLI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

13/06/2024

Önder Can ARDA

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Sonlu Elemanlar Analizi ile Sabit Bir Bom Sisteminin Topoloji Optimizasyonu

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Topoloji optimizasyonu, ürünlerin kavramsal tasarımı için önemli bir araçtır. Geleneksel tasarım, bilgi birikimi ve tecrübeye dayalıdır. Optimum tasarım bulunmasında deneme ve yanılma yönteminin kullanılması çok fazla zaman ve efor kaybına yol açacaktır. Sonlu eleman tabanlı topoloji optimizasyon formülasyonları, optimize edilmiş geometrilerin elde edilmesinde sağlam bir algoritma olduğunu kanıtlamış ve ticari bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Belirli bir yükleme altında sabit bom sistemlerindeki parçalarda en yüksek gerilme kuvveti pernolar ve kollarda oluşmaktadır. Yapılan çalışmada, bom sisteminin statik analizi sonucunda kollarda oluşan Von Mises gerilmeleri araştırılmıştır. Ürün aynı çalışma şartları ve yükleme koşulları altında topoloji optimizasyonuna tabi tutulmuştur. Yapılacak topoloji optimizasyonunda tasarım parametreleri olarak minimum ağırlık ve maksimum rijitlik seçilerek, elde edilen sonuçlara bağlı olarak sistemin tasarımı yeniden yapılmıştır.

Yıl : 2024

Sayfa Sayısı : 95

Anahtar Kelimeler : Sonlu Elemanlar Analizi, Topoloji Optimizasyonu, Statik Analiz, Taşıma ve Kaldırma Ekipmanları, Sabit Bom Sistemleri.

Master's Thesis

Topology Optimization of a Fixed Boom System with Finite Element Analysis

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Topology optimization is an important tool for the conceptual design of products. Traditional design is based on knowledge and experience. Use of the trial and error method in the determination of optimum design will cause too much time and effort loss. Finite element based topology optimization formulations have proven to be a robust algorithm for determining the optimized geometries and have been widely used in commercial computer aided design (CAD) software.

Under a certain load, the highest tensile force in the parts of a fixed boom system occurs in the pins and arms. In the study, Von Mises stresses of the arms of the boom system were examined after the static analysis. The design was subjected to topology optimization under the same operating and loading conditions. In the topology optimization, minimum weight and maximum rigidity were chosen as the design parameters, and the system is redesigned depending on the obtained values.

Year : 2024

Number of Pages : 95

Keywords : Finite Element Analysis, Topology Optimization, Static Analysis, Transport and Lifting Equipment, Fixed Boom Systems.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tamamlanması sürecindeki bütün destekleri, yol göstericiliği ve değerli katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Fatih KARAÇAM’a içtenlikle teşekkür ederim. Sizin engin bilgi birikiminiz, sabrınız ve ilham verici yaklaşımınız olmadan bu çalışmayı başarıyla tamamlamak mümkün olmayacaktı.

Tez sürecinde yanımda olan aileme ve dostlarıma, her zaman cesaretlendirici sözleriyle yanımda olan sevgili arkadaşlarıma ve desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZEGELER DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ	1
LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
SABİT BOM SİSTEMLERİ.....	8
3.1. Endüstride Kullanılan Sabit Bom Sistemleri	10
3.1.1. Grizzly Eleme Uygulamaları.....	10
3.1.2. Taş Ocağı Uygulamaları	11
3.1.3. Dökümhane Uygulamaları	12
3.1.4. Sabit Çeneli Kırıcı Uygulamaları.....	12
3.1.5. Mobil Kırıcı Uygulamaları.....	13
3.2. Sabit Bom Sistemi Ana Bileşenleri.....	14
3.3. Sabit Bom Sistemi Tasarım Parametreleri	15
3.4. Sabit Bom Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları.....	16

TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU	18
4.1. Optimizasyon Hiyerarşisi.....	19
4.1.1. Boyutlandırma Optimizasyonu	20
4.1.2. Şekil Optimizasyonu	20
4.1.3. Topoloji Optimizasyonu	21
4.2. Topoloji Optimizasyonun Uygulanma Nedenleri	21
4.3. Topoloji Optimizasyonu İş Akışı	22
4.4. Topoloji Optimizasyon Metotlarının Sınıflandırılması.....	23
4.4.1. Zemin Yapısı Yöntemi (GSA)	23
4.4.2. Katı İzotropik Malzeme ile Cezalandırma Yöntemi (SIMP)	24
4.4.3. Homojenizasyon Yöntemi (HM).....	26
4.4.4. Evrimsel Yapısal Optimizasyon Yöntemi (ESO)	27
4.4.5. Level-Set Yöntemi (LSM)	29
4.4.6. Meshsiz Metot.....	30
BOM SİSTEMİNİN STATİK ANALİZİ VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU.....	32
5.1. Sabit Bom Sisteminin İncelenmesi ve Fiziksel Özellikleri.....	33
5.2. Sabit Bom Sisteminin Statik Analizi.....	33
5.2.1. Malzeme Seçimi.....	34
5.2.2. Fikstürler	34
5.2.3. Yükler ve Bağlantı Elemanları.....	35
5.2.4. Mesh Yapısı	38
5.2.5. Statik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	41
5.3. Sabit Bom Sisteminin Topoloji Optimizasyonu	43
5.3.1. Hedefler ve Sınırlamalar	44

5.3.2. Üretim Kontrolleri.....	44
5.4. Topoloji Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	47
TASARIMIN REVİZE EDİLMESİ VE VALİDASYON İŞLEMİ.....	62
6.1. Tasarımın Revize Edilmesi	62
6.2. Validasyon İşlemi.....	70
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CAD	Computer Aided Design
EFG	Element-Free Galerkin
ESO	Evolutionary Structural Optimization
FEA	Finite Element Analysis
GSA	Geotechnical Structure Approach
HM	Homogenization Method
KKD	Kısmi Diferansiyel Denklemler
LSM	Level Set Method
MLS	Moving Least Squares
RBF	Radial Basis Functions
RVE	Representative Volume Element
SIMP	Solid Isotropic Material with Penalization

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Sabit Bir Bom Sistemi	9
Şekil 3.2. Grizzly Eleme Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi	10
Şekil 3.3. Taş Ocağında Kullanılan Sabit Bom Sistemi	11
Şekil 3.4. Dökümhanede Kullanılan Sabit Bom Sistemi	12
Şekil 3.5. Sabit Çeneli Kırıcı Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi	13
Şekil 3.6. Mobil Kırıcı Uygulamaları Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi	14
Şekil 3.7. Sabit Bom Sisteminin Ana Bileşenleri	15
Şekil 4.1. Boyutlandırma Optimizasyonunda Kullanılan Kafes Yapı ve Bağlantı Elemanı Kesit Alanı	20
Şekil 4.2. Şekil Optimizasyonunda Kullanılan Kafes Yapı ve Bağlantı Elemanı Kesit Alanı	20
Şekil 4.3. Topoloji Optimizasyonu	21
Şekil 4.4. Topoloji Optimizasyonu İş Akışı.....	22
Şekil 4.5. SIMP Yöntemi ile Bir Kirişin Topoloji Optimizasyonu.....	25
Şekil 5.1. Sabit Bom Sistemi Katı Modeli	33
Şekil 5.2. Modele Fikstürlerin Uygulanması	35
Şekil 5.3. Sabit Bom Sistemine Kuvvetin Uygulanması	36
Şekil 5.4. Sabit Bom Sistemine Yerçekimi Etkisinin Tanımlanması	37
Şekil 5.5. Sabit Bom Sistemi Sanal Pim Bağlantı Elemanları	38
Şekil 5.6. Sabit Bom Sisteminin Mesh Yapısı	40
Şekil 5.7. Mesh Kalitesi Grafiği.....	41
Şekil 5.8. Sabit Bom Sisteminde Maksimum Von Mises Gerilme Dağılımı.....	42
Şekil 5.9. Sabit Bom Sisteminde Güvenlik Katsayısı Dağılımı.....	43
Şekil 5.10. Ön Bom Kolu Yarım Simetri Tanımlaması	45

Şekil 5.11. Arka Bom Kolu Yarım Simetri Tanımlaması.....	45
Şekil 5.12. Ön Bom Kolu Korunmuş Bölge Tanımlanması.....	46
Şekil 5.13. Arka Bom Kolu Korunmuş Bölge Tanımlanması	46
Şekil 5.14. Kütlesi %40 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı.....	47
Şekil 5.15. Kütlesi %50 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı.....	48
Şekil 5.16. Kütlesi %60 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı.....	48
Şekil 5.17. Kütlesi %40 Azaltılmış Arka Kol Tasarımı.....	49
Şekil 5.18. Kütlesi %50 Azaltılmış Arka Kol Tasarımı.....	49
Şekil 5.19. Kütlesi %60 Azaltılmış Arka Kol Tasarımı.....	50
Şekil 5.20. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	51
Şekil 5.21. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	52
Şekil 5.22. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	53
Şekil 5.23. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	54
Şekil 5.24. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	54
Şekil 5.25. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	55
Şekil 5.26. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	55
Şekil 5.27. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	56
Şekil 5.28. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	56
Şekil 5.29. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	57

Şekil 5.30. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	58
Şekil 5.31. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	58
Şekil 5.32. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	59
Şekil 5.33. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	59
Şekil 5.34. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	60
Şekil 5.35. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi	60
Şekil 5.36. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi	61
Şekil 5.37. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi	61
Şekil 6.1. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Şıkkı Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Sol Yan Görünüş).....	64
Şekil 6.2. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Üst Görünüş). 65	65
Şekil 6.3. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Alt Görünüş) . 66	66
Şekil 6.4. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Tasarımın Topoloji Optimizasyon Öncesi, (b) Ham Veri, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (İzometrik Görünüş).....	67
Şekil 6.5. Topoloji Optimizasyon Sonrası Arka Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Sol Yan Görünüş).....	68

Şekil 6.6. Topoloji Optimizasyon Sonrası Arka Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Tasarımın Topoloji Optimizasyon Öncesi, (b) Ham Veri, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (İzometrik Yan Görünüş)	69
Şekil 6.7. Sabit Bom Kol Komple Topoloji Optimizasyon Sonrası (Yan Görünüş)	69
Şekil 6.8. Sabit Bom Kol Komple Topoloji Optimizasyon Sonrası (İzometrik Görünüş) ..	70
Şekil 6.9. Topoloji Optimizasyon Sonrasında Sabit Bom Sisteminde Von Mises Gerilme Dağılımı	71
Şekil 6.10. Topoloji Optimizasyon Sonrasında Düzeltilmiş Sabit Bom Sisteminde Von Mises Gerilme Dağılımı	72

ÇİZEGELER DİZİNİ

Çizelge 7.1. Ön Kol Tasarımında Farklı Kütle Azaltımı İçin Elde Edilen Optimum Sertlik, Kütle ve Güvenlik Katsayısı Değerleri	74
Çizelge 7.2. Arka Kol Tasarımında Farklı Kütle Azaltımı İçin Elde Edilen Optimum Sertlik, Kütle ve Güvenlik Katsayısı Değerleri	75

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Birçok endüstriyel alanda kullanılan taşıma kaldırma ekipmanları mevcuttur. Taşıma kaldırma ekipmanları insan gücünün yetmediği işler için kullanılan ekipmanlardır. Bu ekipmanlar hem iş gücü anlamında hem de işlemlerin daha hızlı bitirilmesine imkan sağlamaktadır. Sabit Bom Sistemi, ağır malzemeleri yatay veya dikey yönde kaldırmak ve taşımak için kullanılan bir makinedir. Taşıma elemanları yüzyıllardır eski insanlar tarafından çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Kullanım türü ve kullanım miktarı taşıma elemanlarının gelişiminde önemli rol oynamıştır. Taşıma kaldırma ekipmanlarından bir tanesi de endüstride sıkça kullanılan sabit bom sistemleridir (Crane, 2024).

Sabit bom sistemleri hareket gerektirmeyen yerlerde hareketli ekskavatörlerin yerine kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde yapılacak olan iş sabit konumda olduğundan tüm sistem ankrajlar vasıtası ile yere sabitlenir. Bom kolu önceden belirlenen açılarda ve yönlerde hareketler yaparak üzerine bağlanan ekipmanlar vasıtası ile kırma, taşıma gibi işlevleri gerçekleştirir.

Mühendislik alanında yapılan tüm uygulamaların sebebi ve amacı, insanların yaşamını kolaylaştıracak yenilikler üretmektir. Teknolojinin getirdiği yeniliklerin artmasıyla beraber yeniliklere olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu gelişmelerden bir tanesi de topoloji optimizasyonudur.

Topoloji optimizasyonu son yıllarda mühendislik bilincinde giderek daha fazla yer almaya başlamıştır ve ticari düzeyde CAD yazılım şirketleri genel tüketim için birçok topoloji optimizasyon yazılımı sunmaktadır.

Havacılık ve Uzay Endüstrisi, Otomotiv Endüstrisi, Denizcilik Endüstrisi, Yapısal Mühendislik, Tıbbi Cihaz Endüstrisi ve Enerji Endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerde topoloji optimizasyonu kullanılmaktadır. Bu optimizasyon, havacılık ve uzay araçlarının tasarımında ağırlığı azaltmak ve aerodinamik performansı artırmak, otomobillerin hafifletilmesi, yakıt verimliliğinin artırılması ve çarpışma güvenliğinin iyileştirilmesi, gemilerin ve deniz araçlarının mukavemetinin artırılması ve hidrodinamik performansının iyileştirilmesi, yapıların malzeme kullanımının azaltılması ve yapısal sağlamlığının artırılması, tıbbi cihazların gücünün artırılması ve vücutla uyumunun sağlanması, enerji sistemlerinin verimliliğinin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

Sürekli yapılarda topoloji optimizasyonu çeşitli metotlarla gerçekleştirilebilir. Çoğu ticari yazılım en önemli iki metot kullanılır. Bunlardan ilki Bendsoe ve Kikechi tarafından geliştirilen ve bu çalışmaların temelini oluşturan homojenleştirme metodudur (Bendsoe & Kikechi, 1988). Bu metot modeli oluşturan sonlu elemanların boşluklar içerdiğini savunur. Topoloji optimizasyonlarında bu boşlukları ve yönelimleri tasarım değişkeni olarak kullanılır. İkinci metot R. J. Yang ve C. H. Chung tarafından geliştirilen yoğunluk metodudur. Bu metotta, her bir sonlu elemanın malzemesi izotropik kabul edilir ve her elemanın yoğunluğu normalize edilerek tasarım değişkeni olarak tanımlanır (Yang & Chung, 1993).

Bu çalışmada, sabit bom sisteminin statik analizi gerçekleştirilip istenilen taşıma ağırlığı esas alınarak modelin dayanımı incelenmiş ve sonrasında topoloji optimizasyonuna tabii tutularak model üzerinden çıkarılması gereken yerler tespit edilmiştir.

Bu çalışma sonrasında sabit bom sisteminin kütlesi azaltılarak Von Mises değerleri iyileştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Rozvany vd. (1992), genelleştirilmiş şekil optimizasyonunda, iki farklı yaklaşımda bulunmuşlardır. Birinci yaklaşım, genellikle katı, boş ve gözenekli bölgelerin kombinasyonundan oluşan oldukça pratik olmayan mutlak minimum ağırlık çözümlerini içermektedir. Diğer bir yaklaşım ise daha pratik çözümleri hedeflemektedir. Bu yaklaşımda gözenekli bölgeler bastırılarak yalnızca katı ve boş bölgelerin kalmış olması amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım ikinci tür problemleri ele almakta ve ara yoğunluklar için ayarlanabilir bir cezaya sahip katı, izotropik bir mikroyapı kullanarak optimal topolojilerin elde edilebileceğini göstermektedir.

Jiang ve Jia (2006), yapı topoloji optimizasyonu için yeni bir evrimsel algoritma sunmaktadır. Bu algoritma, yapı topoloji optimizasyonu için seviye seti yöntemi (LSM) ile evrimsel yapı optimizasyonunun (ESO) avantajlarını birleştirmektedir. Geleneksel LSM algoritması bazı dezavantajlara sahiptir. Örneğin, optimal topoloji yapının başlangıç konfigürasyonuna oldukça bağımlıdır ve optimizasyon iterasyonları sırasında güncellenmiş topolojiye yeni delikler eklenemez. Önerilen yöntem, ESO tekniklerinin LSM şemasıyla birleştirilmesini sağlayarak, optimizasyonun belirli iterasyonlarında düşük deformasyon enerjisine sahip bölgelere otomatik olarak yeni deliklerin eklenmesine izin vermektedir. Özellikle önceden deliklerin eklenmesinin zor olduğu karmaşık yapılar için, önerilen yöntem LSM'nin optimal topolojileri belirleme yeteneğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca, daha hassas sonuçlar elde etmenin yanı sıra, önerilen yöntem optimizasyon verimliliğini de artırmaktadır.

Özkal ve Uysal, (2009), Xie ve Steven tarafından 1993 yılında geliştirilen Evrimsel Yapı Optimizasyonu (ESO) yönteminin günümüze uyarlanmış iki farklı örnek ile açıklamışlardır. Bu yöntem, temelde basit bir prensibe dayanmasına rağmen, birçok araştırmacı tarafından zaman içinde çeşitli geliştirmelere tabi tutulmuştur. ESO, bazen sezgisel olarak tanımlansa da, aslında tasarım alanından düşük değerlere sahip elemanların çıkarılmasıyla çalışmakta ve nispeten tam gerilmeli duruma sahip şekiller ve topolojileri hedeflemektedir. Bu çalışmada, evrimsel yapı optimizasyonu genel olarak gözden geçirilmekte ve yöntemin bugüne kadar olan evrimi detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

Işık (2009), ağır ticari araçlarda kullanılan kardan millerinde, vites kutusu ve diferansiyel flanşları ile bağlantıyı sağlayan çatallı flanş parçasının topoloji optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Mevcut ve benzer bir parçanın analizleri sonucunda optimizasyon için gerekli veriler elde edilmiş, Altair Optistruct kodları kullanılarak topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yeni geometriye doğrulama testleri uygulanarak seri üretime geçilmiş, bu süreçte çatallı flanşın optimize edilmiş bir tasarıma kavuşması sağlanmıştır.

Jia vd. (2011), evrimsel şekil optimizasyonu (ESO) algoritmasında kullanılan delik ekleme stratejileriyle entegre olan evrimsel bir Seviye Seti Metodu (LSM) algoritması önermişlerdir. Bu yöntem, geleneksel LSM'nin zayıf yönlerini giderirken ESO'nun avantajlarını birleştirerek, topoloji optimizasyonunda daha düzgün sınırlar elde etmeyi ve üretilebilirliği artırmayı amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, LSM'nin avantajlarını korumakta ve topoloji arama yeteneğini arttırmaktadır. Ayrıca, hesaplama verimliliğini artırarak kıyaslama problemlerini çözmeyi kolaylaştırmakta ve farklı optimizasyon kriterlerine uygun olarak diğer mühendislik problemlerini çözmek için kullanılmaktadır.

Luo vd. (2013), yapısal topoloji optimizasyonu için yeni bir yöntem önermektedir. Bu yöntem, çift seviyeli nokta bazlı yoğunluk yaklaşımı ve ağsız Galerkin yöntemini kullanmakta ve tasarım alanını ağsız bir düğüm noktaları kümesine ayrıştırmaktadır. Hareketli en küçük kareler (MLS) yöntemiyle şekil fonksiyonları oluşturularak, sistem durum denklemlerinin ağsız yaklaşımları elde eder. Shepard fonksiyonu, düzgün bir non-lokal düğüm yoğunluk yaklaşımı geliştirmek için problem formulasyonuna dahil edilmektedir. Bu yaklaşım, yoğunluğun etki alanı içinde bulunan yoğunluk değişkenlerine

dayanarak herhangi bir düğümün yoğunluğunu belirlemektedir. Sonuç olarak, önerilen yöntem, alternatif bir katı izotropik malzeme modeli oluşturmak için genel tasarım değişkenlerini kullanmakta ve Lagrange çarpan yöntemiyle zorunlu sınır koşullarını uygulamaktadır.

Zhao (2014), zemin yapı yönteminin gelişimi üzerine odaklanarak burkulma ve düğümsel kararsızlık faktörlerini içeren yeni bir yöntem sunmuştur. Bu yöntem, burkulma ve düğümsel kararsızlık kısıtlamalarını ayrı ayrı veya birlikte ele alarak üç farklı uygulama durumu sunmakta, böylece mühendislere çeşitli mühendislik problemlerini çözme seçenekleri sağlamaktadır. Sayısal örnekler, bu uygulamaların davranışını göstermekte ve burkulma ve düğümsel kararsızlık düşüncelerini içeren örneklerde optimal yapıların avantajlarını ortaya koymaktadır.

Zhang vd. (2017), kafes yapıların topoloji optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada, problemlerin çözümünde kullanılan etkili bir filtreleme düzeni sunulmuştur. Bu düzen, doğrusal olmayan malzeme davranışını dikkate alarak kafes ağlarının iki ve üç boyutlu topoloji optimizasyonunu gerçekleştirirken kullanılmış ve uygun yük seviyelerini göz önünde bulundurarak yapay sertlik olmadan yer değiştirme alanı sağlamıştır. Ayrıca, azaltılmış sıra modelleme kullanımı, yapısal ve optimizasyon problemlerinin boyutunu önemli ölçüde azaltarak hesaplama performansını artırmıştır.

Kefal vd. (2019), yapıların optimum topolojilerini belirlemede yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yönteminin (FEM) bazı zorluklarını aşmak için peridinamik (PD) ile topoloji optimizasyonunu (TO) birleştiren PD-TO adlı bir yöntem sunmuşlardır. Hacim kısıtı altında gerilme enerjisinin minimize edilmesi temeline dayanan bu yöntem, tasarım değişkenlerini belirlemek için iki yönlü evrimsel optimizasyon kullanmaktadır. PD-TO yöntemi, çeşitli zorlu optimizasyon problemlerini başarıyla çözebilme yeteneğini gösterirken, kırık yapılarla ilgili TO problemlerini çözmek için karmaşık işlemlere gerek kalmadan optimal topolojilerin bulunmasına olanak sağlamaktadır.

Wei vd. (2020), Seviye Seti Yöntemi'nin (LSM) topoloji optimizasyonunda yaygın olarak kullanıldığı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Seviye seti bandı yöntemi olarak adlandırılan bu yaklaşım, LSM ve yoğunluk tabanlı yöntemlerin avantajlarını birleştirerek,

amaç ve kısıt fonksiyonlarının sürekliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, belirli bir seviye seti bandı boyutunu uygulayarak esnek bir topoloji değişikliği sağlamaktadır. Bu yöntem, mevcut LSM'leri geliştirmek için kolayca uygulanabilir ve sayısal sorunlara neden olan cezalandırma veya filtreleme faktörlerini dahil etmeden problemi çözebilmektedir. Çalışmada önerilen yöntemin etkilerini göstermek için çeşitli uyum azaltma problemlerinin 2D ve 3D sayısal örnekleri sunulmaktadır.

Yalçinkaya vd. (2020), sonlu elemanlar yöntemi kullanarak bir uçak koltuğunun statik analizi ve topoloji optimizasyonunu yapmışlardır. Uçak koltukları için topoloji optimizasyonu hayati önem taşımaktadır. Çünkü uçuşla ilişkili her ağırlık, havacılık endüstrisinde yüksek maliyete yol açmaktadır. Bu bağlamda, arka koltuk ayağı gibi koltuk ağırlığını belirleyen önemli bileşenler için yapılan topoloji optimizasyon çalışmaları, malzeme tasarrufu ve ağırlık azaltımı açısından kritiktir. Yapılan çalışmalarda, mevcut malzemenin %30'unun kaldırılmasıyla koltuk ayağının dayanım gücünün korunabileceği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, topoloji optimizasyonu ile koltuk arkası ayağı için %30'a varan ağırlık ve malzeme tasarrufunun mümkün olduğunu göstermiştir.

Karamert ve Demir (2022), farklı profil örgü yapıları için ticari bir otobüs gövdesinin topoloji optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Gövde yapısının mukavemetini değerlendirmek için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, en kapsayıcı olanı gövde katılık değerleridir ve bu değerler optimizasyon çalışmasında korunması gereken kriter olarak belirlenmiştir. Değiştirilen gövde yapısının katılık değerleri ölçülmüş ve optimizasyon öncesindeki değerlerle karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonrası ölçülen katılık değerleri literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve otobüs gövde yapısında yaklaşık %9 oranında bir hafifletme sağlandığı belirlenmiştir.

Görgün (2022), yük vagonu şasi geometrisinde planlama performansı incelemiş ve taşınabilen tipte şasiler tercih etmiştir. Topoloji optimizasyonunda 1023 çelik malzemesi tercih edilmiştir. Geleneksel yük vagonunun ağırlığı, güvenlik limitlerine uygun olarak %14.51 oranında azaltılmıştır. Daha hafif bir yapıya sahip olmasına rağmen, yük dağılımında düzenlilik sağlanarak standart bir yük vagonunun imalat maliyetleri azaltılmıştır. Demiryolu işletmeciliğinde yasal yük sınırlamaları göz önünde bulundurulduğunda, yapılan iyileştirmelerin daha fazla yük taşınabilmesine katkı sağladığı belirlenmiştir. Çalışmada

geleneksel bir yük vagon şasisi için hem imalat maliyetlerinin hem de işletme maliyetlerinin düştüğü görülmüştür.

Konal (2023), gemi ve gemi yan sanayi sektörlerinde bilgisayar destekli tasarım ve analiz programları yardımı ile topoloji optimizasyonun kullanılabilirliğini incelemiştir. Son yıllarda topoloji optimizasyonun kullanılması ile yapısal tasarımlarda maliyetlerin azaldığı ve verimliliğin arttığı vurgulanmıştır. Çalışmada, yük taşıma gemilerinde kullanılan katlanır tip bir ambar kapağı için topoloji optimizasyonu uygulanarak tasarım iyileştirilmiş, maliyet tasarrufu sağlanmış ve geminin performansına etkileri araştırılmıştır.



BÖLÜM 3

SABİT BOM SİSTEMLERİ

Sabit bom sistemi, bir bomla (uzun, yatay bir kol veya kiriş) donatılmış sabit bir yapıdır. Bom genellikle çelik veya alüminyum gibi çeşitli malzemelerden yapılabilir ve genellikle destek yapıya sıkıca bağlanır.

Sabit bom sisteminin temel işlevi uygulamasına bağlı olarak değişir. İnşaatta, sabit bom sistemleri genellikle vinçlerde ağır yükleri dikey ve yatay olarak kaldırmak ve taşımak için kullanılır. Taşımacılıkta, yükleme rampalarının veya yük vinçlerinin bir parçası olabilir aynı zamanda kargoların araçlara yüklenmesini ve boşaltılmasını sağlarlar. Mühendislikte, sabit bom sistemleri özel görevler için malzeme taşıma veya konumlandırma gibi çeşitli makinelerde kullanılabilir.

Tipik bir sabit bom sistemi, bomun kendisi, destek yapı (örneğin bir direk veya çerçeve), stabilite için bir taban veya temel ve genellikle bomun hareketini kontrol etmek için bir mekanizma (hidrolik veya elektrikli aktüatörler gibi) içerir.

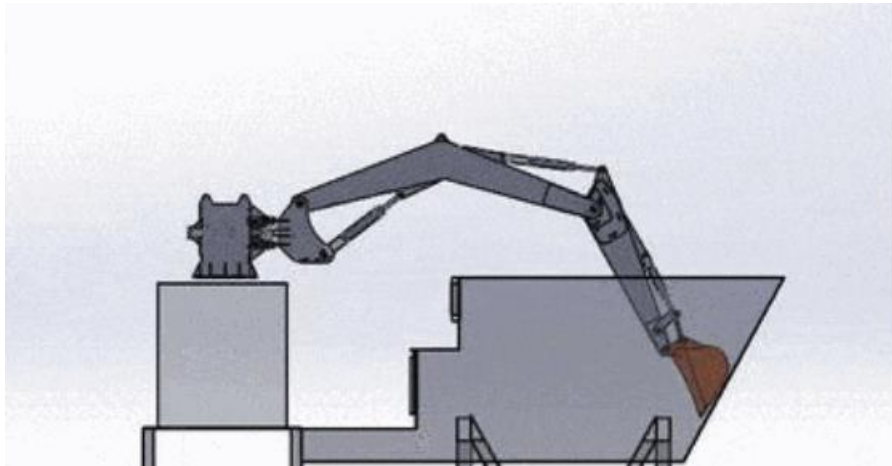
Sabit bom sistemleri, birçok endüstride çeşitli amaçlar için kullanılır. İnşaat endüstrisinde, büyük yapı malzemelerini kaldırmak ve yerleştirmek için kullanılırlar. Bu, vinçlerin veya kule vinçlerin bir parçası olarak gerçekleştirilebilir. Depolama ve lojistik endüstrilerinde, yükleme rampalarında veya depo içinde malzeme taşımak için kullanılabilirler. Endüstriyel tesislerde, montaj hatlarında veya üretim süreçlerinde kullanılan sabit konumlandırma kolları, iş parçalarını sabit bir konumda tutmak için kullanılır.

Sabit bom sistemlerinin kullanıldığı alanlara bağlı olarak farklı çeşitleri bulunmaktadır.

Jib vinçler, düşey bir eksen etrafında dönebilen yatay bir bom (jib) ile donatılmıştır ve geniş bir hareket aralığı sağlarlar. Gantry vinçler, her iki ucu da diklere dayanan yatay bir kiriş (gantri) ile donatılmıştır. Bu vinçler ray sistemine paralel yönde hareket etmeyi sağlarlar. Yükleme rampa bom sistemleri, kargonun kamyonlara veya diğer araçlara yüklenmesini ve boşaltılmasını kolaylaştırmak için yükleme rampalarında kullanılır. Sabit konumlandırma kolları ise üretim veya montaj süreçlerinde araçları, ekipmanları ve iş parçalarını sabit bir konumda tutmak için kullanılır (Javed, 2024).

Sabit bom sistemlerinin kontrol mekanizmaları kullanıcıların kaldırma işlemlerini güvenli ve etkili bir şekilde yönetmelerini sağlayan çeşitli ekipmanlar ile donatılmıştır. Bu, hidrolik veya elektrikli kaldırma mekanizmalarını kontrol etmek için düğmeler, kumanda panelleri veya uzaktan kumandalar içerebilir. Sabit bom sistemlerinin güvenli kullanımı, işçi güvenliği için son derece önemlidir. Bu nedenle, operatörlerin eğitimi, düzenli bakım ve güvenlik prosedürlerinin uygulanması kritik öneme sahiptir (Sabit Bom Kontrol Sistemleri, 2024).

Genel olarak, sabit bom sistemleri, ağır nesnelerin veya malzemelerin kaldırılması, taşınması ve konumlandırılması için güvenilir ve verimli çözümler sağlayarak modern endüstrilerde önemli bir rol oynar. Şekil 3.1’de bir sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.1. Sabit Bir Bom Sistemi

3.1. Endüstride Kullanılan Sabit Bom Sistemleri

Endüstride birçok alanda kullanılan sabit bom sistemleri genel olarak alan kırıcı ve yükleyici özelliklere sahiptir. Kırıcı sistemlerinin kullanıldığı bazı uygulama alanları aşağıdaki verilmiştir (Kırıcı ve Bom Sistemleri, 2024).

3.1.1. Grizzly Eleme Uygulamaları

Yeraltı madencilik operasyonlarında genellikle, cevher geçişine girmeden önce malzemeyi boyutlandırmak için boz adı verilen çelik bir ızgara kullanılır. Çok büyük olan malzeme ızgaradaki açıklıklardan geçemez ve sabit bir ayaklı bom sistemi tarafından kırılmak üzere ızgaranın tepesinde bırakılırken, daha küçük malzemenin ızgaradan cevher geçişine doğru geçmesine izin verilir.

Grizzly eleme uygulamaları doğası gereği son derece serttir. Sabit ayaklı bom sistemi, çeşitli boyut ve miktarlarda aşırı boyutla birlikte yüksek derecede sıralı ve yan eğime maruz kalır. Sabit ayaklı bom sistemleri, geniş bom kesitleri, ekstra büyük pimler ve güçlendirilmiş yüksek gerilimli çelik plakalarla tasarlanmıştır. Şekil 3.2’de grizzly eleme uygulamalarında çalışmak üzere tasarlanmış bir sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.2. Grizzly Eleme Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi

3.1.2. Taş Ocağı Uygulamaları

Taş ocağı uygulamaları, genellikle madencilik endüstrisinde kullanılan teknolojik sistemlerdir. Bu sistemler, büyük kaya parçalarını küçük parçalara dönüştürmek için kullanılır ve genellikle taş ocaklarındaki kırma işlemlerini otomatikleştirmek ve verimliliği artırmak amacıyla tasarlanır. Bir taş kırma tesisi genellikle besleme sistemi , ana kırıcılar, ara kırıcılar, eleme ve sınıflandırma sistemleri ve taşıma sistemlerinden oluşur. Sabit bom sistemleri ara kırıcı sistemlerdir. Taşlar ana kırıcı sisteme giremeyecek kadar büyük olduğunda ya da ana kırıcıya doğrudan girmesi ana kırıcının zarar görmesine sebebiyet vereceği durumlarda ara kırıcılar kullanılır. Bu ara kırıcı grupları sabit bom sistemleri üzerinde yer alırlar. Şekil 3.3'te taş ocağı uygulamalarında çalışmak üzere tasarlanmış bir sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.3. Taş Ocağında Kullanılan Sabit Bom Sistemi

3.1.3. Dökümhane Uygulamaları

Dökümhaneler ve çelik fabrikaları, herhangi bir makinenin çalışması için en agresif ortamlar arasındadır. Kırıcı sistemleri sabit bom üzerinde, bir ekskavatörün erişiminin çok zor olduğu alanlarda kullanılır. Şekil 3.4'te dökümhane uygulamalarında çalışmak üzere tasarlanmış bir sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.4. Dökümhanede Kullanılan Sabit Bom Sistemi

3.1.4. Sabit Çeneli Kırıcı Uygulamaları

Çeneli kırıcılar tipik olarak birçok orta hizmet birincil kırma uygulamasında kullanılır. Karşısında sabit bir çene plakası ve hareketli çene plakası, kırıcının üstünden altına doğru geçerken malzemeyi boyutlandırır. Çeneli kırıcı tipik olarak titreşimli bir besleyiciyle bir kaya kutusundan beslenir. Bu bölümde kırıcının üzerine konuşlandırılan bölüm sabit bom

sistemidir. Şekil 3.5’te sabit çeneli şekilde tasarlanmış çalışmak üzere tasarlanmış bir sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.5. Sabit Çeneli Kırıcı Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi

3.1.5. Mobil Kırıcı Uygulamaları

Mobil kırıcılar adından da anlaşılacağı gibi sahadan sahaya taşınabilecek şekilde tasarlanmıştır. Uygun boyutta bir kaya kırıcı bom sistemi, kırıcıya güvenli bir şekilde monte edilecek ve böylece kırıcı sabit bom üzerinde sistem akuple şekilde çalışacaktır. Şekil 3.6’da mobil kırıcı uygulamalarında çalışmak üzere tasarlanmış hareketli bir makine üzerine bağlanmış sabit bom sistemi verilmiştir.



Şekil 3.6. Mobil Kırıcı Uygulamaları Uygulamasında Kullanılan Sabit Bom Sistemi

3.2. Sabit Bom Sistemi Ana Bileşenleri

Sabit bom sisteminin ana bileşenleri Şekil 3.7 'deki gibi verilmiştir. Ana bileşenlerin tamamı rakamlar ile belirtilmiştir. Sistemde,

Rotatif Sabitleme Bölümü (No:1), tüm ünitenin istenilen durumda 180° derece ya da 360° derece dönüşüne olanak sağlayan hidrolik sistemleri ve rotasyon ünitelerini üzerinde bulunduran aynı zamanda ünitenin ankrajlar vasıtası ile yere sabitlenmesini sağlayan kısımdır.

Piston Merkezleme Bölümü (No:2), rotatif sabitleme bölümü (No:1) ile arka kol bölümünü (No:5) piston vasıtası ile bir araya getiren kendi içerisinde istenilen duruma göre 180° derece dönüş hareketi yapabilen ya da sabit şekilde tasarlanabilen kısımdır.

Arka Kol Pistonu (No:3), arka kol bölümünün ve bununla birlikte tüm ünitenin aşağı yukarı hareketini sağlayan hidrolik ya da elektrik aktüatörlü olabilen bölümdür.

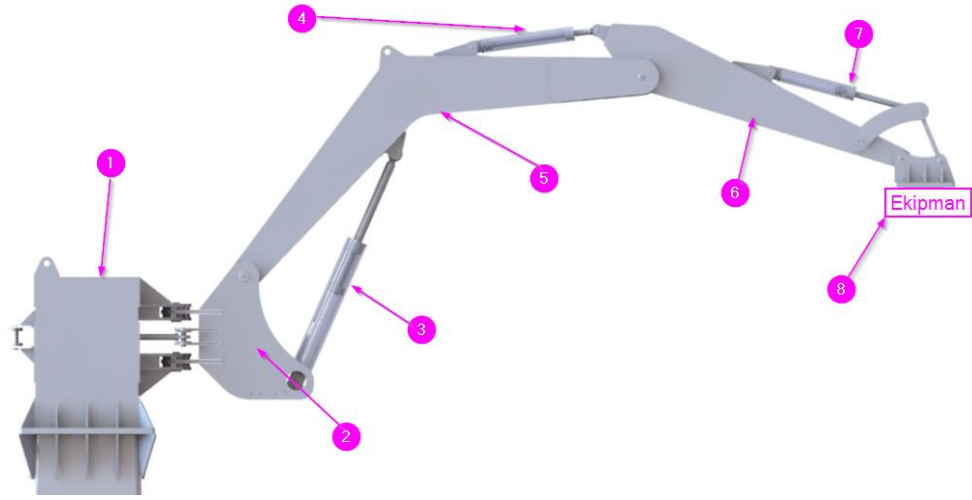
Ön Kol Ara Pistonu (No:4), arka kol ve ön kol arasında aşağı yukarı hareketini sağlayan hidrolik ya da elektrik aktüatörlü olabilen bölümdür.

Arka Kol Bölümü (No:5), pistonlar vasıtası ile hareket edebilen taşıyıcı görev üstlenen sabit bom ünitesinin arka kol bölümüdür.

Ön Kol Bölümü (No:6), pistonlar vasıtası ile hareket edebilen taşıyıcı görev üstlenen sabit bom ünitesinin ön kol bölümüdür. Üzerinde çalışacak ekipmanın bağlandığı bölümdür.

Ön Kol Ekipman Pistonu (No:7), ön kol üzerine bağlanan ekipmanın yukarı aşağı hareketini sağlayan hidrolik ya da elektrik aktüatörlü olabilen bölümdür.

Ekipman (No:8), çalıştığı yere göre özelleşmiş ekipmandır. Genellikle kaya kırma operasyonlarında kullanıldığında hidrolik kırıcı ve ataşman çeşitleri ya da kazı işlerinde kullanılan kepçe çeşitlerinden oluşur (Sabit Bom Sistemi Ana Bileşenleri, 2024).



Şekil 3.7. Sabit Bom Sisteminin Ana Bileşenleri

3.3. Sabit Bom Sistemi Tasarım Parametreleri

Sabit bom sistemleri yapımında insanların farklı ihtiyaçlarını karşılamak üzere birçok gelişmeler yaşanmıştır ve bu gelişmeler çok sayıda farklı tip sabit bom tasarımlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Bu farklı tasarımların ortaya çıkmasında etkili olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Yük kapasitesi, vincin kaldırabileceği maksimum ağırlıktır.
- Kaldırma yüksekliği, vincin nesneleri hareket ettirebileceği maksimum dikey mesafedir.
- Kaldırma açısı, vinç bomunun dikey konumundan itibaren ölçülen açıdır. Yüksek kaldırma açısı ile kaldırma gücü azalır, bu nedenle kaldırma açısı önemli bir faktördür.
- Çalışma alanı, vincin hareket edebileceği alandır.
- Ağırlık ve boyutlar, vincin konumu önemli bir husus olduğundan, vincin yüksekliği ve hareketliliği, çalışma kısıtlamalarına uygun olmalıdır (Taşdemir, 2005).

3.4. Sabit Bom Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

Sabit bom sistemlerinin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Kararlılık, sabit bom sistemleri genellikle sağlam bir yapıya veya temele bağlıdır. Bu da kaldırma ve taşıma işlemleri sırasında kararlılık ve güvenilirlik sağlar. Bu kararlılık, ağır yüklerin güvenli bir şekilde kaldırmak ve taşımak için önemlidir.
- Çeşitlilik, sabit bom sistemleri çeşitli tiplerde ve yapılandırmalarda gelir. Bu da onları farklı uygulamalar için çok yönlü hale getirir. Belirli ihtiyaçlara uygun olarak özelleştirilebilirler, istenilen ekipmanın üzerine bağlanmasına olanak sağlarlar. Örneğin bir inşaat sahasında ağır yapı malzemelerini kaldırmak veya bir depoda kargo yüklemek ve boşaltmak için kullanılabilir.
- Güvenlik, doğru bir şekilde kullanıldığında ve düzenli bakımı yapıldığında, sabit bom sistemleri manuel olarak ağır nesneleri kaldırmak ve taşımak ile ilişkili riskleri azaltarak iş yeri güvenliğini artırabilir. Ayrıca, sıklıkla limit anahtarları ve aşırı yük koruması gibi güvenlik özelliklerini içerirler.
- Maliyet, sabit bom sistemleri verimliliği artırarak, işçilik maliyetlerini azaltarak ve kazaları ve yaralanmaları en aza indirerek uzun vadeli maliyet tasarrufu sağlar.

Yukarıda belirtilen çok sayıda avantaja sahip olmasına rağmen, çalışma koşullarına bağlı olarak sabit bom sistemleri aşağıda verilen dezavantajlara sahiptir.

- Sınırlı hareketlilik, sabit bom sistemleri, mobil vinçler veya diğer taşınabilir kaldırma ekipmanları gibi değildir, sabittir ve sınırlı hareketliliğe sahiptir. Farklı iş sahalarına veya bir tesis içindeki farklı alanlara kolayca taşınamazlar, bu da belirli durumlarda esnekliklerini sınırlayabilir.
- Mekan gereksinimleri, sabit bom sistemleri kurulum ve işletme için ayrılmış bir alana ihtiyaç duyar, bu da bomun hareketi için yeterli bir tavan boşluğunu içerir. Bu mekan gereksinimi, çalışma ortamlarında bir kısıtlama yaratabilir.
- Başlangıç maliyeti, bir sabit bom sistemi satın almanın ve kurmanın başlangıç maliyeti önemli yüksektir. Bu başlangıç yatırımı, daha küçük işletmeler için bir engel olabilir veya sınırlı bir bütçesi olan projeler için zorlayıcı olabilir.
- Bakım ihtiyaçları, herhangi bir mekanik ekipman gibi, sabit bom sistemleri düzenli bakım gerektirir, bu doğru çalışma ve güvenlik için önemlidir. Bu bakım, işletmenin genel giderlerini bir miktar artırır.
- Sınırlı erişim, tasarım ve yapılandırmaya bağlı olarak, sabit bom sistemleri bazı diğer kaldırma ekipmanlarına göre sınırlı erişime veya menzile sahip olabilirler. Bu kısıtlama, yüklerin etkili bir şekilde kaldırılmasını ve taşınmasını sağlamak için dikkatli planlama ve konumlandırmayı gerektirir.

Genel olarak, sabit bom sistemleri kararlılık, verimlilik ve güvenlik açısından birçok avantaj sunarken, belirli uygulamalar için seçerken ve kullanırken dikkate alınması gereken belirli sınırlamalar bulunmaktadır.

BÖLÜM 4

TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Topoloji, genel olarak matematikte, özellikle de geometri ve analizde şekillerin uzay içindeki özelliklerini inceleyen bir dal olarak tanımlanmaktadır. ‘Topo’ ve ‘loji’ kelimeleri ise bu terimin oluşumunda rol oynamaktadır. ‘Topo’ kelimesinin Yunanca karşılığı ‘topos’ kelimesi olmakla birlikte, bu kelime yer veya konum anlamına gelmektedir. ‘Loji’ kelimesi ise Yunanca ‘logos’ kelimesinden türetilmiş olup, bilim veya öğreti anlamına gelmektedir.

Tasarlanacak parçanın sınırlı bir alana sığması, ağırlık olarak hafif olması ve uzun bir işletme ömrüne sahip olması istendiğinde, ortaya çıkacak yeni tasarım hakkında yalnızca kabaca bir fikir akla gelmektedir. Parçalar çoğu zaman mevcut bir tasarım veya konsept üzerinden geliştirilerek tasarlanmaktadır. Bu gibi durumlarda, boyutlar veya diğer tasarım girdileri parametreler yardımıyla tanımlanmaktadır. Çalışacak mevcut bir tasarıma sahip olunmadığı durumlarda ise, bir veya iki kavramsal tasarım oluşturulabilmektedir. Bu tasarımlar parametrik olarak tanımlanabilmekte ve ardından standart optimizasyon yöntemleri uygulanabilmektedir. Alternatif bir yöntem olarak, basit bir malzeme bloğuyla işe başlanmakta ve optimizasyon yazılımının, her bir tasarım özelliğini, şeklini ve boyutunu belirlemesine izin verilerek yapılan optimizasyon çalışmaları, topoloji optimizasyonu olarak bilinmektedir (Topoloji Optimizasyonu, 2024).

Topoloji optimizasyonu kullanılarak, bir optimizasyon hedefi ve bir kısıtlama seti ile verilen problemde, malzemenin parça içerisindeki optimum dağılımı bulunmaktadır. Optimizasyon analizi için kullanıcı tarafından maksimum gerilme/gerinim, yer değiştirme

veya doğal frekans gibi bir dizi kısıtlama tanımlanabilmektedir. Yazılım, bu kısıtlamalara uyarak kütle, hacim veya yer değiştirme gibi bir optimizasyon parametresini en aza indirmek veya en üst düzeye çıkarmak için modeldeki malzeme bloğunda boşluklar oluşturur. Eskiden geleneksel imalat yöntemlerinin sınırlamaları nedeniyle karmaşık şekillerin imalatı pratik olmamasına rağmen günümüzde, geliştirilen daha yeni imalat yöntemleri son derece karmaşık tasarımların da seri üretimine izin vermektedir.

Topoloji optimizasyonu ilk olarak 1904'te Avustralyalı mühendis Anthony Michell tarafından araştırılmıştır. Sonlu elemanlar optimizasyon algoritmalarının avantajı, çok yönlü olduklarını kanıtlamış olmaları ve katı mekaniği, akışkanlar dinamiği ve termal dinamik gibi farklı fiziksel disiplinler tarafından yönetilen tasarım problemlerine uygulanmış olmalarıdır. En önde gelen bilgisayar destekli tasarım yazılımı geliştiricilerinden bazıları artık sonlu elemanlar tabanlı topoloji optimizasyon seçenekleri sunmaktadır.

Topoloji optimizasyonu için kullanılan en popüler matematiksel yöntem, SIMP yöntemidir. Bendsoe ve Kikuchi (1988) ile Rozvany vd. (1992) başlangıçta SIMP metodunu önermişlerdiler. SIMP metodu sınır koşulları, belirli yük durumları, performans gereklilikleri ve üretim kısıtlamaları için tasarım alanı içerisinde malzeme dağılımını optimum şekilde tahmin etmektedir.

Bendsoe (1989), optimizasyonunun her noktada malzeme olup olmamasına bakılmadan, her nokta için uzay düzleminde bir kararlılıktan oluştuğunu öne sürmektedir. Geleneksel bir yaklaşıma göre topoloji optimizasyonu bir alanı, izotropik katı mikro yapılar olarak adlandırılan sonlu elemanlar ızgarasına ayırır. Her eleman malzeme gerektiren bölgeler için model üzerinde malzemeye doldurulur. Malzemenin kaldırılabilceği bölgelerde ise malzeme model üzerinden boşaltılır. Malzemenin tasarım alanı içindeki yoğunluk dağılımı bağımsızdır. Bu yoğunluk her elemana bir ikili değer olarak atanmaktadır.

4.1. Optimizasyon Hiyerarşisi

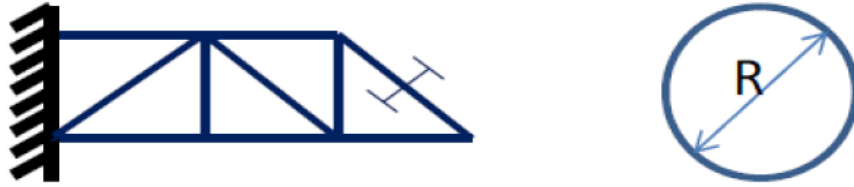
Optimizasyon, bir sistemde var olan kaynakların (iş gücü, zaman, süreçler, hammadde, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara

(maliyetin azaltılması, karın artırılması, kapasite kullanımının yükseltilmesi ve verimliliğin artırılması vb.) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Gass, 2000).

Optimizasyon teknolojisi, karar verme süreçlerini hızlandırmakta ve karar kalitesini arttırmakta kullanılarak gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin etkin, doğru ve gerçek zamanlı çözümünde yararlanılmaktadır (Winston, 2003).

4.1.1. Boyutlandırma Optimizasyonu

Boyutlandırma optimizasyonu yapısal bağlantı ve kesit şekli bilindiği, ancak şekil geometrisi bilinmediği durumlarda optimum kesit yarıçapını bulmak için uygulanır. Şekil 4.1 'de boyutlandırma optimizasyonu uygulanacak olan bir kafes yapı ve bu kafes yapıya ait bağlantı elemanının kesit alanı verilmiştir.



Şekil 4.1. Boyutlandırma Optimizasyonunda Kullanılan Kafes Yapı ve Bağlantı Elemanı Kesit Alanı

4.1.2. Şekil Optimizasyonu

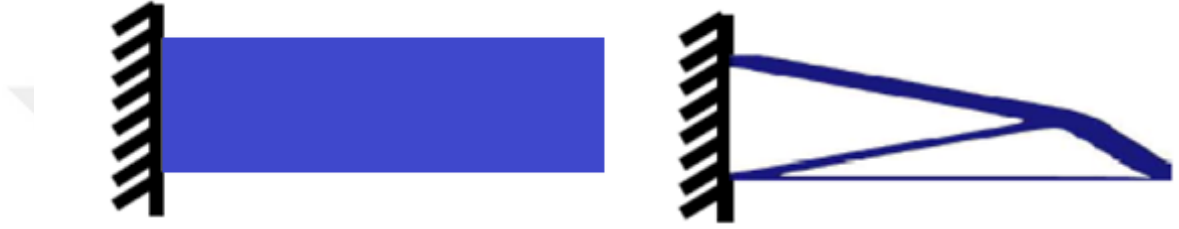
Şekil optimizasyonu yapısal bağlantı bilindiği, ancak kesit şekli bilinmediği durumlarda optimum kesit şekli bulmak için uygulanır. Şekil 4.2'de şekil optimizasyonu uygulanacak olan bir kafes yapı ve bu kafes yapıya ait bağlantı elemanının kesit alanı verilmiştir.



Şekil 4.2. Şekil Optimizasyonunda Kullanılan Kafes Yapı ve Bağlantı Elemanı Kesit Alanı

4.1.3. Topoloji Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu yapısal bağlantı, şekil ve boyut bilinmediği durumlarda optimum topolojiyi bulmak için uygulanır. Şekil 4.3'te bir taşıma elemanının topoloji optimizasyonundan önce ve sonraki hali verilmiştir. Topoloji optimizasyonu bahsi geçen diğer optimizasyonların en gelişmiş şeklidir.



Şekil 4.3. Topoloji Optimizasyonu

4.2. Topoloji Optimizasyonun Uygulanma Nedenleri

Performansı ve tasarımı geliştirmek, tasarımı hafifletmek, ürünlerdeki talaş miktarını ve işleme enerjisini azaltmak, ve geniş malzeme seçenekleri ile çalışabilmek, tasarım optimizasyonunun temel hedefleri arasındadır.

Eschenauer ve Olhoff (2001), sürekli yapıların topoloji optimizasyonunda, özellikle endüstriyel uygulamalarda ürünlerin geliştirilmesi ve inşası, belirli bir maliyet sınırını aşmadan kaliteyi ve güvenilirliği iyi niyetli bir şekilde geliştirmek için hangi önlemlerin alınması gerektiği sorusunu sıklıkla gündeme getirmişlerdir.

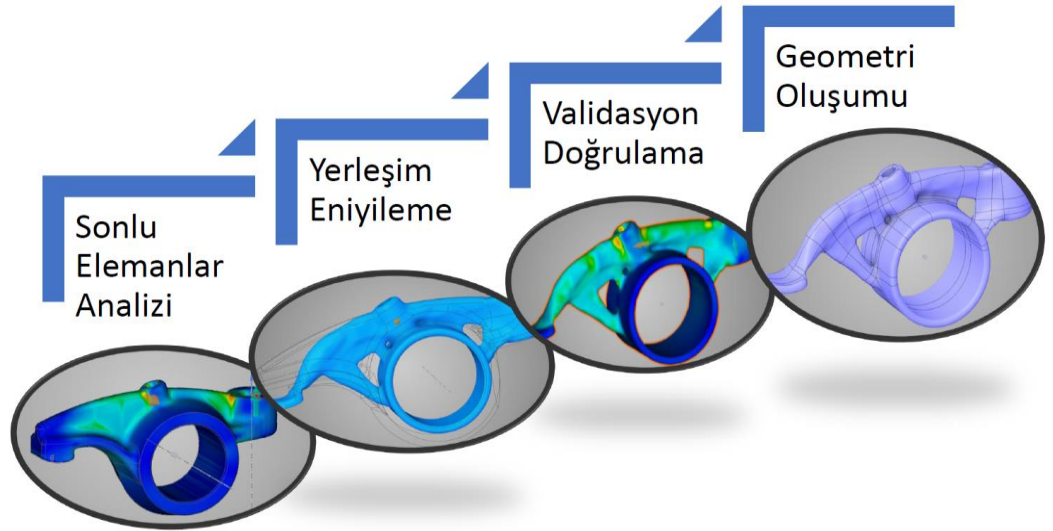
Bu sorunun bilgisayar destekli mühendislikte yapısal optimizasyon olarak bilinen bir alanın öncüsü olduğunu ve bir yapının topolojisinin onun optimum şekli için çok önemli olduğunu belirlenmiştir. Geleneksel olarak bir tasarım topolojisi mühendis tarafından sezgisel olarak veya önceki tasarımlardan ilham alınarak yapılır. Yapı daha sonra şekil veya boyutlandırma optimizasyonundan geçer, ancak ürünün topolojisi değişmeden kalacaktır.

Topoloji optimizasyonunun gücü iç sınırların yanı sıra dış sınırların şekli ve sayısıdır. Topoloji optimizasyonu ile dış sınırlar ve iç boşlukların sayısı aynı anda optimize edilir.

Araştırmacılar yeni bir ürünün verimliliğinin genellikle topoloji seçimine büyük ölçüde bağlı olduğunu görmüşlerdir ve bunu tasarımın kavramsal aşamasında önemli bir araç haline getirmişlerdir.

4.3. Topoloji Optimizasyonu İş Akışı

Topoloji optimizasyonu iş akışına bakıldığında, ürüne öncelikli olarak bir sonlu elemanlar statik analizi uygulanacağı görülmektedir. Statik analiz sonuçları değerlendirildikten sonra yerleşim eniyileme olarak adlandırılan topoloji optimizasyon analizine geçilir. Topoloji optimizasyon sonrası bir validasyon (doğrulama) işlemi tasarımcı tarafından revize edilen yeni modeli doğrulamak için statik analize tabi tutmak koşulu ile yapılır. Bu işlem sonrası yeni ürün tasarımı oluşturulur. Şekil 4.4'te topoloji optimizasyonu iş akış şeması verilmiştir (Makine Mühendisleri Odası Topoloji Optimizasyonu, 2024).



Şekil 4.4. Topoloji Optimizasyonu İş Akışı

4.4. Topoloji Optimizasyon Metotlarının Sınıflandırılması

Topoloji optimizasyon yöntemleri, matematiksel teknikler veya yaklaşımlar olarak tanımlanır ve çeşitli algoritmalarla uygulanabilir. Bu algoritmalar genellikle kriter algoritmaları, matematiksel programlama algoritmaları ve akıllı algoritmalar olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir.

Kriter algoritması, optimalite koşulunu algısal bilgi veya rasyonel türetme yoluyla sağlar. Sonuç geometrisi, kısıtlama ihlalleri ve amaç fonksiyonu değerinin tekrarlayan kontrolüyle belirlenir. Algısal kriter, genellikle boyut optimizasyonunun tam stres kriterinin optimalite koşulunun genişletilmiş versiyonudur. Rasyonel kriter ise genellikle eşitlik kısıtlamasının Lagrange çarpan yöntemiyle elde edilir (Eschenauer vd., 1993).

Optimizasyon yaparken, lagrange çarpanı metodu bir fonksiyonun maksimum ve minimum noktalarını bulmak için kullanılan bir yöntemdir (Hoffmann vd., 1989).

Ayrıca, metodolojilerin en sık kullanılan bir diğer sınıflandırma özelliği de ayrık eleman kullanılıp kullanılmadığıdır. Ayrık elemanların kullanıldığı başlıca yöntemler arasında zemin yapısı yaklaşımı (GSA), katı izotropik malzeme ile cezalandırma (SIMP) yöntemi, homojenizasyon yöntemi (HM), evrimsel yapısal optimizasyon (ESO) ve seviye seti yöntemi (LSM) bulunmaktadır.

Öte yandan, ağırlıklı olarak kullanılan ağırsız yöntemler elemansız Galerkin (EFG), hareketli parçacık ve peridinamik yöntemlerdir (Liu vd., 1995), (Kefal vd., 1995).

4.4.1. Zemin Yapısı Yöntemi (GSA)

Zemin yapısı yöntemi (GSA), uygun maliyetli bir yapısal çerçeve bulmak için bir kafes kiriş yerleşim optimizasyonu problemine bir yaklaşım sağlar. Geçici çubuklarla birbirine bağlanan düğüm noktalarından oluşan bir ızgaraya bölünmüş bir tasarım alanından oluşur. Potansiyel çubukların tümünün veya bir alt kümesinin birleşimine zemin yapısı denir. Bu yöntemin amacı düğüm noktası denge kısıtlamasını karşılarken, elemana ait gerilmelerin

önceden tanımlanmış sınırlar içinde olmasını sağlamak böylece toplam malzeme hacmini en aza indirmektedir (The Constructor: Civil Eng., 2019).

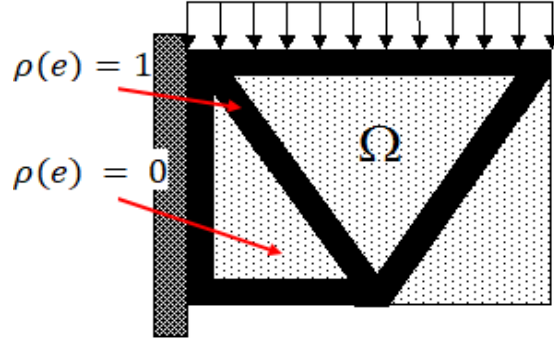
Zemin yapısı yöntemi, düğüm konumlarını sabit tutarken başlangıç zemin yapısındaki tüm çubuklar için en uygun kesit alanlarını belirler. Optimum alanların çoğu sıfır olacağından, optimum çerçeve sıfır olmayan kesit alanlarına sahip çubuklardan oluşur. Bu tür tipik zemin yapısı yöntemi sonuçları genellikle çok ince elemanlar ve kararsız düğümler içermektedir. Bu nedenle yapıyı kararsızlıklara karşı hassas hale getirir (Zhao, 2014).

4.4.2. Katı İzotropik Malzeme ile Cezalandırma Yöntemi (SIMP)

SIMP, bir parçayı çeşitli yüklere, sınır koşullarına ve kısıtlamalara maruz kalan bir parça üzerinde en optimum şekilde dağıtarak, parçanın önceden belirlenmiş kısıtlamaları ihlal etmeden bir optimizasyon hedefini gerçekleştirmeyi amaçlayan yoğunluk tabanlı bir topoloji optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemin en belirgin özelliği, parçayı oluşturan sonlu elemanların özkütlesini 1 ya da 0'a yaklaştırmaktır (Bendsøe MP., 1989).

Yöntem, ara yoğunluğa sahip olan elemanların öz kütlesini cezalandırma yöntemiyle 1 veya 0'a yakınsar. Cezalandırma yönteminin amaçlarından biri, optimizasyon sonucunda üretilebilir bir çıktı elde etmektir. Ara yoğunluktaki elemanlara sahip bir geometrinin üretiminin genellikle mümkün olmamasından kaynaklanan bu hedef, bu elemanların da optimizasyon çıktısına dahil edilmesiyle daha iyi performansa sahip geometrilerin oluşmasını sağlamaktadır (Helvacı, 2020).

Şekil 4.5'te SIMP yöntemi ile topoloji optimizasyonu uygulanmış bir kiriş örneği görülmektedir. Bu kirişte malzemenin gerekli olduğu yerler siyah ($\rho(e) = 1$), malzemenin çıkarıldığı yerler ise beyaz ($\rho(e) = 0$) olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. SIMP Yöntemi ile Bir Kirişin Topoloji Optimizasyonu

Her elemanda atanan yoğunluk değeri, “ ρ_{min} ” ile 1 arasında değişmektedir. “ ρ_{min} ” sıfırdan büyük elemanlar için izin verilen minimum yoğunluk değeridir. Bu yoğunluk değeri, sonlu eleman analizindeki sayısal kararlılığı korur. Her elemanın belirli bir minimum yoğunluğa sahip olması, analizin doğruluğunu artırır ve istikrarlı sonuçlar elde edilmesini sağlar. Malzeme yoğunluğu sürekli değişebildiğinden, her elemanın Young modülü de sürekli olarak değişebilir. Bu durum, tasarım alanında malzemenin dağılımı değiştikçe, malzemenin mekanik özelliklerinin dinamik olarak uyarlanabileceği anlamına gelir. Bu esneklik, yapısal optimizasyon sürecinde daha hassas ve gerçekçi sonuçlar elde etmemizi sağlar. Her eleman için, malzemenin yoğunluk faktörü “ ρ_e ” ile atanan izotropik malzeme modeli “ E_0 ”’ın elastikiyet modülü arasındaki ilişki Denklem 3.1’e göre hesaplanır.

$$E(\rho_e) = \rho_e^p E_0 \quad (3.1)$$

Elemanın malzeme elastiklik modülündeki azalma, sertliğinin düşmesine sebep olur. SIMP yöntemine göre, global sertlik aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$K_{SIMP}(\rho) = \sum_{e=1}^N [\rho_{min} + (1 - \rho_{min})\rho_e^p] K_e \quad (3.2)$$

Eleman sertlik matrisi “ K_e ” olduğunda, “ ρ_{min} ” minimum göreceli yoğunluktur, “ ρ_e ” eleman göreceli yoğunluğudur, “ p ” ceza faktörüdür ve “ N ” tasarım alanındaki elemanların sayısıdır.

Örneğin, $\rho_e = 0.6$, $p = 3$ ve $\rho_{min} = 0.002$ değerlerine sahip bir eleman için global sertlik değeri

$$K_{SIMP}(\rho) = (0.01 + (1 - 0.002) \times 0.6^3) \quad (3.3)$$

$$K_{SIMP}(\rho) = 0.225568 \quad (3.4)$$

olarak elde edilir (Topology Optimization, 2024).

4.4.3. Homojenizasyon Yöntemi (HM)

Topoloji optimizasyonunda, homojenleştirme yöntemi, heterojen malzemelerin davranışını makroskobik düzeyde modellemek ve analiz etmek için kullanılan bir matematiksel yöntemdir. Özellikle, karmaşık mikro yapılara sahip olan veya değişken malzeme özelliklerine sahip olan malzemelerle kullanılmaktadır.

Homojenleştirme yönteminin topoloji optimizasyonu bağlamında aşağıdaki gibi çalışmaktadır (Bendsøe MP. ve Kikuchi N., 1988).

İlk aşama mikroskobik düzey aşamasıdır. Mikroskobik düzeyde, malzeme birden fazla faz veya bileşenin olduğu düşünülür, her birinin elastik modülü, yoğunluğu vb. gibi kendi mekanik özellikleri vardır. Bu bileşenler, incelenen malzemeye bağlı olarak periyodik veya rastgele bir şekilde düzenlenmiş olabilir.

İkinci aşama Temsilci Hacim Elemanı (RVE) aşamasıdır. Bu aşamada homojenleştirme yöntemi, malzeme içinde küçük bir temsilci hacim elemanı tanımlayarak başlar. Bu eleman, malzeme özelliklerindeki değişkenliği yakalamak için yeterince küçük olmalı, ancak bütün malzemenin istatistiksel olarak temsilcisi olacak kadar da büyük olmalıdır.

Üçüncü aşama homojenleştirme aşamasıdır. Homojenleştirme, malzemenin makroskobik düzeyde etkili veya homojenleştirilmiş özelliklerini, RVE içindeki bireysel bileşenlerin özelliklerini ortalamak suretiyle belirleyerek elde etmeyi amaçlar. Bu, malzemenin mikroskobik ve makroskobik ölçeklerde davranışını tanımlayan kısmi diferansiyel denklemleri çözmeyi içermektedir.

Dördüncü aşama makroskobik düzey aşamasıdır. Bu aşamada homojenleştirme yöntemiyle malzemenin etkili özellikleri belirlendikten sonra, bunlar makroskobik ölçekteki simülasyonlarda veya analizlerde kullanılabilir, örneğin sonlu eleman analizinde (FEA) veya topoloji optimizasyonunda. Bu simülasyonlar, malzemeyi makroskobik düzeyde homojen olarak ele alır, hatta birden fazla fazdan oluşabilir veya karmaşık bir mikro yapıya sahip olabilir.

Son aşama topoloji optimizasyon aşamasıdır. Topoloji optimizasyonunda, homojenleştirme yöntemi, tasarım alanı içinde malzeme dağılımının belirli performans hedeflerine ulaşmak için optimize edilmesini sağlar. Yapıyı optimize ederken, malzemeyi makroskobik düzeyde homojen olarak ele alır. Topoloji optimizasyon algoritmaları, optimal tasarımı bulmak için çeşitli malzeme düzenlerini etkili bir şekilde keşfetmesine olanak sağlar.

Genel olarak, homojenleştirme yöntemi, topoloji optimizasyonunda karmaşık malzemeleri ve yapıları farklı uzunluk ölçeklerinde modellemek için bir araç sağlayarak, daha doğru ve verimli tasarım optimizasyon süreçleri sağlar (Katsuyuki Suzuki vd., 1991).

4.4.4. Evrimsel Yapısal Optimizasyon Yöntemi (ESO)

Evrimsel Yapısal Optimizasyon (ESO), topoloji optimizasyonunda kullanılan bir hesaplama yöntemidir ve mekanik performansa dayalı olarak yapıların evrilmesi ve optimize edilmesinde kullanılır. Doğal evrim süreçlerinden, genetik algoritmalarından esinlenerek, belirli hedeflere ulaşmak için tasarımları sürekli olarak geliştirmek ve iyileştirmek için kullanılır (Jiang & Jia, 2006).

Evrimsel yapısal optimizasyon yöntemi aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

ESO, başlangıçta optimize edilecek yapının temsil edildiği bir tasarım veya tasarım seti ile başlar. Bu tasarımlar genellikle tasarım alanını elemanlara bölen sonlu eleman modellerini içerir.

Birinci aşama uygunluk değerlendirmesidir. Her tasarım, mekanik performansı üzerinden değerlendirilir. Bu performans genellikle uyum, ağırlığın minimize edilmesi veya malzeme hacmi veya gerilme sınırları gibi kısıtlamaları karşılayarak yapısal dayanıklılığın maksimize edilmesi gibi hedeflere dayanır.

İkinci aşama seçim aşamasıdır. Tasarımlar uygunluklarına göre seçilir, daha iyi performans gösteren tasarımların seçilme olasılığı daha yüksektir. Bu, biyolojik evrimdeki doğal seçim sürecini taklit eder, yani avantajlı özelliklere sahip bireylerin daha fazla çoğalma olasılığı vardır.

Üçüncü aşama çaprazlama ve mutasyon aşamasıdır. Seçilen tasarımlar, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operasyonlardan geçirilerek yeni tasarımlar oluşturulur. Çaprazlama, ebeveyn tasarımlar arasında genetik bilginin değiştirilmesini içerirken, mutasyon yeni tasarımlara rastgele değişiklikler getirerek popülasyon içerisinde çeşitliliği sağlar.

Dördüncü aşama değiştirme aşamasıdır. Yeni tasarımlar, popülasyon içindeki bazı mevcut tasarımların yerini alır, popülasyonun büyüklüğünü sabit kalır. Bu, arama uzayının sürekli olarak keşfedilmesini sağlar ve daha iyi performans gösteren tasarımların ardışık nesillerde yayılma fırsatına sahip olmasını sağlar.

Son aşamada, optimizasyon süreci belirli bir nesil sayısı ve iyileşme seviyesine ulaşma veya tatmin edici bir çözüme yakınsama gibi bir sonlandırma kriteri karşılanana kadar iteratif olarak devam eder.

ESO'nun ana avantajı, karmaşık yapılar ve amaç fonksiyonları için, geniş bir tasarım olasılığına ve optimale çözüme yaklaşma yeteneğidir.

Evrimsel yapısal optimizasyon yöntemleri havacılık, otomotiv ve inşaat mühendisliği gibi çeşitli mühendislik problemlerine başarıyla uygulanmıştır. Performans gereksinimlerini karşılayan, malzeme kullanımını ve yapısal ağırlığı en aza indiren yenilikçi tasarımların

keşfedilmesini sağlayan esnek ve verimli bir topoloji optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır (Özkal & Uysal, 2009).

4.4.5. Level-Set Yöntemi (LSM)

Level-set yöntemi (LSM), genellikle farklı malzemeler veya fazlar arasındaki sınırların veya arayüzlerin evrimini içeren problemlerde geometrik şekillerin evrimi ve temsil edilmesi için topoloji optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir sayısal yöntemdir. Level-set yöntemi, optimize edilirken karmaşık geometrileri ve topolojileri işlemek için esnek ve güçlü bir çerçeve sunar (Jia vd., 2011).

Topoloji optimizasyonu bağlamında Level-Set yöntemi aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

Birinci aşama Level-Set fonksiyon aşamasıdır. Level-Set yönteminin merkezi kavramı, genellikle “ $\phi(x)$ ” olarak gösterilen Level-Set fonksiyonudur, burada “ x ” yerel koordinatları temsil eder. Bu fonksiyon, her bir noktanın arayüz veya sınıra olan uzaklığını gösterir ve tasarım alanı boyunca tanımlanır.

İkinci aşama örtük temsil aşamasıdır. Level-Set yöntemi evrim halindeki yapıların geometrisini açık bir şekilde temsil etmek yerine geometriyi Level-Set fonksiyonu içinde örtük olarak kodlar. Bu, karmaşık şekillerin ve topolojilerin açık geometrik tanımlamalar olmadan temsil edilmesine olanak tanır.

Üçüncü aşamada Level-Set fonksiyonu, arayüzün veya sınırın zaman içinde nasıl hareket ettiğini tanımlayan kısmi diferansiyel denklemler (KDD) kullanır. Bu denklemler genellikle geometrik korunum yasalarına veya belirli enerji fonksiyonlarını en aza indiren formülasyonlara dayanarak türetilir.

Dördüncü aşama topoloji parametrelerinin uygulandığı aşamadır. Level-Set yönteminin temel avantajlarından biri, topoloji değişkenlerini doğal olarak işleyebilme yeteneğidir. Optimizasyon süreci ilerledikçe, Level-Set fonksiyonu evrim halindeki yapı içinde birleşme, bölünme veya boşluk oluşturma gibi topolojik değişkenleri yakalayabilir.

Beşinci aşama arayüz takibi aşamasıdır. Level-Set fonksiyonu, optimizasyon süreci boyunca farklı malzemeler veya fazlar arasındaki arayüz veya sınırların etkin bir şekilde

izlenmesine olanak tanır. Bu, optimizasyon algoritmasının yapı şeklini evrimleştirirken yapısal bütünlük ve üretilebilirlik gibi istenilen özelliklerin korumasına sağlamaktadır.

Son aşama sayısal uygulama aşamasıdır. Level-Set yönteminin sayısal uygulaması genellikle alanın ayrıştırılması ve KDD'lerin sonlu farklar veya sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesini içerir. Level-Set fonksiyonunun iyileştirilmesi istenilen bir çözüme ulaşılan kadar iteratif olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Genel olarak Level-Set yöntemi, özellikle karmaşık geometriler ve malzeme arayüzleri içeren tasarımların topoloji optimizasyonu için güçlü ve esnek bir yaklaşım sunmaktadır. Topoloji optimizasyonu ve mühendislik tasarım problemleri için geniş bir uygulama alanına sahiptir (Wei vd., 2020).

4.4.6. Meshsiz Metot

Meshsiz Metot veya Ağsız Metot, topoloji optimizasyonunda kullanılan, tasarım alanını ayrıntılandırmak için yapılan, yapılandırılmış bir ağı gerektirmeyen bir sayısal yöntemdir. Bunun yerine, doğrudan alanı temsil eden geometri veya veri noktaları üzerinde çalışır ve özellikle karmaşık geometrilere veya değişen şekillere sahip problemler için uygundur (Luo vd., 2013).

Topoloji optimizasyonu bağlamında meshsiz metodun çalışma prensibi aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

Birinci aşamada tasarım alanı, dağılmış veri noktaları veya nokta bulutu olarak temsil edilir. Bu noktalar, problem geometrisine bağlı olarak rastgele örnekleme, tabakalı örnekleme veya adaptif örnekleme gibi çeşitli teknikler kullanılarak oluşturulabilir.

İkinci aşama radyal temel fonksiyonların (RBF) dahil edildiği aşamadır. RBF'ler, yalnızca merkez noktadan olan mesafeye bağlı olan matematiksel fonksiyonlardır.

Üçüncü aşama interpolasyon aşamasıdır. RBF'ler kullanılarak, alan içindeki noktalarda alan değişkenleri (örneğin, deplasman, gerilme, yoğunluk) arasındaki ilişki belirtilir. İnterpolasyon işlemi topoloji optimizasyonu için gerekli olan amaç ve kısıt fonksiyonlarının hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu şekilde yapılandırılmış bir ağa ihtiyaç duyulmaz.

Dördüncü aşama hareketli en küçük kareler (MLS) yönteminin uygulandığı aşamasıdır. MLS, veri noktalarına lokal yaklaşımların, ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılarak uygun hale getirilmesini sağlamaktadır.

Son aşama optimizasyon sürecinin gerçekleştiği aşamasıdır. Meshsiz metod ile alan değişkenleri arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra, standart optimizasyon algoritmaları (örneğin, gradyan tabanlı yöntemler, evrimsel algoritmalar veya stokastik optimizasyon teknikleri) kullanılarak tasarım iyileştirilmesi hedeflenir. Belirlenen amaçlar ve kısıtlamalar doğrultusunda tasarım optimize edilir.

Genel olarak meshsiz metod özellikle geleneksel ağ temelli yaklaşımların uygulanmasının zor veya verimsiz olduğu durumlarda, topoloji optimizasyonu için esnek ve güçlü bir çerçeve sunmaktadır. Mühendislere karmaşık geometrilere sahip yenilikçi yapılar tasarlama ve performans gereksinimlerini karşılama imkanı sağlamaktadır (Li vd., 2020).

BÖLÜM 5

BOM SİSTEMİNİN STATİK ANALİZİ VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Topoloji optimizasyonu en yaygın kullanılan yapısal optimizasyon türüdür. Tasarımın ilk aşamasında, bir yapının belirli bir başlangıç tasarım alanında optimal malzeme dağılımını tahmin etmek için kullanılmaktadır ve uygulanan tüm yükleri ve üretim kısıtlamalarını dikkate almaktadır.

Sabit Bom Sistemi sisteminde belirli bir yükleme altında parçalarda en yüksek gerilme kuvveti pernolarda ve kollarda oluşmaktadır. Topoloji optimizasyonu için yüksek gerilme kuvvetlerine maruz kalan sabit bom sistemi kolu seçilmiştir.

Topoloji optimizasyonunda uygulanacak işlemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

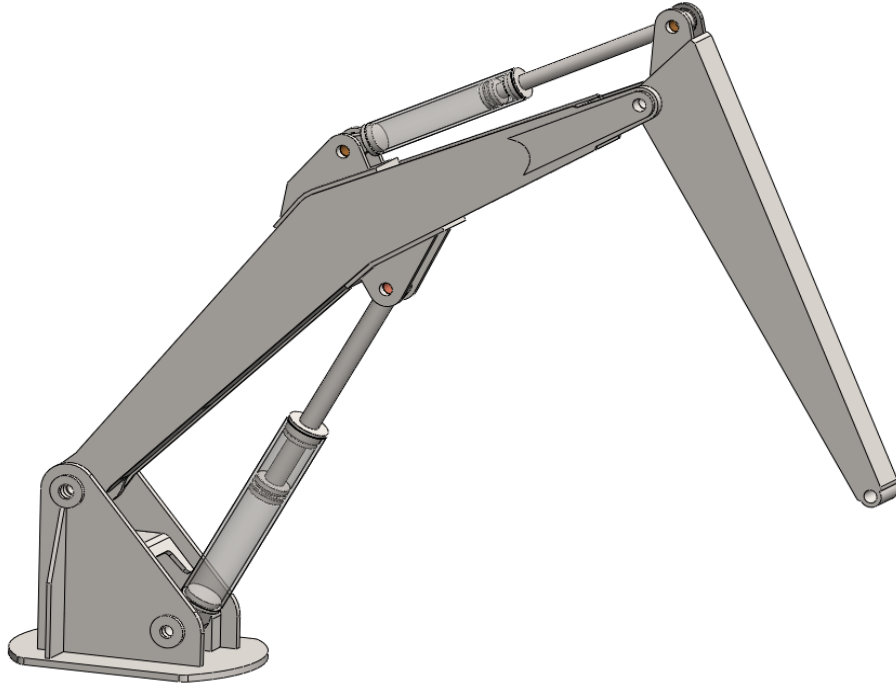
Ticari yazılım seçimi, tasarlanan Sabit Bom Sistemi kolunun statik analizi ve sonuçlarının değerlendirilmesi, ardından statik analiz sonrası ürünün topoloji optimizasyonuna tabi tutulması, topoloji optimizasyonu sonrası oluşan geometrinin incelenmesi ve sonuçların yorumlanması, optimizasyon sonucu oluşan geometrinin yeni tasarıma uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi, tasarım sürecinin kritik adımlarını oluşturmaktadır.

CAD yazılımının analiz modülüyle oluşturulan tasarımın gerekli yükleme ve mesnetleme koşulları altında statik analizi gerçekleştirilecektir. Sonrasında programın optimizasyon modülünde topoloji optimizasyonuna geçilecektir. Topoloji optimizasyonu

sonucunda model yenilenecektir. Tasarım analiz sonuçların doğrulanması için bir validasyon (doğrulama) işlemine tabi tutulacaktır. Validasyon işlemi sonrasında model onaylanacaktır.

5.1. Sabit Bom Sisteminin İncelenmesi ve Fiziksel Özellikleri

Sabit bom sistemi kolunun belirli bir yükü kaldırabilmesi önemlidir. Şekil 5.1’de görülen tasarımda, sistem kolunun 3 tonluk bir yükü güvenle kaldırabilmesi istenmektedir. Ancak sadece yükü kaldırma kapasitesi yeterli olmayıp, aynı zamanda sistem güvenlik açısından da sağlam olmalıdır. Bu nedenle, sabit bom sistemi kolunun güvenlik katsayısının minimum 1.8 olması şartı göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 5.1. Sabit Bom Sistemi Katı Modeli

5.2. Sabit Bom Sisteminin Statik Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi, fiziksel bir problemi çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayırarak problemi çözmektedir. Bu sayede

analitik yöntemlerle çözülmesi oldukça güç veya imkânsız olan problemleri sonlu eleman programları kullanarak çözmek mümkündür.

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik uygulamalarında genellikle yapısal analizlerde ve termal problemlerin çözümünde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

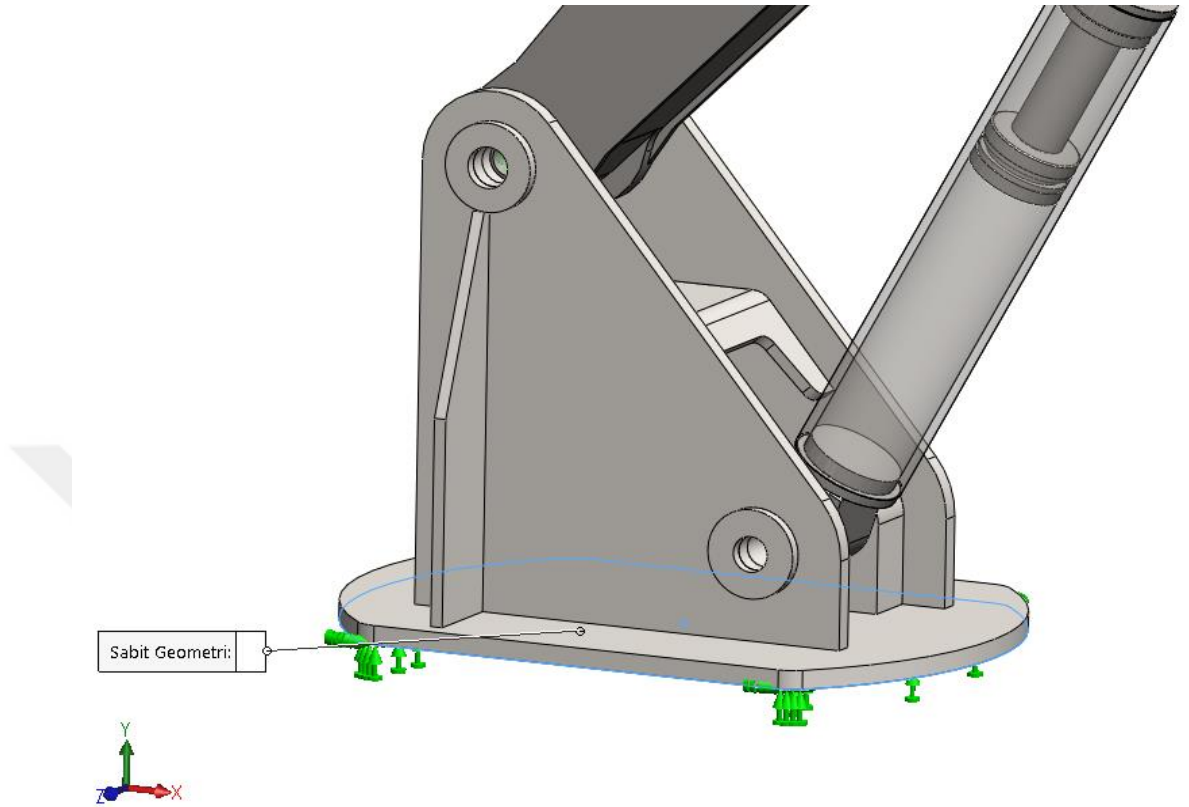
5.2.1. Malzeme Seçimi

Statik analize geçilmeden önce ürün hangi malzemeden imal edilmek isteniyorsa malzeme uygula ve düzenle adımıyla malzeme özellikleri modele uygulanır. Yapılan çalışmada genel imalat çeliklerinde akma dayanımı 273 MPa olan St-37 çeliği seçilmiştir.

5.2.2. Fikstürler

Tüm sonlu elemanlar programları, yapısal analizde denge halini çözmektedir. Bu sebepten ötürü tasarımın sabitlenmesi gerekmektedir. Analiz programlarında fikstür sıfır veya sıfır olmayan yer değiştirmelerin belirlenmesini sağlamaktadır.

Analiz programında seçilebilecek birçok fikstür türü bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan fikstür ise sabit geometri fikstürüdür. Bu kısıtlama tipi katılar ve kafes kiriş elemanları için tüm öteleme serbestlik derecelerini, kabuklar ve kirişler için ise hem öteleme hem de rotasyonel serbestlik derecelerini sıfıra ayarlamaktadır. Bu kısıtlama tipi kullanıldığında referans geometrisine gerek duyulmaz. Fikstürler modelin mesnet noktalarına Şekil 5.2'deki gibi uygulanmıştır.



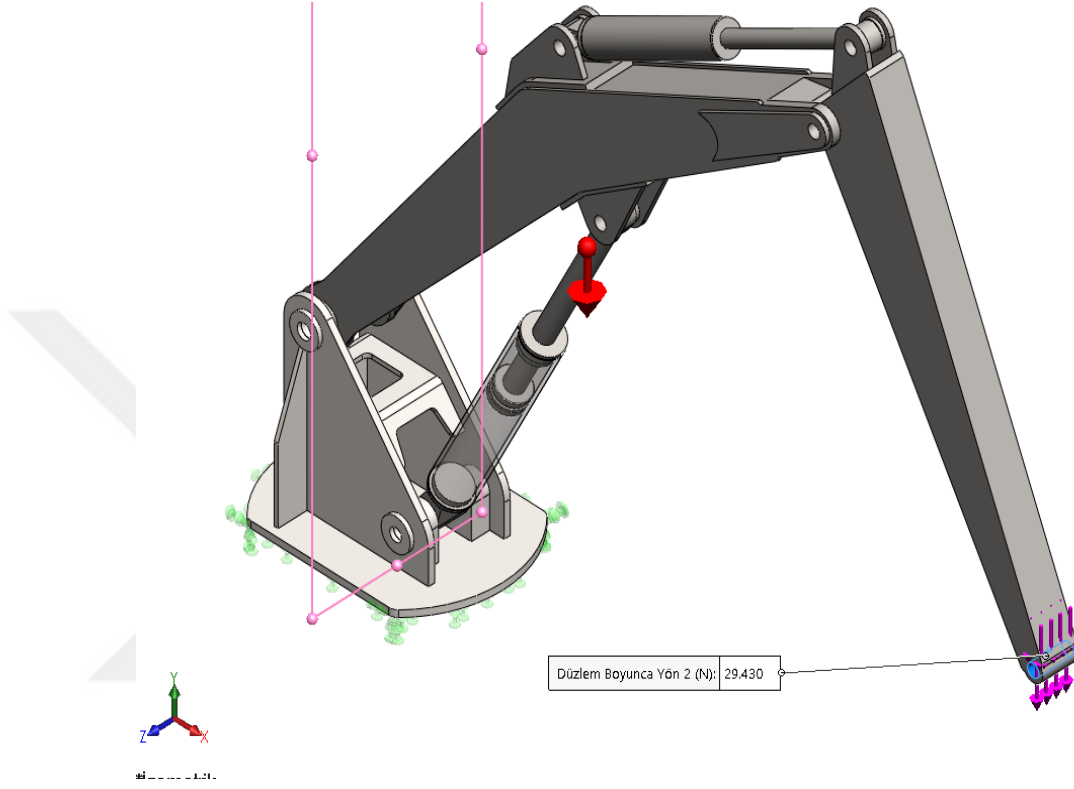
Şekil 5.2. Modele Fikstürlerin Uygulanması

5.2.3. Yükler ve Bağlantı Elemanları

Statik analizler ve diğer analizler için belirli türde yükleme koşuluna ya da önceden belirlenmiş yer değiştirme değerine gerek duymaktadır. Analize uygulanabilecek yük çeşitleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

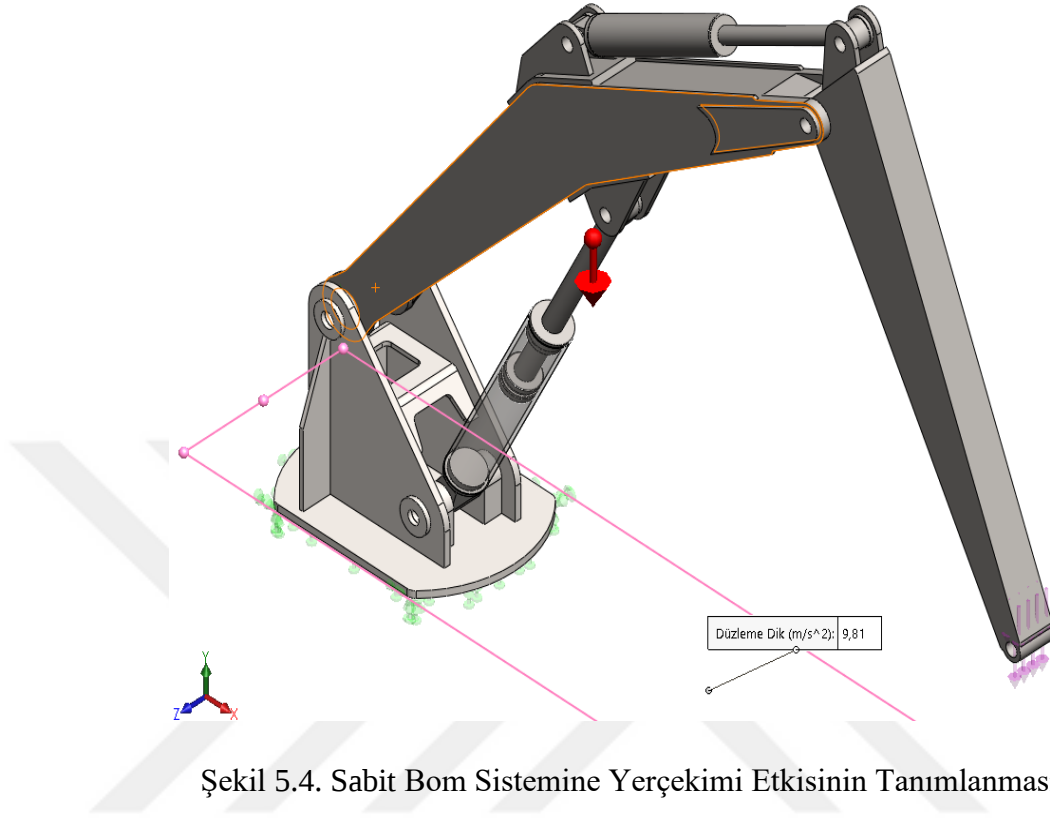
Bu bölümde yapısal analizlerde kullanılan çeşitli yüklemeler tanımlanmaktadır. Örneğin, yapısal analizlerde yüzeylere tek tip kuvvet veya değişken gerilmeler uygulanabilmektedir. Kuvvetler ise yüzeylere, kenarlara, sonlu eleman noktalarına ve kirişlere eşit dağılımlı olarak uygulanmaktadır. Kullanılan program yardımı tasarıma yerçekimi ve merkezkaç etkileri uygulanabilmektedir. Uzaktan yükler ve kısıtlamalar, modellenmemiş bileşenleri hesaplamak için simülasyonlarda uygulanabilmektedir. Bu çeşitli yüklemeler, yapısal analizler farklı senaryoların incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Sabit bom sisteminin yük taşıyacak bölümüne Şekil 5.3'te görüldüğü gibi düşey yönde 3 tonluk bir kuvvet uygulanmıştır.



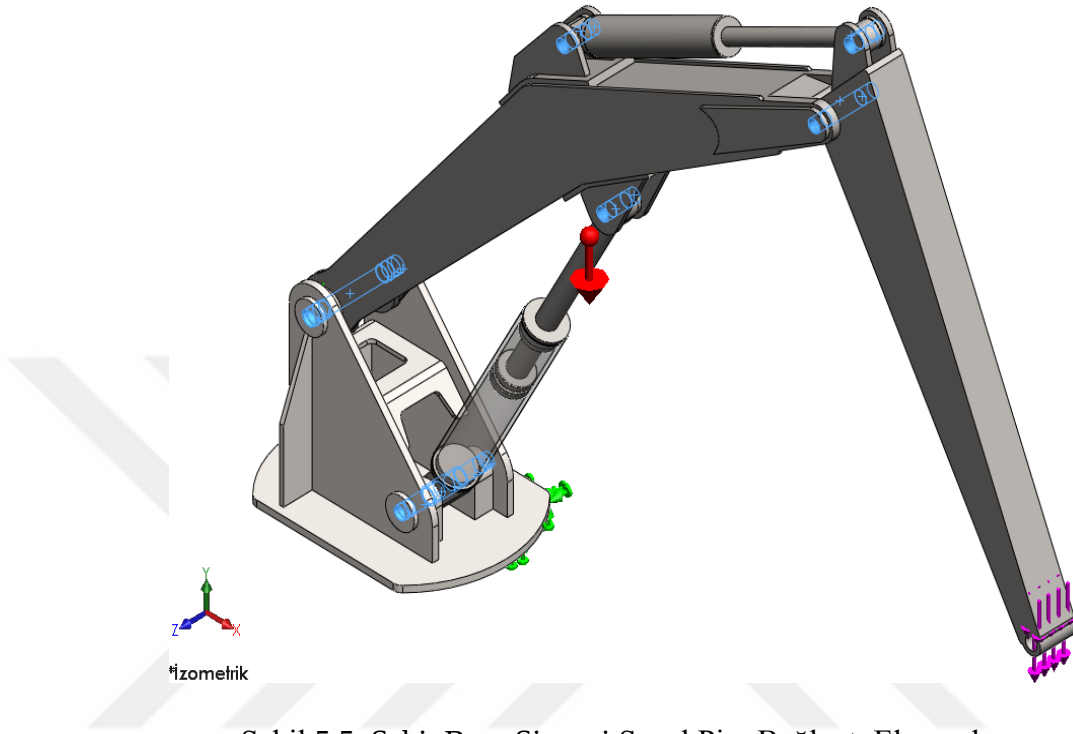
Şekil 5.3. Sabit Bom Sisteminde Kuvvetin Uygulanması

Yapılan analizin gerçeğe en yakın koşullarda uygulanabilmesi için Şekil 5.4'te görüldüğü gibi yerçekimi etkisi modele tanımlanmıştır.



Şekil 5.4. Sabit Bom Sistemine Yerçekimi Etkisinin Tanımlanması

Bağlantı elemanları model üzerinde sanal eleman olarak tanımlanabilmektedir. Bu sanal elemanlar yay, pim, cıvata ve diğer bağlantıları olarak sıralanabilir. Genel olarak katı modelin boyutundan çok küçük oldukları için mesh kontrolü uygulanması ve boyutlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durum analiz süresini ciddi oranda azaltmaktadır. Bu sebeple modelin pim bağlantıları sanal olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.5'te model üzerinde yer alan sanal pim bağlantı tanımlamaları görülmektedir.



Şekil 5.5. Sabit Bom Sistemi Sanal Pim Bağlantı Elemanları

5.2.4. Mesh Yapısı

Mesh üretme fiziksel bir tanım aralığını daha küçük tanım aralıklarına (elemanlara) bölme işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Burada amaç sonlu elemanlar diferansiyel denkleminin çözümünü kolaylaştırmaktır. Bundan dolayı sonlu elemanlar yönteminde elde edilecek sonuçların yaklaşım doğruluğu ağ içerisinde kullanılan eleman tipine ve eleman sayısına bağlıdır.

Sonlu elemanlar yöntemi yaklaşık çözümler üreten bir metottur. Eleman sayısı arttırılarak, eleman tipi veya mesh üretim yöntemi değiştirilerek ve mesh üzerinde manuel olarak değişiklikler yapılarak çözüm tekrarlanabilir. Böylece sonuçlar arasındaki fark gözlemlenebilir. Modele mesh üretirken, yakınsamanın yüksek olabilmesi ve analizin doğru sonuç verebilmesi için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

Meshlemenin üniform dağılımı için eğrisel yüzeylerde eleman seçimine ve yapının durumuna göre simetriye dikkat edilmelidir. Eğrisel yüzeylerde, doğru sayıda ve uygun şekilde dağıtılmış elemanların seçilmesi önemlidir. Çünkü bu durum meshlemenin doğruluğunu ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini etkileyebilir. Ayrıca simetrik yapılar için simetriye dayalı meshleme stratejileri kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, analiz süresini azaltırken hesaplama verimliliğini artırmakta, böylece daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

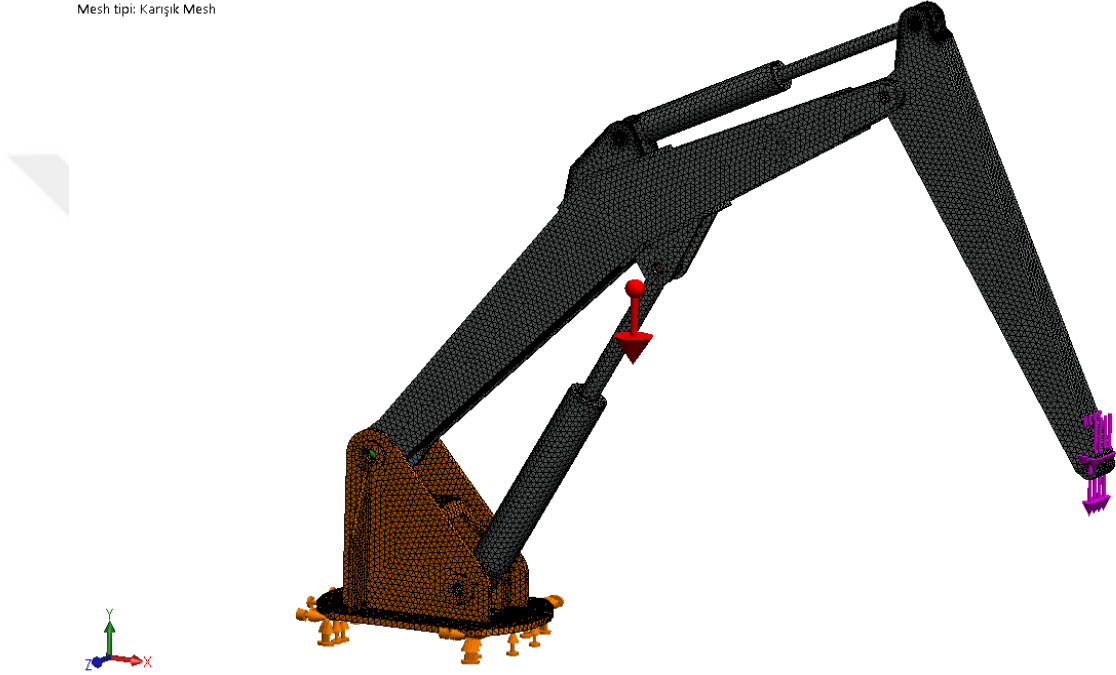
Sonlu elemanlar analizi, karmaşık yapıların davranışlarını analiz etmek için kullanılan bir mühendislik yöntemidir. Bu yöntem, bir sistemi sonlu bir sayıda elemana böler ve bu elemanların her birinin davranışını matematiksel olarak modeller. Meshleme, bu sistemi elemanlara bölmek ve her elemanın geometrisini ve özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Model üzerinde meshlemenin önemini 3 farklı açıdan ele alınabilir. Bunlar hesaplama hassasiyeti, hesaplama verimliliği ve analiz yöntem çeşitliliğidir. Hesaplama hassasiyeti, bir yapıyı elemanlara bölmek suretiyle karmaşık geometrilerin ve yük dağılımlarının daha hassas bir şekilde modellenmesini sağlar. Küçük elemanlar, stres konsantrasyonlarını daha iyi yakalayabilir ve sonuçların doğruluğunu artırır. Hesaplama verimliliği açısından, meshleme bir yapıyı daha küçük ve daha yönetilebilir parçalara ayırarak hesaplama süresini azaltır. Büyük yapıları tek bir büyük eleman yerine daha küçük elemanlara bölmek, bilgisayar kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Analiz yöntemi çeşitliliği ise farklı tipte elemanlar kullanarak çeşitli analizler yapılabilmesine olanak sağlar. Örneğin, analiz programında yapıyı 2B veya 3B olarak modellenebilmekte ve buna uygun elemanları seçilebilmektedir.

Meshleme işlemini sırasında 2B analizler için genellikle üçgen ve dörtgen elemanlar, 3B analizler genellikle için tethedral ve hexahedral elemanlar, plak ve kabuk elemanları için genellikle yüzey elemanları, çelik ve betonarme yapıların analizlerinde ise genellikle çubuk elemanlar kullanılır.

Modelde, yüksek doğruluk sağlayan karışık eğrilik tabanlı mesh seçilip, minimum ve maksimum eleman boyutları sisteme tanımlanmıştır. Şekil 5.6’da meshleme işlemi tamamlanmış sabit bom sisteminin katı modeli verilmiştir. Meshleme sonucunda 204304 düğüm ve 107711 tane eleman oluşturulmuştur.

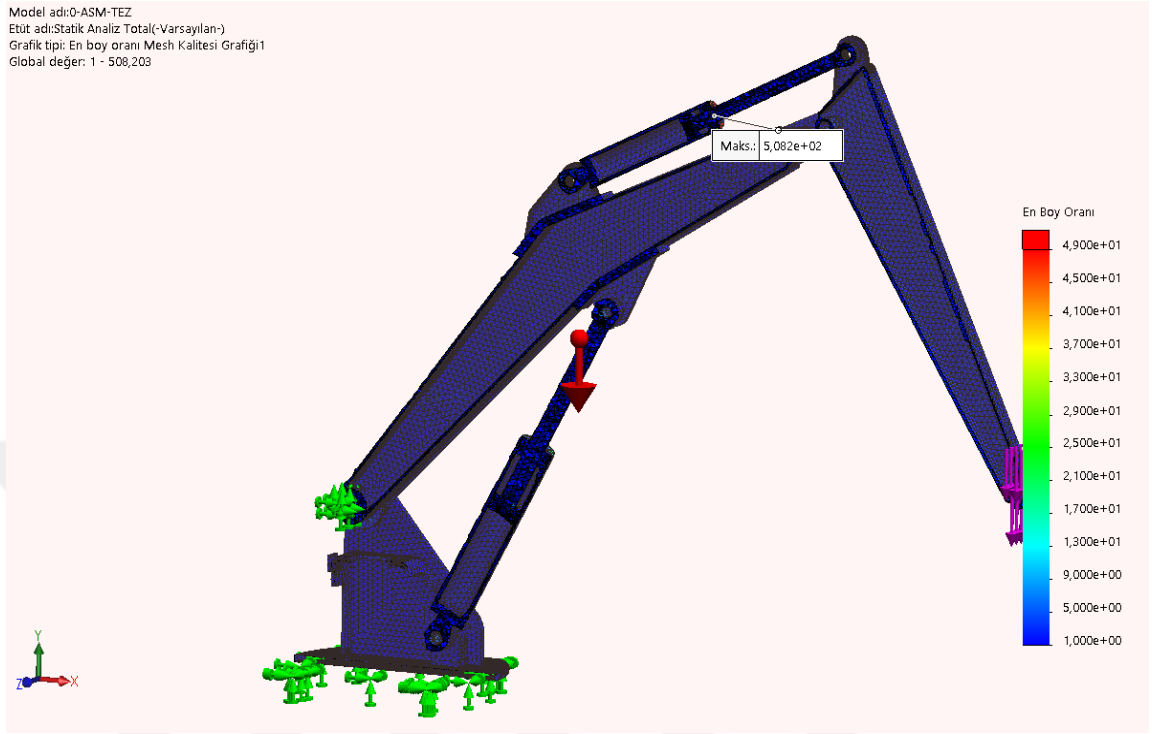
Model adı:0-ASM-TEZ
Etüt adı:Statik Analiz Total(-Varsayılan-)
Mesh tipi: Karışık Mesh



Şekil 5.6. Sabit Bom Sisteminin Mesh Yapısı

Şekil 5.7’de mesh kalitesi grafiğı verilmiştir. Bu grafik hatalı meshlemenin önüne geçmek için oluşturmuştur. Mesh kalite grafiğinde en-boy oranı incelenerek, bu oranı ciddi seviyede düşük olduğı bölgelere bölgesel mesh uygulanabilmektedir. Modelde seçilen meshleme işlemi sonrasında en-boy oranı düşük herhangi bir yer tespit edilmediğı için bölgesel mesh uygulanmamıştır.

Model adı:0-ASM-TEZ
Etüt adı:Statik Analiz Total(-Varsayılan-)
Grafik tipi: En boy oranı Mesh Kalitesi Grafiği1
Global değer: 1 - 508,203

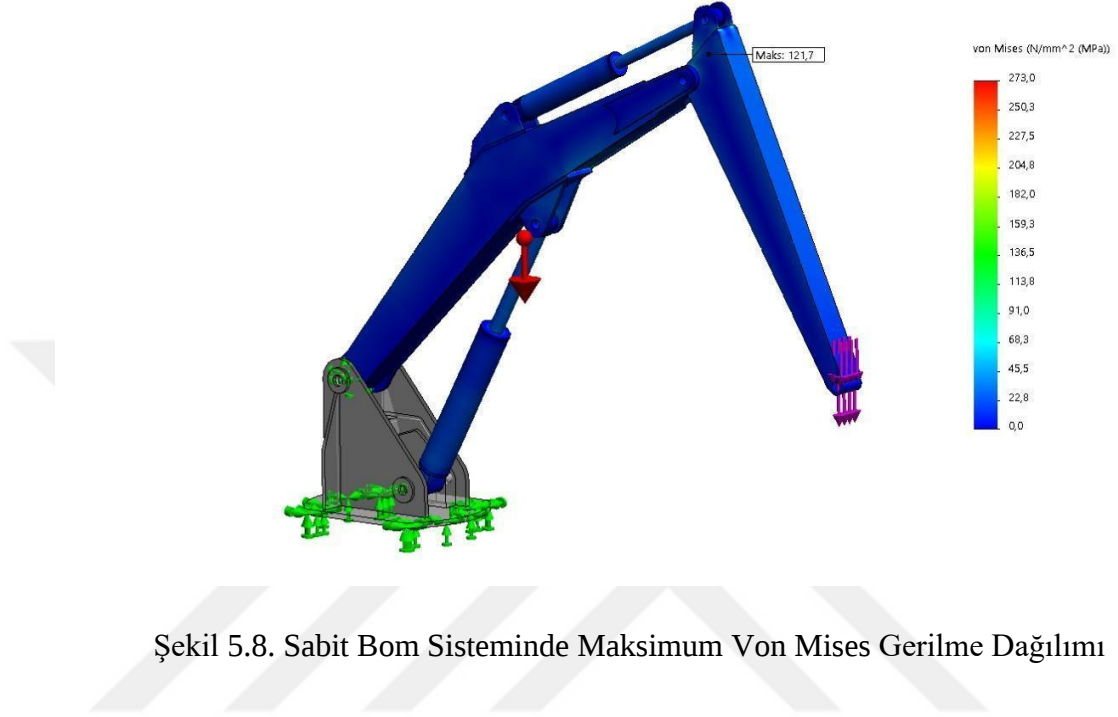


Şekil 5.7. Mesh Kalitesi Grafiği

5.2.5. Statik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sabit bom sistemi statik analiz sonuçları incelendiğinde maksimum Von Mises gerilme değeri Şekil 5.8’de görüldüğü üzere 121 MPa olarak elde edilmiştir.

Model adı:0-ASM-TEZ
Etüt adı:Statik Analiz Total(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stressi Stres1
Deformasyon ölçeği: 1



Şekil 5.8. Sabit Bom Sisteminde Maksimum Von Mises Gerilme Dağılımı

Sabit bom sisteminde uygulanan fiktürler ve yükleme koşullarına bağlı olarak modelin güvenlik katsayısı (GK) Denklem 5.1'deki gibi elde edilmektedir.

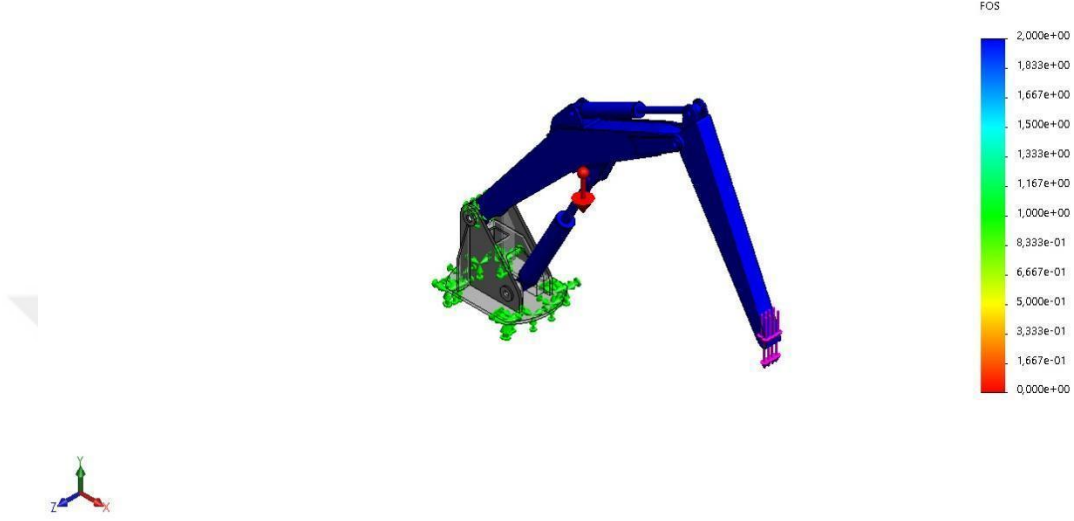
$$\frac{\text{Malzemenin Akma Mukavemeti}}{\text{Malzeme Üzerine Gelen Maksimum Gerilme}} = \text{Güvenlik Katsayısı} \quad (5.1)$$

$$GK = \frac{273}{121} \quad (5.2)$$

$$GK = 2.25 \quad (5.3)$$

Hedeflenen güvenlik katsayısının 1.8 olduğu göz önüne alındığında, sabit bom sisteminin kaldıracağı yüke karşı dayanıklı olduğu ve tasarım içerisinde kuvvet gelmeyen bölgelerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar neticesinde topoloji optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Şekil 5.9'da uygulanan yük ve fiktüreler bağlı olarak güvenlik katsayısının değişimi görülmektedir.

Model adı: Q-ASM-TEZ
Etüt adı: Statik Analiz Total(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Güvenlik Faktörü Güvenlik Faktörü1
Kriter: Otomatik
Güvenlik faktörü dağılımı: Min FOS = 2



Şekil 5.9. Sabit Bom Sisteminde Güvenlik Katsayısı Dağılımı

5.3. Sabit Bom Sisteminin Topoloji Optimizasyonu

Statik analiz sonucunda kuvvet gelmeyen bölgelerin tespiti yapılmıştır. Bom sisteminde ağırlık azaltılacak, maksimum rijitlik oranı korunacak ve güvenlik katsayısı 1.8'in üzerinde kalacak şekilde topoloji optimizasyonuna geçilmiştir.

Statik analiz sonuçları, belirlenen fiksürler, yükler ve meshleme gibi parametreler doğrudan topoloji optimizasyonuna dahil edilmiştir.

Bir topoloji optimizasyon analizi oluşturabilmek için farklı unsurların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Tasarım optimizasyonunda hedef, kütleyi en aza indirmek, maksimum yer değişimini azaltmaktır veya en yüksek sertlik/ağırlık oranını elde etmektir.

Bununla birlikte, belirli bir kütle yüzdesini sınırlayarak veya maksimum yer değiştirme için performans hedefleri belirleyerek tasarım alanını kısıtlanmalıdır. Optimizasyon sürecinden bazı bölgeler tasarımdan çıkarılırken, bazı bölgeler korunmaktadır.

Üretim kontrolleri ise optimize edilmiş parçanın üretilebilirliğini sağlamak amacıyla geometrik kısıtlamaları belirlemektir. Bu kontroller arasında simetri kontrolü, kalınlık kontrolü ve kalıptan çıkarma yönü gibi seçenekler yer almaktadır.

Tüm bu tanımlamalar sonucunda topoloji optimizasyonu, malzemeyi yeniden dağıtarak izin verilen maksimum geometri sınırları dahilinde yeni bir malzeme düzeni aramaktadır.

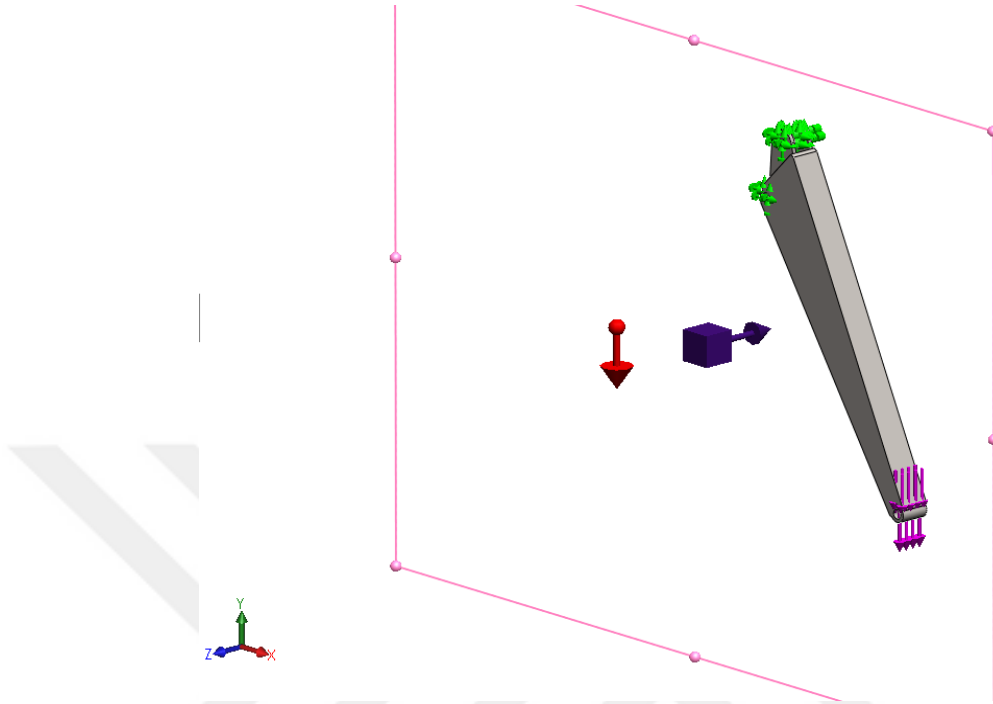
5.3.1. Hedefler ve Sınırlamalar

Topoloji optimizasyonu uygulanan modeldeki ana hedef optimum sertlik ve ağırlık oranını koruyarak kütleyi azaltabilmek, sınırlandırma ise güvenlik katsayısını 1.8 ve üzeri olacak şekilde elde edebilmektir. Optimizasyon sırasında her iki bom kolu üç farklı hedef ve sınırlama koşuluna maruz bırakılmıştır. Sırası ile her iki bom kolu kütleyi %40, %50 ve %60 azaltacak şekilde sınırlandırılmıştır.

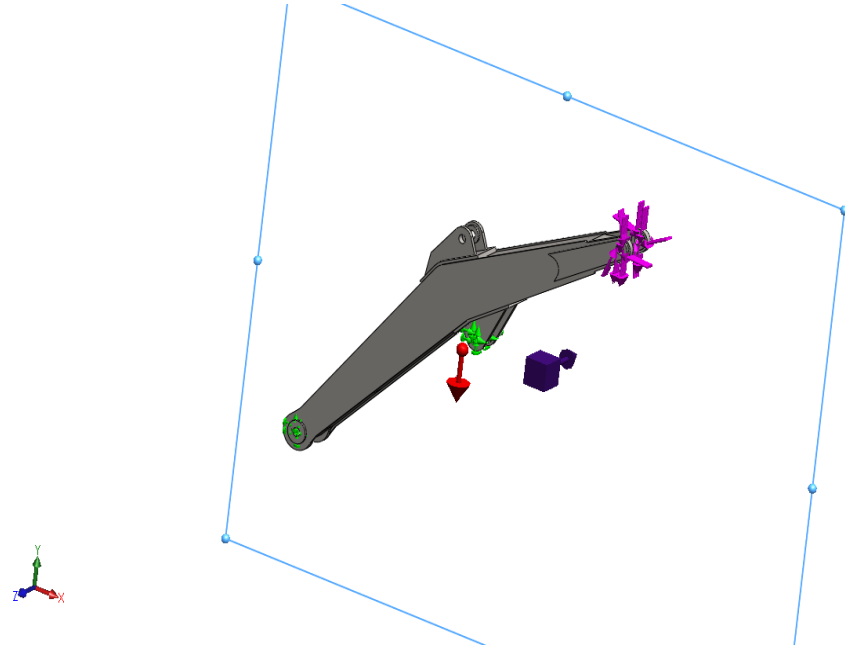
5.3.2. Üretim Kontrolleri

Üretim kontrolleri açısından, modele uygulanabilecek üç seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekler korunan bölgelerin seçimi, kalınlık kontrolü ve simetri kontrolüdür. İlk olarak, korunan bölgelerin seçimi yapılacaktır. Bu seçim optimizasyon işleminden çıkarılan ve son şekilde korunması gereken bölgelerin belirlenmesini içermektedir. İkinci seçenek ise kalınlık kontrolünün yapılmasıdır. Bu kontrol, malzeme kalınlığının belirli bir aralıkta kalmasını sağlamaktadır. Diğer bir seçenek ise simetri kontrolüdür. Analizi daha hızlı çözümleyebilmek için simetri kontrolü yapılmaktadır. Eğer model simetrik ise bölge tanımlaması yapılarak modelin yarısı analiz sırasında çözümlenir ve bu şekilde analizin daha hızlı sonuç vermesini sağlanmaktadır.

Topoloji optimizasyonu ön ve arka bom kollarına ayrı ayrı uygulanmıştır. Her iki kol için yapılan üretim kontrollerinde analizin daha hızlı çözümlenebilmesi için tasarımın simetrik olduğu göz önünde bulundurularak yarım simetri üretim kontrolü ile optimizasyona uygulanmıştır. Bu durum Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir.

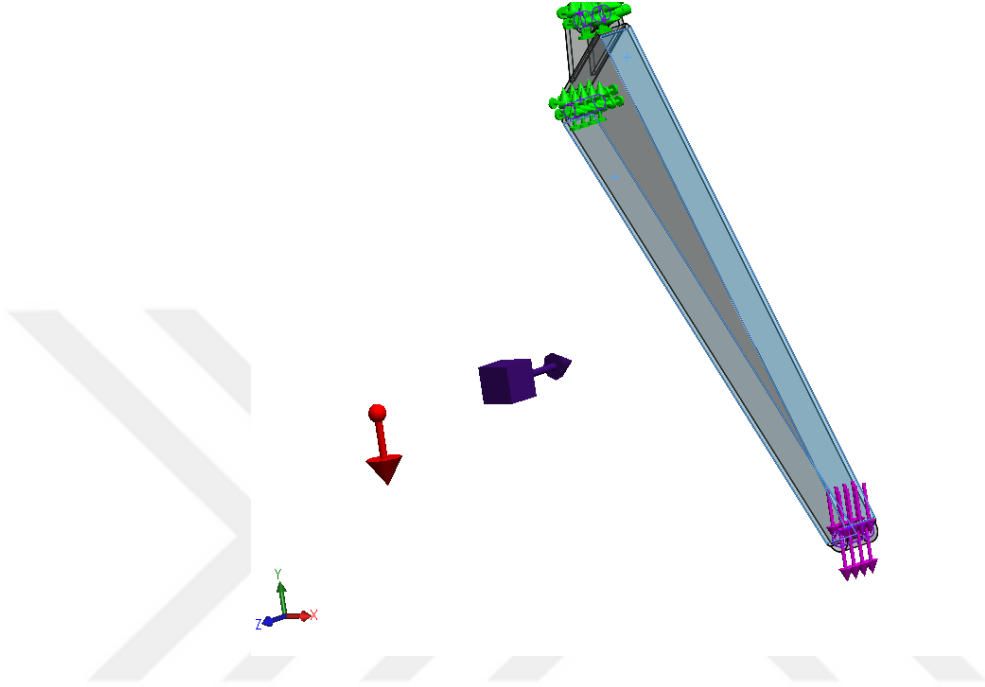


Şekil 5.10. Ön Bom Kolu Yarım Simetri Tanımlaması

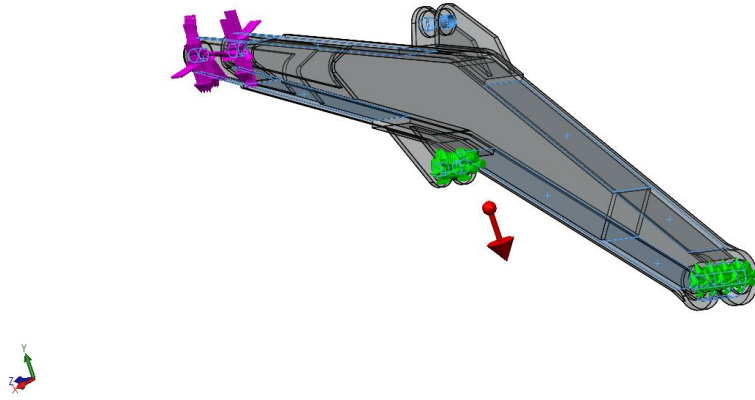


Şekil 5.11. Arka Bom Kolu Yarım Simetri Tanımlaması

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te her iki bom kolu için seçilen korunmuş bölgeler, dış çevre ve perno boşlukları olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Ön Bom Kolu Korunmuş Bölge Tanımlanması



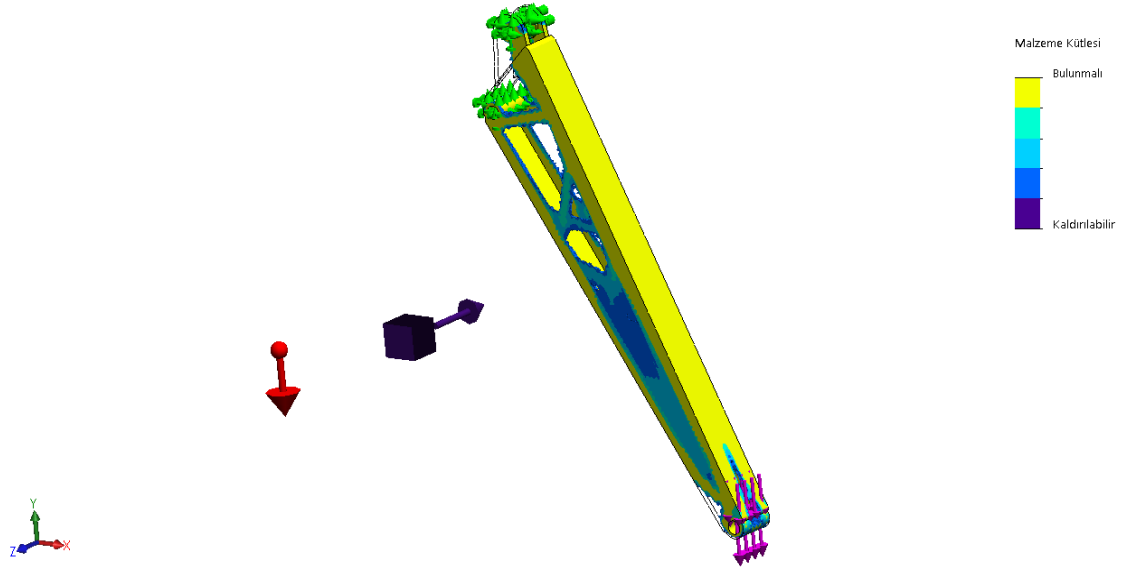
Şekil 5.13. Arka Bom Kolu Korunmuş Bölge Tanımlanması

Topoloji optimizasyonu sonunda kalınlık kontrolü ile hedeflenen minimum kalınlığın altına düşülmemesi ve boşluklu yapının daha düzgün elde edilmesi amaçlanmaktadır. Sabit bom sisteminin çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda tasarımdaki minimum parça kalınlığı 5 mm olacak şekilde seçilmiştir.

5.4. Topoloji Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

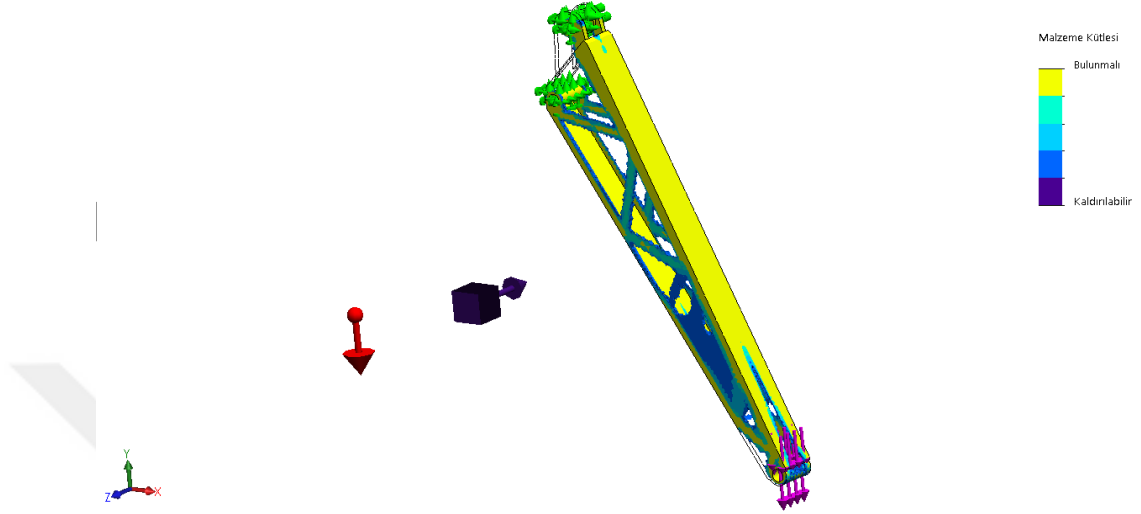
Sabit bom sisteminde topoloji optimizasyon uygulandığında bölgesel olarak bazı alanlar modelden tutulacak, bazı alanlar modelden çıkarılacaktır. Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve 5.16'da sırası ile kütlesi %40, %50 ve %60 azaltılmış ön kol tasarımları verilmiştir. Aynı şekilde Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da sırası ile kütlesi %40, %50 ve %60 azaltılmış arka kol tasarımları verilmiştir. Daha sonra bu modeller arasından en uygun olan model seçilerek, tasarım bu modele göre revize edilir ve validasyon aşaması geçilir.

Model adı:Ö-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA1-Yön01(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi
Hesaplanan Eleman Kütlesi: 129,67845Kg



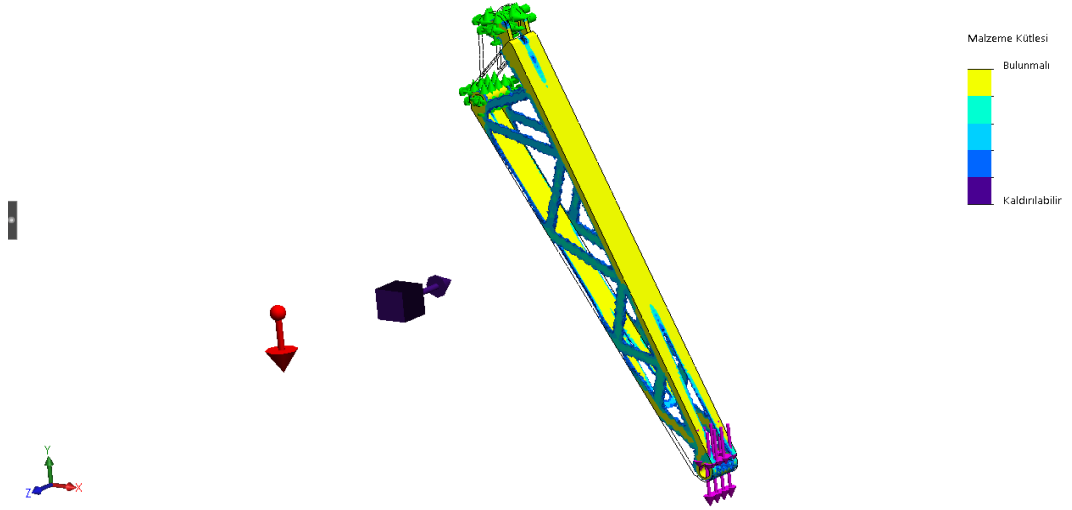
Şekil 5.14. Kütlesi %40 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı

Model adı:0-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA1-Yön02(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi
Hesaplanan Eleman Kütlesi: 106,45238Kg



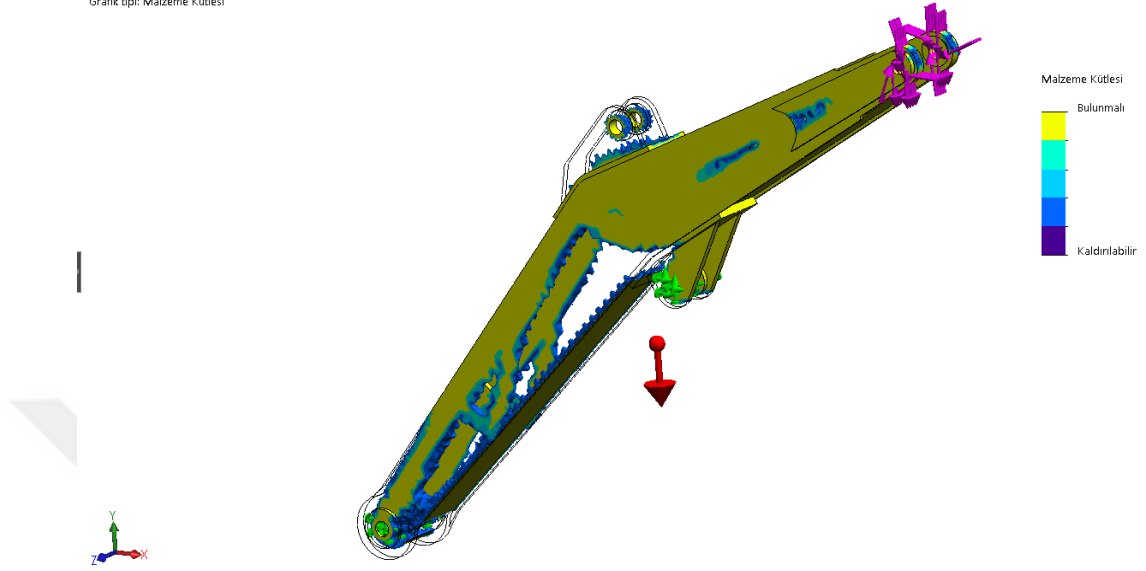
Şekil 5.15. Kütlesi %50 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı

Model adı:0-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA1-Yön03(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi
Hesaplanan Eleman Kütlesi: 83,30014Kg



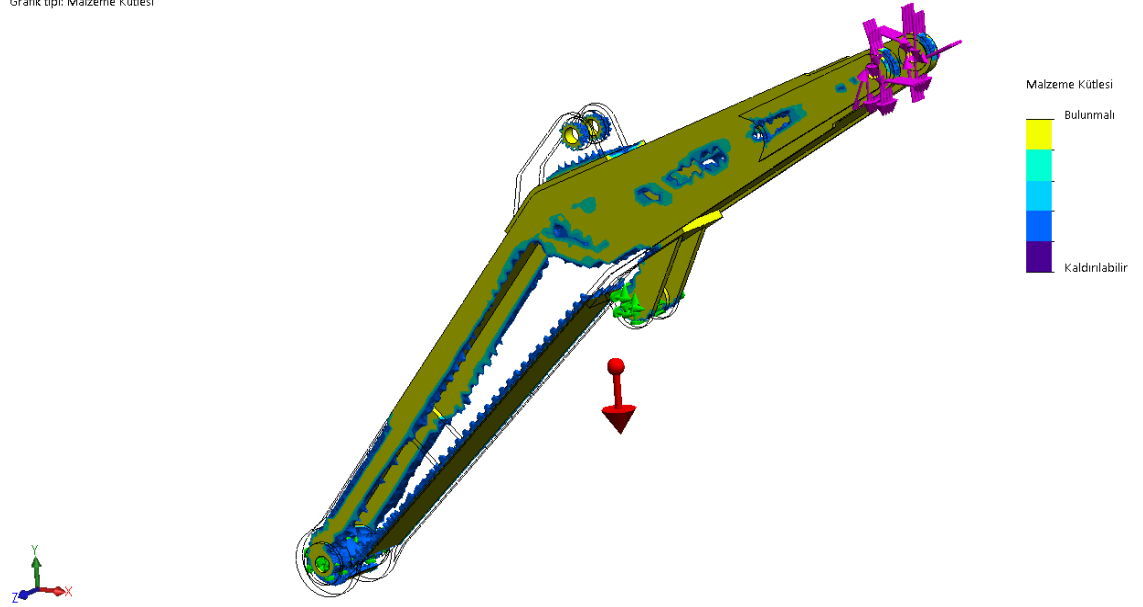
Şekil 5.16. Kütlesi %60 Azaltılmış Ön Kol Tasarımı

Model adı:Ö-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA2-Yön01(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi



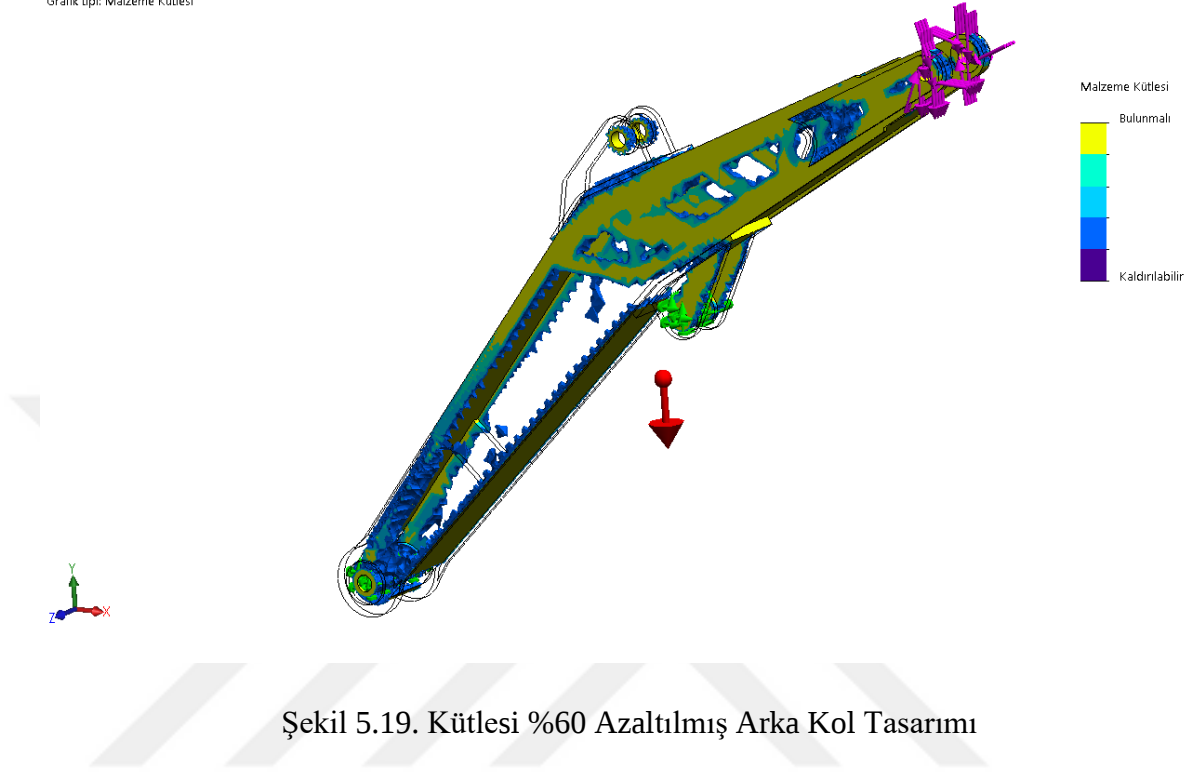
Şekil 5.17. Kütlesi %40 Azaltılmış Arka Kol Tasarımı

Model adı:Ö-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA2-Yön02(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi



Şekil 5.18. Kütlesi %50 Azaltılmış Arka Kol Tasarımı

Model adı:Ö-ASM-TEZ
Etüt adı:Topoloji Etüdü PARCA2-Yön03(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Malzeme Kütlesi



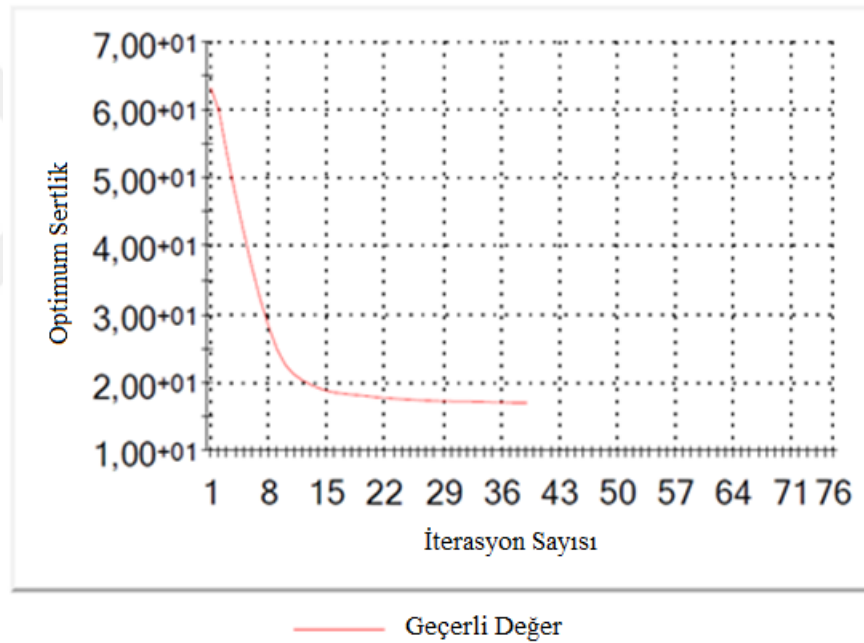
Topoloji optimizasyonlarında belirlenen hedef ve sınırlamalar doğrultusunda yakınsama grafikleri elde edilmektedir. Analizin ne zaman sonuçlandırılacağına bu grafikler incelenerek karar verilmektedir. Bu grafiklerin yakınsamaları ne kadar yüksek ise analiz o oranda daha iyi sonuçlar verecektir. Yakınsama grafiklerine yorumlandığında kütlenin %60 azaltım koşulunun optimum durum olduğu görülmüştür.

Topoloji optimizasyonundan sonra her bir analiz için belirlenen hedefler doğrultusunda 3 farklı yakınsama grafiğinden kullanılmıştır. Bu grafikler sırası ile optimum sertlik oranı, güvenlik katsayısı ve kütle sınırlamalarıdır.

Optimum sertlik oranı, optimize edilen parçanın sertlik performansını ve ağırlığını dengeleyen bir ölçüdür. Bu oran, parçanın sertlik (genellikle gerilmeleri azaltmak için) ile ağırlığı (malzeme maliyetlerini ve taşıma maliyetlerini azaltmak için) arasındaki ideal dengenin bir göstergesidir.

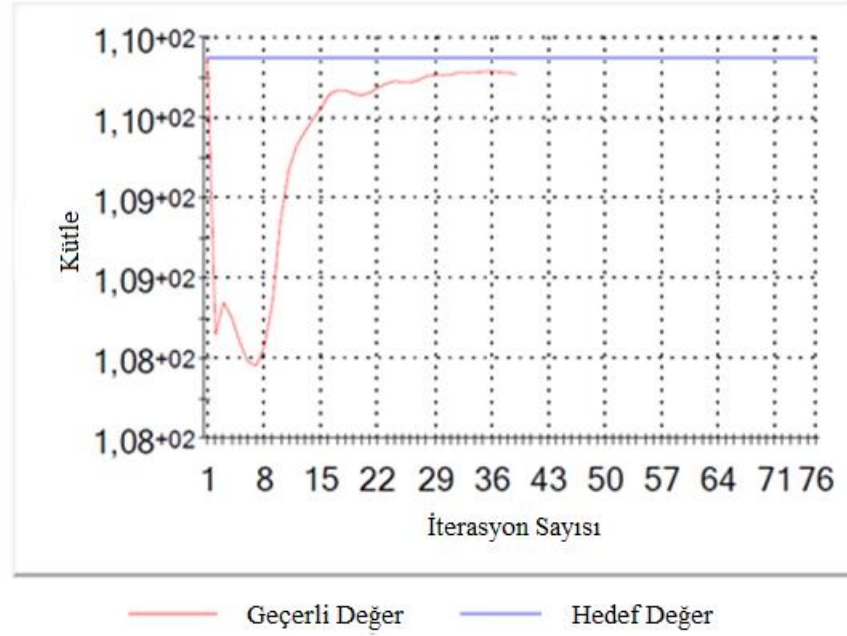
Bu oran genellikle bir sayısal değer olarak ifade edilir. Örneğin, bir parçanın sertlik bölü ağırlık oranının 3.5 olması, bu parçadaki sertliğin ağırlığın 3.5 katı olduğu anlamına gelir. Bu durum, parçanın verimli bir şekilde tasarlandığını ve hem sertlik gereksinimlerini karşıladığını hem de gereksiz ağırlığı en aza indirdiğini gösterir.

Şekil 5.20’de kütlenin %40 azaltılması ve güvenlik katsayısının 1.8 olması durumunda ön kolda iterasyon sayısına bağlı olarak optimum sertlik değerinin değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde 29. iterasyondan sonra optimum sertlik değerinin yaklaşık olarak 17 ye yakınsadığı görülmüştür.



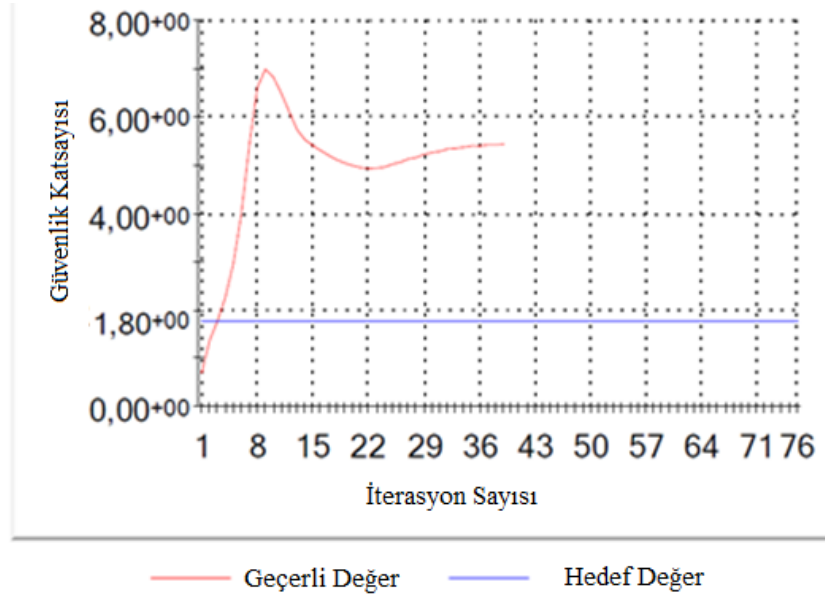
Şekil 5.20. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi

Şekil 5.21’de kütlenin %40 azaltılması ve güvenlik katsayısının 1.8 olması durumunda ön kolda iterasyon sayısına bağlı olarak kütle değerinin değişimi verilmiştir. Kütlenin 29. iterasyondan sonra hedeflenen 109.7 kg sınırına yaklaşılmaya başladığı görülmüştür. Yapılan topoloji optimizasyon analizinde istenilen değer yakalanmaktadır.



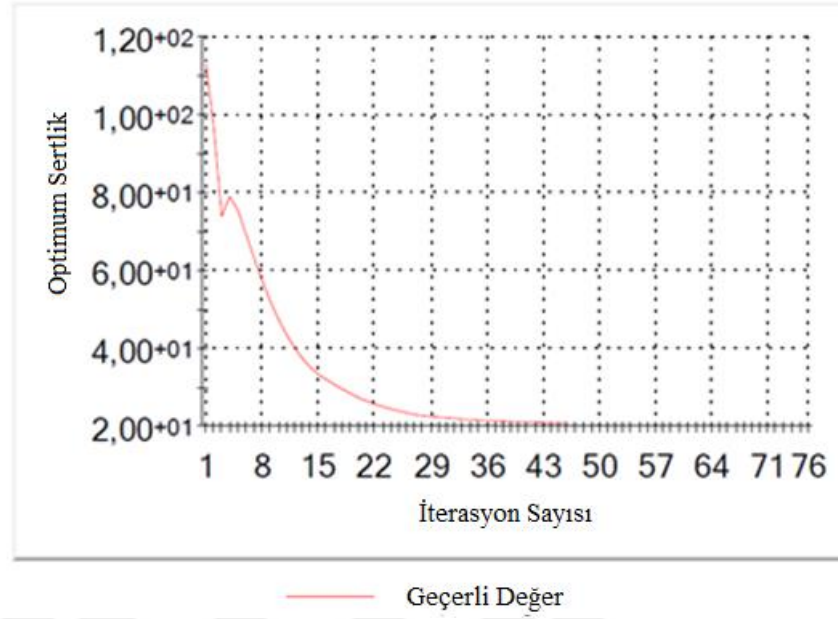
Şekil 5.21. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi

Şekil 5.22’de kütlenin %40 azaltılması ve güvenlik katsayısının 1.8 olması durumunda ön kolda iterasyon sayısına bağlı olarak güvenlik katsayısının değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde güvenlik katsayısı değerinin 36. iterasyondan sonra yaklaşık olarak 5.8’e yakınsadığı görülmüştür. Analize devam edilip edilmeyeceğini belirleyecek en önemli nokta güvenlik katsayısı değerinin henüz hedeflenen 1.8 değerinden oldukça uzakta olmasıdır. Dolayısıyla topoloji optimizasyonunda kütle azaltımına, güvenlik katsayısı için hedeflenen değer olan 1.8’e ulaşana kadar devam edilebilir.

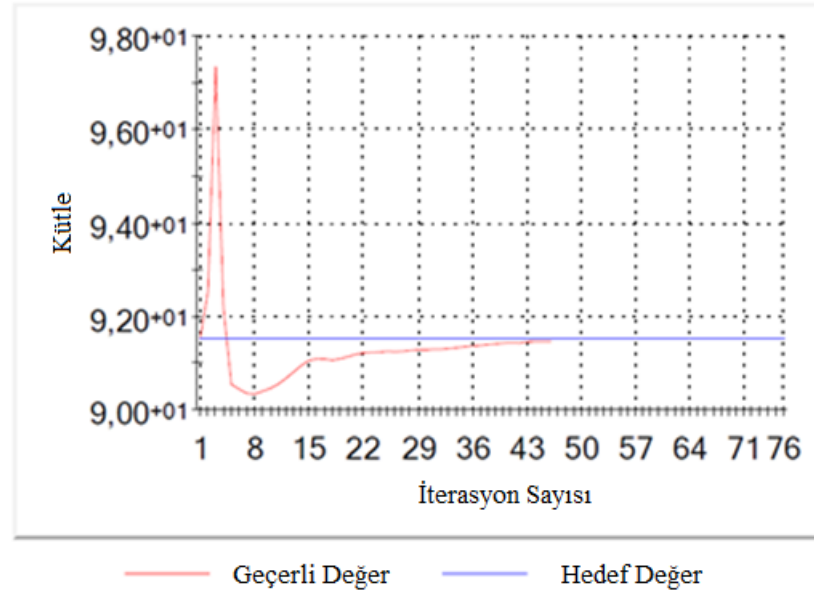


Şekil 5.22. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi

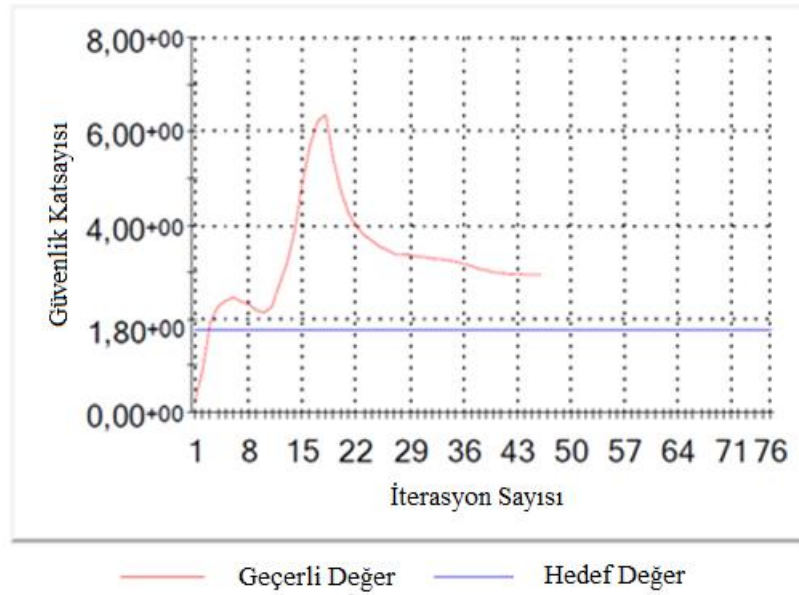
Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 arasında ön kol için kütlenin %50 azaltılması koşulunda iterasyon sayısına bağlı olarak sırası ile optimum sertlik, kütle ve güvenlik faktörü değişimleri verilmiştir. Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28 arasında kütlenin %60 azaltılması koşulunda iterasyon sayısına bağlı olarak sırası ile optimum sertlik, kütle ve güvenlik faktörü değişimleri verilmiştir. Yakınsama grafikleri incelendiğinde güvenlik katsayısının ve kütlenin optimum değerlerinin %60 kütle azaltma koşulunda yakalandığı görülmüş ve analizler sonlandırılmıştır.



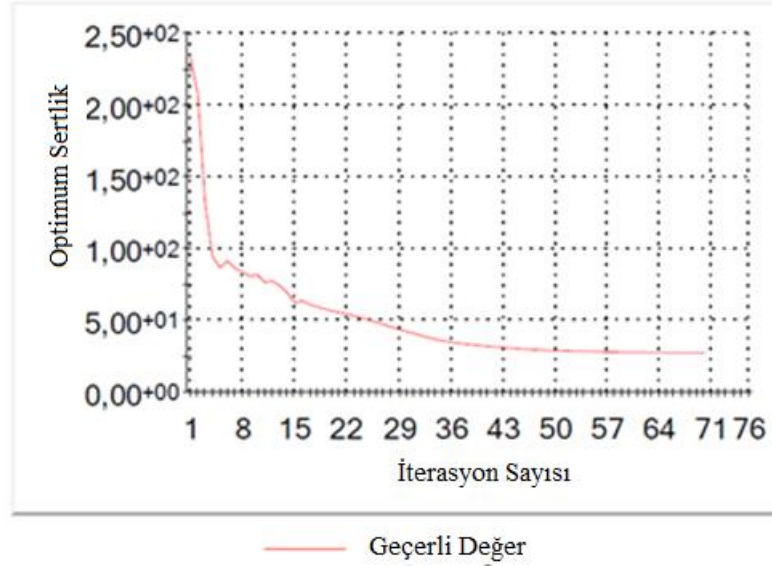
Şekil 5.23. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi



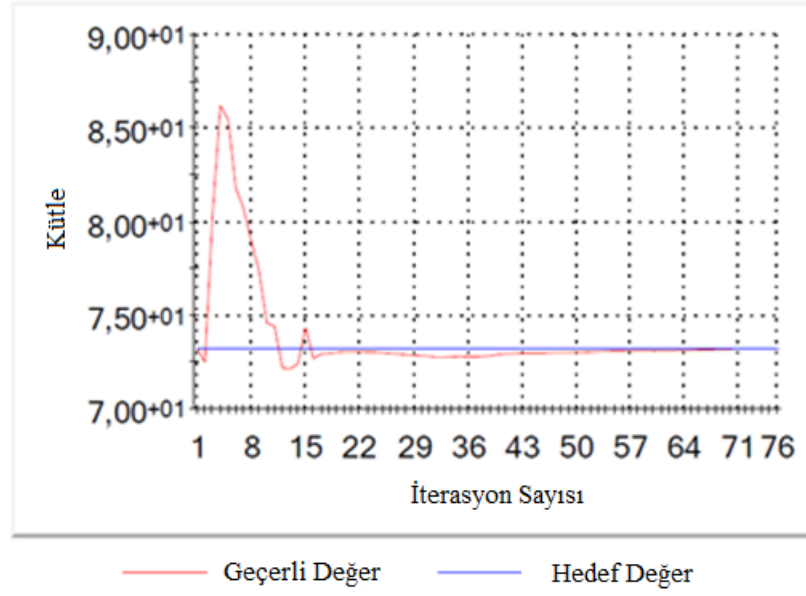
Şekil 5.24. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi



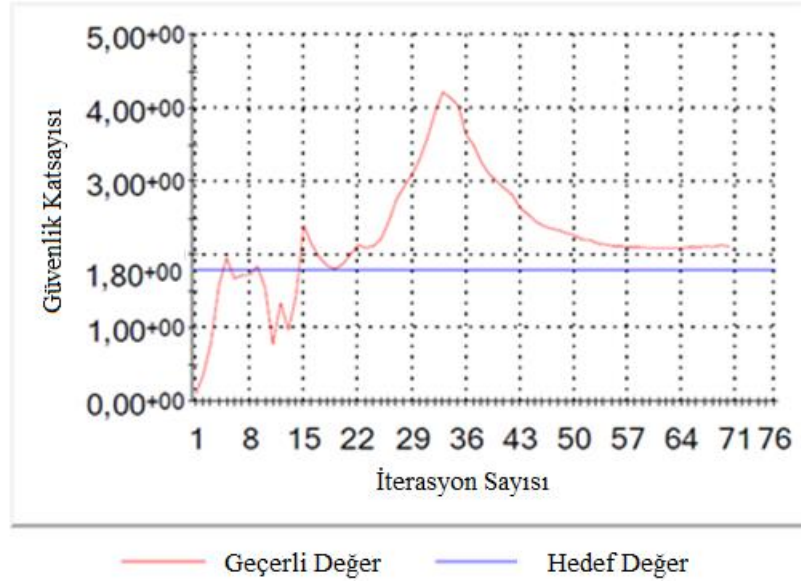
Şekil 5.25. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi



Şekil 5.26. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi

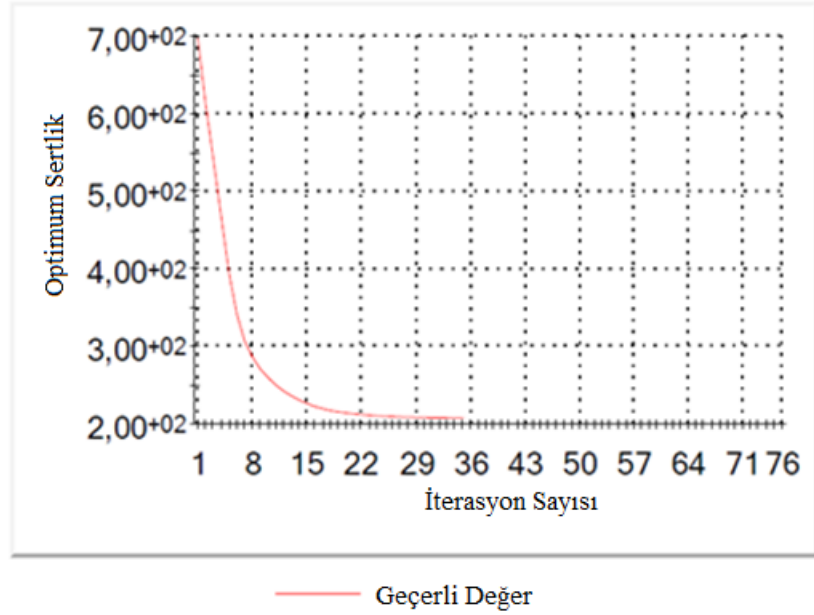


Şekil 5.27. Kütle'nin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi

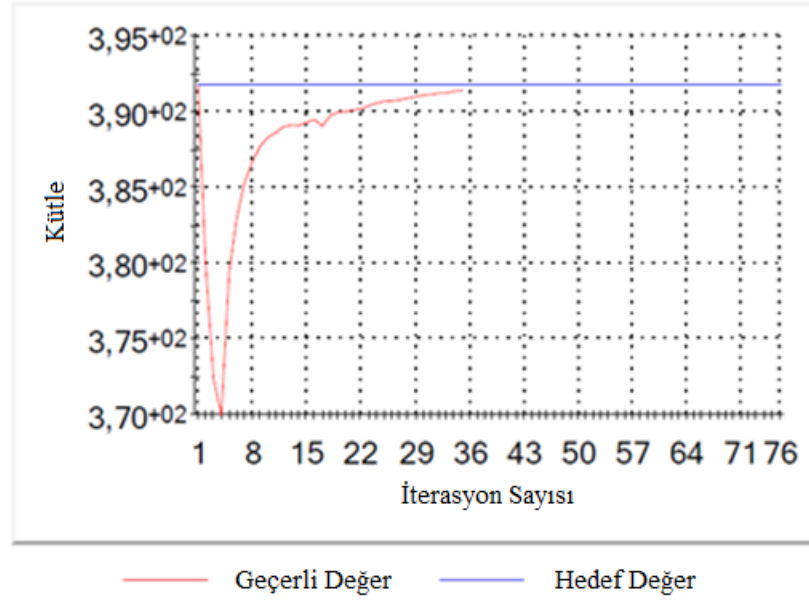


Şekil 5.28. Kütle'nin %60 Azaltılması Koşulunda Ön Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi

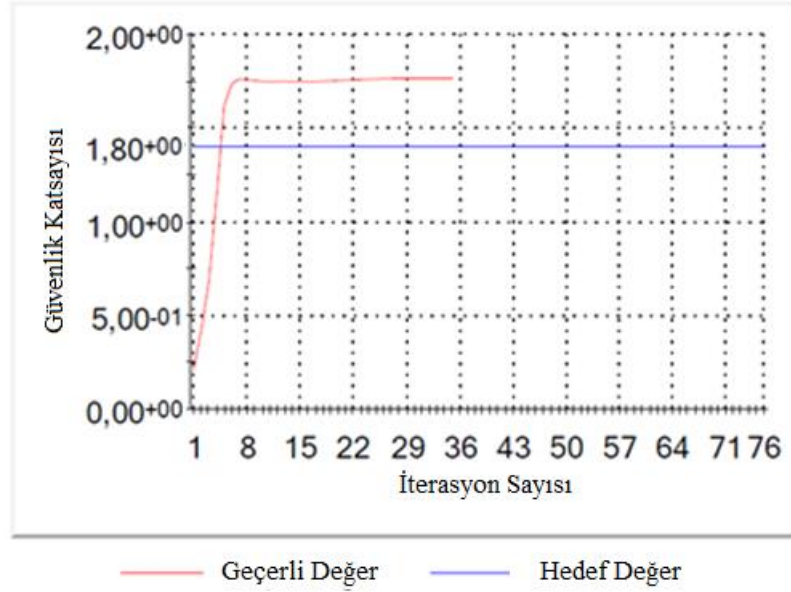
Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31 arasında arka kol için kütlenin %40, Şekil 5.32, Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 arasında kütlenin %50, Şekil 5.35, Şekil 5.36 ve Şekil 5.37 arasında da kütlenin %60 azaltılması koşulunda iterasyon sayısına bağlı olarak sırasıyla optimum sertlik, kütle ve güvenlik faktörü değişimleri verilmiştir. Yakınsama grafikleri incelendiğinde güvenlik katsayısının ve kütlenin optimum değerlerinin %60 kütle azaltma koşulunda yakalandığı görülmüş ve analizler sonlandırılmıştır.



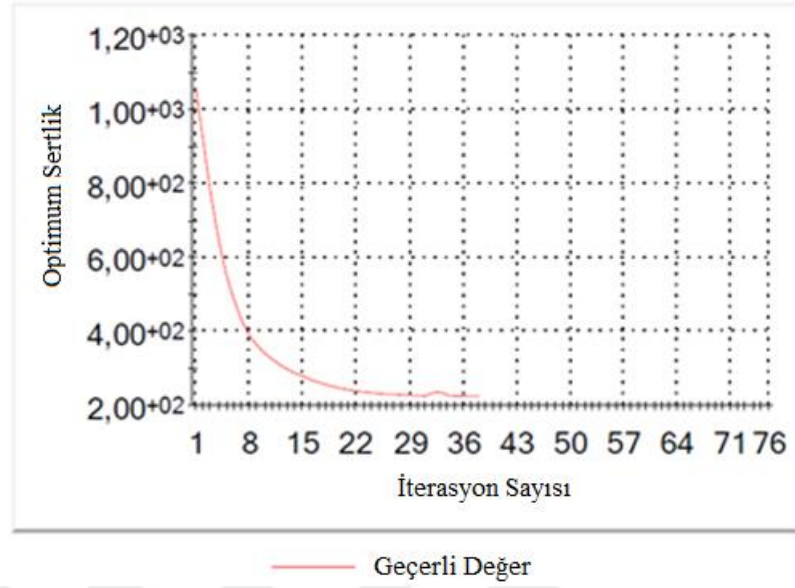
Şekil 5.29. Kütlenin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi



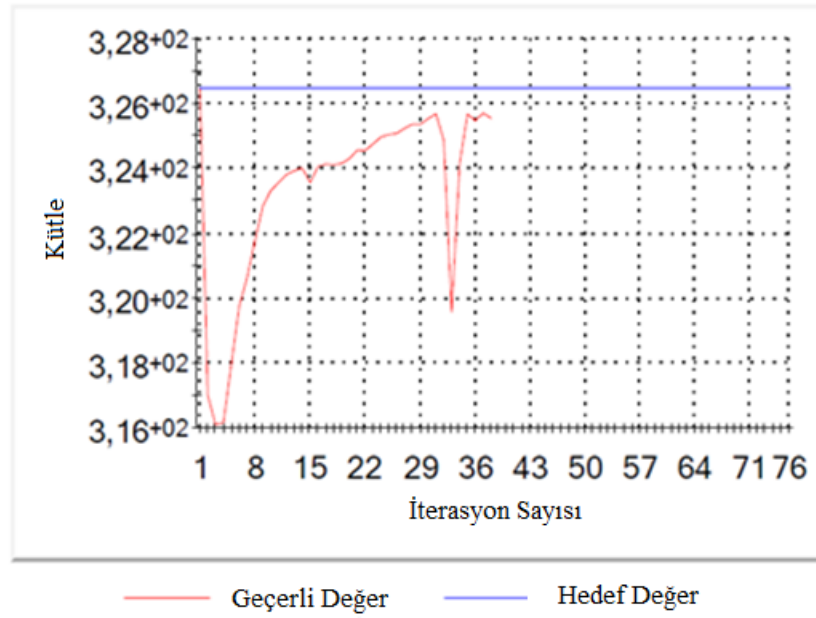
Şekil 5.30. Kütleinin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi



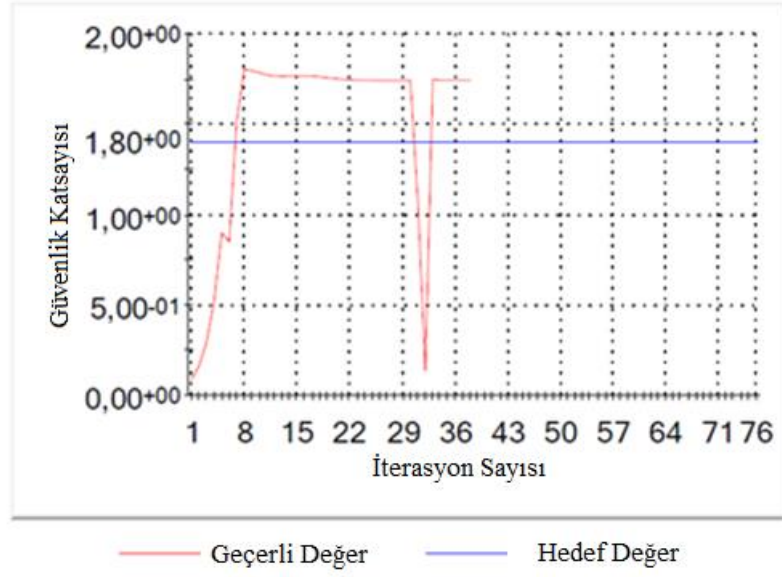
Şekil 5.31. Kütleinin %40 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi



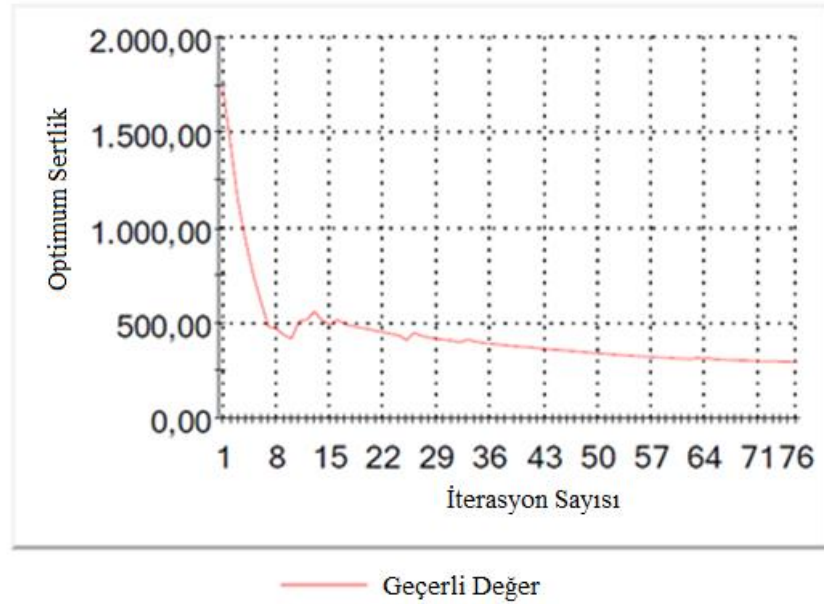
Şekil 5.32. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi



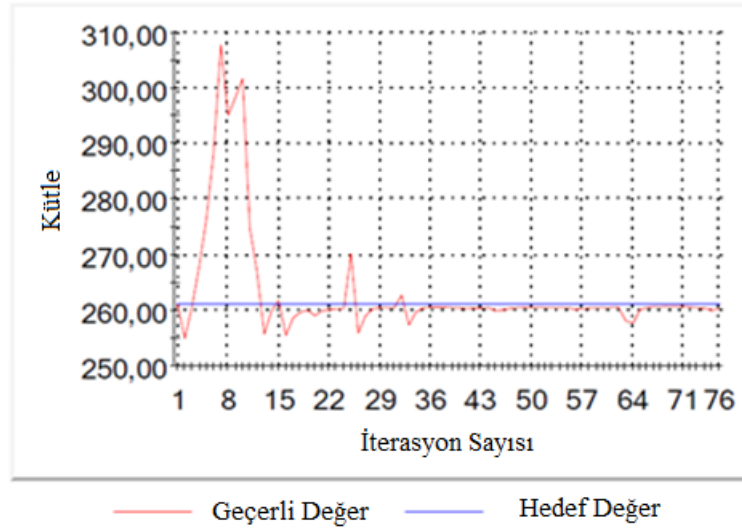
Şekil 5.33. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütlev Değerinin Değişimi



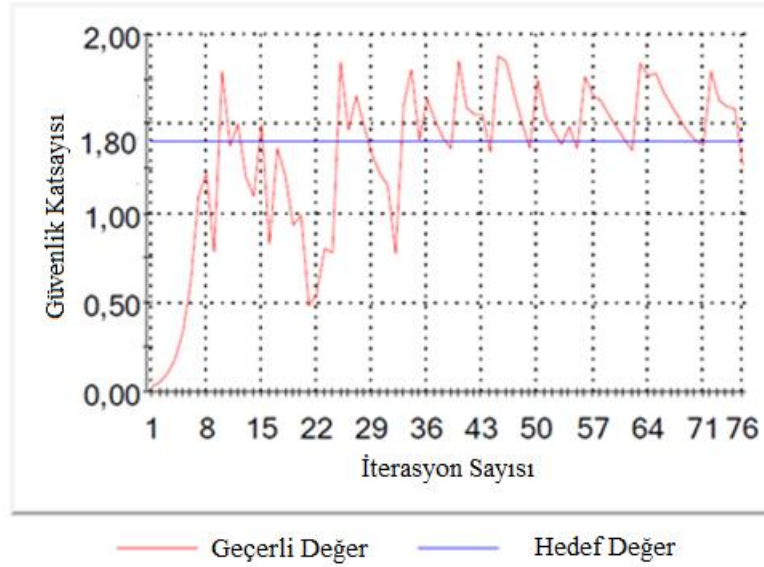
Şekil 5.34. Kütlenin %50 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi



Şekil 5.35. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Optimum Sertlik Değerinin Değişimi



Şekil 5.36. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Kütle Değerinin Değişimi



Şekil 5.37. Kütlenin %60 Azaltılması Koşulunda Arka Kolda İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Güvenlik Katsayısı Değerinin Değişimi

Analizlerin verdiği çıktılar doğrultusunda modelin topoloji optimizasyonuna göre yenilenmesine ve arkasından gerekli olan validasyon işlemine geçilmiştir.

BÖLÜM 6

TASARIMIN REVİZE EDİLMESİ VE VALIDASYON İŞLEMİ

Bu bölümde, tasarım topoloji optimizasyonu sonucunda elde edilen modele göre revize edilecek ve sonrasında da bir validasyon işlemine tabi tutulacaktır. Validasyon işlemi sonucunda tasarım son halini alacaktır.

6.1. Tasarımın Revize Edilmesi

Topoloji optimizasyonundan sonra yapılan validasyon işlemi tasarımın istenilen performans gereksinimlerini karşıladığının, kısıtlamalara uyduğunun ve imalat için uygun olduğunun bir ölçütüdür.

Validasyon, optimize edilmiş tasarımın sertlik oranının artırılması veya kütlelerinin azaltılması gibi belirli hedef parametrelerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü olarak adlandırılır. Optimize edilmiş tasarımın doğrulanması, imalat ve çalışma koşulları için uygunluğunu, mevcut imalat işlemleri ve malzemeleri kullanılarak pratikte uygulanabilir olmasını sağlar. Geometrik karmaşıklıklar veya üretilebilirlik kısıtlamaları gibi sorunlarla karşılaşılmasının önüne geçer.

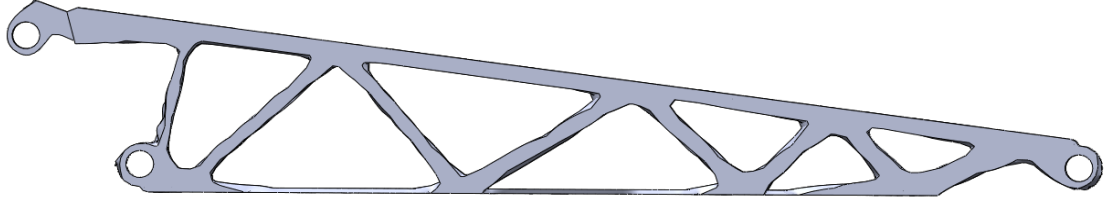
Validasyon, optimize edilmiş tasarımın çeşitli yükleme koşulları ve çalışma koşulları altında yapısal bütünlüğünü değerlendirir. Tasarımın, aşırı deformasyon veya hasar karşısında yeterli güvenlik marjlarına sahip olarak güçlü ve güvenilir kalmasını sağlar.

Topoloji optimizasyonu genellikle malzeme özelliklerini, imalat kısıtlamalarını ve geometrik sınırlamaları belirlemeyi içermektedir. Validasyon işlemi ile imalat kısıtlamaları dikkate alınmadan ortaya çıkan gerçekçi olmayan veya pratik olmayan çözümler önlenir.

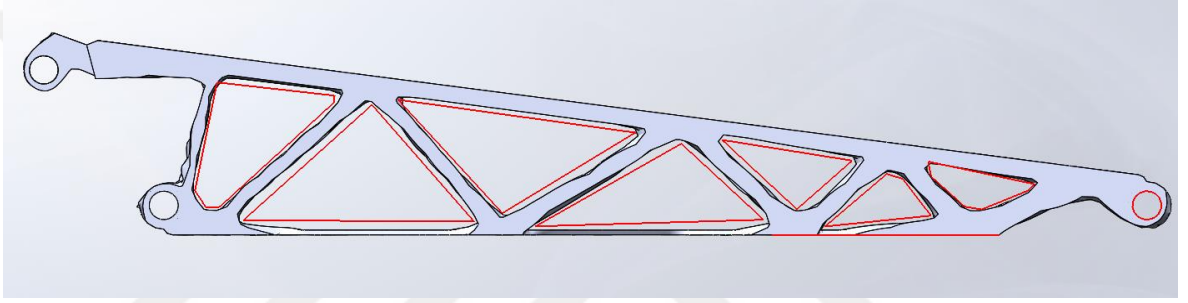
Validasyon, optimize edilmiş tasarım ile başlangıç veya temel tasarım arasında karşılaştırma yapma imkanı sağlar. Bu karşılaştırma optimizasyon sürecinin etkinliğini değerlendirerek kullanıcıya ağırlık azaltmanın veya yapısal verimliliğin performans üzerindeki etkileri hakkında bilgi verir. Aynı zamanda optimize edilmiş tasarımın malzeme özellikleri, yükleme koşulları veya geometrik kısıtlamalar gibi parametrelere bağlı analizini yapmayı sağlar. Bu, tasarımın performansını etkileyebilecek kritik parametreleri ve belirsizlikleri tanımlamaya yardımcı olur.

Simülasyon tabanlı validasyon önemli bilgiler sağlasa da prototiplerin fiziksel test edilmesi genellikle optimize edilmiş tasarımın çalışma koşullarında performansını doğrulamak için gereklidir. Fiziksel testler simülasyon sonuçlarını doğrulamasına, yapısal bütünlüğü onaylanmasına ve optimize edilmiş tasarımın performansına güven duyulmasını sağlar.

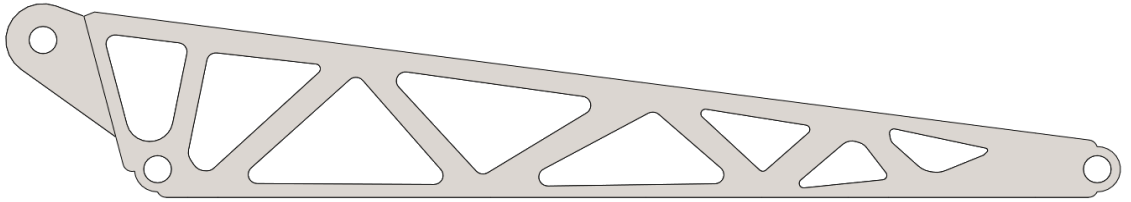
Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, ve Şekil 6.8 arasında topoloji optimizasyonu sonrasında ön kol ve arka kol için elde edilen sol yan, üst, alt ve izometrik görünüşler verilmiştir. Verilen şekillerde a ile belirtilen topoloji optimizasyon programından alınan veridir, b ile belirtilen topoloji optimizasyon programından ana modele uygulanma için çıkarılan ölçüleri ifade etmektedir, c ile belirtilen ana modele topoloji optimizasyonundan çıkarılan ölçülerin uygulanmış halidir. Program üzerinde alınan model ile son model arasında yapılan çalışma tecrübeye bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Programdan alınan veri imal edilebilir veri olarak değerlendirilemez mutlaka bir ön çalışmaya ve düzenlemeye ihtiyaç duymaktadır. Çıkan verilerin doğruluğu validasyon işlemi vasıtası ile doğrulanmaktadır. Validasyonun ilk adımı topoloji optimizasyonundan alınan verinin ana modele uygulanması ve bu şekilde tekrar statik analize tabi tutulmasından oluşur. Statik analiz sonrasında alınan değerler doğrultusunda model tekrar düzenlenerek son hali verilir.



(a)



(b)

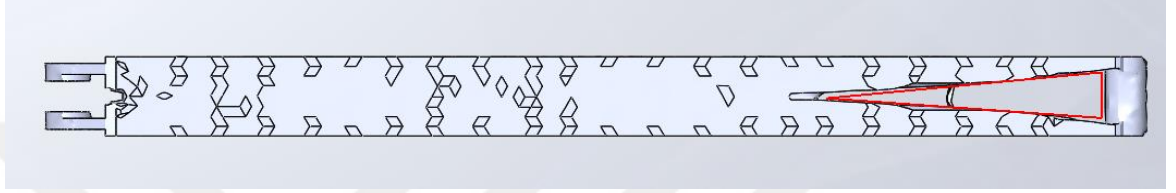


(c)

Şekil 6.1. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Şıkkı Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Sol Yan Görünüş)



(a)

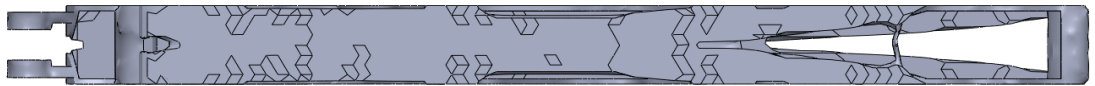


(b)

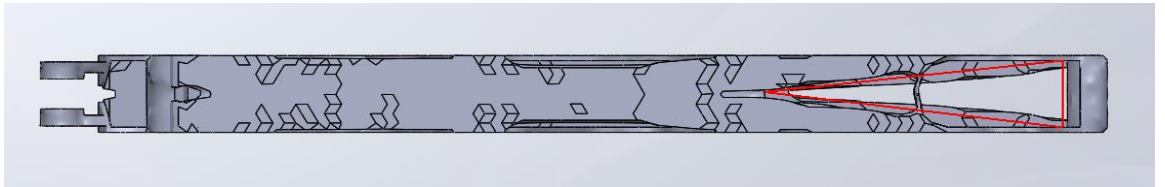


(c)

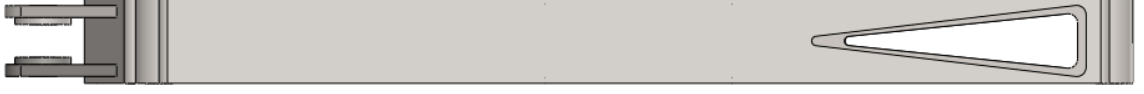
Şekil 6.2. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Üst Görünüş)



(a)

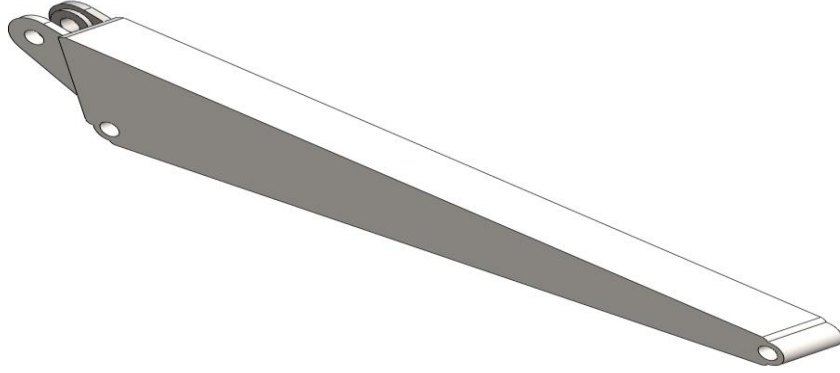


(b)

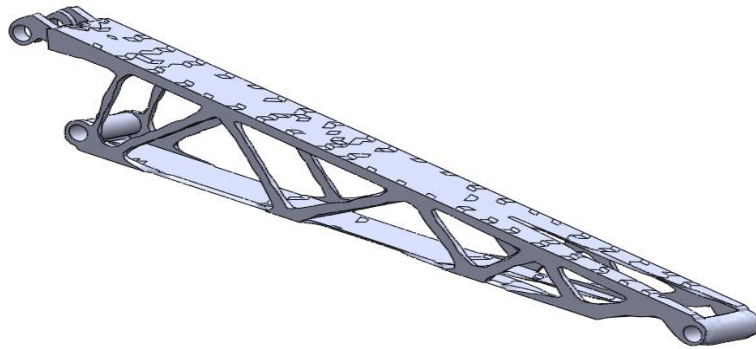


(c)

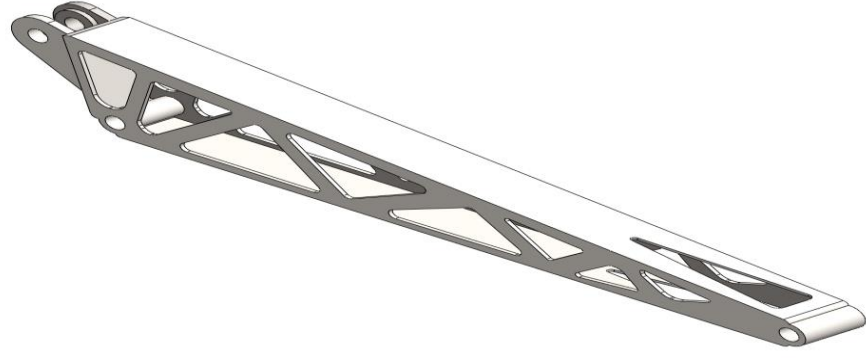
Şekil 6.3. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Alt Görünüş)



(a)

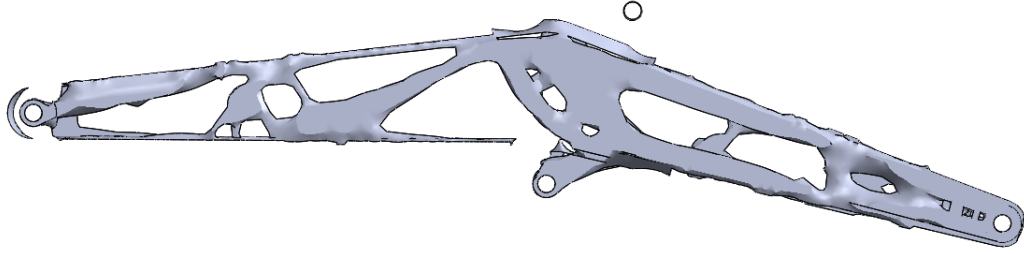


(b)

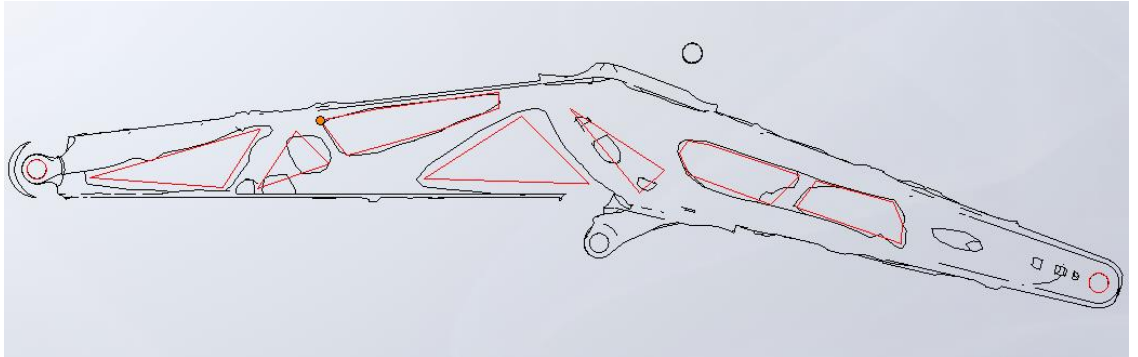


(c)

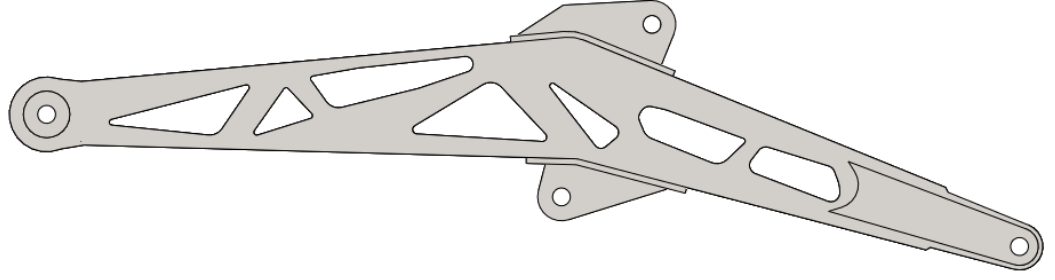
Şekil 6.4. Topoloji Optimizasyon Sonrası Ön Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Tasarımın Topoloji Optimizasyon Öncesi, (b) Ham Veri, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (İzometrik Görünüş)



(a)

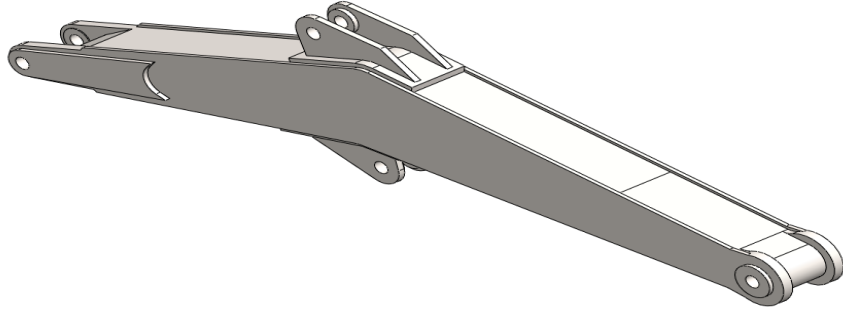


(b)

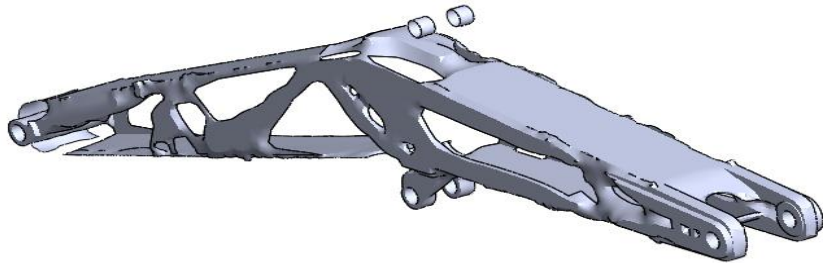


(c)

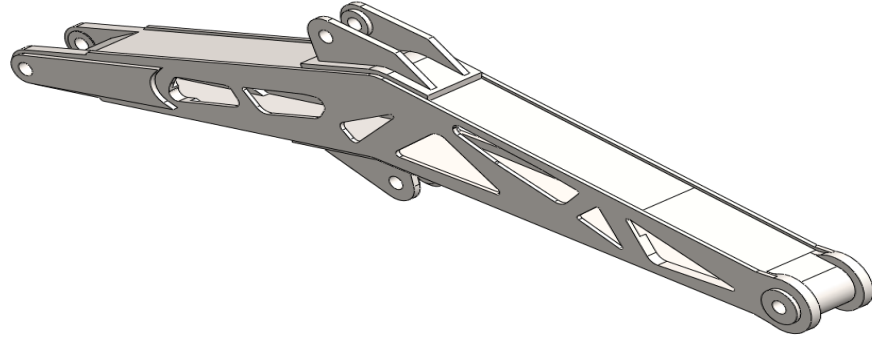
Şekil 6.5. Topoloji Optimizasyon Sonrası Arka Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Ham Veri, (b) Tasarıma Uygulanacak Ölçüler, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (Sol Yan Görünüş)



(a)

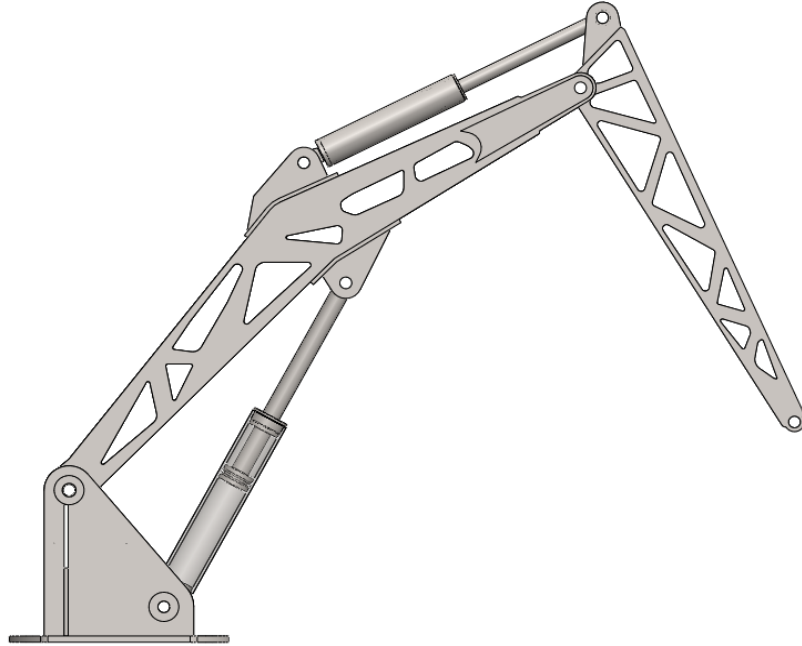


(b)

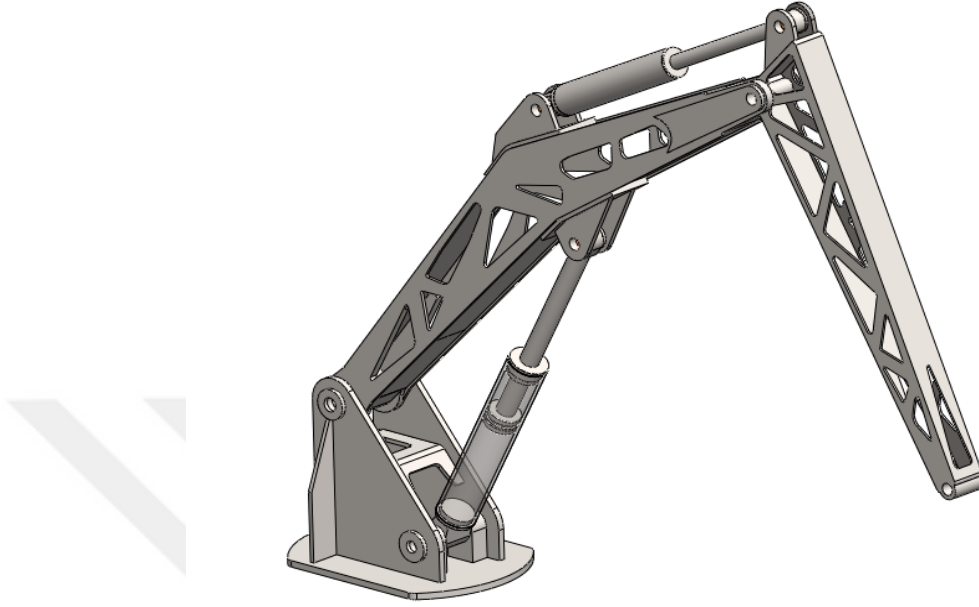


(c)

Şekil 6.6. Topoloji Optimizasyon Sonrası Arka Kol Tasarımında Elde Edilen (a) Tasarımın Topoloji Optimizasyon Öncesi, (b) Ham Veri, (c) Ölçülerin Tasarıma Uygulanmış Hali (İzometrik Yan Görünüş)



Şekil 6.7. Sabit Bom Kol Komple Topoloji Optimizasyon Sonrası (Yan Görünüş)

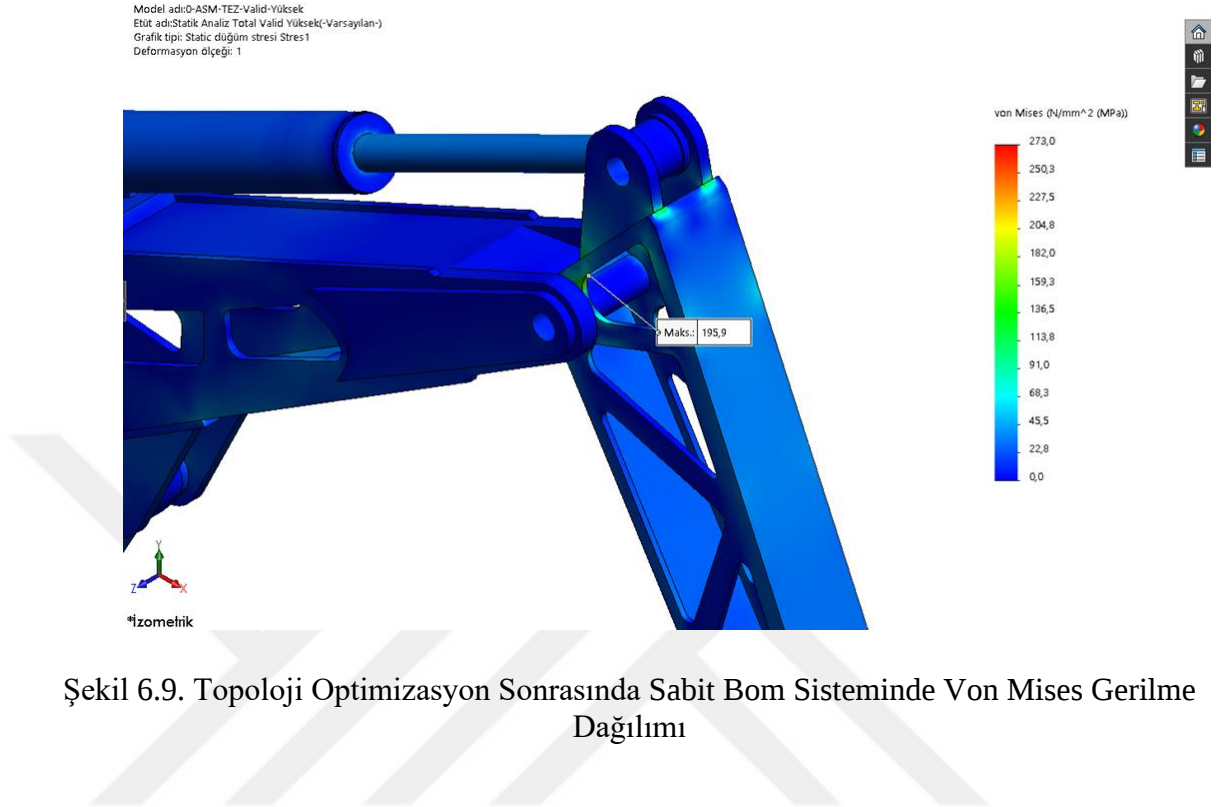


Şekil 6.8. Sabit Bom Kol Komple Topoloji Optimizasyon Sonrası (İzometrik Görünüş)

6.2. Validasyon İşlemi

Topoloji optimizasyonlarında validasyon işlemi statik analiz adımının tekrarlanmasından ibarettir. Bölüm 4 'te anlatılan statik analiz bölümü revize edilen katı modele tekrar uygulanır ve sonuçlar değerlendirilerek tasarım revizyonu sırasında yapılan bir hata veya fazladan modelden kaldırılmış bir unsur olup olmadığı kontrol edilir.

Şekil 6.9'da validasyon sonucunda elde edilen Von Mises gerilme değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Maksimum Von Mises gerilme değeri 195.9 MPa olarak hesaplanmıştır.



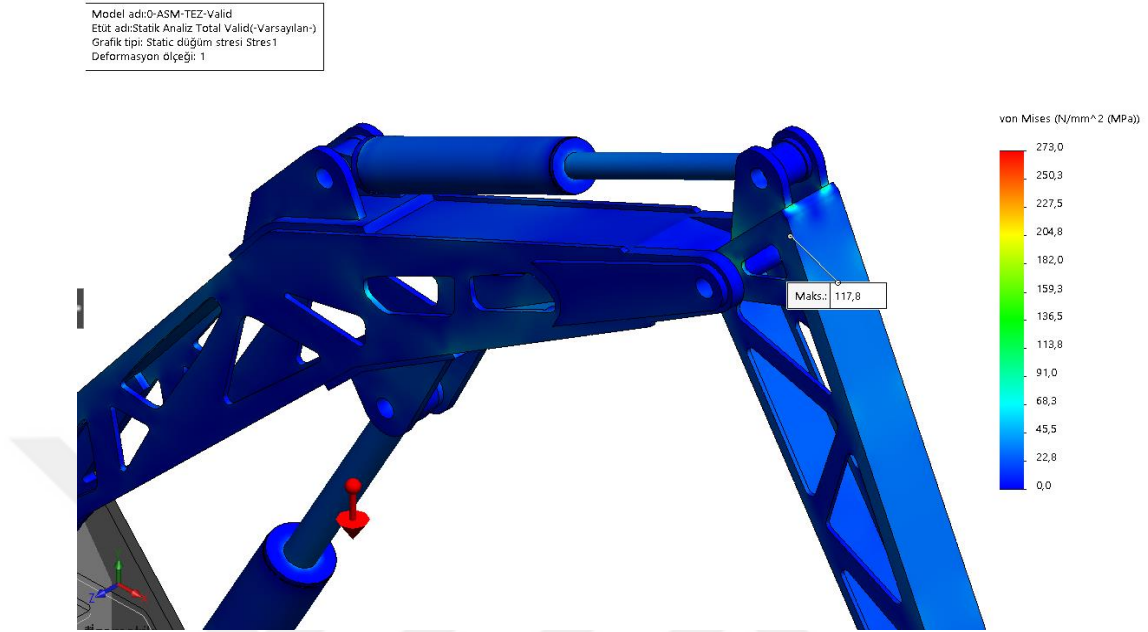
Şekil 6.9. Topoloji Optimizasyon Sonrasında Sabit Bom Sisteminde Von Mises Gerilme Dağılımı

Validasyon işlemi sonucunda güvenlik katsayısı Denklem 4.1 'de hesaplandığında,

$$GK = \frac{273}{195.9} = 1.39 \quad (6.1)$$

$$GK = 1.39 \quad (6.2)$$

olarak hesaplanmıştır. Tasarımdan istenen güvenlik katsayısının 1.8 olduğu göz önüne alındığında modelde maksimum Von Mises değerinin gözlemlendiği yerde düzeltme yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Şekil 6.10'da validasyon sonucunda elde edilen Von Mises gerilme değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Tasarımda maksimum Von Mises değerinin olduğu noktanın perno boşluklarına yakınında olduğu tespit edilmiştir. Perno boşluklarına yakın yerde yapılmış model boşaltması küçültülerek, bu boşaltmanın yükün en çok geldiği perno boşluklarından uzaklaştırılması sağlanmıştır. Tasarımda yapılan bu düzeltme sonrasında Maksimum Von Mises gerilme değeri 117.8 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.10. Topoloji Optimizasyon Sonrasında Düzeltilmiş Sabit Bom Sisteminde Von Mises Gerilme Dağılımı

Bulunan 117.8 maksimum Von Mises değerine göre güvenlik katsayısı Denklem 4.1'e göre tekrar hesaplandığında belirlenen 1.8 değerinin üzerinde 2.32 olarak Denklem 6.2'de görülmektedir.

$$GK = \frac{273}{117.8} = 2.32 \quad (6.3)$$

$$GK = 2.32 \quad (6.4)$$

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada endüstriyel alanlarda kullanılan sabit bir bom sisteminin topoloji optimizasyonu gerçekleştirilerek, gerilme tasarım parametresi göz önünde bulundurarak kütlenin hafifletilmesi ve maliyetin azaltılması amaçlanmıştır.

Öncelikle mühendislik uygulamalarında topoloji optimizasyonun önemine vurgu yapılmış olup, sabit bom sisteminin statik analizi gerçekleştirilmiş, sonrasında sisteme topoloji optimizasyonu uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada topoloji optimizasyonu sonrasında validasyon işleminin önemi vurgulanmış, bu işlem olmadan elde edilen değerlerin güvenilirliğinin düşük olacağı belirtilmiştir. Topoloji optimizasyonu sonucunda program tarafından verilen modelin endüstriyel imalatta doğrudan kullanılamayacağı, tasarımcı müdahalesi ile ana modele uygulanacağı, geometrinin statik analiz değerlendirmesinin mutlaka yapılması gerektiği hesaba katılmalıdır.

Herhangi bir tasarımda optimum tasarımın deneme-yanılma yöntemini ile bulunması çok fazla zaman kaybına ve maliyetin artmasına yol açacaktır. Bu sebeple optimum modelin daha kısa zamanda ve ekonomik bir şekilde elde edilebilmesi için topoloji optimizasyonunun kullanılması kaçınılmaz olacaktır.

Çalışmada optimizasyon öncesi güvenlik katsayısı 2.24 ve optimizasyon sonrasında 2.32 olarak elde edilmiştir. Tasarım koşullarında güvenlik katsayısının 1.8'den büyük olması istendiğinden, optimizasyon sonrasında optimum sertlik oranına bağlı olarak hem 2.24

değerinden hem de alt sınır olan 1.8 değerinden daha büyük bir güvenlik katsayısı elde edilmiştir.

Optimizasyon öncesi toplam 1610 kg olan model optimizasyon sonrasında 1485 kg'a düşürülerek üretimde kullanılacak olan sac miktarından 125 kg tasarruf sağlanmıştır. Böylece toplam kütle %7.76 oranında azaltılmıştır.

Çizelge 7.1'de ön kolda farklı kütle azaltımları için iterasyon sayılarına bağlı olarak elde edilen optimum sertlik, kütle ve güvenlik katsayıları verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde hedef değerler yakalandığından, %60 kütle azaltımı koşulunda analizlerin sonuçlandırıldığı görülmektedir. %60 kütle azaltımı koşulu için optimum sertlik değeri 25, kütle değeri 72 kg ve güvenlik katsayısı 2.1 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.1. Ön Kol Tasarımında Farklı Kütle Azaltımı İçin Elde Edilen Optimum Sertlik, Kütle ve Güvenlik Katsayısı Değerleri

Ön Kol						
Büyüklik	Kütle Azaltımı					
	40%		50%		60%	
	Iterasyon Sayısı	Değer	Iterasyon Sayısı	Değer	Iterasyon Sayısı	Değer
Optimum Sertlik	29	17	38	20	57	25
Kütle (kg)	29	109.7	43	92	52	72
Güvenlik Katsayısı	36	5.8	43	2.9	59	2.1

Çizelge 7.2'de arka kolda farklı kütle azaltımları için iterasyon sayılarına bağlı olarak elde edilen optimum sertlik, kütle ve güvenlik katsayıları verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde hedef değerler yakalandığından, %60 kütle azaltımı koşulunda analizlerin sonuçlandırıldığı görülmektedir. %60 kütle azaltımı koşulu için optimum sertlik değeri 260, kütle değeri 260 kg ve güvenlik katsayısı 1.8 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.2. Arka Kol Tasarımında Farklı Kütle Azaltımı İçin Elde Edilen Optimum Sertlik, Kütle ve Güvenlik Katsayısı Değerleri

Arka Kol						
Büyüklik	Kütle Azaltımı					
	40%		50%		60%	
	İterasyon Sayısı	Değer	İterasyon Sayısı	Değer	İterasyon Sayısı	Değer
Optimum Sertlik	29	205	36	210	71	260
Kütle (kg)	34	392	36	325	67	260
Güvenlik Katsayısı	29	1.9	32	1.95	76	1.8

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile sabit bir bom sisteminin topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucunda Von Mises gerilme parametresi hesaba katılarak sabit bom sisteminin kütlelerinin azaltılması amaçlanmıştır. Farklı kütle azaltım oranları için optimum sertlik, kütle ve güvenlik katsayıları elde edilmiştir. Optimizasyon sonucunda kütlelerin azaltımına bağlı olarak imalat ve işletme maliyetlerinin de azalacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

Bendsoe, M. P., & Kikechi, N. (1988). Generating Optimal Topologies in Structural Design Using A Homogenization Method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 71, 197-224. Doi: 10.1016/0045-7825(88)90086-2

Bendsøe M. P. (1989). Optimal Shape Design As a Material Distribution Problem. *Structural Optimization*. 1(4):193-202

Crane, Wikipedia. Erişim tarihi 10 Ocak 2024, [https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine))

Eschenauer, H., & Olhoff, N. (2001). Topology Optimization of Continuum Structures: A Review, *Applied Mechanics Reviews*, vol. 54, no. 4, pp. 331-390,. DOI: 10.1115/1.1388075.

Eschenauer, H. A., Geilen, J., & Wahl H. J., SAPOP. (1993). *Software Systems for Structural Optimization*. Basel: Birkhäuser, 207-227.

Gass, S. I. (2000). Making Decisions with Precision, *Business Week October 30, 2000*. Erişim tarihi 15 Ocak 2024, http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=search#B3705139.

Görgün, E. (2022). Topology Optimization of Freight Wagon Chassis Under Multi Loading Conditions, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 593-604, 2022. DOI: 10.31466/kfbd.1078425

Helvacı, D. Ö. (2020). SIMP Topoloji Optimizasyonunun Yoğunluk Değerlerine Göre Parçaların Hücresel Yapılar ile Kaplanması, Tez No: 643176

Hoffmann, L. D., Bradley, G. L., & Rosen, K. H. (1989). *Calculus For Business, Economics, And The Social And Life Sciences*. New York, USA: McGraw-Hill.

Işık E. (2009). Topoloji Optimizasyonu Çatallı Flans Uygulaması, Tez No: 243822

Javed, B., Vinç Türleri. Erişim tarihi 08 Ocak 2024, <https://www.hseblog.com/what-is-crane-types/>

Jia, H., Beom, H. G., Wang, Y., Lin, S., & Liu, B. (2011). Evolutionary Level Set Method For Structural Topology Optimization. *Computers & Structures*, 89(5-6), 445-454.

Jiang, C. & Jia, H. (2006). Evolutionary Based İntelligent Algorithm For Topology Optimization Of Structure. In: Sixth International Conference On Intelligent Systems Design And Applications. Vol. 1. California: IEEE. pp. 897-902

Karamert, S. & Demir, A. (2022). Ticari Otobüs Gövde Yapısında Topoloji Optimizasyonu Çalışması. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 4(2): 229-234 DOI: 10.7240/jeps.988228

Kefal, A., Sohouli, A., Oterkus, E., Yildiz, M., & Suleman, A. (2019). Topology Optimization Of Cracked Structures Using Peridynamics. *Continuum Mechanics And Thermodynamics*. 2019;31(6):1645-1672

Kırıcı ve Bom Sistemleri, Erişim tarihi 11 Mart 2024 www.breakerboomsystem.com

Konal, M. (2023). Konteynır Gemisi Ambar Kapağının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Tasarım İyileştirmesi, Tez No: 831459

Li, J., Guan, Y., Wang, G., Wang, G., Zhang, H., & Lin, J. (2020). A Meshless Method For Topology Optimization Of Structures Under Multiple Load Cases. In *Structures* (Vol. 25, pp. 173-179). Elsevier.

Liu, W. K., Jun, S., Li, S., Adey, J., & Belytschko, T. (1995). Reproducing Kernel Particle Methods For Structural Dynamics. *International Journal For Numerical Methods İn Engineering*. 1995;38(10):1655-1679

Luo, Z., Zhang, N., Wang, Y., & Gao, W. (2013). Topology Optimization of Structures Using Meshless Density Variable Approximants. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2013;93(4):443-464

Makine Mühendisleri Odası Topoloji Optimizasyonu, Erişim tarihi 26 Şubat 2024 https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/ANSYS%20ile%20Topoloji%20Optimizasyonu.pdf

Özkal, F., & Uysal, H. (2009). Evrimsel Yapı Optimizasyonuna Genel Bir Bakış, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* Cilt 15, Sayı 3, 2009, 383-393

Sabit Bom Kontrol Sistemleri, Erişim tarihi 24 Şubat 2024
<https://www.hidroman.com.tr/icerik/fixed-rock-breaker-boom-system?dil=en>

Sabit Bom Sistemi Ana Bileşenleri, Erişim tarihi 20 Şubat 2024
<https://www.prestomuhendislik.com/sabit-bom-sistemleri/>

Rozvany, G. I. N., Zhou M., & Birker, T. (1992). "Generalized Shape Optimization Without Homogenization," *Structural Optimization*, vol. 4, no. 3, pp. 250-252.

Suzuki, K. & Kikuchi, N. (1991). A Homogenization Method For Shape And Topology Optimization

Taşdemir G. (2005). Design And Finite Element Analysis Of 100 Ton Double Girder Overhead Crane. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Erişim tarihi 15 Şubat 2024
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=F5QEpayDXGqGZlp9XiFtFIBNJsNXz4I56ubNixJ1X_isqXf12xx9xXI-HWOLB6

The Constructor: Civil Engineering Home, Topology Optimization of References Structures. (2019). Erişim tarihi 15 Şubat 2024
<https://theconstructor.org/structurallengg/topologyoptimization ofstructures/5721/>

Topoloji Optimizasyonu, Erişim tarihi 10 Şubat 2024
<https://www.serdarkorkut.com/2017/06/08/topoloji-optimizasyonu-nedir-ne-zaman-kullanilir/>

Topology Optimization, Erişim adresi: <https://www.solidworks.com/tr/media/everything-you-need-know-about-topology-optimization>

Wei, P., Wang, W., Yang, Y., & Wang, M. Y. (2020). Level Set Band Method: A Combination Of Density-Based and Level Set Methods for The Topology Optimization of Continuum. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 15, 390-405.

Yalçinkaya, S., & Erden, S., (2020). Uçak Koltuğunun Yapısal Analizi ve Topoloji Optimizasyonu (pp.121-150) İstanbul: Güven Plus Grup A.Ş

Yang, R. J., & Chung, C. H., (1993). Optimal Topology Design Using Linear Programming, *Struct. Optim.*, 68, 265-290.

Zhao T. (2014). An Implementation of The Ground Structure Method Considering Buckling and Nodal Instabilities

Zhang, X., Ramos, A. S., & Paulino, G. H. (2017). Material Nonlinear Topology Optimization Using The Ground Structure Method With A Discrete Filtering Scheme. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2017;55(6):2045-2072



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta ve lise öğretimim Keşan 'da tamamladı. 2017 yılında Trakya üniversitesi makine mühendisliği bölümünü birinci olarak tamamladı. Dama Makine firmasında tasarım mühendisi olarak görev aldıktan sonra Canlar Mekatronik A.Ş 'ye tasarım ve analiz mühendisi olarak geçiş yaptı. Burada iki yıl çalıştıktan sonra sektöründe öncü olan MTB İnan Makineye geçiş yaptı. İki yıl hidrolik kırıcılar ve ekipmanları konusunda tasarım ve proje yönetim sorumlusu olarak bir Tübitak projesinde mekanik tasarımcı olarak görev aldı. Sonrasında Kromaş Metal ve Makineye tasarım sorumlusu olarak 2021 yılında geçiş yaptı. Yüksek çalışma verimi ve görev aldığı projelerdeki başarıları ile 1 sene içerisinde AR-GE takım lideri pozisyonuna atandı. Burada ki çalışma hayatı boyunca 2 adet tasarım tescili, 2 adet faydalı model, 1 adet patent başvurularında bulundu. 2 adet tasarım tescili ve 1 adet faydalı modeli Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından onaylandı. Diğer başvuruları için incelemeler devam etmektedir. Görevine Kromaş Metal ve Makine 'de 3 yıldır AR-GE ve Mühendislik takım lideri olarak devam etmektedir. Bu süreçte yüksek lisans döneminde topoloji optimizasyonu alanında 1 adet yayın yapmış bu yayın Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri dergisinde yayın basılmıştır.