

yusof Kharilla YL Tezi

Yazar Yousof Khairalla

Gönderim Tarihi: 18-Oca-2024 04:45PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 2273182645

Dosya adı: yusof_khairalla_n_n_tezi.docx (4.39M)

Kelime sayısı: 13335

Karakter sayısı: 96937

5
MEKANİK SİSTEMLERDE YAPISAL ANALİZ VE
OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ İLE AĞIRLIK AZALTILMASI

Yusuf KHAIRALLA



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKANİK SİSTEMLERDE YAPISAL ANALİZ VE OPTİMİZASYON
TEKNİKLERİ İLE AĞIRLIK AZALTILMASI

Yusuf KHAIRALLA
502010066

Prof. Dr. Yahya IŞIK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Aaaaaa AAAAAAAAAA tarafından hazırlanan “AAAAAAAAA AAAAAAAAAA
AAAAAAAAA AAAAAAAAAA AAAAAAAAAA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri
tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Aaaaaa
Aaaaaa Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ** olarak
kabul edilmiştir.

Danışman: Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAAA

Başkan	:	Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAA 000-000-000-000 Aaaaaa Üniversitesi, Aaaaaa Fakültesi, Aaaaaa Aaaaaa Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAA 000-000-000-000 Aaaaaa Üniversitesi, Aaaaaa Fakültesi, Aaaaaa Aaaaaa Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAA 000-000-000-000 Aaaaaa Üniversitesi, Aaaaaa Fakültesi, Aaaaaa Aaaaaa Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAA 000-000-000-000 Aaaaaa Üniversitesi, Aaaaaa Fakültesi, Aaaaaa Aaaaaa Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Aaaaa. Dr. Aaaaaa AAAAAAAAA 000-000-000-000 Aaaaaa Üniversitesi, Aaaaaa Fakültesi, Aaaaaa Aaaaaa Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü

..../../..

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../2024

Yousof KHAIRALLA

**TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza
Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza
Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

5

MEKANİK SİSTEMLERDE YAPISAL ANALİZ VE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ İLE AĞIRLIK AZALTILMASI

Yusuf KHAIRALLA

11

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya IŞIK

Mekanik sistemlerde ağırlığın azaltılması, çeşitli endüstrilerde tasarımcılar için ortak bir hedefdir, çünkü bu, geliştirilmiş performans, artan verimliliğe ve maliyet tasarrufuna yol açar. Ağırlığı azaltma konusunda kabul edilebilir mekanik özellikleri korumak için tasarım sürecinde optimizasyon yöntemleri kritik bir rol oynar. Bu tezde, mini Backhoe ekskavatörün arka koluna topoloji ve şekil optimizasyonunu uygulanacak ve aynı zamanda malzeme değişikliği ile ağırlığını minimize etmeyi hedeflemektedir. Bu süreçte statik koşullarda güvenli durumda kalması için maksimum stres ve deplasman sınır altında olmalarıdır. İlk aşamalarda, SolidWorks programı aracılığıyla ayrıntılı bir kol modeli oluşturulur. Ardından, HyperWorks programı ile topoloji optimizasyonu gerçekleştirir, böylelikle malzeme dağılımlarını bozulmadan ve yapısal güvenli durumda kalarak uzayda içeren verimli bir tasarım oluşturulur. Topoloji optimizasyonu sonuçlarına dayanarak yeni bir modeli yeniden tasarlanır. Sonrasında, şekil optimizasyon işlemi uygulanacaktır ki, bu aşamada daha fazla detaylı bir şekilde her bileşenin kalınlığı veya geometrisi belirlenir, ayrıca yapı bütünlüğü, ağırlık azaltma ve performans gereksinimleri gibi faktörleri dikkate alarak HyperStudy ile en uygun şekilde elde edebilir. Tüm bu süreç boyunca HyperWorks'ün gelişmiş yeteneklerinden faydalanılarak. Be tezde kolun statik kuvvetlerin hesaplamaları da içerir.

Anahtar Kelimeler: Backhoe ekskavatör arka kolu, Topoloji optimizasyonu, şekil optimizasyonu, Ağırlık dağılımı, Sonlu Elemanlar Metodu (FEM), HyperWorks, Statik Kuvvetler.

3

2015, vii + 149 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

WEIGHT REDUCTION WITH STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION TECHNIQUES IN MECHANICAL SYSTEMS

Yusuf KHAIRALLA

12

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yahya IŞIK

Reducing weight in mechanical systems is a common goal for designers in various industries because it is to improved performance, increased efficiency, and cost savings. Optimization methods play a critical role in the design process to reduce weight while maintaining acceptable mechanical properties. In this thesis aiming to minimize its weight, topology and shape optimization will be applied to the back arm of a mini-Backhoe excavator, and by material changes. The objective is to keep the arm in a safe state under static conditions with maximum stress and displacement below predefined limits.

In the initial stages, a detailed arm model is created using the SolidWorks program. Subsequently, topology optimization is performed using the HyperWorks program, resulting in a detailed design that includes in the space material distributions will appear maintaining structural integrity. Based on the results of topology optimization, a new model is redesigned. The next, the shape optimization process is applied, where each component's thickness and geometry is determined in more detail. This stage considers factors such as structural integrity, weight reduction, and performance requirements, achieving the most suitable design with HyperStudy.

Throughout this entire process, the advanced capabilities of HyperWorks are utilized. Additionally, this thesis includes calculations for static loads on the arm.

Key words: Backhoe excavator back arm, topology optimization, shape optimization, weight distribution, finite Element Method (FEM), hyperWorks, static Forces.

2015, vii + 149 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın araştırmacılar ve öğrenciler için faydalı olmasını umuyorum. Çalışma sürecinde bana yardımcı olan ve danışmanlık yapan Prof. Dr. Yahya IŞIK'a bu değerli çalışma sürecindeki rehberliği ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf KHAIRALLA

.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
19 SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Analiz ve optimizasyonu	2
1.2 Mekanik Sistemlerin Anlamı	3
1.3 Ağırlık Azaltmanın avantajı ve dezavantajı	4
1.4 Mekanik Sistemlerde Ağırlık Azaltma Amaçlayan Yöntemler	6
1.5 Yapısal Analizi	7
1.5.1 Topology optimizasyonu	8
1.5.2 Şekil Optimizasyonu	9
2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
2.1 Mekanik sistemlerde yapısal analizi	11
2.2 Topoloji optimizasyonunun	14
2.3 Ekskavatör kolu	16
3 MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1 Backhoe (Yükleyici-kazıcı) Tanıtımı	20
3.1.1 Giriş	21
3.1.2 Backhoe Ekskavatörlerin Özellikleri:	21
3.1.3 Backhoe Ekskavatörün Avantajları:	22
3.1.4 Backhoe Ekskavatörün Dezavantajları:	23
3.1.5 Backhoe ekskavatörün Önemli boyutları:	23
3.2 FINITE ELEMENT ANALYSIS	25
3.2.1 Giriş	25
3.2.2 Sonlu Eleman Yöntemi	25
3.3 Hypermesh ve OptiStruct yazılımı	27
3.3.1 Giriş	27
3.3.2 HYPERWORKS Workbench hakkında genel bilgiler:	27
3.3.3 HyperWorks yazılımın yetenekleri	29
3.3.4 Contact Phenomena	32
3.3.5 Type of the Contacts	35
3.3.6 Types of Joints	36

4	Ekskavatör kolunun topoloji ve şekil optimizasyonu	37
4.1	Giriş	37
4.2	Varsayımlar:	38
4.3	Kolun modellemesi	38
4.3.1	Statik Kuvvet Analizi:	40
4.3.2	Kova Statik Kuvvet Analizi	41
4.3.3	Kol Statik Kuvvet Analizi	43
4.3.4	Tasarlayacak bölgeyi tanıtlıyor,	46
4.3.5	Malzeme belirletmek	47
4.3.6	Örgüleme (Meshing):	48
4.3.7	Yük ve Sınırlama Tanımlama	49
4.3.8	Load step belirletmek	50
4.4	Topology optimizasyonu uygulamak	51
	Şekil 10 Topoloji optimizasyonu oluşturmak	51
4.4.1	Topoloji optimizasyonu sonucu:	52
4.5	Şekil Optimizasyonu	54
5.	SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)	60
	KAYNAKLAR	63
	ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Aaa	Aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa
Bbb	Bbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbb
Ccc	Cccccccccccccccccccccccc
Ddd	Dddddddddddddddddddddddd
Eee	Eeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeee
Fff	Ffffffffffffffffffffffffffff
Ggg	Gggggggggggggggggggggggg
Hhh	Hhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh
Zzz	Zzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzz

Kisaltmalar	Açıklama
Aaa	Aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa
Bbb	Bbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbb
Ccc	Cccccccccccccccccccccccc
Ddd	Dddddddddddddddddddddddd
Eee	Eeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeee
Fff	Ffffffffffffffffffffffffffff
Ggg	Gggggggggggggggggggggggg
Hhh	Hhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh
Zzz	Zzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzzz

3

Şekil 1.1.
Şekil 1.2.
Şekil 2.1.
Şekil 2.2.

Şekil 3.1.
Şekil 3.2.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

ÇİZELGELER
DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1.	
Çizelge 1.2.	
Çizelge 1.3.	
Çizelge 2.1.	
Çizelge 2.2.	
Çizelge 2.3.	
Çizelge 3.1.	
Çizelge 3.2.	

1. GİRİŞ

Günümüzde rekabet avantajı sağlayabilmek için ürün geliştirme süreçlerinin hızlandırılmasının önemine vurgu yapılmaktadır. Bu hızlanmanın sağlanabilmesi için bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinin kullanımının zorunlu hale geldiği belirtilmektedir. Bilgisayar destekli tasarımın, tasarımları veya ürünleri analiz etme sürecini önemli ölçüde kolaylaştırdığı ifade edilmektedir.

Mühendislik tasarımında, model üzerine uygulanan yük koşullarını karşılayacak en uygun şekli tasarlamak önemli bir hedef olarak belirtilmiştir. Bu nedenle, optimal tasarım elde etmek amacıyla uzun yıllardır yapısal optimizasyon yöntemlerinin kullanıldığı vurgulanmaktadır. Genellikle yapısal optimizasyon süreçleri, Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak yürütülür.

Bu tezde topoloji optimizasyonu ve şekil optimizasyonu tipi ile optimizasyon yöntemleri üzerinde çalışılarak, bu yöntemlerin model üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Topoloji optimizasyonunun, model üzerindeki en iyi malzeme dağılımını bulma ve gereksiz malzemeleri çıkararak optimum ağırlığa ulaşma amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. Genellikle şekil optimizasyonu süreçlerinde matematiksel algoritmalar kullanılır. Şekil optimizasyonu, belirli tasarım kısıtlamalarını ve hedeflerini karşılayan en iyi geometrik şekli bulma amacını taşır. Bu süreçte kullanılan matematiksel algoritmalar, çeşitli optimizasyon yöntemleri ve hesaplamalı geometri tekniklerini içerebilir. Optimizasyon yöntemleri geniş bir uygulama alanına sahiptir ve çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılır.

Bu tezde ekskavatörün arka kolunun mekanik sistem örneğini incelemek, tasarım ve optimizasyon konularında önemli bir örnek sunabilir.

Mekanik sistemlerin tasarımında hafif ve etkin bileşenler elde etmek, genellikle gelişmiş performans, enerji verimliliği ve maliyet tasarrufu sağlamak için araştırmacıların öncelikli hedeflerinden biridir. Bu bağlamda, Backhoe ekskavatör arka kolunun optimize edilmesi, güçlü ve hafif bir yapı elde etme çabalarında önemli bir adımdır. Bu tez, Backhoe ekskavatör arka kolu üzerinde topoloji optimizasyonu, şekil optimizasyonu, ağırlık dağılımı analizi, Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) kullanımı, HyperWorks yazılımı

ve statik kuvvetler analizi gibi yöntemleri inceleyerek, tasarımın yapısal bütünlüğü ve operasyonel verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

1.1 Analiz ve optimizasyonu

Mekanik sistemlerde analiz, bir mekanik sistemin davranışını, performansını, güvenilirliğini veya tasarımını inceleme sürecidir. Bu analiz, sistem içindeki bileşenlerin etkileşimlerini, kuvvetleri, hareketleri ve enerji transferini anlamayı amaçlar. Mekanik sistem analizi genellikle mühendislik disiplinlerinde kullanılır ve aşağıdaki temel unsurları içerir:

Kuvvet ve Moment Analizi: Kuvvet ve momentlerin sistem içindeki bileşenler üzerindeki etkilerini değerlendirme. Bu, malzemelerin gerilme, bükülme, kayma gibi mekanik özelliklerini anlamak için önemlidir.

Hareket Analizi: Sistem içindeki bileşenlerin hareketini inceleme. Bu, kinematik analiz olarak adlandırılır ve genellikle hız, ivme ve yer değiştirmeyi içerir. Dinamik analiz, sistemin kuvvetler altındaki tepkisini değerlendirir.

Enerji Analizi: Enerji transferini ve dönüşümünü inceleme. Bu, sistemdeki enerji kaynaklarını, depolama yöntemlerini ve enerji transferini anlamak için kullanılır.

Malzeme Analizi: Sistemde kullanılan malzemelerin özelliklerini değerlendirme. Bu, malzemelerin dayanıklılığı, esnekliği ve diğer mekanik özelliklerini anlamak için önemlidir.

Termal Analiz: Sistemdeki sıcaklık değişimlerini ve ısı transferini inceleme. Bu, malzemelerin termal davranışını, genleşme ve daralmayı anlamak için kullanılır.

Titreşim Analizi: Sistemde oluşan titreşimleri inceleme. Bu, özellikle makinelerin titreşim kontrolü ve yapısal sağlamlık analizi için önemlidir.

Mekanik sistem analizi, mühendislik tasarımında, üretim süreçlerinde, enerji sistemlerinde ve birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. Bu analiz, bir sistemin performansını optimize etmek, tasarım hatalarını belirlemek veya güvenilirlik değerlendirmeleri yapmak için önemlidir.

Herhangi bir mekanik sistemi gibi Ekskavatör arka kolunun dahil olmak üzere performansını ve dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analizler, yapısal mukavemet hesapları, gerilme analizleri ve deformasyon analizlerini

çerebilir. Bu analizler, tasarımın güvenlik gereksinimlerini karşıladığından emin olmak için yapılır.

Optimizasyon, bir sistemin veya sürecin en iyi duruma getirilmesi amacıyla tasarım değişiklikleri yapma veya parametreleri ayarlama sürecidir. Bu süreç, belirli bir hedefin maksimize edilmesi veya minimize edilmesi amacıyla gerçekleştirilir.

Optimizasyonun temel amacı, belirli kısıtlamalara tabi olan bir sistem içindeki bir değişkeni veya bir dizi değişkeni en iyi duruma getirmektir. Bu, genellikle bir hedef fonksiyonunun optimize edilmesi yoluyla yapılır. Hedef fonksiyonu, genellikle belirli bir kriteri en iyi veya en kötü duruma getirmeye çalışan bir matematiksel ifadedir.

ekskavatör arka kol tasarımının optimizasyonun edilmesi en iyi performansı elde etmek için iyileştirilmesi sürecidir. Bu süreçte, malzeme seçimi, boyutlandırma, geometri ve güçlendirme gibi faktörler dikkate alınır. Optimizasyon, arka kolun ağırlığını azaltma, mukavemetini artırma ve enerji verimliliğini optimize etme gibi hedeflere ulaşmayı amaçlar.

Bu tezde, Backhoe ekskavatör 'ün kolu üzerine detaylı bir analize yönelmiştir. Önemi, makinenin genel işlevselliğinde kolun kritik rolüne dayanmaktadır.

1.2 Mekanik Sistemlerin Anlamı

Mekanik sistemler, fiziksel objelerin veya bileşenlerin bir araya gelerek belirli bir işlevi yerine getiren sistemlerdir. Bu sistemler genellikle mekanik prensiplere dayanarak enerji dönüşümü, hareket üretimi veya belirli bir işin gerçekleştirilmesi gibi görevleri yerine getirirler. Mekanik sistemler, geniş bir yelpazede bulunabilir ve birçok endüstri ve uygulama alanında kullanılabilir.

Mekanik sistemlerin örnekleri şunları içerebilir:

- Taşıtlar: Arabalar, trenler, uçaklar ve gemiler gibi taşıma araçları mekanik sistemlere örnektir. Bu sistemler, motorlar, şanzımanlar, tekerlekler ve diğer bileşenleri içerir.
- Makine ve Ekipmanlar: Fabrika makineleri, endüstriyel ekipmanlar ve üretim hatları, karmaşık mekanik sistemlere örnek teşkil eder.
- Robotlar: Endüstriyel robotlar veya hizmet robotları, çeşitli mekanik bileşenlerin entegre edildiği karmaşık sistemlerdir.

- İnşaat Makineleri: Ekskavatörler, vinçler, buldozerler gibi inşaat makineleri, mekanik sistemlerin tipik örnekleridir.
- Enerji Üretim Sistemleri: Rüzgâr türbinleri, hidroelektrik santralleri veya termal enerji santralleri gibi enerji üretim sistemleri, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren kompleks sistemlerdir.

Mekanik sistemlerin tasarımı genellikle mühendislik prensiplerine dayanır ve malzeme seçimi, kinematik analiz, dinamik analiz ve optimize edilmiş tasarım stratejileri gibi konuları içerir. Bu sistemlerin tasarımında, dayanıklılık, maliyet etkinliği, enerji verimliliği ve güvenlik gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

1.3 Ağırlık Azaltmanın avantajı ve dezavantajı

Birçok endüstri ve tasarım alanında ağırlık azaltmasının bir dizi avantajı içerir. Bazı anahtar noktalar:

- Enerji Verimliliği: Hafif ürünlerin kullanılması, genellikle enerji verimliliğini artırır. Özellikle taşıma araçları, hafif olmaları durumunda daha düşük yakıt tüketimi ve daha iyi performans gösterirler.
- Çevresel Etki: Hafif tasarımların imalatında ve kullanımında daha az malzeme kullanılması, genellikle çevresel etkiyi azaltır. Daha az malzeme kullanımı, doğal kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunabilir.
- Performans İyileştirmesi: Ağırlık azaltma, bir ürünün veya sistem bileşeninin performansını artırabilir. Örneğin, bir aracın hafif olması, daha hızlı ivmelenme, daha iyi manevra kabiliyeti ve daha iyi yakıt verimliliği gibi avantajlar sağlayabilir.
- Taşınabilirlik: Hafif ürünler, taşınabilirlik ve taşıma kolaylığı açısından avantaj sağlar. Bu, özellikle taşınabilir cihazlar, spor ekipmanları ve benzeri ürünler için önemlidir.
- Yapısal Dayanıklılık: Hafif malzemeler, genellikle yeterli dayanıklılık sağlayabilir. Özellikle havacılık ve uzay endüstrilerinde, uçakların ve uzay araçlarının ağırlığının azaltılması, taşıma kapasitelerini artırabilir ve daha uzun menzillerle çalışmalarını sağlayabilir.

- Maliyet Tasarrufu: Hafif tasarımlar genellikle malzeme kullanımını azaltarak üretim maliyetlerini düşürebilir. Bu, malzeme tedarik maliyetlerinde ve nakliye maliyetlerinde tasarruf sağlayabilir.
- Yapısal Entegrasyon: Hafif malzemeler, karmaşık tasarımlarda daha iyi entegrasyon sağlar. Yapısal entegrasyon, parçalar arasındaki etkileşimleri ve bağlantıları optimize ederek daha verimli ve güçlü ürünlerin tasarlanmasını mümkün kılar.

Bu avantajlardan yararlanmak için, birçok endüstri ve tasarım alanında ağırlığı azaltma hedefi, tasarım süreçlerinin önemli bir parçasını oluşturur.

Ağırlık azaltmanın avantajlarına rağmen, bu hedefi gerçekleştirmeye çalışırken bazı sınırlamalar ve zorluklar da karşılaşılabılır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Maliyet: Hafif malzemeler genellikle daha pahalı olabilir. Özellikle yüksek mukavemetli veya özel hafif malzemeler kullanmak, üretim maliyetlerini artırabilir.
- Dayanıklılık: Ağırlık azaltmak, ürünün dayanıklılığına etki edebilir. Özellikle ağırlık taşıma kapasitesi önemli olan uygulamalarda, malzeme seçimi ve tasarım dikkatlice değerlendirilmelidir.
- İmalat Zorlukları: Hafif malzemelerin işlenmesi ve imalatı, geleneksel malzemelere göre farklı beceri ve ekipman gerektirebilir. Bu da üretim süreçlerinde zorluklara neden olabilir.
- Mukavemet ve Güvenlik: Ağırlık azaltma, malzeme mukavemetini etkileyebilir. Özellikle güvenlik açısından kritik olan uygulamalarda, ağırlık azaltma stratejileri dikkatlice değerlendirilmelidir.
- Yeniden Tasarım Gerekliği: Ağırlık azaltma, mevcut tasarımların yeniden gözden geçirilmesini ve belki de yeniden tasarlanmasını gerektirebilir. Bu, ek mühendislik çabası ve zaman gerektirebilir.
- Regülasyon ve Standartlar: Belirli endüstrilerde ve uygulamalarda belirlenmiş regülasyonlar ve güvenlik standartları bulunmaktadır. Bu standartlara uymak, ağırlık azaltma hedeflerini gerçekleştirmeyi zorlaştırabilir.

- Çevresel Etkiler: Hafif malzemelerin üretimi bazen çevresel etkilerle ilişkilendirilebilir. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bağdaştırılmalıdır.

Bu sınırlamalar ve zorluklar, ağırlık azaltma stratejilerinin tasarım süreçlerinde bilinçli bir şekilde ele alınmasını gerektirir. Tasarım mühendisleri, maliyet, dayanıklılık, güvenlik ve üretilebilirlik gibi faktörleri dikkate alarak dengeleme yapmalıdır.

1.4 Mekanik Sistemlerde Ağırlık Azaltma Amaçlayan Yöntemler

Ağırlık azaltma, genellikle tasarım ve mühendislik süreçlerinde kullanılan bir dizi strateji ve yöntemle gerçekleştirilebilir. Kullanılabilecek bazı ana stratejiler:

■ Malzeme Seçimi:

Hafif Malzemeler: Daha hafif malzemelerin kullanılması, genellikle ağırlık azaltma hedefine ulaşmada etkili bir yöntemdir. Örneğin, alüminyum, titanyum, karbon fiber gibi hafif malzemeler yaygın olarak tercih edilir.

■ Optimizasyon Yöntemleri:

Topoloji Optimizasyonu: Malzeme dağılımını optimize ederek gereksiz malzeme kullanımını azaltır.

- Şekil Optimizasyonu: Bileşenin geometrisini optimize ederek ağırlığı azaltır.
- Boyut Optimizasyonu: Parça boyutlarını optimize ederek ağırlığı düşürebilir.

İnceleme ve Analiz

- Sonlu Elemanlar Analizi (FEM): Yapısal mukavemeti ve performansı değerlendirmek için kullanılır.
- Akışkanlar Mekaniği Analizi: Aerodinamik performansın iyileştirilmesi için özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılır.

□ Entegrasyon ve Bileşenlerin Birleştirilmesi:

- Entegre Bileşenler: Farklı fonksiyonları tek bir bileşende birleştirerek malzeme ve ağırlık tasarrufu sağlar.
- Hafifleştirilmiş Bileşenler: Örneğin, hafifleştirilmiş jantlar, gövdeler veya yapısal bileşenler.

□ İmalat Teknikleri:

- Katmanlı Üretim: 3D baskı gibi katmanlı üretim teknikleri, karmaşık geometrili ve hafif parçaların üretilmesine olanak tanır.

- Hassas İmalat Yöntemleri: Hassas işleme yöntemleri kullanılarak malzeme tüketimi azaltılabilir.

□ Yenilikçi Tasarım ve Mimarlık:

Yenilikçi Tasarım Stratejileri: Yaratıcı ve yenilikçi tasarım stratejileri, geleneksel tasarımlardan farklı ve hafif çözümler sunabilir.

□ İleri Malzeme Teknolojileri:

- Kompozit Malzemeler: Karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP), cam fiber takviyeli plastikler (GFRP) gibi kompozit malzemeler, hafif ve dayanıklıdır.

- Hafif Metal Alaşımları: Özellikle alüminyum, titanyum gibi hafif metal alaşımları, ağırlığı azaltma amaçlarına hizmet eder.

□ Yapısal Simülasyon ve Prototipleme:

Prototip Üretimi: Hafif ve ölçeklenebilir prototipler, tasarım sürecinde ağırlık azaltma stratejilerini değerlendirmek için kullanılabilir.

Bu yöntemler, ağırlık azaltma hedeflerine ulaşmak için kullanılabilecek çeşitli stratejileri temsil etmektedir. Tasarım sürecinde bu stratejilerin bir kombinasyonu genellikle en etkili sonuçları sağlar.

1.5 Yapısal Analizi

Yapısal analiz, bir yapı veya bileşenin mekanik davranışını inceleyen bir mühendislik analiz yöntemidir. Bu analiz, genellikle malzeme mukavemeti, gerilme, deformasyon, dayanıklılık ve benzeri faktörleri içerir. Yapısal analiz, bir yapı veya bileşenin tasarımının dayanıklılığını, güvenliğini ve genel performansını değerlendirmeye yardımcı olur. Genellikle bu analiz, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve sonlu elemanlar analizi (FEM) gibi gelişmiş mühendislik araçları ile entegre edilir. Yapısal analiz, bir mühendislik projenin tasarım aşamasında, prototip üretiminde veya gerçek dünya uygulamalarında kullanılarak yapı veya bileşenin uygunluğunu ve dayanıklılığını değerlendirmeye yönelik kritik bir süreçtir.

Yapısal Analiz terimin altında aşağıdaki yöntem ve stratejileri ekleyebilirsiniz:

- Sonlu Elemanlar Analizi (SEA): Yapısal analiz içinde, karmaşık yapıları matematiksel modellerle temsil etmek ve bu modelleri elemanlara ayırarak analiz etmek için kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir.
- Mukavemet Analizi: Malzemenin dayanıklılığını, gerilme, deformasyon ve benzeri faktörleri değerlendiren bir analiz yöntemidir.
- Yorulma Analizi: Malzemenin sürekli tekrarlanan yüklemelere maruz kalması durumunda meydana gelen yorgunluk hasarını değerlendiren bir analiz türüdür.
- Stabilitate Analizi: Yapısal elemanların dayanıklılığı ve stabilitelerini değerlendirmek için kullanılır.
- Titreşim Analizi: Yapıların titreşim özelliklerini ve dinamik tepkilerini inceleyen bir analiz türüdür.
- Termal Analiz: Malzemenin ısıya karşı tepkilerini inceleyen analiz yöntemidir.
- Optimizasyon Analizi: Yapının tasarımını optimize etmek amacıyla parametrelerin analizi ve ayarlamasını içerir.

Yapısal optimizasyon, çeşitli hedeflere ulaşmak için kullanılan bir süreçtir, bu hedefler arasında ağırlık azaltımı, maksimum rijitlik, doğal frekans azaltımı ve ısı iletimini maksimize etmek gibi amaçlar bulunmaktadır. Bu optimizasyon sürecinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında Topoloji Optimizasyonu, Boyut Optimizasyonu ve Şekil Optimizasyonu bulunmaktadır. İlk yapısal optimizasyon yöntemi olarak literatürde yer alan boyut optimizasyonu, zamanla şekil optimizasyonu ve en son olarak da topoloji ve topografya optimizasyonu gibi gelişmiş yöntemlere evrilmiştir.

1.5.1 Topology optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu, mühendislikte ve mekanik sistemlerde kullanılan bir tasarım optimizasyon yöntemidir. Bu yöntem, bir yapı veya mekanik sistem içinde malzeme dağılımını optimize etmeyi amaçlar. Amacı, belirli tasarım kriterlerine uyarak sistem performansını artırmak, malzeme kullanımını azaltmak veya ağırlığı optimize etmektir.

Topoloji optimizasyonunun temel özellikleri:

- Mükemmel Malzeme Dağılımı:

Topoloji optimizasyonu, bir yapı içindeki malzeme dağılımını mükemmel bir şekilde optimize etmeyi hedefler. Bu, belirli bir yapısal dayanıklılık veya başka performans kriterlerine göre en uygun malzeme yerleşimini bulmayı içerir.

- **Malzeme Tasarrufu:**

Bu optimizasyon türü, verilen bir performans seviyesini koruyarak malzeme kullanımını minimize etmeyi amaçlar. Bu şekilde, yapısal dayanıklılığı sürdürürken malzeme maliyetlerini düşürebilir ve sürdürülebilirliği artırabilir.

- **Ağırlık Azaltma:**

Topoloji optimizasyonu, bir yapı veya parça üzerindeki malzeme dağılımını optimize ederek ağırlığı azaltabilir. Özellikle havacılık, otomotiv ve uzay endüstrilerinde ağırlık azaltma önemli bir tasarım kriteridir.

- **Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ile Entegrasyon:**

Mekanik sistemlerde topoloji optimizasyonu genellikle sonlu elemanlar analizi (FEA) ile kullanılır. FEA, malzeme ve yapısal davranışın sayısal analizi için kullanılır ve topoloji optimizasyonu sürecine önemli bir giriş sağlar.

- **İteratif Tasarım Süreci:**

Topoloji optimizasyonu genellikle iteratif bir süreçtir. İlk bir tasarım, belirli kriterlere göre optimize edilir, ardından bu tasarım sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilir. Bu süreç, hedeflere ulaşmaya kadar tekrarlanabilir.

Topoloji optimizasyonu, mühendislikte tasarım süreçlerini geliştirmek ve optimize etmek için güçlü bir araçtır. Bu yöntem, mekanik sistemlerin performansını artırmak ve malzeme kullanımını optimize etmek isteyen mühendisler için değerli bir tasarım aracıdır.

1.5.2 Şekil Optimizasyonu

Şekil optimizasyonu, mühendislik uygulamalarında yapısal bileşenlerin veya sistemlerin geometrik şekillerini optimize etmeyi amaçlayan bir tasarım sürecidir. Bu süreç, belirli kriterlere dayalı olarak malzeme kullanımını azaltmak, yapısal mukavemeti artırmak veya belirli bir performans özelliğini en üst düzeye çıkarmak gibi hedeflere yöneliktir. Şekil optimizasyonu genellikle sonlu elemanlar analizi, matematiksel optimizasyon algoritmaları ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) araçları kullanılarak gerçekleştirilir.

Şekil Optimizasyonu Süreci:

- **Başlangıç Geometrisi:**

Analiz süreci, belirli bir yapısal bileşenin başlangıç geometrisiyle başlar.

- **Sonlu Elemanlar Analizi:**

Başlangıç geometrisi, sonlu elemanlar analizi ile incelenir. Bu analiz, yapısal davranışı, stres dağılımını ve deformasyonu değerlendirir.

- **Optimizasyon Kriterleri Belirleme:**

Tasarım hedefleri belirlenir. Bu hedefler, malzeme kullanımını azaltma, ağırlığı düşürme veya belirli bir performans metriğini optimize etme gibi faktörlere odaklanabilir.

- **Şekil Optimizasyon Algoritmaları:**

Matematiksel optimizasyon algoritmaları, sonlu elemanlar analizi sonuçlarına dayalı olarak geometriyi otomatik olarak ayarlamak için kullanılır. Bu algoritmalar, belirli bir kriteri en iyi karşılayacak şekilde geometriyi evrimleştirebilir.

- **Sonuçların Değerlendirilmesi:**

Optimizasyon sürecinin ardından elde edilen yeni geometri, başlangıç geometrisiyle karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlar, tasarım hedeflerine ne kadar uygun olduğunu değerlendirmek için analiz edilir.

- **İteratif Süreç:**

İhtiyaçlar ve hedefler göz önüne alındığında, şekil optimizasyonu iteratif bir süreç olabilir. Geometri ayarlamaları yapılır ve analiz tekrarlanır, bu şekilde en iyi tasarım elde edilene kadar devam edebilir.

Şekil optimizasyonu, yapısal tasarımın verimliliğini artırmak ve mühendislik projelerinde maliyeti düşürmek için güçlü bir araçtır.

Sonraki bölümler, bu analizlerden elde edilen bulguları daha ayrıntılı bir şekilde açıklayacak, backhoe loader'ın arkasındaki kolanın yapısal bütünlüğü ve performans özellikleri hakkında bütünsel bir görünüm sunacaktır.

2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Mekanik sistemlerde yapısal analizi

Yapısal optimizasyon görevleri, tasarım değişkenlerinin türüne göre ayrılmıştır, çünkü sonrasında uygulanan çözüm stratejileri de seçilmelidir (Schmidt ve Mallet, 1963)

Table 1 verilen çalışmaların yıl bazında sıralanmış bir tablosu bulunmaktadır.

Yıl	Yazar ve Çalışma Konusu	Kullandıkları Yöntemler	Elde Edilen Sonuçlar
1976	Paulo - Yapıların tasarımını optimize etmek için özel algoritma	Özel bir tasarım algoritması	Ağırlık azaltma odaklı, çoklu davranışsal eşitsizlik kısıtlamalarını dikkate alır
1982	Datseris - Hız düşürücü optimizasyonu	Ayrıştırma teknikleri ve sezgisel arama yöntemleri	Diğer yöntemlere göre daha etkili sonuçlar
1990	Banichuk - Deformasyona uğrayabilen cisimlerin optimal tasarımı	Analitik ve sayısal teknikler	Optimal tasarımların tanıtılması
1992	Kayvantash - Çelik yapıların çoklu yük kombinasyonları altında optimizasyon	Çeşitli optimizasyon teknikleri	Belirli yük kombinasyonları altında optimizasyon
1994	Mamoru - Yapısal optimizasyonda Deney Tasarımı kullanımı	Deney Tasarımı yöntemi	Daha etkili analiz için öneri
2001	Papadrakakis - Büyük ölçekli yapısal optimizasyon	Çeşitli optimizasyon yöntemleri	Statik ve deprem yük koşulları altında verimliliği araştırma
2013	Sahab - Optimizasyon problemleri ve teknikleri	Sınıflandırma ve vurgu	Yapısal optimizasyonun karmaşıklığına dikkat çeker

1997	Vanderplaats - Yapısal tasarım optimizasyonu	Belirli bir konu üzerinde değerlendirme	Tasarım ortamlarına entegrasyonun gerekliliğine vurgu
2021	Bekmansurov ve Boyarshinova - Optimal yapı şeklinin belirlenmesi	Topolojik optimizasyon	Yapıların ağırlığında belirgin azalma
2022	Lizaribar ve ark - Elektromanyetik ve mekanik topoloji optimizasyonunun birleştirilmesi	Kombine topoloji optimizasyonu	Performanstan ödün vermeden elektrikli makinelerin ağırlığını azaltma
2022	Çelik ve ark - Süspansiyon kollarının ağırlık azaltma analizi ve optimizasyonu	Topoloji optimizasyonu	Optimize edilmiş tasarımın %11,02 daha hafif olması
2022	Dhall ve ark - Uçak kanat kaburgasının ağırlık azaltma	Üretken tasarım ve FEA	Kanat kaburgasının ağırlığını azaltmada etkili yöntemler

Ağırlık azaltma kavramı, tarih boyunca özellikle mühendislik ve taşımacılık alanlarında çeşitli alanlarda önemli olmuştur. Ağırlık azaltmanın önemi, verimlilik, performans ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkisine dayanmaktadır. Mekanik sistemlerde ağırlık azaltımı yapısal analiz ve optimizasyon teknikleri ile sağlanabilir. Bu yöntemler, mukavemetlerini ve performanslarını korurken yapıların ağırlığını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Farklı çalışmalar, yapısal analiz ve optimizasyon teknikleri aracılığıyla mekanik sistemlerde ağırlık azaltmayı incelemiştir. Datseris (1982), bir hız düşürücüyü optimize etmek için ayrıştırma teknikleri ve sezgisel arama yöntemlerini uygulayarak, diğer yöntemlere göre daha etkili sonuçlar elde etti. Liu (2020), genetik algoritmayı kullanarak bir alt ekstremite rehabilitasyon mobil cihazını optimize etti ve çıktı kuvvetini tehlikeye atmadan ağırlığı %48 azalttı. Lim (2020), periyodik uzay çerçeve yapılarının çoklu amaçlı topoloji optimizasyonu için bir yöntem önerdi ve mekanik özellikler açısından üstün performans sergiledi. Pang (2020), bir çan kolu için ağırlık azaltma tasarım yöntemi geliştirdi ve doğal frekansı artırırken stresi azaltarak %3 ağırlık tasarrufu elde etti. Kayvantash (1992) çelik yapıların çoklu yük kombinasyonları altında optimizasyona odaklanan çeşitli optimizasyon tekniklerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Papadrakakis (2001) büyük ölçekli yapısal optimizasyonun, özellikle statik ve deprem yük koşulları altında, çeşitli optimizasyon yöntemlerinin verimliliğini araştırmıştır. Vanderplaats (1997) çalışmada, yapısal tasarım optimizasyonunun durumunu inceleyerek, bu teknolojinin pratik tasarım ortamlarına entegrasyonunun gerekliliğine

vurgu yapmaktadır. Sahab (2013) optimizasyon problemlerini ve tekniklerini sınıflandırarak, yapısal optimizasyonun karmaşıklığına dikkat çeker. Nonlinearite ve çoklu yerel minimumların varlığı, yapısal optimizasyonu karmaşık hale getirir. Banichuk (1990), deformasyona uğrayabilen cisimlerin veya yapıların en iyi tasarımlarını ve iç yapıları üzerine yapılan araştırmalarda kullanılan analitik ve sayısal teknikleri tanıttı. Mamoru (1994) yılında yayımlanan çalışmasında, yapısal optimizasyonda daha etkili bir analiz için Deney Tasarımı'nın kullanımı önerilmiştir. Paulo (1976) çalışmasında, yapıların tasarımını optimize etmek için özel olarak tasarlanmış bir algoritmayı tanıtmaktadır. Bu algoritmanın odak noktası ağırlık azaltma üzerinedir ve birden fazla davranışsal eşitsizlik kısıtlamasını dikkate alır.

Bekmansurov ve Boyarshinova (2021) bir yapının optimal şeklinin minimum esnekliğe ve verilen ağırlık kısıtlamalarına sahip tasarımlar aranarak belirlendiği topolojik optimizasyonun kullanılmasını içerir. Yapıların ağırlığı sırasıyla 2,4 ve 6,7 kat azaldı. Elde edilen yapılar mukavemet gereksinimlerini karşılar. Başka bir yöntem, Lizarribar ve ark (2022) elektrikli makinelerin ağırlığını performanslarından ödün vermeden azaltmak için elektromanyetik ve mekanik topoloji optimizasyonunu birleştirir. Önerilen yöntem, performanstan ödün vermeden elektrikli makinelerin ağırlığını azaltır. Yöntem, diğer topoloji optimizasyon yöntemlerine kıyasla daha kısa bir hesaplama süresine sahiptir. Çelik ve ark (2022) Otomotiv endüstrisinde, mukavemeti korurken malzeme kullanımını en aza indirmeyi amaçlayan süspansiyon kolları gibi bileşenlere ağırlık azaltma analizi ve optimizasyonu uygulanmıştır. Bu çalışmada, topoloji optimizasyonu yoluyla bir araç süspansiyon kolunun ağırlığını ve maliyetini azaltmayı amaçlamaktadır. Optimize edilmiş tasarımın seçilen referans tasarımdan %11,02 daha hafif olduğu bulunmuştur.

Liu ve ark (2020) Rehabilitasyon mühendisliği alanında, alt ekstremité rehabilitasyon cihazlarının mekanik yapısını optimize etmek için genetik algoritmalar kullanılmıştır ve bu da çıkış kuvvetinden ödün vermeden ağırlık azalmasına neden olmuştur. Genetik algoritma, ağırlık azaltma mekanizmasının hacmini % 48 azalttı. Genetik algoritma verimli bir yapısal optimizasyon yöntemidir. Dhall ve ark (2022) Uçak tasarımında, mukavemet ve sertliği korurken ağırlığı azaltmak için topoloji optimizasyonu, üretken tasarım ve sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Çalışmada, bir uçağın ağırlığını azaltmak için üretken tasarım ve yapısal analizin kullanımını tartışmaktadır. Üretken tasarım, topoloji optimizasyonu ve FEA'nın entegre çalışması, gücü korurken ve

topolojiyi optimize ederken bir uçağın kanat kaburgasının ağırlığını azaltmaya yardımcı olur. Genel olarak, bu çalışmalar, mekanik sistemlerde ağırlık azaltma sağlamada yapısal analiz ve optimizasyon tekniklerinin etkinliğini göstermektedir.

Yapısal optimizasyon yöntemleri, genellikle Topoloji Optimizasyonu, Boyut Optimizasyonu ve Şekil Optimizasyonu gibi yöntemleri içerir. Literatürde uygulanan ilk yapısal optimizasyon yöntemi genellikle boyut optimizasyonudur. Bu yöntem, yapı elemanlarının boyutlarını optimize ederek belirli bir amaca ulaşmayı hedefler.

Daha sonraki gelişmelerle birlikte, şekil optimizasyon yöntemi de uygulanmaya başlanmıştır. Şekil optimizasyonu, yapı elemanlarının geometrisini optimize ederek performansı artırmayı amaçlar.

En son olarak, topoloji ve topografya optimizasyonu gibi daha gelişmiş yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Topoloji optimizasyonu, yapı elemanlarının malzeme dağılımını optimize ederek yapı performansını iyileştirmeyi hedefler. Topografya optimizasyonu ise malzeme miktarını optimize ederek maliyeti minimize etmeyi amaçlar.

Tablo 2 Yapısal Optimizasyon Yöntemlerinin Evrimi ve Amaçları

Yıl	Yapısal Optimizasyon Yöntemi	Amaçlar
Geçmiş	Boyut Optimizasyonu	Ağırlık azaltımı, Maksimum rijitlik, Doğal frekans azaltımı
Sonraki	Şekil Optimizasyonu	Geometrik optimizasyon, Performans artırımı
Şu anki	Topoloji ve Topografya Optimizasyonu	Malzeme dağılımı optimizasyonu, Maliyet minimizasyonu

2.2 Topoloji optimizasyonunun

Temelini oluşturan iki önemli metodun tarihçesine ve geliştirilmesine odaklanmaktadır.

- Homojenleştirme Metodu (Homogenization Method): Bendsoe ve Kikuchi tarafından 1988 yılında geliştirilen bu metodu, topoloji optimizasyonunun temelini oluşturur. Homojenleştirme metodu, bir yapıyı oluşturan malzemenin homojen özelliklerini analiz etmek için kullanılır. Bu yöntem, yapıyı oluşturan

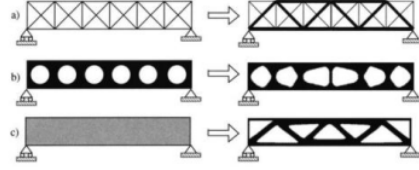
malzemelerin dağılımını dikkate alarak, bir tasarımın belirli bir malzeme dağılımı içinde en iyi performansı sağlamak üzere optimize edilmesini sağlar. Suzuki ve Kikuchi (1991) tarihli çalışması, lineer elastik düzlemsel yapıların direncini artırmak amacıyla homojenizasyon yöntemini kullanarak yapılmıştır.

- 17 Yoğunluk Metodu (Density Method): R.J. Yang ve C.H. Cuhang tarafından 1993 yılında geliştirilen bu metodu, topoloji optimizasyon problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan başka bir yöntemdir. Yoğunluk metodu, bir yapıdaki materyal dağılımını ifade etmek için kullanılır. Yapının her noktasında bir yoğunluk değeri atanır ve bu değerlerin optimizasyonu yapılarak en iyi malzeme dağılımı elde edilir. Bu metodu, literatürde "malzeme dağılım metodu" olarak da adlandırılmaktadır.

Yang ve Chuang'ın 1994 tarihli çalışması, homojenleştirme metoduna alternatif olarak yoğunluk metodunu kullanarak yapıların topolojisini belirlediğini göstermektedir.

Bu iki metodun geliştirilmesi, topoloji optimizasyonunun temellerini oluşturmuş ve yapının en iyi performansa sahip tasarımını elde etme amacıyla kullanılan kritik araçlardan biri haline gelmiştir.

Bendsoe ve Sigmund'un (2003) topoloji optimizasyonu konusunda önemli bir referans olarak kabul edilir. Bu çalışmada, topoloji optimizasyonunun temel prensipleri ve uygulama alanları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada vurgulanan ana konulardan biri, topoloji optimizasyonunun belirli bir modelin dış boyutlarına ait özelliklerde bir değişiklik yapmadan, belirli bölgelerden malzeme çıkarma işlemi olduğudur. Bu, malzeme kullanımını optimize ederek belirli bir yapı veya sistemde mukavemeti arttırmayı amaçlar. Ayrıca, topoloji optimizasyonunun temel amacının kompiansın (uyum) minimum (rijitliğin maksimum) olmasını sağlayan optimum malzeme dağılımını bulmak olduğu vurgulanmıştır. Bu, yapısal mukavemetin artırılması ve tasarımın performansının iyileştirilmesi açısından önemli bir hedeftir.



Şekil 1 Bir çubuk modelinin ve yapısal optimizasyonunun farklı kategorilerinin gösterimi: a) boyut, b) şekil ve c) topoloji (Bendsoe & Sigmund, 2003).

Mekanik sistemler için topoloji optimizasyon yöntemleri çeşitli makalelerde önerilmiştir.

Vanpaemel(2023) ve ark. esnek çok gövdeli sistemlerin yapısal bileşenlerini optimize etmek için Ek Değişken Yöntemi (AVM) ve Esnek Doğal Koordinatlar Formülasyonunu (FNCF) kullanarak tam birleştirilmiş bir yaklaşım tanıttı. Frederiksen (2023) ve ark. Üçüncü orta temas yöntemini genişleterek ve bir teğet sertlik gereksinimi getirerek teması topoloji optimizasyonuna dahil etmenin zorluklarını ele aldı. Zhang ve ark. farklı koşullar altında 2-3D topolojik optimizasyon problemlerini çözmek için element diferansiyel yöntemini (EDM) Katı İzotropik Malzeme ile Penalizasyon (SIMP) yöntemiyle birleştirdi Zhang ve ark.(2023) elementsiz Galerkin yöntemini (EFGM) kullanarak ve tasarım alt alanlarına periyodik kısıtlamalar getiren periyodik mekanik yapılar için bir topoloji optimizasyon algoritması kurdu .Bu makaleler, mekanik sistemlerde topoloji optimizasyonu için çeşitli yaklaşımlar ve teknikler sunmaktadır.

2.3 Ekskavatör kolu

Yükleyici-kazıcı (Backhoe) Ekskavatör üzerinde yapılan çalışmalar olarak çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu konular hakkında birçok çalışma yapılmış ve literatürde yayımlanmıştır. Bir dizi çalışma, ekskavatör kepçe kollarının performansını ve tasarımını değerlendirmek için sonlu eleman analizi (FEA) kullanmıştır. Ru-pin (2009) ve Patel (2011), her ikisi de koldaki tasarımı ve geliştirmeyi teorik bir temel sağlamada ve ayrıca ağırlığı ve maliyeti azaltmada ek olarak eklemenin optimizasyonunda FEA'nın önemini vurgulamaktadır, ayrıca Ru-pin (2009), belirli bir riskli durumda ekskavatör koluna yönelik bir statik analiz gerçekleştirmiştir. Bu analiz, sonlu eleman yazılımı ANSYS kullanılarak yapılmıştır. Hadi (2018) ve Yu (2020) ise

Commented [yk1]: Simon, Vanpaemel. (2023). Topology optimization for dynamic flexible multibody systems using the Flexible Natural Coordinates Formulation. Mechanism and Machine Theory. doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2023.105344

Commented [yk2]: and, C. H. Frederiksen., Ole, Sigmund., Konstantinos, Poullos. (2023). Topology Optimization of self-contacting structures. arXiv.org. doi: 10.48550/arXiv.2305.06750

Commented [yk3]: (2023). Topology Optimization of self-contacting structures. doi: 10.48550/arXiv.2305.06750

ekskavatör bileşenlerinin tasarımı ve analizinde, özellikle kol ve kova üzerindeki stres ve deformasyon seviyelerine odaklanarak, FEA'nın pratik uygulamasını daha da göstermektedir. P. Govinda Raju ve ark (2017), makalelerinde ekskavatör kol ve kovanın statik yapısal analizini gerçekleştirmişler ve modelde gelişen maksimum kayma gerilmesi ve deformasyonu göstermişlerdir. Çalışmalarından elde ettikleri sonuçlara göre, kolun toplam ağırlığı %50 oranında azaltılmıştır. Ayrıca, kova kapasitesi de artırılmıştır.

Ramesh ve diğerleri (2017), makalelerinde ekskavatör Alt Kolunun yenilikçi bir tasarımını oluşturmak için bir topoloji optimizasyon yaklaşımını sunmuşlardır. Ağırlık ve bileşen performansı açısından yapılan son karşılaştırmalar, yapısal optimizasyon tekniklerinin daha düşük maliyetle daha yüksek kaliteli ürünler üretmek için etkili olduğunu göstermektedir. Alt Kol, ALTAIR RADIOSS SOFTWARE kullanılarak malzeme seçimi ile daha fazla ağırlık azaltımına tabi tutulmuştur. Temel modelden %9,28 ağırlık azaltılmış ve daha rijittir.

Ahmet Erklig ve diğerleri (2013), makalelerinde Backhoe yükleyici (kazıcı yükleyici) arka ve ön kollarını, maksimum yükler ve sınırlayıcı koşullar kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile analiz etmişlerdir. Analizler, maksimum hidrolik silindir kuvvetleri için gerçekleştirilmiştir. Simetrik ve simetrik olmayan sınırlayıcı koşullar incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Backhoe yükleyici kollarının dayanıklılığını artırmak için bir iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmıştır. Kollar için iki farklı iyileştirme yapılmıştır. İyileştirmelerden sonra, güvenlik faktörü, arka kolda 1.59'dan 1.98'e çıkarılmıştır. Arka kolun dayanıklılığı %24.5 artırılmıştır.

Mohammad ve ark (2021) Monte Carlo yöntemiyle elde edilen belirsiz yükler kullanarak bir hidrolik ekskavatörün çubuğunun tasarımını optimize etmeye odaklandı. Sonuçlar, optimize edilmiş tasarımın orijinal tasarıma kıyasla daha az ağırlık ve daha düşük stres değerlerine sahip olduğunu gösterdi.

Solazzi (2018) kompozit malzemeler kullanan ekskavatör kollarının hafif tasarımına odaklandı ve yaklaşık %68,1 maksimum ağırlık azalmasına neden oldu.

Solazzi (2019) Başka bir çalışmada bir ekskavatörün performansını alüminyum alaşımı ve karbon fiberli kompozit malzeme gibi alışılmadık malzemelerden yapılmış kollarla karşılaştırdı. Bu malzemeleri kullanan yeni tasarım bileşenleri, toplam ağırlık azalması % 64.1 ile sonuçlandı.

Gholami ve Ghassabi (2021) bir ekskavatör taşıyıcısının tasarımını optimize etmek için sonlu elemanlar analizi kullandı ve bu da %30'a varan bir ağırlık azalması ve ulaşım güvenliğini artırdı.

Fahim Mahmud Khan ve ark(2016) Sonlu elemanlar analizi yoluyla ekskavatör kolunun yapısal ağırlık modifikasyonunu araştırdı. Tasarımı değiştirmenin ve malzemeyi değiştirmenin, güvenli sınırlar içinde tutarken kolun ağırlığını önemli ölçüde azaltabileceğini buldular.

Bende ve ark (2013), optimize edilmiş bir tasarım çözümü bulmak için FEM'i ve CAD tasarımı için Pro-E yazılımını kullandılar. Ayrıca, farklı malzeme özellikleri için ANSYS FEM yazılımını kullanarak ekskavatör kolu mekanizmasının dinamik yorulma arızasını analiz etmek için FEM'i kullandılar.

Yang Ru-pin (2009), ANSYS yazılımını kullanarak belirli bir kazıcı hidrolik ekskavatörün kolunun statik bir analizini gerçekleştirdi ve stres ve yer değiştirme deformasyon kontur diyagramları elde etti. Yang Yu-jiao (2010) basitleştirilmiş bir kol modeli oluşturdu ve ABAQUS yazılımını kullanarak sertlik analizi gerçekleştirdi ve kolun statik yoğunluğunun yeterli olduğu sonucuna vardı. Patel (2011) kepçe konumu ve bağlantı bağlantı pozisyonları arasındaki ilişkileri anlamak için kazıcı ataşmanlarının kinematik modellemesini gözden geçirdi ve ekskavatörlerin çalışma performansını iyileştirmek için kinematik modellemenin önemini vurguladı. Ayrıca ekskavatör parçalarının tasarımında kuvvet analizi ve mukavemet analizinin önemini vurguladılar ve FEA bu hesaplamalar için güçlü bir tekniktir. Bende ve ark optimize edilmiş bir tasarım çözümü bulmak amacıyla ekskavatör kollarının tasarımını incelemek için, özellikle burulma ve bükülme gerilmeleri ile ilgili olarak FEM ve ANSYS yazılımının kullanılmasını önerdiler .

Yan Ru-pin (2009) çalışmasına dayanmaktadır. Belirli model için Hidrolik Backhoe ekskavatörün hareketli kolunun çeşitli yük durumlarına tepkisini, stres dağılımını, deformasyonu ve genel yapısal bütünlüğü değerlendirmek için analiz yaptı.

Bende ve ark (2013), Muhammed ve ark (2012) Sonlu elemanlar analizi, kol ve kova gibi ekskavatör bileşenlerinin mukavemetini ve deformasyonunu değerlendirmek için kullandılar.

Anil ve ark (2014) Pro/EngineerTM gibi bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı, çizimler oluşturmak ve ilk stres analizi yapmak için kullanılmıştır.

Azhar (2020) Luo ve ark (2014) Ekskavatör kolunun performansını ve güvenliğini artırmak için alüminyum alaşımı ve Hardox 400 gibi farklı malzemelerin kullanımı araştırılmıştır .

Kim ve ark (2014) çalışma alanı, çalışma hızı, kazı kuvveti ve yük kapasitesi açısından performansını en üst düzeye çıkarmak için bir ekskavatörün ön bağlantısının optimal bir tasarımını önerdi [1].

Dhawale ve Wagh (2014), üretkenlik ve yakıt tüketimi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak bir ekskavatör kolunun tasarımında güvenilirlik, ağırlık ve maliyetin önemini vurguladılar.

Solazzi (2010), bir ekskavatörün bomunda ve kolunda çelik alaşımının alüminyum alaşımı ile değiştirilmesini inceledi ve bu da yük kapasitesi ve üretkenliğin artmasına neden oldu [5].

Zhou Yong (2011), küçük ölçekli bir hidrolik ekskavatörün kolunun bir modelini oluşturmak için ANSYS kullanarak bir çalışma yürüttü [1].

Patel ve Prajapati (2011) ekskavatör parça tasarımında kuvvet ve mukavemet analizinin önemini vurgulayarak ağırlık azaltma ve optimizasyon için FEA'nın kullanımını vurguladı. Souncu, kolun toplam ağırlığı yaklaşık% 50 azalır ayrıca kepçenin kapasitesi yaklaşık% 30 artırılmıştır.

Patel ve Prajapati ayrı bir çalışmalarında (2013) bir ekskavatörün kolunun tasarımı ve optimizasyonu, makinenin güvenilirliğini ve performansını sağlamak için kritik bir görevdir.

RU-pin(2009), belirli bir tehlikeli durumda sonlu eleman yazılımı olan ANSYS kullanarak belirli bir kazıcı hidrolik ekskavatörün kolunu analiz etti. Bu analiz, kol tasarımı ve iyileştirmesi için bir temel oluşturabilecek gerilim ve yer değiştirme deformasyon kontur diyagramları sağladı .Hidrolik ekskavatörün kolunun statik analizi sonlu eleman yazılımı ANSYS kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kol tasarımı ve iyileştirilmesi için teorik bir temel sağlar.

Son olarak mini hidrolik ekskavatörlerin tasarımı ve performansı, özellikle kol kısmı, birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Chumbale (2015) ve Jiddewar (2017), her ikisi de kolun tasarımının güvenlik ve verimliliği sağlamada önemini vurgulamıştır. Chumbale özellikle kaldırma ve kazma işlemlerinde ortaya çıkan önemli streslere dayanabilecek bir mekanizmanın gerekliliğine dikkat çekmektedir.

İlgili bağlamda, Patel (2011) ve Patel (2012), ekskavatör ile toprak arasındaki etkileşimin inceliklerine inmiştir. Patel (2012), hafif inşaat işleri için özel olarak tasarlanmış bir ekskavatör eklemesi önererek, mini hidrolik ekskavatörlerin çeşitli inşaat senaryolarında çok yönlü ve uyarlanabilir olma özelliklerini vurgular.

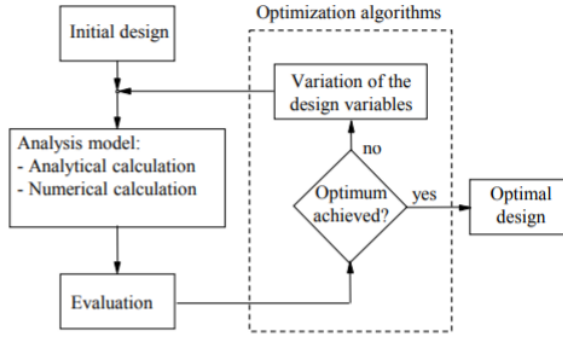


Figure 1: Optimization Loop

3 MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Backhoe (Yükleyici-kazıcı) Tanıtımı

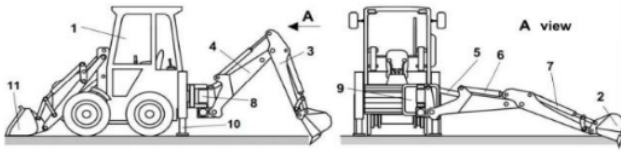
3.1.1 Giriş

Backhoe, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan çok yönlü bir kazıcı tipidir. Bu makineler, arka kısmında bulunan kazma kovası ile ön kısmında bulunan yükleyici kovası sayesinde hem kazma hem de yükleme işlemlerini gerçekleştirebilme özelliğine sahiptir. Genellikle şehir içi inşaat ve altyapı çalışmalarında tercih edilen yükleyici-kazıcılar, kompakt tasarımları ve çoklu işlevselliikleri ile bilinirler. Su ve atık yönetimi, yol yapımı ve çeşitli inşaat projelerinde etkili bir şekilde kullanılabilirler.

3.1.2 Backhoe Ekskavatörlerin Özellikleri:

- Kazma İşlevi: Arka taraftaki kova, toprak, kum, çakıl veya diğer malzemeleri kazmak ve kaldırmak için kullanılır. Kazma işlemi genellikle toprak kazıma, temel kazma veya çukur açma gibi inşaat projelerinde gerçekleştirilir.
- Yük Taşıma İşlevi: Ön taraftaki yükleyici bölümü, kazılmış malzemeleri taşıma, yükleme veya düzeltme yeteneğine sahiptir. Bu, kazılan malzemeleri kamyonlara, depolama alanlarına veya diğer bölgelere taşımak için kullanılır.
- Manevra Kabiliyeti: Backhoe ekskavatörler genellikle tekerlekli veya paletli şasiye sahiptir, bu da onlara çeşitli arazi koşullarında hareket etme yeteneği kazandırır. Bu özellik, makinenin inşaat sahasındaki farklı bölgelere kolayca ulaşmasını sağlar.
- Çeşitli Eklentiler: Backhoe ekskavatörler genellikle farklı görevlere uygun olarak çeşitli eklentilerle donatılabilir. Bu eklentiler arasında çeşitli kova tipleri, çekiçler, çakıcılar ve diğer araçlar yer alabilir.

Backhoe ekskavatörler, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olup inşaat, altyapı, madencilik ve tarım gibi çeşitli sektörlerde kullanılır. Bu makineler, çoklu işlevselliği ve manevra kabiliyeti ile inşaat projelerinin farklı aşamalarında önemli bir rol oynarlar. Backhoe Ekskavatör arka kolunun tasarımı, ekskavatörün performansı, dayanıklılığı ve verimliliği için büyük önem taşımaktadır. Bu tezde, bu ekskavatörün arka kolun tasarımının önemini, analizini ve optimizasyonunu ele alacağız.



Şekil 1 Backhoe ekskavatör 'ün bileşenleri
 1.Tekerlekli traktör 2.Keççe 3.Kol 4.Döner bom 5.Bom Silindiri 6.Kol silindiri 7.Keççe Silindiri 8.Çevirme mekanizması 9.Süspansiyon (taban) plakası 10.Payanda 11.Ön ataşman (yükleyici)

3.1.3 Backhoe Ekskavatörün Avantajları:

Backhoe ekskavatörün bazı avantajları şunlardır;

- Çok Yönlülük:

Yükleyici-kazıcılar hem kazma hem de yükleme işlemlerini aynı makine üzerinde gerçekleştirebilme yeteneği ile çok yönlüdür.

Bu özellik, bir projede çeşitli görevleri yerine getirmek için tek bir makinenin kullanılabilmesini sağlar.

- Manevra Kabiliyeti:

Yükleyici-kazıcılar genellikle kompakt ve manevra kabiliyeti yüksek makinelerdir.

Sınırlı alanlarda çalışabilme yetenekleri, şehir içi inşaat projeleri gibi yerlerde avantaj sağlar.

- İki İşlemi Birleştirme:

Kazma kova ve yükleyici kova kombinasyonu, hem kazma hem de malzeme taşıma işlemlerini hızlı bir şekilde gerçekleştirebilme olanağı sunar.

Bu, iş süreçlerini optimize eder ve verimliliği artırır.

- Kullanım Kolaylığı:

Yükleyici-kazıcılar genellikle kullanımı kolaydır ve operatörler için hızlı bir şekilde öğrenilebilir.

- Hızlı İş Tamamlama:

Hidrolik sistem ve çift kova kullanımıyla işleri hızlı bir şekilde tamamlama avantajına sahiptirler.

Ayrıca kontrol sistemleri, ergonomik tasarımlar ve geniş görüş açıları operatörlere kolaylık sağlar.

3.1.4 Backhoe Ekskavatörün Dezavantajları:

Backhoe ekskavatörün bazı dezavantajları şunlardır;

- Özel İşlevsellik Eksikliği:

Yükleyici-kazıcılar, belirli işlevlere odaklanmış makinelerle karşılaştırıldığında daha genel amaçlıdır.

Bazı projelerde daha özel işlevsellığe ihtiyaç duyulabilir.

- Kapasite Sınırlamaları:

Büyük inşaat projelerinde, özellikle büyük miktarlarda malzeme taşınması gereken durumlarda, daha büyük kapasiteli özel makineler tercih edilebilir.

Yükleyici-kazıcılar, daha büyük iş makinelerine kıyasla sınırlı bir yük taşıma kapasitesine sahip olabilir.

- Daha Küçük Kazma Derinliği:

Yükleyici-kazıcılar genellikle daha küçük kazma derinliğine sahiptir.

Derin kazma işlemleri gerektiren projelerde, özel kazıcılar daha uygun olabilir.

- Enerji Verimliliği:

Büyük inşaat projelerinde sürekli olarak yüksek performans gösterme ihtiyacı, yükleyici-kazıcıların enerji verimliliği açısından bazı kısıtlamalara neden olabilir.

Yükleyici-kazıcıların avantajları ve dezavantajları, projenin özel gereksinimlerine ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, belirli bir projede en uygun makine tipinin seçilmesi için dikkatli bir değerlendirme yapılmalıdır.

3.1.5 Backhoe ekskavatörün Önemli boyutları:

Backhoe ekskavatörlerin önemli boyutları, genellikle makinenin tasarımına ve üreticisine göre değişebilir. Şekil 3 gösterdiği gibi:

- **Toplam Uzunluk:**

Ekskavatörün ön kısmındaki yükleyici kova ve arka kısımdaki kazıcı dahil olmak üzere toplam uzunluğu önemli bir ölçüdür. Bu ölçü, makinenin kullanılacağı alanın ve iş sahasının büyüklüğüne uygunluğunu belirlemede yardımcı olur.

- **Maksimum Kazma Derinliği:**

Ekskavatörün kazma işlemlerinde ulaşabileceği maksimum derinlik. Bu ölçü, özellikle inşaat ve kazı işlerinde kullanılacaksa önemlidir.

- **Kova Kapasitesi:**

Yükleyici kısmındaki kova veya kazıcı kısmındaki kapasite, bir seferde taşınabilecek malzeme miktarını belirler. Bu, yüksek verimlilik ve iş tamamlama hızı açısından önemlidir.

- **Toplam Genişlik:**

Makinenin genişliği, kullanılacak alanın büyüklüğü ve çalışma koşulları için uygunluğu etkiler. Dar alanlarda çalışılacaksa daha kompakt bir genişlik avantajlı olabilir.

- **Maksimum Yükseklik:**

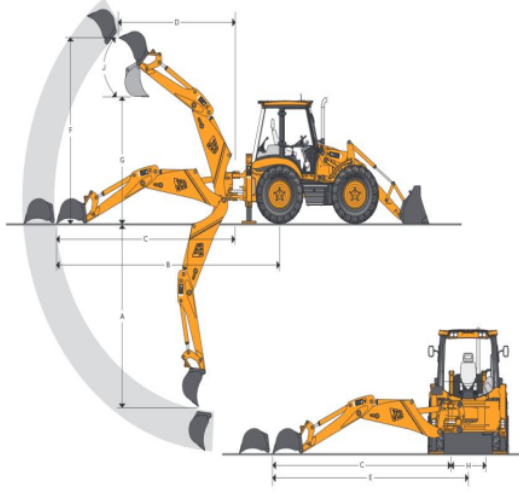
Ekskavatörün kaldırabileceği maksimum yükseklik. Bu, yük taşıma ve yüksek alanlarda çalışma yeteneğini belirler.

- **Ağırlık:**

Makinenin kendi ağırlığı, taşıma ve stabilite açısından önemlidir. İş sahasındaki zeminin taşıma kapasitesini aşmamak için önemli bir faktördür.

- **Maksimum Çalışma Yarıçapı:**

Makinenin kendisini çevirebildiği maksimum yarıçap. Bu, dar alanlarda dönme yeteneği ve çeşitli çalışma koşullarında manevra yapma yeteneği açısından önemlidir.



Şekil 2 arka kolun çalışma 13 amında önemli büyüklükler: A-maksimum kazı derinliği, B-Arka tekerlek ekseninde yerden uzanma, C-bom dönüş ekseninden yerden uzanma, D-bom dönüş ekseninden en yüksekte yatay uzanma, E-makine ekseninden yana uzanma, F-Çalışma yüksekliği, G-maksimum yükleme yüksekliği

39

3.2 FINITE ELEMENT ANALYSIS

3.2.1 Giriş

Bu bölümde, sonlu eleman yöntemi (FEM) hakkında kısa bir tanıtım yapılmakta ve ardından HyperWorks analiz programı hakkında bazı bilgiler sunulmaktadır.

3.2.2 Sonlu Eleman Yöntemi

Sonlu eleman, yapısal stres, statik ve dinamik problemler, ısı problemleri, akışkanlar, elektromanyetik problemler dahil birçok mühendislik problemi için çözümler elde etmek için kullanılan sayısal yöntemlerden biridir.

Aslında FEM'nin çalışma prensibi basittir. Problemler, gerçek durumların matematiksel modelleridir. Sonlu eleman yönteminde öncelikle matematiksel model oluşturulur, ardından tüm sistem, Ayrıklaştırma (discretization) olarak adlandırılan küçük elemanlara bölünür. Bu yöntem, yapısal, mekanik, ısı transferi ve akışkan dinamiği problemleri yanı sıra diğer disiplinlere ait problemlerin çözümünde geniş bir şekilde kullanılmıştır. FEM'de kullanılan bazı önemli terimler şunlardır:

Element- Bir eleman, problem alanının bir bölümüdür, hücre olarak da bilinir ve genellikle 2D'de üçgen, kare veya altıgen veya 3D'de tetrahedron veya dikdörtgen prizma gibi basit bir şekle sahiptir.

Node- Bir düğüm, alanın bir noktasıdır ve genellikle birkaç elemanın köşe noktasıdır.

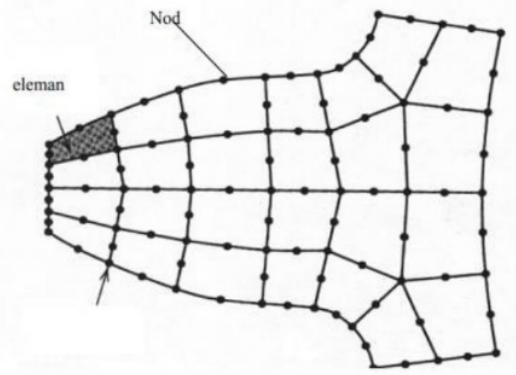
Mesh- Bir ağ, hesaplama alanını tanımlayan elemanlar, düğümler ve diğer verilerin bir listesidir.

Shape functions- Şekil fonksiyonları veya interpolasyon fonksiyonları, sonlu eleman analizinde her elemanın nodal deplasmanlarını her eleman içindeki herhangi bir noktaya interpolasyon yapmak için kullanılır.

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, daha büyük denklem sistemlerini çözmemize, kesikli yaklaşımı formüle etmemize, düzenlememize ve sonuçları hızlı ve kullanışlı bir şekilde göstermemize olanak tanımaktadır. Bu durum, sonlu eleman yönteminin güçlü bir araç haline gelmesine yardımcı olmuştur.

Sonlu eleman yönteminin temel adımları şunlardır:

- Çözüm alanı sonlu elemanlarda oluşturulur ve kesilir; yani alan düğümlere ve elemanlara bölünür.
- Bir elemanın fiziksel davranışını temsil etmek için bir şekil fonksiyonu sağlanır; yani bir elemanın çözümünü temsil etmek için bir yaklaşık sürekli fonksiyon varsayılır.
- Bir eleman için denklemler geliştirilir.
- Elemanları bir araya getirerek tüm problemi temsil etmek için genel rijitlik matrisi oluşturulur.
- Sınır ve başlangıç koşulları ile yüklemeler uygulanır.
- Denklemler çözülür ve stres gibi önemli bilgiler elde edilir.



Şekil 3.1 : Sonlu eleman modelinde eleman ve nod noktaları (Ergin ve diğ., 2000).

3.3 Hypermesh ve OptiStruct yazılımı

Bu tezde kullanılan yazılım araçları (HyperWorks, HyperView ve HyperStudy) birbirini tamamlayan bir iş akışı oluşturur.

3.3.1 Giriş

OptiStruct, Altair Engineering tarafından geliştirilen bir sonlu elemanlar analizi (FEA) çözücüsüdür. İlk kez 1994 yılında piyasaya sürülen bu yazılım, tasarım, simülasyon ve optimizasyon konularında endüstrilerin bakış açılarını büyük ölçüde etkilemiştir. OptiStruct'in HyperWorks paketi içinde bulunması, HyperWorks'ün genel yeteneklerini artırır ve kullanıcılara kapsamlı bir araç seti sunar.

3.3.2 HYPERWORKS Workbench hakkında genel bilgiler:

HYPERWORKS Workbench, Altair Engineering tarafından geliştirilen bir dizi bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılım aracını içeren bir yazılım paketidir. Bu paket, sonlu eleman analizi (FEA), hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), çoklu cisim dinamiği

(MBD), optimizasyon ve daha fazlası için çeşitli uygulamalar içermektedir. HYPERWORKS Workbench, kullanıcıların bu çeşitli CAE araçlarını bütünleştirmelerine ve yönetmelerine olanak tanıyan ortamı sağlar.

Bu entegrasyon, kullanıcılara kapsamlı simülasyonlar ve analizler için akıcı bir iş akışı oluşturabilme imkânı sağlar.

- Ön İşleme: Yazılım, simülasyon modellerini kurmak için ön işleme yetenekleri sunar. Geometri tanımlama, örgü oluşturma, malzeme uygulama, sınırlayıcı koşullar ve analiz için gerekli diğer parametrelerin belirlenmesini içerir.

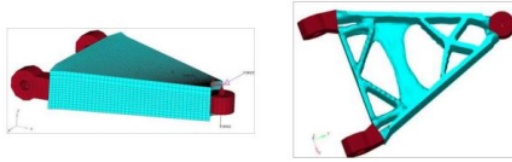
Genellikle CAD verileri içe aktarılır, Geometri temizliği ve basitleştirme (gerekliyse), Mesh oluşturma (1D, 2D, 3D), Mesh kalitesi ve düzeltme, Temel tasarım analizi ve optimizasyonun gibi işlemleri yapar.

- Çözücü Etkileşimi: HYPERWORKS Workbench, farklı türdeki analizler için lineer ve lineer olmayan yapısal analiz, termal analiz, akışkan dinamiği ve daha fazlasını içeren çeşitli çözücülerini destekler. Kullanıcılar, arayüz üzerinden analiz ayarlarını yapılandırabilir ve kontrol edebilir. Topoloji, topografi, boyut, şekil, serbest boyut, serbest şekil, kompozit optimizasyon dahil tüm Optimizasyon Disiplinleri mevcuttur
- Son İşleme: Simülasyonları çalıştırdıktan sonra, yazılım, sonuçları görselleştirmek ve yorumlamak için son işleme araçları sunar. Kullanıcılar, sistem davranışını daha iyi anlamak için raporlar, grafikler ve animasyonlar oluşturabilir.
- Contour grafiklere, iso-contour grafiklere, animasyonlara vb. erişim sağlar
- Optimizasyon: Platform, kullanıcıların belirlenmiş hedefler ve kısıtlamalar temelinde yapıların veya sistemlerin performansını iyileştirmelerine yardımcı olacak tasarım optimizasyonu çalışmalarını yapmalarını sağlayan optimizasyon araçları içerir.
- Çok Disiplinli Analiz: HYPERWORKS Workbench, tek bir simülasyon ortamında farklı fiziksel fenomenler arasındaki etkileşimi incelemeyi mümkün kılan çok disiplinli analizlere destek verir.
- Kullanıcı Arayüzü: Arayüz, hem acemi hem de deneyimli mühendislerin karmaşık simülasyonları gerçekleştirmeleri için grafik bir ortam sunacak şekilde tasarlanmıştır.

3.3.3 HyperWorks yazılımın yetenekleri

HyperWorks'te, Altair tarafından geliştirilen bir CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) araçları paketinde, farklı mühendislik uygulamaları için çeşitli türde yanıtlar analiz edilebilir ve değerlendirilebilir.

HyperMesh, OptiStruct ve HyperView gibi HyperWorks'un modülleri, bir tasarımın oluşturulması, analizi ve optimizasyonu gibi geniş bir yelpazede görevleri yerine getirebilir. Bu modüllerin bütünleşmiş kullanımı, tasarım sürecinin tüm aşamalarını kapsayarak etkili ve kapsamlı bir çözüm sunar.



Şekil 3 Topology optimizasyonu HyperWorks ile gerçekleştirilmesi

Bu sayede, birçok farklı disiplinde tasarım ve optimizasyon çalışmalarını tek bir yazılım ortamında gerçekleştirmek mümkün olur.

Table 4 Optimizasyon Yanıtları ve Açıklamaları

Parametere	Açıklama
Kütle	Bir nesnedeki maddenin miktarının ölçümü.
Hacim	Bir maddenin veya nesnenin kapladığı alanın miktarı.
Ağırlık Merkezi	Bir nesnenin tüm ağırlığının varsayılan olarak etki ettiği nokta.
Statik Deplasman	Yapının statik yük koşulları altındaki deplasmanı.
Burkulma Faktörü	Yapının burkulma kapasitesini değerlendirmek için kullanılan bir faktör.
İnert Moment	Bir nesnenin dönüşündeki değişikliklere karşı direncin ölçümü.
Doğal Frekans	Bir sistemin doğal olarak titreştiği frekans.
Frekans Tepkisi	Çeşitli frekanstaki yer değiştirme, Hız, Hızlanma tepkisi.

Hacim veya Kütle Fraksiyonu	Bir bileşenin toplam hacim veya kütle oranı.
Statik Compliance	Statik yük koşulları altındaki yapısal rijitliğin tersi.
Von Mises Gerilmesi	Malzemedeki stresin çeşitli yükler altında ölçümü.
Sıcaklık	Bir maddenin içindeki parçacıkların ortalama kinetik enerjisinin ölçümü.
Ağırlıklı Compliance	Farklı bölgelere atanmış ağırlıkları dikkate alan uygunluk.
Ağırlıklı Frekans	Farklı bölgelere atanmış ağırlıkları dikkate alan doğal frekans.
Birleşik Uygunluk İndeksi	Birden fazla uygunluk değerini birleştiren bir indeks.
Fonksiyon	Optimizasyon çalışmalarındaki performans metriği veya amaç fonksiyonu.

HYPERWORKS Workbench, geniş bir mühendislik uygulama yelpazesi için çeşitli yeteneklere sahip bir yazılım platformudur. İşte HYPERWORKS Workbench'in temel yetenekleri:

- **Sonlu Eleman Analizi (FEA):** HYPERWORKS Workbench, lineer ve lineer olmayan yapısal analiz, termal analiz, akışkan dinamiği, elektromanyetik analiz gibi çeşitli FEA uygulamalarını destekler.
- **Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD):** Akışkan akışları, ısı transferi ve diğer akışkan dinamik fenomenlerin analizi için özel CFD araçları içerir.
- **Çoklu Cisim Dinamiği (MBD):** HYPERWORKS Workbench, çoklu cisim dinamiği uygulamaları için araçlar sağlar, bu da mekanik sistemlerin hareketini ve etkileşimini modellemeyi içerir.
- **Optimizasyon:** Tasarım optimizasyonu için güçlü araçlar içerir, kullanıcılara belirli hedeflere ve kısıtlamalara göre yapıların veya sistemlerin performansını iyileştirme olanağı tanır.

- Çok Disiplinli Analiz: Farklı fiziksel alanlardaki etkileşimleri incelemek ve analiz etmek için çok disiplinli analizler yapma yeteneği sunar.
- Doğruluk ve Güvenilirlik: Sonlu elemanlar yöntemine dayalı simülasyonlarda yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamak üzere tasarlanmıştır.
- Veri Entegrasyonu: Farklı dosya formatlarından gelen verileri işleyebilir ve farklı uygulamalar arasında sorunsuz bir entegrasyon sağlar.
- Kullanıcı Dostu Arayüz: HYPERWORKS Workbench, kullanıcı dostu bir arayüz sunar, bu da kullanıcıların karmaşık mühendislik simülasyonları ve analizleri yapmalarını kolaylaştırır.
- Raporlama ve Görselleştirme: Kullanıcıların analiz sonuçlarını etkili bir şekilde raporlamalarına ve görselleştirmelerine olanak tanır.
- Çeşitli Endüstri Uygulamaları: Otomotiv, havacılık, enerji, savunma, yapısal mühendislik ve daha pek çok endüstride kullanılan çeşitli mühendislik uygulamalarına yönelik çözümler sunar.

HYPERWORKS Workbench, sonlu eleman analizi bağlamında bağlantılar, temaslar ve eklemeleri işleme yetenekleri içerir. Bu özellikler, mekanik bir sistem içindeki farklı parçalar arasındaki etkileşimleri ve bağlantıları doğru bir şekilde modellemek için önemlidir. İşte bir genel tanımlar:

- Bağlantılar:
 - Genel Bakış: HYPERWORKS Workbench'teki bağlantılar, simülasyon modelinde farklı bileşenlerin veya parçaların nasıl bağlandığını veya kısıtlandığını tanımlamanıza olanak tanır.
 - Bağlantı Türleri: Yazılım, cıvatalı bağlantılar, nokta kaynakları, yapıştırıcılar ve daha fazlası gibi çeşitli bağlantı türlerini destekler.
 - Ayarlanabilir Parametreler: Kullanıcılar, bağlantılarla ilgili parametreleri özelleştirebilir ve ayarlayabilir, bu da gerçek dünyadaki bağlantıların davranışını doğru bir şekilde temsil etmeye olanak tanır.
 - Yük Transferi: Bağlantılar, bağlı bileşenler arasında yük ve kuvvet transferini mümkün kılar.
- Temaslar:

- Genel Bakış: HYPERWORKS Workbench'teki temaslar, sonlu eleman modelinde farklı yüzeyler veya gövdeler arasındaki etkileşimi tanımlar. Temas ve sürtünme etkilerini simüle etmek için önemlidir.
 - Temas Türleri: Yazılım, yapışkan, kayan, sürtünmeli ve daha fazla temas türünü destekler.
 - Temas Çiftleri: Kullanıcılar, temas arayüzünün davranışını tanımlamak için temas çiftleri belirleyebilir.
 - Otomatik Temas Tespiti: Yazılım genellikle otomatik temas tespiti araçları içerir, bu da modelleme sürecini basitleştirmeye yardımcı olur.
 - Eklemler:
 - Genel Bakış: HYPERWORKS Workbench'teki eklemler, parçalar arasında göreceli hareketi mümkün kılan bağlantıları modellemek için kullanılır.
 - Eklemler Türleri: Yazılım, döner, prizmatik, silindirik ve daha fazla eklemtürünü destekler.
 - Serbestlik Dereceleri: Kullanıcılar, her eklem için serbestlik derecelerini tanımlayabilir, bağlı parçaların hareketini ve davranışını kontrol edebilir.
 - Dinamik Simülasyon: Eklemler, hareketli mekanizmaların ve montajların modellenmesi için önemlidir, dinamik simülasyonları mümkün kılar.
- Genel olarak, HYPERWORKS Workbench'teki bu özellikler, mühendislere bir simülasyon modelinde bağlantıların, temasların ve eklemlerin davranışını doğru bir şekilde temsil etmek için gereken araçları sağlar. Bu, mekanik sistemlerin sonlu eleman analizlerinde gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde etmek için kritiktir.

3.3.4 Contact Phenomena

"Contact Phenomena" HYPERWORKS Workbench'te, farklı yüzeyler arasındaki etkileşimleri ve bağlantı davranışlarını ifade eder. Bu, yapısal analizlerde ve simülasyonlarda gerçek dünyadaki parçaların birbiriyle etkileşimini doğru bir şekilde modellemek için önemlidir.

HYPERWORKS Workbench'te "Contact Phenomena" şunları içerebilir:

- Temas Yüzeyleri (Contact Surfaces):

İki yüzey arasındaki temas bölgelerini tanımlar.

Temas bölgeleri, analizin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için dikkatlice belirlenir.

- Temas Türleri (Contact Types):

Farklı temas türleri, yüzeyler arasındaki etkileşimi belirler.

Sürtünmesiz temas, sürtünmeli temas, yapışkan temas gibi farklı modeller bulunabilir.

- Sürtünme Katsayıları (Friction Coefficients):

Yüzeyler arasındaki sürtünmeyi belirleyen katsayıları içerir.

İki yüzey arasındaki sürtünme etkileşimini modeller.

- Ayrılma Davranışı (Separation Behavior):

Temas bölgelerinde ayrılma veya bağlanma davranışını belirtir.

Yüzeyler arasındaki ilişkinin nasıl değiştiğini ifade eder.

- Yüzey Temas Analizi (Surface-to-Surface Contact Analysis):

Temas yüzeylerinin analizi ve bu yüzeyler arasındaki etkileşimin simülasyonu.

Gerçek dünya koşullarında malzemelerin ve bağlantıların nasıl davrandığını modelleme.

- Temas Analizi Sonuçları (Contact Analysis Results):

Temas analizi sonuçları, yüzeyler arasındaki kuvvetler, momentler ve diğer etkileşimleri gösterir.

Bu sonuçlar, tasarımın doğruluğunu değerlendirmek ve geliştirmek için kullanılır.

HYPERWORKS Workbench'teki bu özellikler, mühendislerin gerçek dünyadaki parçaların temas ve etkileşimlerini doğru bir şekilde modellemelerine ve analiz etmelerine yardımcı olur. Bu, yapısal mukavemet, malzeme davranışı ve ürün tasarımı gibi birçok mühendislik uygulamasında önemlidir.

"Temas olayları," iki veya daha fazla yüzeyin fiziksel temas haline geldiğinde ortaya çıkan etkileşimleri ve davranışları ifade eder. Sonlu eleman analizi (FEA) ve simülasyon bağlamında, temas olaylarını anlamak ve doğru bir şekilde modellemek, özellikle parçaların dokunabileceği, kayabileceği veya çeşitli şekillerde etkileşebileceği mekanik sistemlerde gerçekçi sonuçlar elde etmek için hayati önem taşır.

İşte FEA bağlamında temas olaylarının anahtar noktaları:

1- Temas Türleri:

-Bağlı Temaslar: Yüzeylerin mükemmel bir şekilde bağlı olduğu ve aralarında herhangi bir göreceli hareket olmadığı varsayılır.

-Kayar Temaslar: Yüzeyler birbirinden sürtünmeli bir şekilde kayabilir.

-Sürtünmesiz Temaslar: Yüzeyler sürtünme olmaksızın kayabilir.

-Bağlı Temaslar: Yüzeyler birbirine bağlıdır ve belirli bir noktaya kadar göreceli hareket izin verilir.

2-Temas Davranışı:

-Yapışma: Yüzeyler göreceli hareket olmadan birbirine temas eder.

-Kayma: Yüzeyler birbirinden kayar.

-Ayrılma: Yüzeyler birbirinden uzaklaşır ve temas bozulur.

3-Sürtünme:

Sürtünme etkileri, temas arayüzünün davranışını önemli ölçüde etkileyebilir.

Sürtünme katsayıları, kayma direncini temsil etmek için tanımlanabilir.

4- Temas Çifti:

Etkileşen her yüzey çiftine temas çifti denir.

Her temas çifti için temasın özellikleri ve davranışları tanımlanır.

5-Otomatik Temas Tespiti:

Bazı FEA yazılımları, otomatik temas tespiti algoritmalarını içerir, bu da modelleme sürecini daha verimli hale getirir.

6-Yük Transferi:

Temas yüzeyleri arasında kuvvetler ve momentler, temas davranışına dayanarak transfer edilir.

7-Doğrusal Olmayan Analiz:

Temas olayları genellikle analize doğrusal olmayanlıklar ekler, doğrusal olmayan çözüm tekniklerini gerektirir.

Tema olaylarını doğru bir şekilde tanımlamak ve simüle etmek, özellikle parçaların fiziksel olarak etkileşime girebileceği mekanik bileşenler, montajlar ve sistemler gibi uygulamalarda önemlidir. Bu, mühendislerin farklı bileşenlerin çeşitli yüklenme ve temas koşullarında nasıl davranacağını tahmin etmelerine yardımcı olur, tasarlanan yapıların veya mekanizmaların güvenilirliğini ve güvenliğini sağlar.

3.3.5 Type of the Contacts

HYPERWORKS Workbench, çeşitli temas türlerini destekleyen bir sonlu eleman analizi programıdır. Bu yazılım, kullanıcılara farklı yüzeyler arasındaki etkileşimleri doğru bir şekilde modelleme ve analiz etme imkanı sağlar. İşte HYPERWORKS Workbench'teki temas türlerine dair genel bir bakış:

- Bağlı Temaslar (Bonded Contacts):

Bu tür temaslarda, iki yüzey birbirine bağlıdır ve aralarında herhangi bir göreceli hareket izni yoktur. Yüzeyler birbirine yapışıktır.

- Kayar Temaslar (Sliding Contacts):

Yüzeyler arasında kayma izni veren bir temas türüdür. Bu durumda, yüzeyler birbirine göre kayabilir.

- Sürtünmesiz Temaslar (Frictionless Contacts):

Yüzeyler arasında sürtünme olmaksızın kayma izni veren bir temas türüdür. Yüzeyler serbestçe birbirine kayabilir.

- Sürtünen Temaslar (Frictional Contacts):

Bu tür temaslarda yüzeyler arasında sürtünme etkisi modellenilebilir. Katsayılar aracılığıyla sürtünme davranışı belirlenebilir.

- Bağımsız Temaslar (Separation Contacts):

Yüzeyler arasında ayrılma izni veren bir temas türüdür. Bu durumda, yüzeyler birbirinden uzaklaşabilir.

- Yapışkan Temaslar (Adhesive Contacts):

Yüzeyler arasında yapışma etkisi modellenilebilir. Bu tür temaslar, yüzeylerin birbirine yapışmasını simüle eder.

HYPERWORKS Workbench, kullanıcılara bu temas türlerini esnek bir şekilde tanımlama ve özelleştirme imkanı sunar. Bu, çeşitli mühendislik uygulamalarında gerçekçi sonuçlar elde etmek için önemlidir, özellikle mekanik sistemlerde farklı parçalar arasındaki temas ve etkileşimlerin doğru bir şekilde modellenmesi gerektiği durumlarda.

3.3.6 Types of Joints

HYPERWORKS Workbench'te, bir sonlu eleman modeli içinde farklı bileşenleri veya parçaları birbirine bağlamak için kullanılan bağlantı türleri önemli bir rol oynar. Bu bağlantılar, gerçek dünya yapılarındaki bağlantı davranışlarını simüle eder. HYPERWORKS Workbench, farklı bağlantı türlerini modellemek için çeşitli bağlantı seçenekleri sunar. İşte HYPERWORKS'te bulunan bazı ortak bağlantı türleri:

- Kaynak Bağlantıları:

İki bileşen arasındaki kaynak bağlantısını simüle eder.

Kaynak bağlantılarının rijitlik ve dayanıklılık özelliklerini dikkate alır.

- Rijit Bağlantılar:

İki bileşen arasındaki mükemmel rijit bağlantıyı temsil eder.

Bağlı parçalar arasında herhangi bir göreceli hareketin izin verilmediği durumlar için idealdir.

- Yay Bağlantıları:

İki bileşen arasında doğrusal veya doğrusal olmayan yay benzeri davranış ekler.

Belirli rijitlik özelliklerine sahip bağlantıları modellemek için kullanışlıdır.

- Cıvata Bağlantıları:

Cıvata bağlantılarının davranışını simüle eder.

Cıvata rijitliği ve dayanıklılığını dikkate alır.

- Bağlayıcı Elemanlar:

Farklı türde bağlayıcı elemanlar içerir, örneğin somunlar, cıvatalar ve rondelalar.

Gerçek bağlantı elemanları kullanılarak bağlantıları modellemek için kullanılır.

- Kayma Bağlantıları:

İki bileşen arasındaki kayma bağlantısını modellemektedir.

İki bileşen arasında göreceli translasyon hareketine izin verildiği durumlar için kullanışlıdır.

- Pim Bağlantıları:

İki bileşen arasında menteşe veya pim bağlantısını temsil eder.

Göreceli dönel hareket izin verirken translasyon hareketini sınırlar.

- Silindir Bağlantıları:

İki bileşen arasında esnek bağlantıları modeller.

Kauçuk veya elastomerik elemanları olan bağlantıları simüle etmek için kullanılır.

- Yıkama Bağlantıları:

Bağlantılardaki yıkama davranışını simüle eder.

Rijitlik ve yük dağılımı karakteristiklerini dikkate alır.

- Önyükli Bağlantılar:

Bağlantılara ön yük uygulama yeteneği ekler.

Başlangıçtaki gerilim veya sıkışma durumları içeren bağlantıları modellemek için kullanışlıdır.

Bu bağlantılar, mühendislerin bir yapıdaki farklı parçalar arasındaki etkileşimleri, rijitlik, dayanıklılık ve çeşitli yük koşulları altındaki davranışlarını doğru bir şekilde temsil etmelerini sağlar. Doğru bağlantı türünü seçmek, modelin karmaşıklığına ve analizde istenen detay düzeyine bağlıdır.

4 Ekskavatör kolunun topoloji ve şekil optimizasyonu

4.1 Giriş

Ekskavatör arka kol tasarımının analizi ve optimizasyonu, güvenlik, performans ve verimlilik açısından önemlidir. Herhangi bir mekanik sistem gibi iyi bir tasarım ve optimizasyon süreci, ekskavatörün daha uzun ömürlü olmasını, daha iyi performans göstermesini ve iş yükünü daha verimli bir şekilde taşımasını sağlar. Bu nedenle, ekskavatör üreticileri ve kullanıcıları tasarım ve optimizasyon sürecine büyük önem vermelidir.

Ekskavatör arka kolunun tasarımında dikkate alınması gereken bazı önemli faktörler

- Yük Taşıma Kapasitesi: Arka kolun, kazma ve yükleme işlemleri sırasında taşıyabileceği maksimum yük miktarını karşılaması önemlidir. Bu, yapısal mukavemet hesaplarıyla ve malzeme seçimiyle değerlendirilir.

- Denge ve Stabilit : Arka kolun, kazma işlem leri sırasında dengeli ve stabil olması gerekmektedir. Bu, ağırlık dağılımının doğru bir şekilde hesaplanması ve tasarımın doğru geometriye sahip olmasıyla sağlanır.
- Dayanıklılık: Arka kol, uzun süreli kullanım ve ağır iş yükleri altında dayanıklı olmalıdır. Malzeme seçimi ve yapısal analizler, arka kolun dayanıklılığını sağlamak için önemlidir.
- Enerji Verimliliği: Arka kol tasarımı, enerji verimliliğini artırmak için optimize edilmelidir. Bu, malzeme seçimi, hidrolik sistem tasarımı ve ağırlık azaltma gibi faktörlerle sağlanabilir.

4.2 Varsayımlar:

Ayrıntılı analize girmeden önce, çalışmanın temelini oluşturan varsayımları belirlemek önemlidir. Bu varsayımlar, sonraki aşamaları kolaylaştırır.

Bu analiz sırasında yapılan bazı varsayımlar şunlardır:

- Lineer elastik malzeme davranışı, gerilmenin elastik sınırlar içinde doğru orantılı olduğu anlamına gelir.
- Rijit pimler ve bağlantı elemanları, bunları tamamen rijit bağlantılar olarak düşünerek analizi basitleştirir.
- Statik ve simetrik yükleme, kola uygulanan yüklerin sabit ve istikrarlı bir şekilde uygulandığını varsayar.
- Malzeme  zellikleri kaynak sonrasında değişmez.

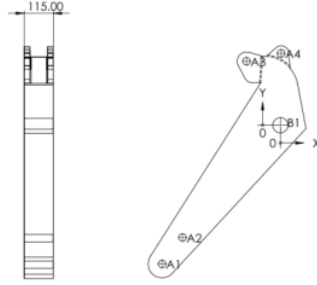
4.3 Kolun modellemesi

Backhoe ekskavatörün kolu detaylı incelemesine geçmeden önce, ağırlıklarını bilmek gereklidir. Bu çalışmada etkili olacak parçalar hem kepçe ağırlığı hem de kolun ağırlığıdır.

Kepçe ağırlığı 23,95 Kg

Kolun ağırlığı 29.45 Kg

Backhoe ekskavatörün Arka kolun modellemesi, herhangi bir makinanın parçası gibi tasarımın süreci önemli bir adımdır. Bu aşama CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilir.



Bu modeli topoloji optimizasyonu için HyperWorks programına aktarmak amacıyla IGES formatına dönüştürülerek dışa aktarılır. Topoloji optimizasyonun sonuçlara dayalı yeni bir model oluşturulur ve ona şekil optimizasyonu yapılacak ona göre son modelin bütün bileşenlerin kalınlıkları ve bağlantı yerlerinin çapları çıkarılacak.

4.3.1 Statik Kuvvet Analizi:

Bu bölüm, Backhoe ekskavatör arkasındaki kola uygulanan statik kuvvetleri kapsamlı bir şekilde incelemektedir.

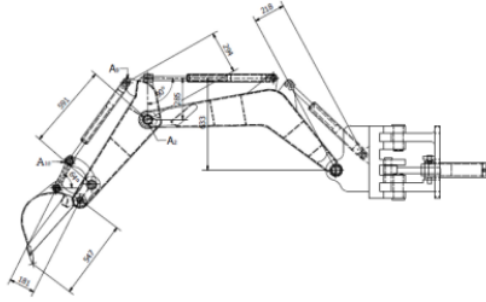
Kuvvet analizi mekanizmanın herhangi bir konum ve yöneliminde yapılabilen esneklikle karşılaştırıldığında, statik analiz için mekanizmanın belirli bir konum belirlenmesi gerekmektedir. Tüm şartlar arasında, maksimum kırma kuvveti koşulu en kritik olanıdır çünkü en yüksek kırma kuvvetini üretir ve bu nedenle bu koşul için kuvvet analizi yapılır ve statik analiz için bir sınır koşulu olarak kullanılır.

Ekskavatör tasarımında önemli olan kazma kuvveti parametrelerinin, belirli standartlara uygun olarak hesaplandığını gösterir. Kırılma kuvveti, ekskavatörün zorlu koşullarda toprağı kırma yeteneğini temsil ederken, kazma kuvveti de toprak kazma işlemlerinde kolun üzerindeki kuvveti ifade eder. Bu tür hesaplamalar, ekskavatörün tasarımının ve performansının güvenilir bir şekilde belirlenmesine yardımcı olabilir.

Kazma kuvveti hesaplamaları, SAE J1179 standartlarına dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Statik kuvvet analizi, maksimum kırılma kuvveti koşulu için statik denge dikkate alınarak yapılır. Hesaplanan kepçe kırılma veya kırılma kuvveti (FB), 7626.25 Newton olarak

belirlenmişken, hesaplanan kol çaprazlama veya kazma kuvveti (FS) ise 4427.419 Newton olarak tespit edilmiştir [A].

Keçenin ve kolun serbest cisim diyagramı, kuvvetlerin yönleri ve büyüklükleri bir sonraki bölümde açıklanmaktadır. Şekil 5, mekanizmanın maksimum kırma kuvvetini ürettiği durumu göstermektedir.



Şekil 5 Maksimum kuvvet uygulandığı konum

4.3.2 Kova Statik Kuvvet Analizi

Kolun kuvvetini hesaplamak için öncelikle kova bağlantıları üzerindeki kuvvetleri bulmak gerekecek, genellikle bu tür bir analiz kuvvet dengesi ve moment denklemlerini içerir.

Şekil 5, kova serbest cisim diyagramını göstermektedir. Görüldüğü gibi, nokta A4'teki kova dişlerine uygulanan kırılma kuvvetinin (7.626 KN) neden olduğu reaksiyon kuvveti, maksimum kırılma kuvveti koşulu konfigürasyonunda (38.23) derece açıyla etki etmektedir. Kova, kol ve bomun denge durumu için kova üzerindeki statik kuvvetler, kuvvetlerin toplamının sıfıra eşit olması ve momentlerin toplamının sıfıra eşit olması göz önüne alınarak hesaplanabilir.

Şekil 5 ve Şekil 6'deki tüm kuvvetler Kilo Newton (KN) cinsindendir. İlk olarak, kova dişlerinde, A4 noktasında, etki eden reaksiyon kuvveti yatay (X) ve dikey (Y) yönlere, sırasıyla (19) ve (20) denklemleri kullanılarak çözülür.

$$F_{AH} = F_B \times \cos(\rho) \quad (19)$$

$$F_{4V} = F_B \times \sin(\rho) \quad (20)$$

$$F_{4H} = 7,626 \times \cos(38,23) = 5.9 \text{ KN}$$

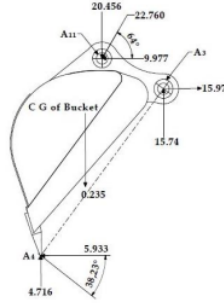
$$F_{4V} = 7,626 \times \sin(38,23) = 4.7 \text{ KN}$$

Burada, ρ kova kırılma kuvveti ile yer seviyesi arasındaki açıdır. Kovayı denge durumunda ele alarak $\Sigma M = 0$, kova menteşe noktası A3 etrafında moment almak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$F_4 \times l_4 - F_{gb} \times l_{gb} = F_{11} \times l_{11} \quad (21)$$

Burada, F_4 , kovanın uç noktasında etki eden kuvveti temsil eder. Bu kuvvet, maksimum kırılma kuvveti koşulu altında gösterilir ve kova kırılma kuvveti F_B 'ye eşdeğerdir.

Şekil 4 ve Şekil 5'te l_4 , kovanın uç noktasının kova menteşe noktasına olan mesafesini (547 mm) temsil eder, l_{gb} kovanın ağırlık merkezinin kova menteşe noktasına olan mesafesidir (220 mm), l_{11} kova menteşe noktasından kovanın idler bağlantı menteşe noktasına olan mesafesidir (181 mm), F_{gb} kova üzerinde etki eden yerçekimi kuvvetidir (0.235 KN) ve F_{11} , kova üzerindeki idler bağlantı menteşe noktasına etki eden kuvvetidir ve Şekil 5'te gösterildiği gibi 64° 'lik bir açıda etki eder ve denklem (21) kullanılarak bulunabilir.



Şekil 6 Kepçe için serbest cisim diyagramı

$$7.626 \times 547 - 0.235 \times 220 = F_{11} \times 181 \rightarrow F_{11} = 22.76 \text{ KN}$$

Kuvvet F11, aşağıdaki denklemler (22) ve (23) kullanılarak yatay (X) ve dikey (Y) yönler çözülür.

$$F_{11H} = F_{11} \times \cos(\beta_{11}) = 22.76 \times \cos(64) = 9.977 \text{ KN} \quad (19)$$

$$F_{11V} = F_{11} \times \sin(\beta_{11}) = 22.76 \times \sin(64) = 20.456 \text{ KN} \quad (20)$$

$\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ denklemleri göz önüne alındığında, kova menteşe noktasındaki A3 üzerindeki kuvvet Şekil 5'te gösterildiği gibi bulunabilir.

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow 5.933 + 9.977 = F_{3x} = 15.91$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow 20.456 - 4.716 = F_{3y} = 15.74$$

Yerçekimi kuvvetinin büyüklüğünü küçük olduğundan ihmal edilebilir.

Negatif işaret, kuvvetin yatay bileşeni için sola doğru ve dikey bileşeni için aşağı yönlü etki ettiğini gösterir. Kovanın her bir bağlantı noktasındaki kuvvetler Tablo 1'de gösterilmiştir.

table no

Kovanın Bağlantısı	Kuvvetler (KN)	
	Yatay X	Dikey Y
A4	5.99	-4.72
A11	-9.978	-20.46
A3	15.97	15.74

4.3.3 Kol Statik Kuvvet Analizi

Şekil 6 (a), sırasıyla momentlerin ve kuvvetlerin çözünürlüğü için önemli boyutları ve açıları göstermektedir. Şekil 6 (b), koldaki farklı noktalarda etki eden statik kuvvetleri göstermektedir. F_{12} kuvveti, Şekil 6(a)'da gösterildiği gibi $\beta_{10} = 70.0^\circ$ lik bir açıyla idler bağlantısından ($A_{11}A_{10}$) ara bağlantıya ($A_{10}A_{12}$) etki eden kuvvetidir.

$$F_{12} = F_{11} \times \cos(\beta_{10}) = 22.76 \times \cos(70) = 7.784 \text{ KN} \quad (24)$$

Kuvvet F_9 , Şekil 6(a)'da gösterildiği gibi, kol üzerindeki etki yapan kova silindiri tarafından $\beta_{10a} = 10.13^\circ$ lik bir açıyla etki eden kuvvetidir.

$$F_9 = F_{11} \times \cos(\beta_{10a}) = 22.76 \times \cos(10.13) = 22.405 \text{ KN} \quad (25)$$

Kuvvet F_{12} , aşağıdaki denklemler (26) ve (27) kullanılarak yatay (X) ve dikey (Y) yönler çözülebilir. Burada, β_{12} , ara bağlantının yatay referansla yaptığı 46.50° lik açıdır ve bu Şekil 6(a)'da gösterilmiştir.

$$F_{12H} = F_{12} \times \cos(\beta_{12}) = 7.784 \times \cos(46.5) = 5.358 \text{ KN} \quad (26)$$

$$F_{12V} = F_{12} \times \sin(\beta_{12}) = 7.784 \times \sin(46.5) = 5.646 \text{ KN} \quad (27)$$

noktası A_3 ile kol menteşe noktası A_2 arasındaki dikey mesafedir ve 551 mm'dir. F_{12} , Şekil 6(b)'de gösterildiği gibi, ara bağlantıya etki eden kuvveti temsil eder ve 7.784 KN'dir. l_{12} , Şekil 4'te gösterildiği gibi, kol menteşe noktası A_2 ile kol üzerindeki ara bağlantı menteşe noktası A_{12} arasındaki mesafedir ve 591 mm'dir. F_9 , Şekil 6(b)'de gösterildiği gibi, kova silindiri aracılığıyla kola etki eden kuvveti temsil eder ve 22.405 KN'dir. l_9 , Şekil 4'te gösterildiği gibi, kol menteşe noktası A_2 ile kova silindiri son uç menteşe noktası A_9 arasındaki mesafedir ve 294 mm'dir.

$\Sigma F = 0$ denklemi göz önüne alındığında, kolu bom menteşe noktasına (A_2) etki eden kuvvet Şekil 6(b)'de gösterildiği gibi bulunabilir. Kolunun her bir bağlantı noktasındaki kuvvetler Tablo 2'de gösterilmiştir.

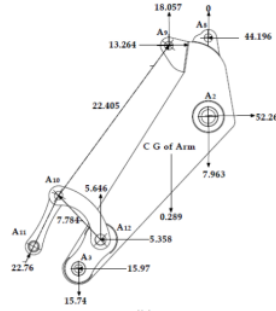
$$F_8 \times l_8 = (F_{3V} \times l_{3H}) + (F_{9a} \times l_{9a}) - (F_{3H} \times l_{3V}) - (F_{12} \times l_{12}) - (F_9 \times l_9) \quad (30)$$

$$F_8 \times 285 = (15.74 \times 466) + (0.289 \times 194) - (15.97 \times 551) - (7.784 \times 591) - (22.405 \times 294),$$

$$F_8 = -44.196 \text{ KN}$$

Table 2 no

Kolon Bağlantısı	Kuvvetler (KN)	
	Yatay X	Dikey Y
A3	-15.97	-15.74
A12	-5.359	5.647
A9	13.265	18.058
A8	-44.198	0
A2	-52.26	-7.96

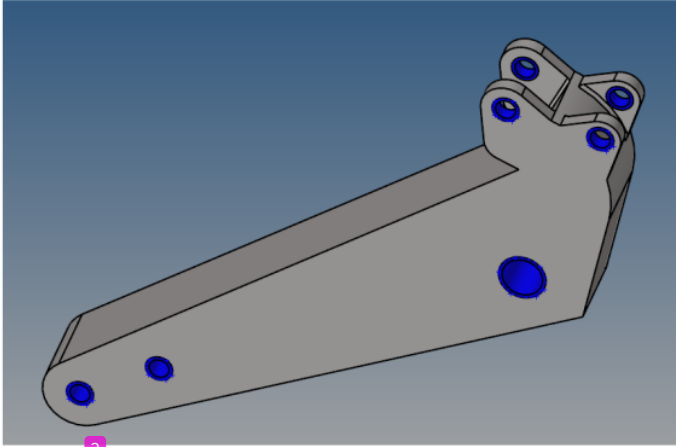


4.3.4 Tasarlayacak bölgeyi tanıtlıyor,

Topoloji optimizasyonu sürecinde, design bölgesi ve non-desin bölgesi kavramları şu şekilde kullanılır:

Design bölgesi: Bu bölge, optimizasyon sürecindeki değişikliklere açık olan ve malzeme dağılımının optimize edildiği bölgedir. Tasarım hedeflerine ve performans kriterlerine göre belirlenen bu bölge, genellikle yapısal gereksinimlere en uygun şekilde şekillenir.

Non-desin bölgesi: Bu bölge, tasarım değişikliklerine izin verilmeyen ve optimize edilmeyen alanı ifade eder. Genellikle bu bölgeler, yapısal bütünlüğü sağlamak veya belirli sınırlamalara uymak için belirlenir. Örneğin, bağlantı noktaları, sabitlenmiş bölgeler veya belirli toleranslara sahip alanlar Non-desin bölgesi olabilir. Hidrolik silindirlerin kova ve bom ile birleştirildiği bölgelerde 5 mm kalınlık verildi ve diameterelele başlangıç değeri verildi.



Şekil (2) gösterilen model de mavi ile gösterilen bölge non- design, gri ile gösterilen bölge ise design bölgeyi göstermektedir.

Bu iki bölge arasındaki denge, tasarım hedeflerine ve yapısal gereksinimlere bağlı olarak belirlenir.

4.3.5 Malzeme belirletmek

40

Topoloji optimizasyonunda malzemenin ne olduğu, tasarımın başarı ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu süreç, yapı veya parçanın belirli bir malzeme dağılımının optimize edilmesini içerir, bu nedenle kullanılan malzeme türü büyük bir öneme sahiptir.

malzemenin topoloji optimizasyon aşamasında önemli olmasının nedenleri:

- Malzeme Özellikleri: Elde edilen optimize tasarım, belirli malzeme özellikleri göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Mukavemet, elastisite modülü, yoğunluk gibi malzeme özellikleri tasarım sürecini etkiler.
- Optimizasyon Hedefleri: Topoloji optimizasyonunda genellikle belirli hedefler bulunur. Örneğin, ağırlık azaltma, gerilme seviyelerini minimize etme veya belirli bir gerilme değerine ulaşma gibi hedefler olabilir. Bu hedefler, seçilen malzemenin özelliklerine ve davranışına bağlı olarak belirlenir.
- Malzeme Maliyeti: Kullanılan malzemenin maliyeti de göz önüne alınmalıdır. Topoloji optimizasyonu sırasında elde edilen tasarımın, malzeme maliyeti açısından ekonomik olması istenebilir. Bu durumda, ucuz ve hafif malzemeler tercih edilebilir.
- Üretim İşlemleri: Malzeme seçimi, üretim işlemleri ve üretilebilirlik üzerinde de etkilidir. Optimizasyon sonuçları, belirli malzemelerin işlenmesi veya şekillendirilmesi konusunda pratik olup olmadığını göstermelidir.

Bu nedenlerle, topoloji optimizasyonunda malzeme seçimi, tasarım hedefleri, maliyet ve üretim faktörleri göz önüne alınarak dikkatlice değerlendirilmelidir. Aşağıda verilen tablo'de uygulanan malzeme özellikleri gösteriyor .

Table 2 Material Properties Table of chosen material. Alloy steel and ductile iron

Özellik	Ductile iron dövülebilir demir	Alloy steel Alaşım çeliği
Elastik Modül (Mpa)	120000	210000
Poisson Oranı	0.31	0.28
Yoğunluk (Kg/m3)	7100	7700
Akma Dayanımı (Mpa)	551	620
Başarısızlık Kriteri (Mpa)-Failure Criterion (Mpa)	275.5	310

Bu tezde yapılan farklı durumlarda, güvenlik faktörü değeri $N = 2$ olarak kabul edilmiştir.

****Bileşenlerdeki gerilme, başarısızlık kriteri sınırını aşmamalıdır, çünkü bu sınırı aşmak yapısal bir arızaya yol açabilir.**

Ayrıca, maksimum deplasmanı düşünmesi lazım ki bu deplasman, en küçük kalınlıktaki levhadan daha küçük olmalıdır. Bu durumda bileşenin stabil kalmasını ve aşırı hareket yaşamamasını sağlanıyor.

İki farklı malzeme üzerinde gerçekleştirilen topoloji optimizasyon çalışmalarında, her bir malzeme için ayrı bir optimizasyon süreci uygulandı. Yapılan bu optimizasyonların sonuçları birbirine oldukça yakın bulundu. Bu benzerlik, uygulanan malzemelerin mekanik özelliklerinin birbirine yakın olmasından olabilir. Özellikle, mukavemet, elastisite modülü gibi ana mekanik özelliklerde benzer değerlere sahip malzemeler kullanıldığında, bu benzerlik daha belirgin hale gelmektedir.

Name	Ductile Iron	Name	Alloy Steel
ID	1	ID	1
Color		Color	
Include	[Master Model]	Include	[Master Model]
Defined	☒	Defined	☒
Card Image	MAT1	Card Image	MAT1
User Comments	Hide In Menu/Export	User Comments	Hide In Menu/Export
E	120000.0	E	210000.0
G		G	
NU	0.31	NU	0.28
RHO	7.1e-09	RHO	7.7e-09

Şekil () HyperWorks programında malzeme özellikleri uygulamak

4.3.6 Örgüleme (Meshing):

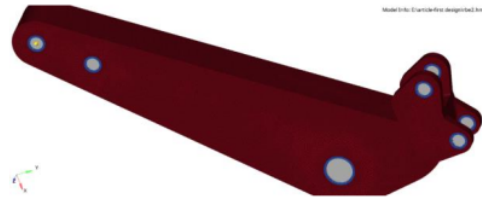
Model, sonraki analizler için örgülenir. Yani, model parçalara bölünür ve her parça (eleman) matematiksel olarak tanımlanır.

Farklı örgüleme ölçülerinin kullanıldığı durumlarda, daha ince örgüleme yapıldığında elde edilen sonuçların daha detaylı olduğu gözlemlenmiştir. İnce örgüleme, sistemdeki detayların daha hassas bir şekilde belirlenmesine ve analiz edilmesine imkan tanımıştır. Bu durum, özellikle karmaşık veya ince detaylara sahip sistemlerin modellenmesi ve optimize edilmesi durumlarında önemli bir avantaj sunmaktadır.

Bu, modelin örgülenmesini (712493 element) içerir ve değişikliğe izin vermeyen tasarım olmayan bölgelerin belirlenmesini (mavi renkte olanlar) içerir.



Şekil 4



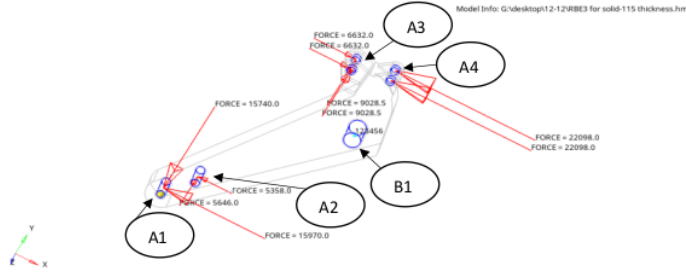
Şekil 5

4.3.7 Yük ve Sınırlama Tanımlama

Backhoe ekskavatör kolu için sınır şartlar ve yüklemeler hesaplamaları bölüm() detaylı bir şekilde anlatılmış. Şekil 3'ün A_1 ve A_2 pozisyonlarında, ekskavatör 'ün kovası kola bağlanmış ve sırasıyla 22,423 N ve 7,783 N kuvvet uygulamaktadır.

Kova, kolun A_3 iki noktasından birer adet olmak üzere her birine 11,050 N kuvvet uygulayan bir kova silindiri aracılığıyla bağlanmıştır.

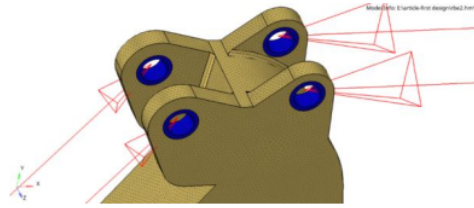
Buna ek olarak, bom kolun A_4 iki noktasından birer adet olmak üzere her birine 22,098 N kuvvet uygulayan bir kol silindiri aracılığıyla bağlanmıştır. B1 pozisyonunda, kol bom ile bağlantılıdır ve bom, kol için bir silindirik destek olarak kabul edilmiştir, burada deplasman sıfır olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6



Şekil 7 B1 noktasında deplasman sıfır olarak uygulanır.



Şekil 8

4.3.8 Load step belirtmek

Çalışma boyunca analiz türü linear static olarak belirleniyor. Linear static ifadesi, mühendislik ve fiziksel sistemlerin analizinde kullanılan bir terimdir. Bu terim, bir sistemdeki malzeme davranışının lineer ve statik koşullarda incelendiği bir tür analizi ifade eder. Bu terimle ilgili bazı temel kavramlar:

- **Lineer Davranış:** Lineer davranış, malzeme veya sistem üzerindeki kuvvet ve deformasyon ilişkisinin doğrusal olduğu durumu ifade eder. Yani, uygulanan kuvvet arttıkça, malzeme veya sistem üzerindeki deformasyon da doğrusal olarak artar. Lineer davranış genellikle belirli bir sınıra kadar geçerlidir.

- Statik Analiz: Statik analiz, bir sistemdeki kuvvetlerin dengede olduğu durumu inceler. Yani, sistemin hareket etmediği veya sabit hızda olduğu durumu ele alır. Bu analiz türü genellikle sabit durumdaki malzeme davranışını değerlendirmek için kullanılır.

Bu tür analizler, mühendislik tasarımları, yapısal analizler ve benzeri uygulamalarda sıkça kullanılır. Bu analizler, sistemin belirli koşullar altında nasıl davranacağını anlamak ve tasarımını optimize etmek için önemlidir.

Name	Value
Solver Keyword	SUBCASE
Name	loadstep1
ID	1
Include	[Master Model]
User Comments	Hide In Menu/Export
Subcase Definition	
Analysis type	Linear Static
SPC	(1) const
LOAD	(2) Forces

Şekil 9

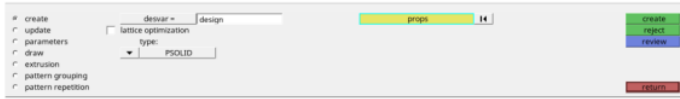
4.4 Topology optimizasyonu uygulamak

Arka kol genellikle bir dizi ekleme ve bağlantıya sahiptir. Bu eklemler ve bağlantılar, kolun hareketini sağlar. Her bir eklem ve bağlantının doğru bir şekilde modellenmesi, gerçek dünyadaki davranışını doğru bir şekilde simüle edilmesi sağlar.

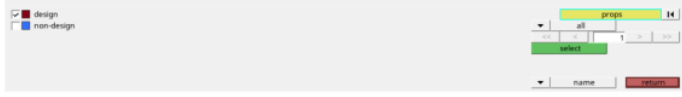
Bu analiz, kolun mukavemetini, dayanıklılığını ve diğer fiziksel özelliklerini değerlendirmesine yardımcı olabilir.

Önceki aşamalardan sonra Hyperworks ile Topoloji optimizasyonu oluştururken tasarım değişkenleri seçiliyor.

Uygulanacak bölge tasarım bölgesidir. Sınır olarak max stress limiti tanımlıyor o da malzemeyi göre 275.5MPa dövülebilir demir (Ductile iron) için ve 310MPa Alaşım çeliği (Alloy steel) için. Ayrıca A_1 merkez noktası desplasman sınırı max 5mm olarak oluşturuyor.



Şekil 10 Topoloji optimizasyonu oluşturmak



Şekil 11 design bölgesi topoloji optimizasyon için seçmek



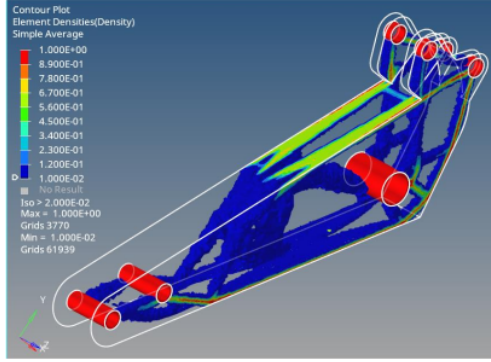
Şekil 12 yanıt olarak kütle olarak belirlenir



Şekil 13 topolojinin amacı kolun minimuma düşürmek

4.4.1 Topoloji optimizasyonu sonucu:

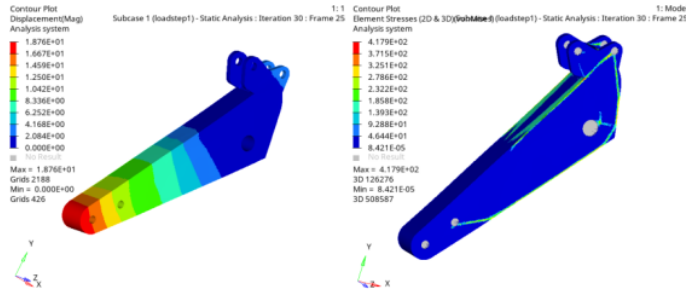
Topoloji optimizasyonu sırasında, yazılım algoritması yükleri, kısıtlamaları ve tasarım alanını analiz eder ve malzemenin gereksiz olduğu bölgeleri iteratif olarak kaldırır veya yeniden dağıtırken, yapısal destek için kritik olan bölgelerde malzemeyi korur. Bu süreç, kütle azaltma ve dayanıklılık gereksinimleri arasında istenen dengeyi sağlayan geliştirilmiş bir yapıya yol açar. Topoloji optimizasyonunun sonuçları, Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Önemli bölgeler mavi ile kırmızı arasında bir gradyanla vurgulayarak, kırmızı bölgelerin tasarım dışı bileşenleri temsil eder.



Şekil 14 Topology optimizasyonun yoğunluğu haritasına

Mini Backhoe ekskavatör kolu hem sac metal hem de profiller kullanılarak üretilebilme potansiyeli olduğu dikkate değerdir. Bu aşamada, uygulanan farklı iki tane malzeme sonuçlarında önemli farklılıklar gözlemlenmemiştir.

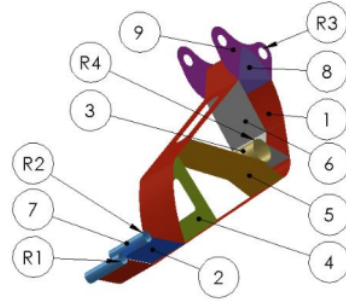
Topoloji optimizasyonu sonrasında yoğunluk aşaması %40 olacağına, deplasman ve gerilme değerlerini belirlemek için statik analiz uygulanacaktır. İlk tasarım modeline ait () mm yer değişime ve () MPa gerilme değerleri ile statik analiz sonuçlanmıştır ayrıca kütlesi () . Şekil ().



Şekil 15 Topology optimizasyonun

4.5 Şekil Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu tamamlandıktan sonra, elde edilen kütle yoğunluğu haritasınaŞekil (arak SolidWorks'te yeni bir model tasarlandı. Bu model, çeşitli bileşenlere ayrılarak, HyperStudy programı kullanılarak bu bileşenlerin kalınlıklarını otomatik olarak değiştirmek üzere oluşturulur. Şekil optimizasyonun Amacı, her bir bileşenin optimal kalınlığına ulaşmak ve kolun ağırlığını minimize etmek, kritik sınırları aşmadan tasarımı iyileştirmektir. Bu amaçla, ihtiyaçlar ve kısıtlamalar göz önüne alınarak tekrarlanan analizler ve optimizasyonlar gerçekleştirilir.



Şekil 16 topoloji optimizasyonun sonucuna dayalı yeni CAD modelin bileşenleri

Revizyon ve İterasyon:

Revizyon ve iterasyon mühendislik ve tasarım süreçlerinde sıkça kullanılan terimlerdir.

- Revizyon:
 - Genel Tanım: Bir tasarımın veya belgenin üzerinde yapılan değişiklik veya düzeltmeleri ifade eder.
 - Açıklama: İlk bir tasarım oluşturulduğunda, bu tasarım birçok değişiklik ve düzeltme yapılabilir. Bu değişiklikler, tasarımın önceki sürümünden farklılık gösterir. Bu farklılıklar genellikle yeni bilgilerin eklenmesi, hataların düzeltilmesi veya tasarım gereksinimlerindeki değişikliklere uyum sağlamak için yapılabilir. Bu süreç "revizyon" olarak adlandırılır.
- İterasyon:
 - Genel Tanım: Bir sürecin tekrarlanarak daha iyi bir sonuca ulaşma çabasıdır.

- Açıklama: Tasarım süreci genellikle bir dizi adımdan oluşur. İlk adımda bir tasarım oluşturulur ve ardından bu tasarım değerlendirilir. Değerlendirme sonuçlarına dayanarak tasarım revize edilebilir veya geliştirilebilir. Bu revize edilmiş tasarım, bir sonraki adıma geçmeden önce tekrar değerlendirilir. Bu süreç, tasarımın her bir aşamasında tekrarlanabilir. Her tekrar, tasarımın iyileştirilmesine yönelik bir "iterasyon" olarak adlandırılır.

Tasarımı iyileştirmek ve kalınlık ile kütlenin optimal kombinasyonunu bulmak için çeşitli iterasyonlar gerçekleştirilmektedir.

Optimize edilmiş tasarım belirlendikten sonra, değiştirilmiş kola ait ağırlık hesaplanır.

HyperWorks kullanarak yeni CAD yapısını optimize etmek için genel olarak şu adımlar takip edilir: Modelin İçer Aktarılması:

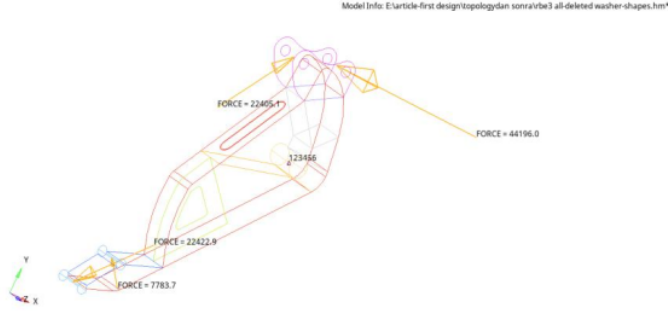
- Ekskavatör kolunun mevcut CAD modelini HyperMesh'e içe aktarın. Bu adım, modelinizi analiz ve optimizasyon için kullanılabilir bir formata (IGES) dönüştürmeyi içerir. Şekil (6)'da, SolidWorks modeli, farklı bileşen özelliklerini içeren topoloji optimizasyonu sonuçlarına dayalı olarak tasarlanmıştır.
- En düşük kütleyi sağlamak üzere optimizasyon hedeflerini belirleyin.
- Tasarım değişkenlerini tanımlanır: Onlar şekil ()'de görünmektedir, bütün bileşenlerin kalınlıkları ve silindirlerin çaplarıdır. Ayrıca onlara başlangıç değeri, üst sınır ve alt sınır tanıtılıyor.

(T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, R1, R2, R3, R4).

	Active	Label	Varname	Lower Bound	Nominal	Upper Bound
1	☒	T.1	var_1	5.0000000	6.8000000	10.000000
2	☒	T.2	var_2	5.0000000	6.0000000	10.000000
3	☒	T.3	var_3	8.0000000	8.0000000	12.000000
4	☒	T.4	var_4	3.0000000	4.1000000	7.0000000
5	☒	T.5	var_5	3.0000000	4.1000000	7.0000000
6	☒	T.6	var_6	7.0000000	9.7500000	12.000000
7	☒	T.7	var_7	5.0000000	5.3772083	7.5000000
8	☒	T.8	var_8	3.0000000	4.1000000	6.0000000
9	☒	T.9	var_9	8.0000000	10.002886	12.000000
10	☒	R.4	var_10	-0.5000000	0.0000000	1.0000000
11	☒	R.2	var_11	-0.5000000	0.0000000	0.5000000
12	☒	R.1	var_12	-0.5000000	0.0000000	0.5000000
13	☒	R.3	var_13	-0.5000000	0.0000000	1.0000000

Şekil 20

- Tüm tasarım değişkenlerine başlangıç değeri verilir.



Şekil 18

- Optimizasyon Parametrelerinin Belirlenmesi:

Optimizasyon sürecinde değiştirilecek parametreleri tanımlayın. Bu, tasarım değişkenlerini (kalınlıklar, boyutlar, malzeme özellikleri vb.) içerir.

Üç tane farklı parametere tanıtıldı onlara bir hedef kuruluyor, maksimum yer değiştirme 1mm'den küçük, maksimum gerilme başarısızlık Kriteri'den daha küçük ve kütleyi en aza indirmek. Şekil()

	Active	Label	Vname	Expression	Value	Goals
1	☒	displacement	r_1	max(abs(dls_1))	3.2485623	<= 1.0000000
2	☒	stress	r_2	max(dls_2)	269.15161	<= 275.50000
3	☒	mass	r_3	max(dls_3)*1000	20.311400	Minimize

Şekil 19

- Optimizasyon Stratejisinin Seçilmesi:

Kullanılacak optimizasyon stratejisini seçilir. Bu, tasarım değişkenlerini nasıl değiştireceğinizi ve analizin nasıl yürütüleceğini belirler. Matematiksel olarak tasarım değişkenleri ile optimizasyonun parametreleri ilişki temsil eden denklemleri hesap yöntemidir. Şekil()

Mode	Label	Vaname	Details
1	☐ Modified Extensible Lattice Sequence	Mels	
2	☐ D-Optimal	DOpt	
3	☐ Fractional Factorial	FracFact	
4	☐ Full Factorial	FullFact	
5	☐ Plackett Burman	PlackBurm	
6	☐ Taguchi	Taguchi	
7	☐ Central Composite	Ccd	
8	☐ Box Behnken	Box	Exceeds ma...
9	☒ Latin HyperCube	LatinHyperCube	
10	☐ Hammersley	Hammersley	
11	☐ User Defined	User	
12	☐ Run Matrix	RunMatrix	
13	☐ None	None	

Şekil 20

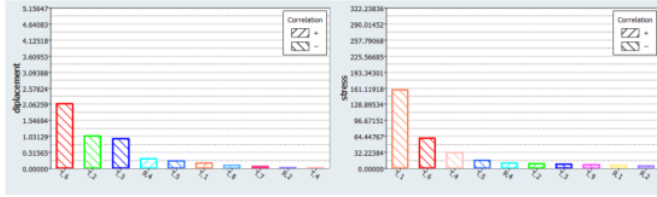
- Optimizasyon Analizinin Çalıştırılması:

Seçilen optimizasyon stratejisini kullanarak analizi çalıştırın. Bu, belirlenen parametreleri optimize etmek için analizi tekrar tekrar çalıştırarak en iyi tasarımı elde etmeyi içerir.

- Sonuçların Değerlendirilmesi:

Matematiksel olarak elde edilen optimal değerleri kolunu üzerine kontrolü yapılır.

Optimizasyon sonunda, optimizasyonu parametreler ile doğrudan bağlantılı tasarım değişkenleri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkıyor. Yer değiştirme sonuçları T6, T2 ve T3 tasarım değişkenlerine bağlıdır. Aynı şekilde, gerilme değerleri T1, T6 ve T4 tasarım değişkenlerine bağlı olarak belirlenir. Örneğin T6'nın bileşenin kalınlığı artarsa daha yüksek gerilme ve yer değiştirme sonuçlara sebep oluyor.



Şekil 21

Tablo() Şekil optimizasyon Sonuçları

Component ID	initial thickness	Range(mm)	Ductile iron	Alloy steel
1.T.1	6.8	5 to 10	6.75	6
2.T.1	6	5 to 10	8.4	8.25

3.T.1	8	8 to 12	11.8	12
4.T.1	4.1	3 to 7	4.8	4
5.T.1	4.1	3 to 7	3	3
6.T.1	9.75	7 to 12	11.9	9.5
7.T.1	5.25	5 to 7.5	5	5
8.T.1	4.1	3 to 6	3	3
9.T.2	10	8 to 12	8	8
R1	15	12.5 to 17.5	15	15
R2	15	12.5 to 17.5	12.5	12.5
R3	15	10 to 20	20	20
R4	30	25 to 35	26	25
	Von Mises (MPa)		276.8	307.6
	Maks yer değiştirme (mm)		1.08	0.92
	Mass (Kg)		20.71	20.79

5 Optimizasyon işleminde Çizelge 1 de verilen tasarım değişkenlerinin alt ve üç limitleri arasında kalacak şekilde tasarım değişkenlerinin seçilmesine izin verilmiştir.

5 Optimizasyon probleminde amaç fonksiyonu olarak ağırlığın minimize edilmesi, kısıt fonksiyonu olarak gerilmenin 275,5 MPa dan küçük olması ductil iron için ve 310 MPa alloy steel için tanımlanmıştır.

Yarı çapların ve bileşenlerin kalınlığı en uygun değerleri şekil optimizasyonunu uygulandı. Çizelge 1 gösterdiği gibi ductile iron ve alloy steel malzemeleri için sırayla 20,71 Kg ve 20,79 kg kısıt şartları uyumlu kaldığı şartı sağlamaktadır.

5 Optimum tasarım, 275,5 ductile iron ve 310 Mpa alloy steel olarak verilen gerilme kısıtını ihlal etme 5'tedir. Optimum tasarımın ağırlığı 20,71 Kg ductile iron için ve Alloy steel 20,79 Kg olarak elde edilmiştir. Optimum tasarımın ağırlığı başlangıç tasarımına (29.45 Kg) göre % 28 daha azdır.

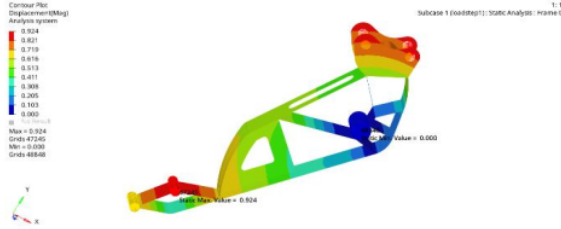


Figure 8 maksimum displesman 0,9mm

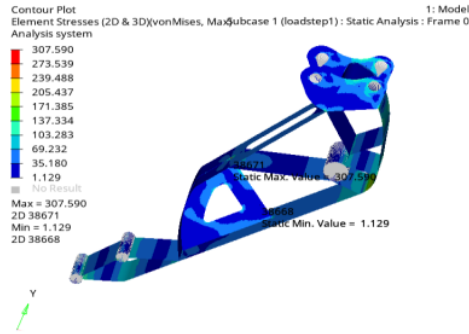


Figure 9 makimim gerilme 307,5 Mpa

5. SONUÇ

Mekanik sistemlerde yapısal analiz ve optimizasyon teknikleri, mühendislik tasarımlarında önemli bir aşamayı temsil eder. Bu çalışma, mekanik sistemlerin ağırlığını azaltma amacıyla yapılan yapısal analiz ve optimizasyon tekniklerini ele almaktadır. Gelişmiş mühendislik uygulamaları sayesinde, mühendisler artık yapısal mukavemeti ve performansı artırırken aynı zamanda ağırlığı minimize etme konusunda daha etkili stratejiler geliştirebilmektedir.

Mekanik sistemlerde yapısal analiz ve optimizasyon teknikleri kullanılarak mini Backhoe ekskavatör kolu üzerinde bu tez elde edilen sonuçlar mükemmel mukavemet-ağırlık oranlarıyla karakterizedir. Bu, tasarımcılara daha hafif ancak güçlü ve dayanıklı sistemler

oluşturma yeteneği sağlar. Ağırlık azaltma, enerji verimliliği, taşıma kapasitesi artırma ve genel performansı optimize etme gibi bir dizi avantajı beraberinde getirir.

Ductile iron ve alloy steel için yaklaşık %30'luk bir ağırlık azaltma elde etmek, mühendislik tasarımında etkili bir optimizasyonun başarılı bir sonucudur. Bu tür bir ağırlık düşürme, genellikle performansı artırma, enerji verimliliğini iyileştirme ve malzeme kullanımını optimize etme gibi bir dizi avantajı beraberinde getirir.

HyperWorks kullanarak hem Topology Optimizasyonu hem de şekil Optimizasyonu gerçekleştirildi. Malzeme dağılımı rendikten sonra şekil optimizasyon sürecinde, tüm değişken girişler için optimal kalınlık değerlerini sağlar. Başlangıç kalınlık değerlerinden başlayarak, program belirli bir aralık içinde kalınlığı sistemli bir şekilde ayarlar. Her bileşen için odak, kalınlık ve ağırlık arasındaki ilişkiye odaklanarak, gerilme sınırlarının ve deplasmanın korunduğundan emin olmaktadır. Daha sonra, değiştirilmiş malzeme özelliklerine tepki olarak en belirgin değişikliği gösteren bileşeni belirlemek için alternatif bir malzeme uygulanır.

Yapısal bütünlüğü korumak için, bu koşullar altındaki ağırlık 20.7 kilograma düşürülmüştür; bu, tez önceki çalışmalar sonucu uyumludur, ki orada ağırlık 20.9 kilograma düşürülmüştür fakat başka model ve program ile gerçekleştirildi.

Dikkat çekici bir husus, sonuçları birbirine yakın olmasına rağmen, bu tezdeki tasarımın daha büyük bir deplasman sergilemesidir, ancak güvenli kalmasını sağlamaktadır. Malzeme kompozisyonundaki değişiklik, T1, T2, T3, T4, T6 ve R4 bileşenlerinde değişikliklere yol açtı. Bu değişiklikler, mümkün olduğunca kk bir kütle elde etme hedefi doğrultusunda yapıldı ve sonuç olarak, dökme demir ve alaşım elik malzeme yapıları için 20.7 kg'a kadar azaldı. Ayrıca, deplasman başarıyla 0.9-1.1 mm aralığında kontrol altında tutuldu ve gerilme düzeyleri başarsızlık kriterinin altında tutuldu. Bu, daha önce bu analizde belirlenen bir güvenlik faktörü olan 2'yi sağladı.

KAYNAKLAR

- 10 BHAVESHKUMAR P. PATEL AND J. M. PRAJAPATI, Evaluation of Bucket Capacity, Digging Force Calculations and Static Force Analysis of Mini Hydraulic Backhoe Excavator, MACHINE DESIGN – The Journal of Faculty of Technical Sciences, Vol.4, No.1, 2012, pp 59-66.
- 6 Bhaveshkumar, P., Patel., Jagdish, M., Prajapati., Patel, Vipulkumar. (2013). Structural optimization of mini hydraulic backhoe excavator attachment using fea approach.
- 6 Bhaveshkumar, P., Patel., J., M., Prajapati. (2011). A Review on FEA and Optimization of Backhoe Attachment in Hydraulic Excavator. International journal of engineering and technology, doi: 10.7763/IJET.2011.V3.277
- 27 Zhou, Yong. (2011). Modal analysis of excavator arm based on finite element method. Machinery Design and Manufacture,
- 24 Luigi, Solazzi. (2021). Design of aluminium boom and arm for an excavator. Journal of Terramechanics, doi: 10.1016/JJTERRA.2010.03.002.
- 14 Sachin, B., Bende., N., P., Awate., M., Tech. (2013). Computer aided design of excavator arm: fem approach.
- 21 Muhammed, F., Zaman., Jin, Chen., Gedion, Habtay, Gebremicheal., Xiao, Ping, Pang. (2012). Design and FEA of 125T Face Shovel Excavator's Arm. Advanced Materials Research, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.538-541.466
- 25 Anil, R., Jadhav., Vinayak, Kulkarni., Abhijit, G., Kulkarni., Kumar, Satish, Ravi. (2014). Static, Modal and Kinematic Analysis of Hydraulic Excavator. International journal of engineering research and technology,
- 32 Zairullah, Azhar. (2020). Design improvement of pindad mini excavator boom using finite element method. doi: 10.33021/JMEM.V5I1.943
- 31 Ying, Luo., Jin, Ling, Cao. (2014). The Optimized Design of Excavator Trivet. Industrial Engineering and Management, doi: 10.7508/AIEM-V2-N2-68-71
- 14 Sachin, B., Bende., N., P., Awate., M., Tech. (2013). Computer aided design of excavator arm: fem approach.
- 4 Fahim, Mahmud, Khan., Md., Shahriar, Islam., Md., Zahid, Hossain. (2016). Design of an Excavator Arm. International Review of Mechanical Engineering-IREME, doi: 10.15866/IREME.V10I6.9395
- 20 Javad, Gholami., M., Ghassabi. (2021). Optimization and numerical investigation of an excavator carrier. Journal of Terramechanics, doi: 10.1016/JJTERRA.2021.05.002.

- Luigi, Solazzi., Ahmad, Assi., Federico, Ceresoli. (2018). New Design Concept for an Excavator Arms by Using Composite Material. *Applied Composite Materials*, doi: 10.1007/S10443-017-9638-0
- Luigi, Solazzi., Ahmad, Assi., Federico, Ceresoli. (2019). Excavator arms: Numerical experimental and new concept design. *Composite Structures*, doi: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2019.02.096.
- Jalal, Mohammad., Irina, Odinkova., Vitaly, Gaevskiy., Evgeni, Nosko. (2021). Optimization design of the stick of an excavator under uncertain loading (in the conditions of the Syrian Arab Republic). doi: 10.1051/MATECONF/202134100014.
- Ahmet Erklig and Eyüp Yeter, 'The Improvements of the Backhoe-Loader Arms', *Modelling and Numerical Simulation of Material Science*, 2013, 3, 142-148.
- G. Ramesh, V.N. Krishnareddy and T. Ratnareddy, 'Design and Optimization of Excavator', *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)* Volume 03, 2017.
- P. Govinda Raju, Md. Salman Ahmed, Md. Bilal, 'Design and Analysis Of Excavator Arm', *International Journal of Core Engineering & Management (ISSN: 2348-9510)* Special Issue, NCETME -2017.
- Simon, Vanpaemel. (2023). Topology optimization for dynamic flexible multibody systems using the Flexible Natural Coordinates Formulation. *Mechanism and Machine Theory*, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2023.105344
- Frederiksen., Ole, Sigmund., Konstantinos, Poullos. (2023). Topology Optimization of self-contacting structures. *arXiv.org*, doi: 10.48550/arXiv.2305.06750
- Zhang ve ark (2023). Topology Optimization of self-contacting structures. doi: 10.48550/arxiv.2305.06750
- Si-Qi, Zhang., Bing-Bing, Xu., Zhongchao, Gao., Ge, Jiang., Jing-Tong, Zheng., Hua-Yu, Liu., Wenyan, Jiang., Kai, Yang., Xiao-Wei, Gao. (2023). Topology optimization of heat transfer and elastic problems based on element differential method. *Engineering Analysis With Boundary Elements*, doi: 10.1016/jenganabound.2023.01.026
- American Psychological Association. (2019, September). *Style and Grammar Guidelines*. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>
- American Psychological Association. (2019, September). *Style and Grammar Guidelines*. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>
- American Psychological Association. (2019, September). *Style and Grammar Guidelines*. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>

ÖZGEÇMİŞ

1

Adı Soyadı : Yousof Khairalla
Doğum Yeri ve Tarihi : Suriye - Halep / 1989
Yabancı Dil : İngilizce – Türkçe

Eğitim Durumu

Lisans : Makine mühendisliği/ Malzeme bilimi
Yüksek Lisans : Devam ediyor

11

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : -

İletişim (e-posta) : yusuf.khairallah@gmail.com

Yayınları : -

yousof Kharilla YL Tezi

ORİJİNALLIK RAPORU

% **11**

BENZERLİK ENDEKSİ

% **11**

İNTERNET KAYNAKLARI

% **4**

YAYINLAR

% **7**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

Submitted to Uludag University

Öğrenci Ödevi

% **3**

2

acikerisim.btu.edu.tr

İnternet Kaynağı

% **1**

3

uludag.edu.tr

İnternet Kaynağı

% **1**

4

ijcrt.org

İnternet Kaynağı

% **1**

5

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

% **1**

6

www.researchgate.net

İnternet Kaynağı

<% **1**

7

idoc.pub

İnternet Kaynağı

<% **1**

8

Simon Vanpaemel, Karim Asrih, Martijn Vermaut, Frank Naets. "Topology optimization for dynamic flexible multibody systems using the Flexible Natural Coordinates

<% **1**

Formulation", Mechanism and Machine Theory, 2023

Yayın

9

Gore Lukas Bluhm, Ole Sigmund, Konstantinos Poullos. "Inverse design of mechanical springs with tailored nonlinear elastic response utilizing internal contact", International Journal of Non-Linear Mechanics, 2023

Yayın

<% 1

10

www.mdesign.ftn.uns.ac.rs

İnternet Kaynağı

<% 1

11

acikerisim.uludag.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

12

abis-files.uludag.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

13

www.atasmandunyasi.com

İnternet Kaynağı

<% 1

14

Submitted to University of Bridgeport

Öğrenci Ödevi

<% 1

15

www.matec-conferences.org

İnternet Kaynağı

<% 1

16

referencecitationanalysis.com

İnternet Kaynağı

<% 1

17

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

18	Submitted to Northern Arizona University Öğrenci Ödevi	<% 1
19	Submitted to Bülent Ecevit Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
20	Javad Gholami, Masood Ghassabi. "Optimization and numerical investigation of an excavator carrier", Journal of Terramechanics, 2021 Yayın	<% 1
21	www.scientific.net İnternet Kaynağı	<% 1
22	Luigi Solazzi. "Feasibility study of a very big crawler crane using composite materials", Composites Part C: Open Access, 2024 Yayın	<% 1
23	gcris.ktun.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
24	www.coursehero.com İnternet Kaynağı	<% 1
25	www.ijert.org İnternet Kaynağı	<% 1
26	Submitted to University of Bristol Öğrenci Ödevi	<% 1
27	benthamopen.com İnternet Kaynağı	<% 1

28	Muhammed Farooq Zaman, Jin Chen, Gedion Habtay Gebremicheal, Xiao Ping Pang. "Design and FEA of 125T Face Shovel Excavator's Arm", Advanced Materials Research, 2012 Yayın	<% 1
29	pdfs.semanticscholar.org İnternet Kaynağı	<% 1
30	Si-Qi Zhang, Bing-Bing Xu, Zhong-Hao Gao, Geng-Hui Jiang, Yong-Tong Zheng, Hua-Yu Liu, Wen-Wei Jiang, Kai Yang, Xiao-Wei Gao. "Topology optimization of heat transfer and elastic problems based on element differential method", Engineering Analysis with Boundary Elements, 2023 Yayın	<% 1
31	www.oalib.com İnternet Kaynağı	<% 1
32	www.neliti.com İnternet Kaynağı	<% 1
33	atlaskesimcnc.com İnternet Kaynağı	<% 1
34	onat.edu.ua İnternet Kaynağı	<% 1
35	ihcdigitallibrary.com İnternet Kaynağı	<% 1

36

iris.unibs.it

İnternet Kaynağı

<% 1

37

meditimex.net

İnternet Kaynağı

<% 1

38

www.fizibiliteraporu.com

İnternet Kaynağı

<% 1

39

www.mdpi.com

İnternet Kaynağı

<% 1

40

www.semanticscholar.org

İnternet Kaynağı

<% 1

41

www.tumtmk.org

İnternet Kaynağı

<% 1

42

Fahim Mahmud Khan, Md. Shahriar Islam, Md. Zahid Hossain. "Design Aspects of an Excavator Arm", International Review of Mechanical Engineering (IREME), 2016

Yayın

<% 1

Alıntıları çıkart

Kapat

Eşleşmeleri çıkar

Kapat

Bibliyografyayı Çıkart

Kapat