



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**DİREKSİYON MAFSALININ YAPISAL OPTİMİZASYON
YÖNTEMLERİ İLE HAFİFLİĞİNİN SAĞLANMASI**

Anıl KETEN

Yüksek Lisans Tezi

**DİREKSİYON MAFSALININ YAPISAL OPTİMİZASYON
YÖNTEMLERİ İLE HAFİFLİĞİNİN SAĞLANMASI**

Anıl KETEN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Direksiyon Mafsallının Yapısal Optimizasyon Yöntemleri İle Hafifliğinin
Sağlanması**

Anıl KETEN
0000-0002-2098-1323

Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

TEZ ONAYI

Anıl KETEN tarafından hazırlanan "DİREKSİYON MAFSALININ YAPISAL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE HAFİFLİĞİNİN SAĞLANMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ

Başkan : Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız
0000-0003-1790-6987
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doc. Dr. Rukiye Ertan
0000-0002-9631-4607
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emre Demirci
0000-0002-1968-0291
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onayladım

Prof. Dr. Hüseyin Akseki EREN
Enstitü Müdürü

İmza

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 yararlanması 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.

05/10/2020



Anıl KETEN

ÖZET

Yüksek Lisans

DİREKSİYON MAFSALININ YAPISAL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK AĞIRLIĞININ AZALTIKMASI

Anıl KETEN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız

Otomobillerde enerji verimliliği günümüzdeki en önemli konuların başında gelmektedir. Otomotiv firmaları yakıt tüketimini azaltacak enerji verimliliğini arttıracak çalışmalara yönelmiştir. Otomobillerin hafifletilmesi en önemli çözümlerin başında gelmektedir. Güvenlik kriterlerine uyarak araçların hafifliğini sağlamak, yakıt tüketimini ve emisyon değerlerini azaltacaktır.

Otomotiv sektöründe otomobillerin hafifliğini sağlamak için çalışmalar sürekli devam etmektedir. Hafifliğin sağlanması için en önemli çalışmalar otomobili oluşturan parçalara yapısal optimizasyon uygulamaları yaparak daha az malzeme kullanarak sağlanmaktadır. Böylece Otomotiv üreticisi maliyetleri düşük tutacaktır, otomobil kullanıcıları ise daha az yakıt tüketen, doğayı az emisyon gazıyla kirleten araçlara sahip olacaktır.

Otomobilleri ortaya çıkaran parçalar iskelet gibidir. Bir tanesi eksik olduğu zaman tam olarak otomobil meydana gelmez. Birbiri ile bağlantılı bu parçalar yeterince sağlam olmazsa araç içerisindeki canlıların güvenliğini tehlikeye atabilir. Bu parçalardan en önemlilerinden bir tanesi direksiyon mafsalıdır. Direksiyon mafsalı ön bölümde bulunmaktadır. Her iki ön tekerin arkasında bir adet direksiyon mafsalı bulunmaktadır. Direksiyon mafsalı üzerinde süspansiyon, alt salıncak, fren kaliperi ve direksiyon rotunu taşımaktadır.

Direksiyon mafsalının üzerinde taşıdığı araba parçaları oldukça kritik parçalardır. Bu yüzden güvenliği göz önünde bulundurarak direksiyon mafsalının yapısal optimizasyon yöntemleri ile hafifletilmesi sağlanmıştır. Yapısal optimizasyon yöntemleri ile hafifliği sağlanan direksiyon mafsalının aracın güvenliğini ne kadar etkilemekte olduğu incelenmiştir. Bunun için her yapılan yapısal optimizasyonlardan sonra statik analiz ve yapısal analiz yapılmış ve bu değerler karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Direksiyon mafsalı, yapısal optimizasyon, sonlu elemanlar yöntemi, hafiflik,

2020, viii + 55 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

REDUCING WEIGHT OF STEERING KNUCKLE WITH STRUCTURAL OPTIMIZATION METHODS

Anıl KETEN

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

Supervisor: Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız

Weight reduction on vehicle is one of the most significant issues in automotive industry. Recently, automotive companies have their focus on reducing energy and fuel consumption. Reducing weight of a vehicle is one of the most important solutions. Providing lightness for vehicles by complying with safety criteria will reduce fuel consumption and emission values.

Studies continue to ensure the lightness of the vehicles in the automotive industry. The most crucial works to ensure lightness are structural optimization applications for the parts that make up the car, and less use of material. Thus, the automotive manufacturer will keep the costs low, and automobile users will have vehicles that consume less fuel and pollute the environment with less emission gas.

The parts that embody cars are like skeletons. When one is missing, the car does not seem as a whole. If these interconnected parts are not strong enough, they may endanger the safety of living things in the vehicle. One of the significant parts of this skeleton is the steering knuckle. The steering knuckle is located in the front section. There is a steering knuckle behind front wheels. They are carried suspension, lower arm, brake caliper and steering rod on these steering knuckles.

The parts that a steering knuckle carries are very critical parts. Therefore, considering the safety, the steering knuckle will be lightened by structural optimization methods. It will also be examined how much this lightness affects the safety of the vehicle. For this, after every structural optimization, static analysis and structural analysis will be applied. Finally, these values will be compared.

Key words: Steering knuckle, structural optimization, lightness, finite element method, weight reduction

2020, viii + 55 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca yardımını hiç eksik etmeyen, bana yol gösteren saygıdeğer danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali Rıza Yıldız'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olarak beni destekleyen annem Aynur Keten, tecrübe ve bilgi birikimleri ile hep yardımcı olan Aysun ve Sercan Şehirli'ye, bana verdiği sevgi ve güler yüz ile her zaman yanımda olan eşim Ulviye Keten'e teşekkürlerimi sunarım.

Anıl Keten
05/10/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Süspansiyon Sistemleri.....	4
2.1.1. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi.....	5
2.1.2. Macpherson Süspansiyon Sistemleri.....	5
2.2. Direksiyon Mafsalına Bağlı Bileşenler.....	6
2.2.1. Süspansiyon.....	6
2.2.2. Alt Salıncak.....	7
2.2.3. Fren Kaliperi.....	7
2.2.4. Direksiyon Rotu.....	7
2.3. Malzeme Seçimi.....	8
2.3.1. Dövme Çelikleri.....	9
2.3.2. Dökme Demirler.....	9
2.3.3. Alüminyum ve Alaşımları.....	11
2.4. Yükleme Hesapları.....	11
2.4.1. Eksenel Yük.....	11
2.4.2. Atalet Yüğü.....	12
2.4.3. Eğilme Yüğü.....	12
2.5. Gerilme Hesaplamaları.....	12
2.5.1. Eksenel Yüklemelemlerin Oluşturduğu Gerilmeler.....	12
2.5.2. Atalet Yüklemelemlerinin Oluşturduğu Gerilmeler.....	12
2.6. Yönlendirme Mafsalına Gelen Yük Durumları.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım.....	16
3.2. Sonlu Elemanlar Analizi.....	17
3.3. Yapısal Optimizasyon.....	21
3.3.1. Topoloji Optimizasyonu.....	22
3.3.2. Boyut Optimizasyonu.....	27
3.3.3. Şekil Optimizasyonu.....	27
3.3.4. Topografi Optimizasyonu.....	28
3.4. Yorulma Analizi.....	28
3.4.1. Gerilme – Ömür(S-N) Yöntemi İle Yorulma Dayanımının Saptanması.....	29
3.4.2. Gerilme – Ömür(ϵ -N) Yöntemi İle Yorulma Dayanımının Saptanması.....	31
3.5. Kullanılan Bilgisayar Yazılımları.....	32
3.5.1. SolidWorks.....	32
3.5.2. Hyperworks.....	32
4. BULGULAR.....	35
4.1. Mevcut Tasarımda Statik Analiz.....	36
4.2. Topoloji Optimizasyon.....	39

4.3. Şekil Optimizasyonu	43
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	48
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
S_a	Gerilme Genliği
S_m	Ortalama Gerilme
S_e	Yorulma Dayanımı
S_{yt}	Akma Gerilmesi
S_{ut}	Kopma Gerilmesi
N	Yük Tekrar Sayısı
K_f	Düzeltilme Katsayısı
ρ	Normalleştirilmiş malzeme yoğunluğu
ρ_i	Optimizasyon süresince kullanılan malzeme yoğunluğu
ρ_0	Gerçek malzeme yoğunluğu
E_i	Ara malzeme için elastisite modülü
E_0	Gerçek eleman için elastisite modülü
F_A	Atalet Kuvveti
F_E	Eğilme Kuvveti
w	Açısal Hız
R	Yarıçap
L	Uzunluk
σ	Gerilme
P	Basınç
A	Alan
x	Mesafe
σ_b	Bası gerilmesi
Kısaltmalar	Açıklama
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
SEA	Sonlu Elemanlar Analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tasarım Aşamaları	1
Şekil 1.2. Yapısal Optimizasyon Yöntemleri Döngüsü	2
Şekil 2.1. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi	5
Şekil 2.2. Macpherson Süspansiyon Sistemi	6
Şekil 2.3. Direksiyon mafsalı çeşitleri	4
Şekil 2.4. Direksiyon mafsalına bağlanan parçalar	8
Şekil 2.5. Direksiyon mafsalına bağlanan parçalar	15
Şekil 3.1. Tasarım Aşamaları	16
Şekil 3.2. Eleman Tipi Seçim Kriterleri	18
Şekil 3.3. Birleştirilmiş Optimizasyon Yöntemleri	21
Şekil 3.4. Topoloji Optimizasyon Örneği	23
Şekil 3.5. Level Set Metodu	26
Şekil 3.6. Yorulma Sonucu Hasara Uğrayan Malzeme	29
Şekil 3.7. Periyodik Yüklemelerin Yorulma Sonucu Hasar Etkisi	30
Şekil 3.8. Wöhler Yöntemi için uygulanan teoriler	31
Şekil 4.1. Malzeme Özelliklerinin Programa Aktarılması	35
Şekil 4.2. Mevcut Tasarımda Gerilme Değerleri	36
Şekil 4.3. Mevcut Parçanın Yer Değiştirme Değerleri	37
Şekil 4.4. Mevcut Parçanın Yorulma Analizi Sonucu Olası Hasar Bölgeleri.....	37
Şekil 4.5. Mevcut Parçanın Yorulma Analizi Sonucu Ömür Analizi	38
Şekil 4.6. Mevcut Tasarımda Kütle.....	38
Şekil 4.7. Topoloji Sonuçları	39
Şekil 4.8. Topoloji Optimizasyon Sonrası Data.....	40
Şekil 4.9. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarım	40
Şekil 4.10. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Analiz Sonuçları	41
Şekil 4.11. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yer Değiştirme Miktarı ...	42
Şekil 4.12. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yorulma Sonucu Hasar Miktarları.....	42
Şekil 4.13. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yorulma Sonucu Ölçülen Ömrü	43
Şekil 4.14. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Ağırlığı.....	43
Şekil 4.15. Şekil değişkenleri.....	44
Şekil 4.16. Şekil Optimizasyonu Sonucu Elde Edilen Optimum Değerler.....	44
Şekil 4.17. Nihai Tasarım Gerilme Değerleri	45
Şekil 4.18. Nihai Tasarım Yer Değiştirme Değerleri.....	45
Şekil 4.19. Nihai Tasarım Yorulma Analizi Olası Hasar Bölgeleri.....	46
Şekil 4.20. Nihai Tasarım Yorulma Analizi Ömür Sonuçları.....	46
Şekil 4.21. Nihai Tasarım Ağırlık Değerleri.....	47
Şekil 5.1. Gerilme Grafiği.....	49
Şekil 5.2. Maksimum Yer Değiştirme Grafiği.....	49
Şekil 5.3. Ağırlık Değişim Grafiği.....	50
Şekil 5.4. Emniyet Katsayısı Değişim Grafiği	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

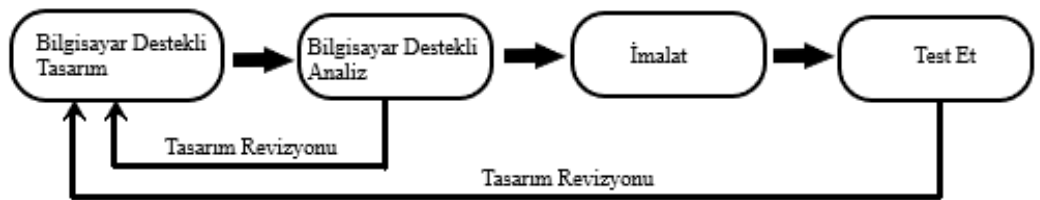
Çizelge 2.1. Küresel Grafitli Dökme Demir Özellikleri	10
Çizelge 2.2. Direksiyon Mafsalına Gelen Yüklemeler	13
Çizelge 3.1. Çizgi Eleman Örnekleri	19
Çizelge 3.2. Yüzey Eleman Örnekleri	19
Çizelge 3.3. Katı Eleman Örnekleri	20
Çizelge 3.4. Özel Amaçlı Eleman Örnekleri.....	20
Çizelge 5.1. Analiz Sonuçları	48

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte endüstriyel işletmelerde tasarım ve imalat yöntemlerinde gelişmeler meydana gelmektedir. Bu meydana gelen gelişmeler üretici firmaların maliyetlerini azaltırken çevreyi daha az kirleten ve tüketiciyi daha çok memnun eden otomobiller üretilmesini sağlamaktadır.

Üretici firmalar kullandıkları yazılımlar ile birlikte tasarım sırasında, tasarım sonrası doğrulama ve geliştirme aşamalarında daha doğru bilgiye daha kolay yolla ulaşmasını sağlamaktadır. Bu yazılımlar imalat öncesi süreyi de kısaltmaktadır.

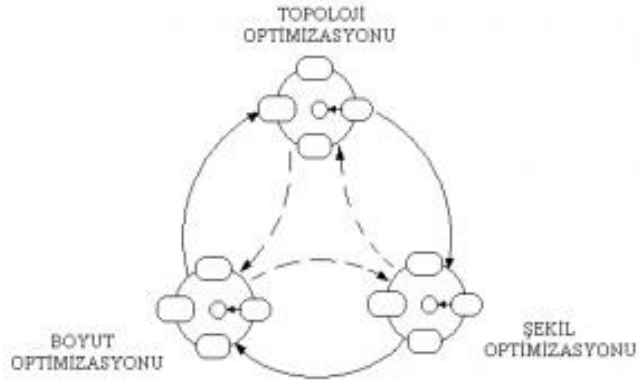
Artan rekabet ve tüketicinin istekleri doğrultusunda araçların olabildiğince hafif ve imal edilecek olan parçaların güvenlik testlerinden başarı ile geçmesi gerekmektedir. Genellikle parçaların hafifletilmesiyle birlikte dayanımı düşmektedir. Bu yüzden parçaların imal edilmeden önce mutlaka güvenlik için dayanım hesabı yapmak gereklidir. Fakat çoğu parça için analitik işlemler yapmak oldukça zorlu ve uzun işlemler gerektirmektedir. Tecrübeli mühendisler veya konu üzerinde araştırma yapan kişiler mevcut olan deneyimleri ile yaklaşık çözümler elde edebilmektedirler. Bu işlemlerle de hata yapılma olasılığı oldukça yüksektir. Ancak, geometrinin karmaşık olması, düzgün olmayan sınır koşullarının, yüklemelerin üniform olmaması, malzeme yapısının lineer olmayışı gibi nedenlerle çözüm elde edilmesi mümkün olmayan hale gelmektedir. Bunun için bilgisayar programlarıyla parçanın analizi yapılması daha uygundur. Bu yöntemle tasarımı yapılmış parçanın küçük parçalara ayrılarak yakınsıma ile analizi yapılır.



Şekil 1.1 Tasarım Aşamaları

Otomotiv sektöründe hafiflik oldukça önemli bir kriterdir. Hafif olan aracın daha az yakıt tüketimi olacak ve emisyon gazları daha düşük olacaktır. Araçların hafiflemesi için imal edilecek parçaların her birinin daha hafif olması gerekmektedir. Hafifletilen bu parçalar için daha az malzeme kullanılacağı için üretici firmaların maliyetlerinde de düşüş sağlanacaktır.

Otomotiv parçalarının hafiflik oldukça önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hafifliğin sağlanabilmesi için yapısal optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Yapısal optimizasyon yöntemleri şekil optimizasyonu, topoloji optimizasyonu, boyut optimizasyonu ve topografya optimizasyonu olarak çeşitleri vardır.



Şekil 1.2. Yapısal Optimizasyon Yöntemleri Döngüsü

Yapısal optimizasyon için mevcut tasarım topolojik optimizasyon için boyutları en uygun hale getirilir. Topoloji optimizasyon yapılarak nerelerden hafifletilebileceği bulunur. Yeniden tasarlanan parçanın dış hatları ve delikleri şekil optimizasyonu ile daha doğru hale getirilir. Son olarak gerek görülür ise boyut optimizasyonu ile nihai hali elde edilir.

Bir aracın güvenli şekilde yol alabilmesi için birçok parçanın bir araya gelerek bir yapı oluşturması gerekmektedir. Bu parçalardan biri de direksiyon mafsalı olarak adlandırılan parçadır. Direksiyon mafsalı araçlarda kritik olan parçaların mafsallanmasını sağlamaktadır. Bu parçalar süspansiyon, direksiyon rotu, alt salıncak ve fren kaliperidir.

Direksiyon mafsalinın üzerinde kritik parçalar taşıdığı için dayanıklılığı oldukça önemlidir. Araçları da hafifletmenin önemli olduğu için direksiyon mafsalinın dayanıklılığını maksimum seviyede tutarken hafifliğini de sağlamak en doğru olan olacaktır.

Bu çalışmada Altair Engineering firmasının Hyperworks yazılımı kullanılmıştır. Mevcut tasarım Hypermesh modülü ile sonlu elemanlara ayrılmıştır. Optistruct modülü ile analiz ve optimizasyon uygulamaları yapılmıştır. Mevcut tasarım Solidworks yazılımı ile tasarımların yeniden şekillendirilmesi sağlanmıştır. HyperStudy modülü ile şekil optimizasyonu yapılmıştır. Tüm çalışmalar Hyperview yazılımı ile görüntülenmiş ve yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Otomotiv süspansiyon sisteminin bir parçası olan direksiyon mafsalı araçta bir çok parçanın bağlantı noktasıdır. Kritik bir parça olması nedeni ile üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda yeni tasarımlar denenmiştir ve yeni malzemeler kullanılmıştır.

Direksiyon mafsalı neredeyse tüm araçlarda farklılık göstermektedir. Temelde tekerlek bağlantısına göre ikiye ayrılır. Bunlar tekerleğe bağlantı şekline göre ayrılır. Kendinden mülle bağlı tekerlek mafsalı ve delikli tekerlek mafsalıdır. Bu çalışmada delikli tekerlek mafsalı kullanılacaktır.



Şekil 2.1 Direksiyon mafsalı çeşitleri

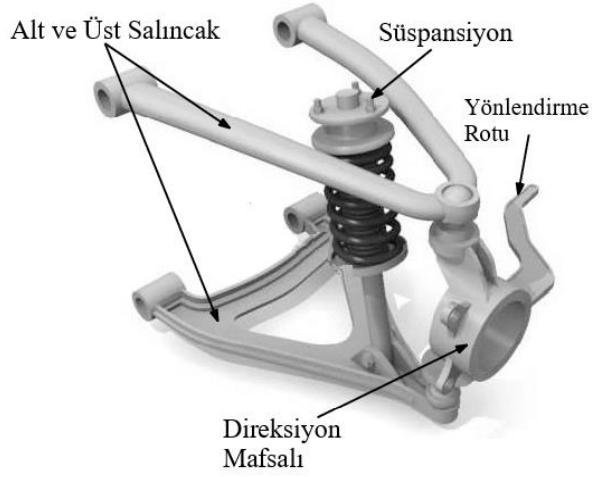
2.1. Süspansiyon Sistemleri

Araçlardaki süspansiyon sistemini kontrollü bir sürüş meydana getirerek araç içerisindeki ve dışarıdaki canlıların güvenliğini olabildiğince en üst seviyede tutmasını sağlamaktadır. Süspansiyon sistemi aracın savrulmasını, yan yatmasını, takla atmasını önleyen otomotiv parçalarının birleşimidir. Günümüzdeki araçlarda ön süspansiyon sistemlerinde bağımsız süspansiyon sistemi kullanılmaktadır. Bağımsız süspansiyon sistemi sağ ve sol tarafların bağımsız hareket edebilmesini ifade etmektedir. Gövdenin

hareketlerini sınıyarak yüksek yönlendirme kabiliyeti sunar. Temel anlamda iki farklı türü bulunmaktadır. Bunlar Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi ve Macpherson Süspansiyon sistemidir.

2.1.1. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi

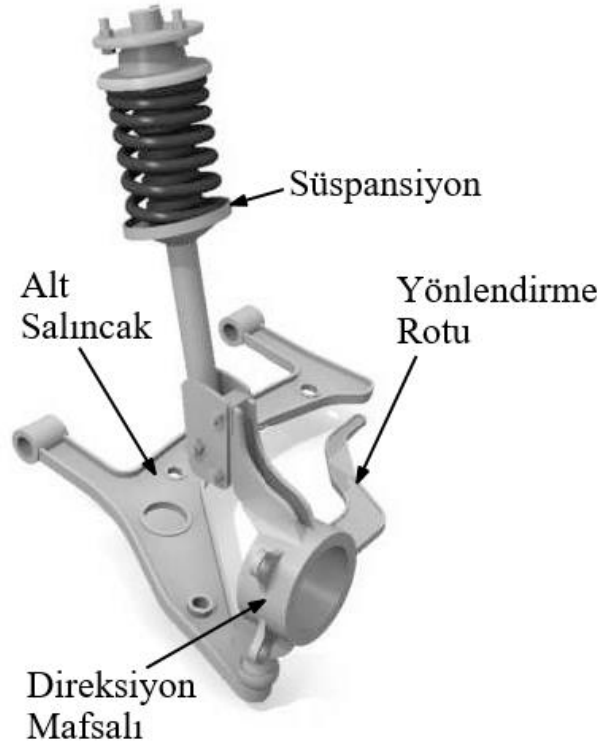
Çift salıncaklı süspansiyon sisteminde tekerlek direksiyon mafsalı aracılığıyla bir alt ve bir üst salıncak ile bağlanmıştır. Daha fazla parça kullanılmasından dolayı maliyeti yüksektir. Bu yüzden yüksek performanslı araçlarda daha çok görülmektedir. Yol tutuşu oldukça iyidir. Titreşimleri ve gürültüleri daha az iletir. Kamber açısı ayarlaması kolay ve aralığı fazladır.



Şekil 2.2. Çift Salıncaklı Süspansiyon Sistemi (B.L.J. Gysen, E.A. Lomonova, Johannes J.H.)

2.1.2. Macpherson Süspansiyon Sistemleri

Macpherson süspansiyon sistemleri ortalama bir araç için yeterli sürüş konforu ve performansı sunmaktadır. Çift salıncaklı süspansiyona göre daha az parçası vardır. Küçük ve orta büyüklükteki araçlarda çok fazla kullanılmaktadır. Amortisör ile alt salıncak arasında bulunan aks, tekerleklere hareket verebilmektedir. Yoldan gelen dik eksenli kuvvetleri amortisör ile karşılanmaktadır.



Şekil 2.3. Macpherson Süspansiyon Sistemi(Gysen B.L.J., Lomonova E.A., Johannes J.H.)

Macpherson süspansiyon sisteminde mafsallama bölgeleri geniş bir bölgede tutulabilmektedir. Yatak elemanlarının yumuşak kullanılabilir. Bu dayanma noktalarında yükü azaltmaktadır ve konforu arttırmaktadır. Macpherson süspansiyon sisteminde pozitif kamber açısı ve negatif kamber açısı vermek mümkündür.

2.2. Direksiyon Mafsalına Bağlı Bileşenler

Bu çalışmada günümüzde en çok kullanılan Macpherson süspansiyon sistemine ait bir direksiyon mafsalı incelenecektir. Bu tip direksiyon mafsalına süspansiyon, alt salıncak, direksiyon rotu ve fren kaliperi bağlanmaktadır.

2.2.1. Süspansiyon

Araç hareket halindeyken yolda belirli zorluklar çıkmaktadır. Küçük büyük çukurlardan ve tümseklerden geçerken aracın ağırlığından ve hızından dolayı bu geçişler arabada

belirli parçalara zarar verebilir ve güvenliği tehdit eder. Süspansiyon bu çukurlardan geçerken titreşimi absorbe eder ve düz bir yolda gidiyormuş hissi vermesini sağlar. Süspansiyon direksiyon mafsalına dik olarak montaj edilir. Tekerlekten gelen yol bozukluklarını ve diğer yükleri direksiyon mafsalı vasıtasıyla süspansiyona iletilerek absorbe edilir.

2.2.2. Alt Salıncak

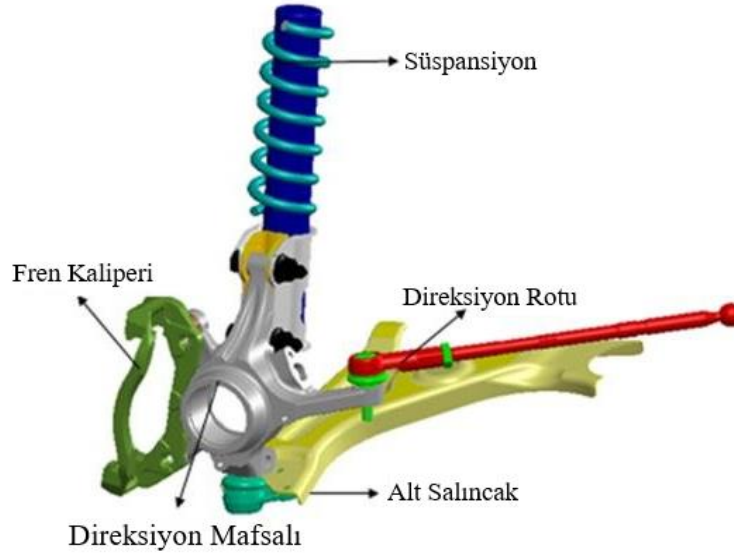
Ön tekerlerin rijit bir şekilde durması araç güvenliği için oldukça önemlidir. Alt salıncak bir noktasından direksiyon mafsalına sabitlenir, bir tarafından ise arabanın şasesine sabitlenerek tekerleğin rijitliğini sağlamaktadır. Aynı zamanda ön Süspansiyon sistemindeki parçalara gelebilecek darbelere karşı koruma sağlamaktadır.

2.2.3. Fren Kaliperi

Aracın hız yavaşlatılmak veya durdurulmak istenildiğinde fren pedalına basılır. Fren Pedalına basılmasıyla, hidrolik yağı hortum yardımlarıyla fren kaliperine gönderilir. Kaliperin içerisinde bulunan pistonun içerisine ulaşan hidrolik yağı pistondan aldığı bası kuvveti ile diske baskı yaparak frenleme işlemini gerçekleştirir. Fren kaliperleri direksiyon mafsalına bağlıdır. Frenleme durumlarında diske yapılan baskı direksiyon mafsalına iletilir.

2.2.4. Direksiyon Rotu

Yolda sürücünün karşısına çıkan engellerden dolayı direksiyon yardımıyla aracı sağ ve sola hareket ettirmek gerekmektedir. Aracın bu sağa ve sola hareketini direksiyonun döndürülmesi ile tekerleklere aktarılmasını sağlayan mile direksiyon rotu denir. Bu rot direksiyon mafsalına sabitlenmektedir. Direksiyondan yapılan hareket tekerlere direksiyon mafsalına bağlanan direksiyon rotu tarafından aktarılmaktadır.



Şekil 2.4 Direksiyon mafsalına bağlanan parçalar

2.3. Malzeme Seçimi

Otomotiv endüstrisinde hafiflik ve enerji tüketimi önemli bir kriter olmuştur. Hafiflik ve enerji tüketimini azaltmak isteyen üretici firmalar araba parçalarını hafifliği sağlayan yoğunluğu mevcut malzemedен daha az olan yeni malzemeler kullanmak istemektedir. Daha hafif otomobil bileşenleri isteyen üreticiler çelik ve dökme demirin kullanımını azaltmaya başladılar. Farklı malzeme kullanımı hafifliği ve dayanımı artırırken maliyetlerin de armasına neden oldu. Üretim maliyetlerinin de düşük olmasını isteyen üretici firmalar mevcut parçalara tasarımsal değişiklikler yaparak maliyetleri düşürmeye çalışmaktadırlar.

Direksiyon mafsalının imalatında her üretici firma kendisi için en optimum malzemeye seçmektedir. Bazı üreticiler daha fazla hafifliği önemserken bazı üretici firmalar hafifliğin yanında olabildiğince maliyetini de düşük tutmak istemektedir. Bu yüzden imalatında dövme çelik, alüminyum alaşımları, dökme demir ve dökme alüminyum kullanılmaktadır.

2.3.1. Dövmeye Çelikleri

Dövmeye çelikleri, çekiç, pres veya dövmeye makinelerinde metalin sıcak olarak şekil vermesi ile gerçekleşir. Dövmeye sonrası ince tane yapısı oluşur. Bu malzemenin mukavemet ve süneklik artışı kazandırır. Dökümle kıyaslandığında daha mukavimdir. Dövmeye sonrası yüzey kalitesi döküm malzemenin yüzeyine göre daha düzgündür. Dövmeye kalıplarındaki ilk maliyet oldukça pahalı olması dezavantajdır. Farklı yapısı nedeniyle dövmeye ile üretilen en karmaşık yapıların başında gelmektedir. İmalatı için farklı ağırlıklarda ve şekillerde kalıplara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.2. Dökme Demirler

Döküm yöntemiyle üretilen parçalar diğer üretim yöntemleri ile kıyaslandığında karmaşık şekilli parçaları daha ucuza üretebilme imkanı sunmaktadır. Dökme demirler % 2.06 ile % 4.3 Karbon (C) içeren malzemelere denmektedir. Dökme demirler iç yapısına ve yük altında davranışlarına göre kendi içerisinde ayrılırlar.

Gri dökme demir içerisinde bulunan karbon elementinin oluştuğu demir karbon silisyum alaşımlarına denir. Gri dökme demiri elde etmek için ergimiş olan metal kalıba dökülür ve yavaşça soğumaya bırakılır. Dökme demirler arasında en çok tercih edilen gri dökme demirlerdir. Bunun nedeni ucuz olması, fazla sayıda kolay dökülebilmesi ve işlenmesinin kolay olmasıdır. İçerisinde yüksek C içeriğine sahip olmasının yanı sıra az miktarda kükürt mangan fosforun bulunduğu silikon içerir. Gri dökme demirlerde kırılmandır ve çekmeye karşı dayanımı düşüktür. Gri dökme demirler kırıldıklarında kırılan yüzeyleri gri renkli olmaktadır. İsmi buradan alır.

Mühendisler gri dökme demirin kolay döküm ve işleme özelliklerinin kalmasını fakat sünekliğinin artmasını istemişlerdir. Bunun için gri dökme demirin içerisine magnezyum elementi atarak bunu sağlamışlardır. Bu tür dökme demirlere sünek dökme demir veya küresel dökme demir denmektedir. Günümüzde Eriyik gri dökme demire MgFeSi alaşımı atılmasıyla sağlanır. Gri dökme demire göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir. (172 GPa) Son yıllarda kullanımı oldukça artmıştır. Bu çalışmada Küresel Grafitli Dökme Demir'e göre hazırlanmıştır.

Süspansiyon sistemi ve araç yönlendirme parçaları yol konforu ve aracın dengesini sağlayan en önemli elemanlardır. Hem süspansiyon sistemini hem de yönlendirme elemanlarının performansı doğrudan direksiyon mafsalına bağlı olarak değişebilir. Yönlendirme elemanlarından en kritik parça farklı yüklemeler altında çalışmasından dolayı direksiyon mafsalıdır. Günümüzde en çok küresel grafitli dökme demirden(KGDD) üretilmektedir. Tasarlanan direksiyon mafsallarında küresel grafitli dökme demirlerin beklenen yorulma ömrünü gösteremediği görülmüştür. Triantafyllidis (2009). Ayrıca korozyon direncinin düşük olması ve yüksek yoğunlukta olması dezavantaj olmuştur. Ortaya çıkan olumsuz durumlardan dolayı alternatif malzemelere yönelme olmuştur. Alüminyum alaşımları ve kompozit malzemeler denenmiştir.

Çizelge 2.1. Küresel Grafitli Dökme Demir Özellikleri (Anonim)

Özellik	Değer	Birim
Yoğunluk	6.64 *10 ³ -7.2 *10 ³	kg/m ³
Elastisite Modülü	172	GPa
Isıl Genleşme(20 °C)	11.6*10 ⁻⁶	°C ⁻¹
Özgül Isı Kapasitesi	506	J/(kg*K)
Isı İletim Katsayısı	32.3	W/(m*K)
Elektriksel Yalıtkanlık	6.0*10 ⁻⁷	Ohm*m
Kopma Mukavameti	496	MPa
Akma Mukavameti	345	MPa
Uzama	18	%
Kayma Mukavameti	372	MPa
Yorulma Dayanımı	290	MPa
Sertlik (Brinell)	130-217	HB
Korozyon Direnci		Düşük
Kaynaklanabilme		Düşük
İşlenebilme		İyi
Aşınma Dayanımı		Düşük
Darbe Direnci		Orta
Dökülebilirlik		İyi

Beyaz dökme demir aşınmaya karşı dayanımı oldukça yüksektir fakat kırılğan ve işlemeye uygun değildir. Gri dökme demirin soğutucu ortamda hızlı soğutulması ile veya karbon ve silisyum elementlerinin düşük tutulması ile elde edilir. Her iki yöntemde

de sementit ağırlıklı iç yapıya sahip olduğu için kırılındır. Beyaz dökme demirler kırıldığında kırılan yüzeyi beyaza yakın bir renk görünmektedir.

2.3.3. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyumun oldukça genç bir metal olmasına rağmen metal bazına dünyada en çok kullanılan 2. Elementtir. Alüminyum ve alaşımlarında en önemli özellik olarak ağırlık ve mukavemet oranlarının yüksek olması ve korozyona karşı direncinin yüksek olmasıdır. Alüminyumun ortalama yoğunluğu 2770 kg/m^3 iken çeliğin yoğunluğu 7750 kg/m^3 'tür. Saf alüminyumun çekme dayanımı 90 MPa 'dır. Bu değer diğer malzemeler ile alaşım yapılarak yükseltilebilir. Alüminyum ve alaşımlarında elastisite modülü 71.7 GPa 'dır. Çeliğin yaklaşık $1/3$ kadardır. Bir otomobilde dökme demir veya çelik kullanmak yerine alüminyum kullanılması yaklaşık %50 kadar ağırlık tasarrufu elde edilmesini sağlamaktadır.

Alüminyum kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Geçmişte otomobillerde kullanılma miktarına göre şu anda oldukça artmıştır. Otomobil firmaları kullanımını arttırmak için çalışmalarını bu yönde ilerletmektedirler.

Alüminyum kum döküm, kalıp döküm, sıcak ve soğuk işlem yada ekstrüzyonla üretilebilir. Alaşımları işlenebilir, preslenebilir, lehimlenebilir veya kaynatılabilir.

Yönlendirme mafsalı imalatında ağırlığı azaltmak amacı ile alüminyum silisyum döküm alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Yönlendirme mafsalı için alüminyum alaşımlarından A356 piyasada en çok kullanılmaktadır. A356 alüminyum alaşımı işlenebilirliği oldukça iyidir, elastik şekil değiştirmesi yüksektir, yük altında yüksek gerilme değerlerine dayanımı vardır, sünek malzeme özelliklerine sahiptir. Gerilme değeri yüksek olduğu için otomotiv ve uçak sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4. Yükleme Hesapları

2.4.1. Eksenel Yük

İki çeşit eksenel yük direksiyon mafsalına etki etmektedir. Bunlar çeki ve bası kuvvetleridir. Oluşan gerilmeler şu formüllerle ifade edilebilir(Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F).

$$\text{Çekme yükü } (P_C) = \text{Çekme gerilmesi} \div \text{Alan} \quad (2.1)$$

$$\text{Bası Yüğü } (P_B) = \text{Bası gerilmesi} \div \text{Alan} \quad (2.2)$$

2.2.2. Atalet Yüğü

Direksiyon mafsalına bağlanan hareketli parçaların oluşturduğu yüklemelerden meydana gelir. Oluşan gerilmeler aşağıdaki gibi ifade edilir(Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F).

$$\text{Atalet Kuvveti } (F_A) = w^2 R [\cos\theta + \frac{R}{L} \cos(2\theta)] \quad (2.3)$$

2.2.3. Eğilme Yüğü

$$\text{Eğilme Kuvveti } (F_E) = \frac{\rho A_t L \sin(\theta + \phi)}{2} \text{ N} \quad (2.4)$$

2.5. Gerilme Hesaplamaları

2.5.1. Eksenel Yüklemelerin Oluşturduğu Gerilmeler

Bir cisim tarafından sunulan birim alan başına direnç kuvveti deformasyona karşı gerilme olarak bilinir(Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F).

$$\text{Gerilme } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

2.5.2. Atalet Yüklemelerinin Oluşturduğu Gerilmeler

Bir taraftan çekme gerilmesi uygulanırken bir taraftan bası gerilmesiyle oluşan gerilmeler atalet kuvvetinden dolayı eğilme gerilmesi oluşturacaktır. (Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F)

$$M = \frac{x}{a} \left[1 - \frac{x^2}{L^2} \right] \quad (2.6)$$

Gerilme,

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (2.7)$$

$$M = \frac{I}{2.5 \times t} \quad (2.8)$$

$$I = 419 \times t^4 \quad (2.9)$$

2.6. Yönlendirme Mafsalına Gelen Yük Durumları

Direksiyon mafsalı üzerinde farklı bileşenler mevcuttur. Araç hareket halindeyken birçok farklı durumla karşı karşıya kalınabilir. Hareket halindeyken ani fren yapmak, yüksek ivmeyle hızlanmak, zor dönüşlerde manevra yapmak, çukur veya kasislerden geçmek bunlardan bazılarıdır. Süspansiyon, fren kaliperi, salıncak bu durumlarda direksiyon mafsalını zorlama altında çalıştırır.

Çizelge 2.2. Direksiyon Mafsalına Gelen Yüklemeler(Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F)

Yükleme Durumları	
Frenleme Anındaki Kuvvet	1.5mg
Amortisör Kuvveti	1.5mg
Direksiyon Uyguladığı Kuvvet	45-50N
X ekseninde Alt Salıncağın Kuvveti	3mg
Y ekseninde Alt Salıncağın Kuvveti	3mg
Z ekseninde Alt Salıncağın Kuvveti	1mg

Ağırlığı 1150 kg olan bir aracın direksiyon mafsına gelen yüklerin hesaplaması .Bir tekere gelen yük (m), arabanın Ağırlığı(M)

$$m = M/4 = 1150/4 = 287.5 \text{ kg} \quad (2.10)$$

Frenleme Anındaki Kuvvet=1,5mg

$$1.5 \times 287.5 \times 9.81 = 4230.56 \text{ Newton} \quad (2.11)$$

Amortisör Kuvveti=1.5mg

$$1.5 \times 287.5 \times 9.81 = 4230.56 \text{ Newton} \quad (2.12)$$

Alt salıncaktan Gelen kuvvet

$$X \text{ ekseni} = 3 \times 287.5 \times 9.81 = 8461.13 \quad (2.13)$$

Ve

$$Y \text{ ekseni} = 3 \times 287.5 \times 9.81 = 8461.13 \quad (2.14)$$

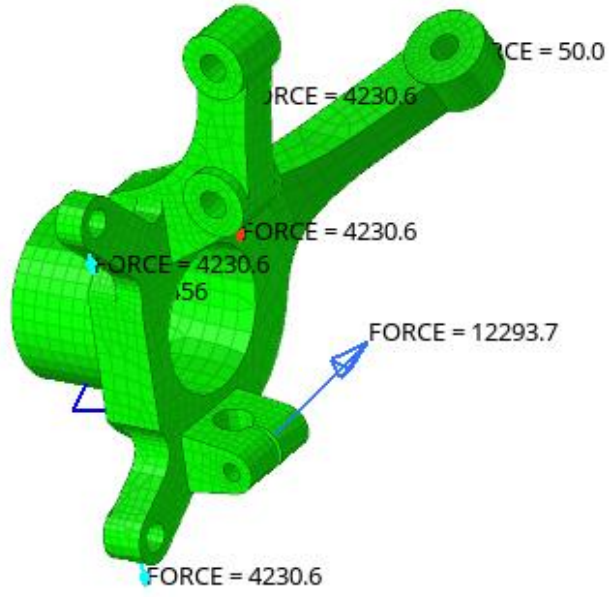
Ve

$$Z \text{ ekseni} = 3 \times 287.5 \times 9.81 = 2820.38 \quad (2.15)$$

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (2.16)$$

$$F = \sqrt{8461.13^2 + 8461.13^2 + 2820.38^2} = 12123.74 \quad (2.17)$$

Yukarıda elde edilen değerler parçaya yüklenmiştir.

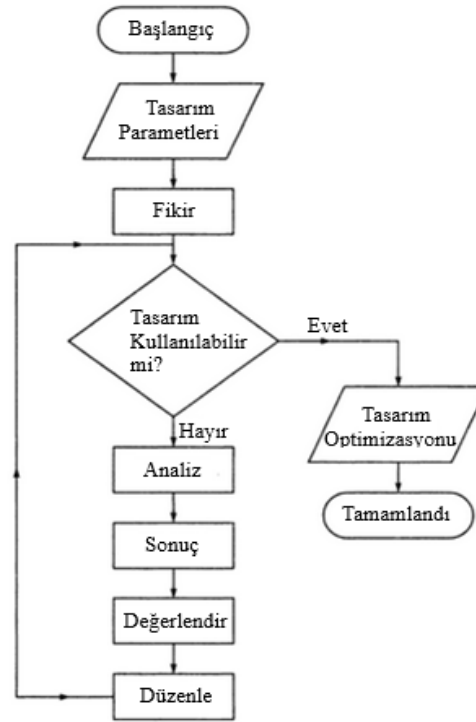


Şekil 2.5. Direksiyon mafsalına bağlanan parçalar

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Bilgisayar Destekli Tasarım

Günümüzde yapılan Araştırma Geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarında tasarımı yapılacak parçanın bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımları ile üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilir. Bu çizimin uygunluğunun analiz edilebilmesi için Bilgisayar Destekli Analiz (BDA) yazılımları kullanılır. Bu yazılımlar ile sonlu elemanlar analizi(SAE) yazılımları kullanılarak parçanın üzerindeki gerilmeler, gerinimler, deplasmanlar vb. hiçbir parça imal edilmeden görülebilir. Böylece nihai parçanın üretiminin yapılmadan önce yapılacak test sayılarında oldukça azalma sağlanır. Bu da işletmede maliyet, zaman, işgücü gibi birçok açıdan kazanım sağlar.



Şekil 3.1. Tasarım Aşamaları

Bilgisayar yardımı ile bir tasarımın yaratılmasına değiştirmesini sağlayan yazılımlardır. Tasarımcının aklındaki fikrin, düşüncenin bilgisayar ortamına 3 boyutlu veya 2 boyutlu halde aktarılmasını sağlanmasıdır. BDT yazılımları tasarımcının verimliliğini, tasarımın kalitesini, tasarımcının aklındaki fikrini diğer kişilere aktarılmasını ve üretim için bir

veritabanı oluşturmasını sağlar. Tasarımcı çok kez dzeltemeler yaparak en optimize tasarımı elde etmesini sağlar.

3.2. Sonlu Elemanlar Analizi

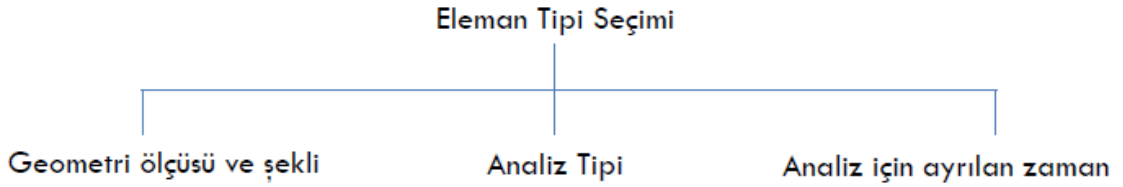
Basit ubuklar, kirişler vs. gibi mekanik bileşenler, kapalı form çözümler sunan mekaniğin temel yntemliyle analiz edilebilirler. Öte yandan gerçek bileşenler nadiren çok basittir ve tasarımcı kapalı form çözümlerin daha az etkin olduğu yaklaşık tahminlerini, deneyi veya sayısal metotlar kullanmak zorundadır. Mühendislik uygulamalarında bilgisayarların kullanıldığı sayısal yöntemler vardır. Bilgisayar destekli tasarım (BDT) yazılımlarının yoğun şekilde kullanıldığı tasarımda, BDT tasarımlarıyla uyumlu analiz programları *sonlu elemanlar analizi* (SEA)'dir.

Sonlu elemanlar yöntemi başlarda uzay mühendisliğinde kullanılıyordu. İlk olarak Rolls Royce, Boeing ve Bell Aerospace firmaları kullanmıştır. Turner ve arkadaşları SEY ile ilgili genel bilgiler ve ana fikrini oluşturan ilk makalesini 1956 yılında yayımlanmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile gün geçtikçe daha fazla anlamlı hale gelmiştir. Günümüzde otomotiv, makine, uçak, inşaat, atom, gibi çeşitli mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca tıpta, diş tedavisinde, estetik cerrahi dallarında da kullanılmaktadır. (Güler ve şen 2005)

SEA yapıyı küçük ama sonlu, iyi tanımlanmış elastik yapılara ayrıştırır. SEA yapılacak tasarım en doğru sonlu tane noktaya böler. Düğüm noktası, her bir sonlu noktaya verilen isimdir, eleman ise birkaç düğüm noktasının bir araya gelmesiyle oluşur. Matris işlemleri ile birlikte polinom fonksiyonları kullanarak, her bir elemanın elastik davranışı, elemanın malzemesi ve geometrik özelliklerine göre geliştirilebilir. Yükler, eleman içerisinde, eleman yüzeyinde ve düğüm noktalarında uygulanabilir. Düğümler serbestlik derecelerine sahiptirler. Serbestlik dereceleri bir düğümde bağımsız dönme ve öteleme hareketleridir. Bir düğüm en fazla üç öteleme ve üç dönme serbestlik derecesine sahiptir. Tüm tasarıma ait oluşturulacak bir hareket denklemi için her düğüm noktasının her serbestlik derecesindeki hareket denklemi bir araya getirilerek oluşturulur. Bu oluşan son denklemde parametreler matris halinde meydana

gelmektedir. Çözümü elde etmek için, basitse lineer cebir kullanılır değilse diğer sayısal yöntemler kullanılır.

Birçok özel sonlu elemanlar analiz uygulamaları için eleman geometrik şekilleri mevcuttur. SEA yazılımlarında genel amaçlı kullanılan eleman kütüphanesi oluşturulmuştur. Elemanlar, çizgi elemanları, yüzey elemanları, katı elemanları ve özel amaçlı elemanlar olarak sınıflandırılabilir. Fakat her modelde elemanların ve düğüm noktalarının serbestlik dereceleri aynı olmaz.



Şekil 3.2. Eleman Tipi Seçim Kriterleri (Yıldız A.R.)

SEY problem çözümü için düğüm noktalarında çözüm elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar elemanlar üzerinde interpol edilerek nihai sonuca ulaşılır. Eleman tipi seçimi yaparken geometrinin şekli, analiz tipi ve analiz için ayrılan süre önemlidir.

Çizgi Elemanları

Uzunluğu diğer boyutlarına göre oldukça büyük elemanlara çizgi elemanı denmektedir. Tek boyutludurlar. Kafes, kiriş, çerçeve sistemlerinde kullanılır gerilen ve sıkışan ucu pimli çubuklarda, kiriş, çerçeve şekillerini oluştururken kullanılır.

Çizelge 3.1. Çizgi Eleman Örnekleri (Shigley ve Mischeke 2001)

Eleman Tipi	Adı	Şekil	Düğüm Sayısı	Uygulamalar
Çizgi	Kafes		2	Gerilen yada sıkıştırılan ucu pimli çubuk
	Kiriş		2	Eğilme
	Çerçeve		2	Eksenel, burulma ve eğilme. Sabit yük destekli yada dengesiz.

Yüzey Elemanları

Kalınlığı çok küçük olan yapıların analizinde kullanılır. Eleman tipi olarak dörtgen(quad), üçgen(tria) şeklinde yapıları vardır. Genellikle dörtgen tipinde eleman tipleri seçmek daha doğru bir analiz sonucu elde edilmesini sağlamaktadır. Tria şeklindeki yüzey elemanları genellikle ara eleman olarak kullanılır.

Çizelge 3.2. Yüzey Eleman Örnekleri (Shigley ve Mischeke 2001)

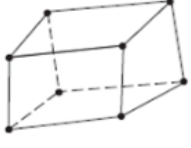
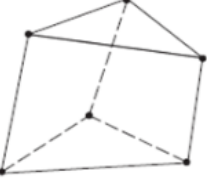

Eleman Tipi	Adı	Şekil	Düğüm Sayısı	Uygulamalar
Yüzey	4-düğümlü dörtgen		4	Düzlemsel gerilme veya zorlama, eksenel simetri, kesme paneli, ince düz plakanın eğilmesi
	8-düğümlü dörtgen		8	Düzlemsel gerilme veya zorlama, ince plaka veya yapının eğilmesi
	3-düğümlü üçgen		3	Düzlemsel gerilme veya zorlama, eksenel simetri, kesme paneli, ince düz plakanın eğilmesi. (Mümkünse dörtgen yapılar tercih edilir. Dörtgenlerin ötelenmesinde kullanılır.)
	6-düğümlü üçgen		6	Düzlemsel gerilme veya zorlama, eksenel simetri, ince plaka veya yapının eğilmesi. (Mümkünse dörtgen yapılar tercih edilir. Dörtgenlerin ötelenmesinde kullanılır.)

Katı Elemanları

En boy ve uzunlukları farklı olan karmaşık katı yapılardır yapılarıdır. Mesh modelleri tetragonal pentagonal ve hexagonal şeklinde olabilir. Analiz yaparken genellikle altı

yüzlü (hexagonal) yapıdaki elemanlar seçilmektedir. Diğer elemanlar bunların ötelemesinde düzenlenmesinde yardımcı olarak kullanılmalıdır.




Çizelge 3.3. Katı Eleman Örnekleri (Shigley ve Mischeke 2001)

Eleman Tipi	Adı	Şekil	Düğüm Sayısı	Uygulamalar
Katı	8-düğümlü altıyüzlü (hexagonal) (briket)		8	Dolu, kalın plaka
	6-düğümlü beşyüzlü (pentagonal) (kama)		6	Dolu, kalın plaka (Ötelemelerde kullanılır.)
	4-düğümlü beşyüzlü (tetrahedron) (üçgen piramit)		4	Dolu, kalın plaka (Ötelemelerde kullanılır.)

Özel Amaçlı Elemanlar

Eleman şekilleri belirli bir amacı ifade ediyorsa bu elemanlar kullanılır.

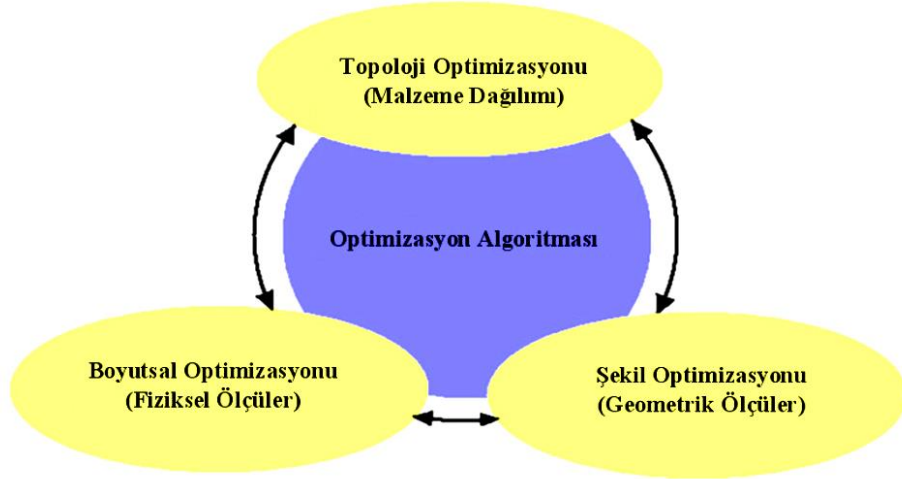
Çizelge 3.4. Özel Amaçlı Eleman Örnekleri (Shigley ve Mischeke 2001)

Eleman Tipi	Adı	Şekil	Düğüm Sayısı	Uygulamalar
Özel amaçlı	Boşluk		2	Belirlenmiş sıkışma boşluğu için serbest yer değiştirme
	Kanca		2	Belirlenmiş sıkışma boşluğu için serbest yer değiştirme
	Esnemez		Değişken	Düğümler arası sabit sınırlar

3.3. Yapısal Optimizasyon

Endüstriyel işletmeler birbirlerine karşı rekabet içinde kalabilmeleri için tasarım ve imalat teknolojilerinde yapısal düzenlemeler gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yapısal optimizasyon ideal tasarıma ulaşmak için uygulanan yöntemlerin ortak ismidir. İdeal tasarım, tasarlanacak parçanın kullanım amacına göre değişiklik gösterebilir. Yapısal optimizasyon iş parçasının ağırlığının hafifletilmesi, belirli boyutlarının sınırlandırılması veya uzun işletme ömrünün olması gibi farklı amaçlar doğrultusunda yapılır.

Mevcut bir tasarım veya konsept üzerinden boyut ve tasarım girdileri tanımlandıktan sonra tasarım geliştirilmesi sağlanır. Herhangi bir tasarım mevcut değilse basit bir malzeme bloğu ile de optimizasyon çalışmalarına başlanabilir.



Şekil 3.3. Optimizasyon Yöntemleri ile Optimum Tasarım Elde Etme (Lee ve ark. 2007)

Tasarım değişkenleri: Tasarımı belirleyen parametreler ve sınırları:

$$x = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (3.1)$$

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max} \quad (3.2)$$

Amaç: Minimize veya maksimize yapılmak istenen fonksiyon:

$$f(x) \quad (3.3)$$

Kısıt: Uyulması gereken sınırlamalar:

Eşitsizlik Kısıtı;

$$g(x) \leq 0 \quad (3.4)$$

Eşitlik Kısıtı;

$$h(x) = 0 \quad (3.5)$$

3.2.1. Topoloji Optimizasyonu

Bir tasarımda şekline ve boyutunun belirlenmesine izin verilerk yapılan optimizasyon yöntemine denmektedir. Topoloji optimizasyonu yapmak için bir hedef ve kısıtlamalar verilir. Bu hedef ve kısıtlamalar doğrultusunda parça üzerinde malzemenin en doğru şekilde dağılması sağlanır.

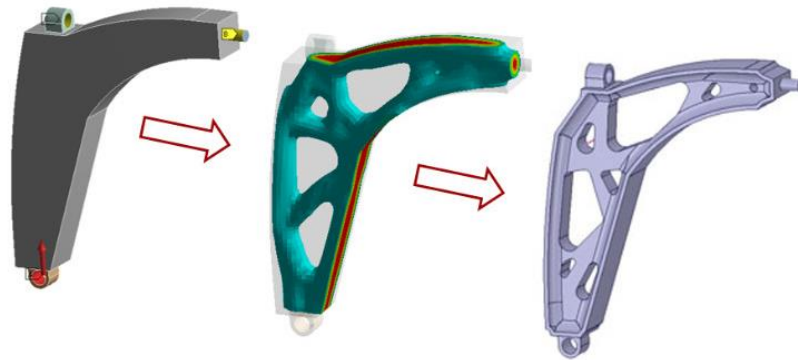
Belirli bir yükleme ve sınır koşullarında en uygun tasarımın işletme performansının en üst seviyeye çıkarmak için belirlenen sınır alt içerisinde tasarımın malzeme düzenini optimize eden matematiksel bir yöntemdir. Seçilen parametrelere göre tasarımın malzeme düzeni, hacmi, stresi vb. en ideal seviyeye getirilmesini amaçlar.

Optimize edilecek parçaya kısıt olarak maksimum gerilme, gerinim, yer değiştirme, doğal frekans veya boşaltılacak miktar tanımlanabilir. Yazılım bu optimizasyon parametrelerine uyarak istenilen hedef doğrultusunda malzeme dağılımını en uygun şekilde sağlar. Hedef parçanın hacminin, kütlelerinin veya yer değiştirmesinin azaltmak olabilir.

Her üretim yapan firma için imal edeceği ürün için en önemli problem en iyi tasarımı elde ederken maliyetini en aşağıda tutarak en fazla performans elde etmektir. Elde edilen tasarımın ekonomik olarak üretilebilir olması için öncelikli olarak düzgün bir şekle sahip olması, geleneksel imal yöntemlerine uygun olması gerekmektedir. (Yıldız ve ark. 2003).

Bir ürünün maliyetini ve performansı ürünün şekli doğrudan etkilemektedir. Şeklini oluşturan malzeme dağılımının doğru bir şekilde yapılması için son yıllarda bir çok çalışmalar yapılmıştır. İlk aşamada malzemenin yoğunluğu belirlenerek bir tasarım elde edilir. Tasarımı geometrisini oluştururken SEY kullanılarak bilgisayar destekli analiz sonucu elde edilen grafikteki gösterime göre elde edilir. İlk elde edilen kavramsal tasarımın uygun bir şekilde olması daha sonra yapılacak olan optimum tasarımın elde edilmesinde doğrudan etkilidir. İyi bir ilk tasarım hedeflere hızlı bir şekilde doğru tasarım elde edilmesini sağlar. (Yıldız ve ark , 2003).

Optimizasyon sonucunda çok farklı ve karmaşık yapılara neden olabilmektedir. Bu tür karmaşık yapılar çeşitli 3 boyutlu yazıcılar ile günümüzde üretilebilmektedir. Fakat maliyetli ve seri imalat problemleri yaşanmaktadır. Bu yüzden bu tür karmaşık yapıları geleneksel imalata uygun yöntemlerle üretilebilecek bir model haline getirmek gerebilmektedir.



Şekil 3.4. Topoloji Optimizasyon Örneği

İş parçasında malzeme dağılımının ve miktarının parçanın istenilen özelliklere sahip olmasında büyük önemi vardır. Malzeme dağılımını belirlemek üzere birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanlar şunlardır:

- Homojenleştirme yöntemi (Homogenization method)
- Malzeme dağılımı yöntemi (Material Distribution Method)
- Level set yöntemi (Level Set Method)
- Evrimsel algoritma (Evolutionary Algorithm)
- Malzeme bulutu yöntemi (Material Cloud Method (MCM))

Homojenleştirme Metodu

Kikuchi ve Bendsoe tarafından 1988 yılında homojenleştirme modeli geliştirilmiştir. Bu metoda göre tasarım alanındaki her bölgedeki malzeme miktarını tasarım değişkeni olarak kabul eder. Hangi alanın malzemeye sahip olup olmayacağına algoritma karar verir.

Homojenleştirme metoda göre bir mikro yapıda malzeme bulunmayan '1', izotropik olarak malzeme bulunan '0', ve ortotropik olarak malzeme bulunan '0 ile 1 arası' olmak üzere üç farklı gözenekli malzeme grubuna ayırır. Bir yapının topolojisini katı gözenekli ve boşluklu olarak ayırır.

Tasarım bölgesinde bulunan gözeneklerin aynı olmaması nedeni ile mikro yapıların elastik malzemelerin özellikleriyle aynı olduğu kabul edilir. Bu teoriye göre yapı, periyodik mikro yapıların birleşimi olarak kabul edilir. Sınır süreci eş değer malzeme özellikleri ile mikro boyutta azaltma ile belirlenir. Bununla birlikte malzeme özelliklerinin tanımlanması malzeme dağılımına etkilemektedir. mikro yapısal deliklerin konumlandırılması ve büyüklüğü malzemenin elastik özellikleri ile tanımlanabilir. Optimizasyon yapılırken mikro yapılar katı bölgelerden boşluklu bölgeler arasında yer değiştirir. Malzeme miktarı belirli ise mikro yapılar yapının bir yerinden diğer yerine hareket edebilir Böylece topolojik olarak en uygun tasarım yapısal bölgede optimum malzeme dağılımı ile bulunmuş olur.

Homojenleştirme teorisi ile topoloji optimizasyonu yapılacak parçaya amaç fonksiyonu belirlenirken rijitliği maksimum yaparken kısıtlayıcı fonksiyon olarak eşdeğer kompliyansı minimum yapması seçilebilir ve ya doğal frekansı maksimum yaparken kısıtlayıcı fonksiyonu malzeme azaltması olarak seçilebilir.

Malzeme Dağılımı Metodu(Yoğunluk Metodu)

Yang ve Chuang tarafından 1993 yılında yoğunluk metodu ortaya koyulmuştur. Bu metoda göre optimizasyon yapılacak yapının üzerinde sonlu elemanlar ile tasarım alanı oluşturulur. Bu tasarım alanında malzeme yoğunluklarının fiziksel özellikleri değişken belirtilir. Bu metoda malzeme dağılımı elastisite modülü bağlantısı aşağıdaki bağlantıya göre tanımlanır.

$$\rho^n = \left(\frac{\rho_i}{\rho_0} \right) = \frac{E_i}{E_0} \quad (3.4)$$

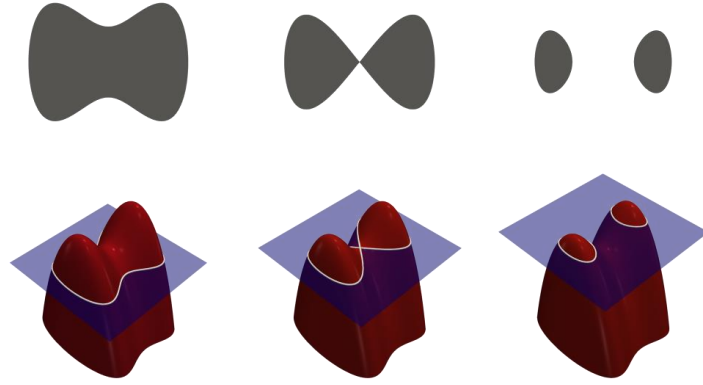
ρ değeri sıfır ile bir arasında bir değere sahiptir. Eğer elemanın boşaltılacağı ifade edilecekse yoğunluğu sıfır olarak ifade edilir, tasarım bölgesinde kalması için ise bir olarak ifade edilir. E_i ara malzeme yoğunluğu olarak E_0 ise gerçek malzeme yoğunluğu olarak ifade edilir. n malzeme yoğunlu belirlemek için üst olarak kullanılır. n 'nin birden büyük olması ara yoğunluk olarak ifade edilir. Bu yoğunluğu sıfır veya bir olması için zorlanır. Topoloji tasarımı için amaç fonksiyonu olarak rijitliğin maksimum olmasına ve eşdeğer olan kompliyansını en aza indirmektir.

Homojenleştirme metodunda, tüm elemanların elastisite modülü için fazladan işlem yapılması gerekmekte ve tüm elemanlar için çoklu değişkenlerin kullanımı gerekmektedir. Bu yüzden problem oldukça karmaşık hale gelmektedir ve çözüm için yapılması gereken işlemler artmaktadır ve çözümü zorlaştırmaktadır. Yoğunluk metodunda tüm sonlu elemanları ayrı ayrı tasarım değişkeni olarak kabul etmektedir. Bu yüzden homojenleştirme metodundan ayrılmaktadır. Mlejnek and Schirrmacher (1993)

enerji yaklaşımı yaparak Elastisite Modülünün kullanımının gereksinimini gidermiştir ve yapılan işlemleri basitleştirmiştir.

Level Set Yöntemi

Elastik yapılarda topoloji optimizasyonu yapmak için günümüzde oldukça sık kullanılmaktadır. Level-Set yöntemi ile karmaşık olan topolojik değişimleri ve geometrinin karakterini kolaylık ile hesaplanmasını sağlar. Elastik yapıların sınır tasarımları için ilk kez Sethian ve Wiegmann tarafından ilk kez geliştirilmişlerdir. Level set yöntemi düzgün olmayan geometriye sahip tasarımlarda sınırlarını tanımlamada kullanılmışlardır.



Şekil 3.5. Level Set Metodu

Evrimsel Algoritma Yöntemi

Evrimsel Algoritma Yöntemi 1993 yılında geliştirilmiş ve “random-directed” veya “population based” optimizasyon olarak adlandırılır. İlk olarak Y.M Xie ve G.P. Steven tarafından ortaya atılmıştır. Diğer adlandırılması popülasyon tasarım alanıdır.. Popülasyon en uygun sonuca varana kadar bir seçim ile döngüyle geliştirilir. Bu yöntemle göre maksimum rijitlik sağlayan ve minimum ağırlık oluşturmasını sağlamak için etkisiz olduğu düşünülen elemanlar yapıdan çıkartılır.

Malzeme Bulutu Yöntemi:

Malzeme bulutunun dağılımı ile en uygun yapı elde edilmesi hedeflenir. Malzeme yoğunluğu sonlu eleman parçalarının oluşturduğu malzeme bulutudur. Bu yöntemde bilgisayar aracılığı ile oluşturulan ağdan malzemenin serbest bırakılması ile meydana gelir. Böylece malzemedeki parçalar diğerlerinden rahatlıkla ayrılabilir.

3.2.2. Boyut Optimizasyonu

Önceden belirli bir yapı üzerinde, sac kalınlığı, kesit alanı, uzunluğu gibi değerlerinin en idealini bulmak için yapılan optimizasyon yöntemidir. Yapı içerisinde bulunan geometride herhangi bir değişiklik yapılmasına izin verilmez yalnızca önceden belirlenmiş tasarımın boyutsal olarak en iyi geometriyi sağlamasına yardımcı olur.

3.2.3. Şekil Optimizasyonu

Şekil optimizasyonu ile mevcut tasarımdaki sınırların ve deliklerin geometrisini değiştirmesi ile elde edilir. Boyut optimizasyonu ile benzerlik göstermektedir. Boyut optimizasyonundan farklı olarak eğri bölgelerde ve yüzeylerde tanımlanabilmektedir. Boyut optimizasyonuna benzer olarak önceden belirlenen bölgeleri esas alarak optimizasyon yapılmaktadır.

Yapılan tasarımda malzemenin en uygun şekilde kullanılması için çok büyük öneme sahiptir. Endüstriyel olarak otomotiv ve uzay sanayisinde şekil optimizasyonu ve boyut optimizasyonu çok sık kullanılmaktadır. Bunun haricinde akustik cihazların tasarımında ve elektromanyetik ve elektrokimyasal ürünlerin tasarımında kullanılmaktadır (Bendose ve Sigmund 2003).

3.2.4. Topografi Optimizasyonu

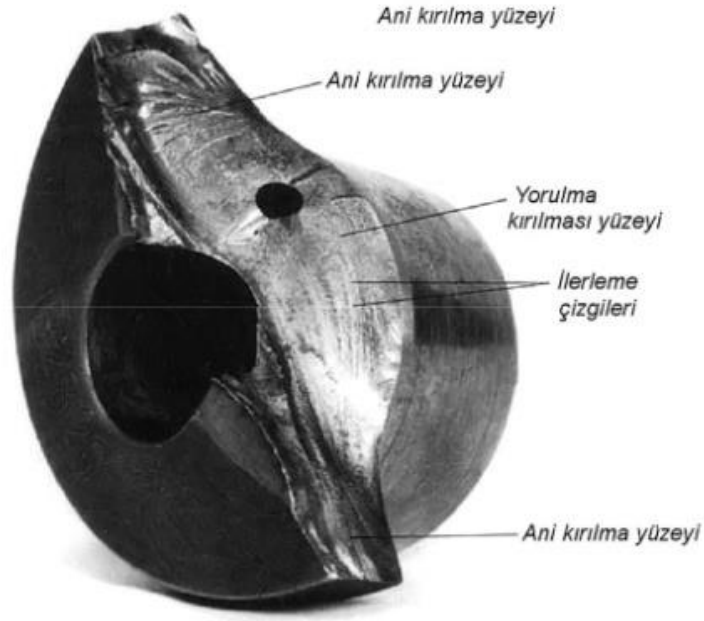
Bu optimizasyon yöntemi genellikle sac parçalar için optimizasyon uygulamalarında görülmektedir. Sac parça tasarımının rijitliğini arttırabilmek için yapının optimizasyonunda kullanılır. Yapı üzerinde kaburga şekillerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu kaburga yapı malzemenin rijitliğini arttırır ve aynı zamanda titreşimden oluşan sesin azalmasını da sağlamaktadır. Tasarım bölgesinde yapılan iterasyonlar ile çok sayıda değişkene bölerek optimizasyon yapılmasına olanak sağlar. Topografi optimizasyon ile tasarım için en uygun kaburga yapısının oluşturulması sağlanır.

3.4. Yorulma Analizi

Malzeme periyodik yüklemeler sonucunda akma dayanımının altında zorlamalarda bulunmasına rağmen deformasyona uğrayabilir. Bu oluşan deformasyonun malzemenin sünek veya gevrek olmasıyla ilgisi de bulunmamaktadır. Bu yüzden hiç beklenmedik anda malzeme kırılabilir ve güvenlik açısından tehlikeye yol açabilir.

Malzeme periyodik hareketler sonucunda oluşan kılcal çatlaklar zamanla genişler. Genişleyen bu çatlak bölgesine yorulma bölgesi denir ve bu bölge kuvvetleri taşımaz. Kalan bölge de zamanla yük taşıyamaz duruma gelir ve ani kırılmalar meydana gelebilir. Plastik şekil değiştirmek, boyun vermek gibi herhangi bir belirti vermeden malzeme kırılır. Bu yüzden periyodik yük altında çalışan parçalara yorulma analizi yapmak gerekmektedir.

Yorulma dayanımlarını ölçen test cihazları bulunmaktadır. Bu test cihazlarında malzemeye normalde karşılaacağına benzer periyotlarda çekme ve basma gerilmeleri uygulanmaktadır. Fakat her durumda test yapmak mümkün değildir ve bu testler süre olarak oldukça zaman alabilmektedir. Öncelikle SEA yöntemini kullanarak analizini yapmak daha doğru olacaktır.

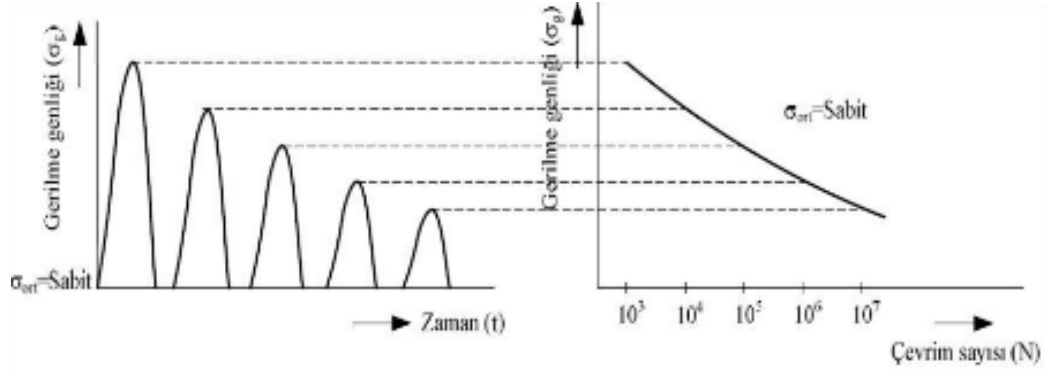


Şekil 3. 6 Yorulma Sonucu Hasara Uğrayan Malzeme

3.4.1. Gerilme – Ömür(S-N) Yöntemi İle Yorulma Dayanımının Saptanması

Fransa'da Versailles şehrinde 1842 yılında meydana gelen tren kazasından çıkarılan sonuçla August Wöhler geliştirilmiştir. Bu çarpışma nedeni olarak tren lokomotifinin aksı tekrarlı olarak düşük miktarda gerilme yükleri altında yorulma nedeni ile kırılmıştır. Wöhler trenin demiryolu üzerinde hareket ederken aks üzerine uygulanan tekrarlı yükleri aynı şekilde yüklemesini sağlayan bir cihaz geliştirdi. Bu cihaz ile hasar oluşana kadar çevrim sayısını gösteren bir grafik elde etti. Bu grafikte elde edilen eğrilere "Wöhler Eğrileri" olarak adlandırılmaktadır. Wöhler Eğrileri çevrimde oluşan gerilmelerin miktarının hasar oluşumuna neden olacak çevrim sayısı ile olan ilişkisini göstermektedir.

Yapı periyodik yüklemeye tabi tutulduğunda belirli bir yükleme sonunda yorulmadan dolayı malzemede hasar görülür. Buna bağlı olarak bir gerilme ömür grafiği oluşturulur. Az miktardaki yüklemelerde



Şekil 3.7. Periyodik Yüklemelerin Yorulma Sonucu Hasar Etkisi

Yorulma dayanımını malzemeye bağlı, teknoloji ve deney tekniği ile ilgili çok sayıda faktör etkilediğinden, bu değerin normal Wöhler yöntemi ile emniyetli olarak tespit edilmesi güçtür. Süreli yorulma ve yorulma hesaplayabilmesi amacı ile bazı analitik ifadeler önerilmiştir.

Soderberg;

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{yt}} = 1; \quad K_f \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{yt}} = \frac{1}{N}$$

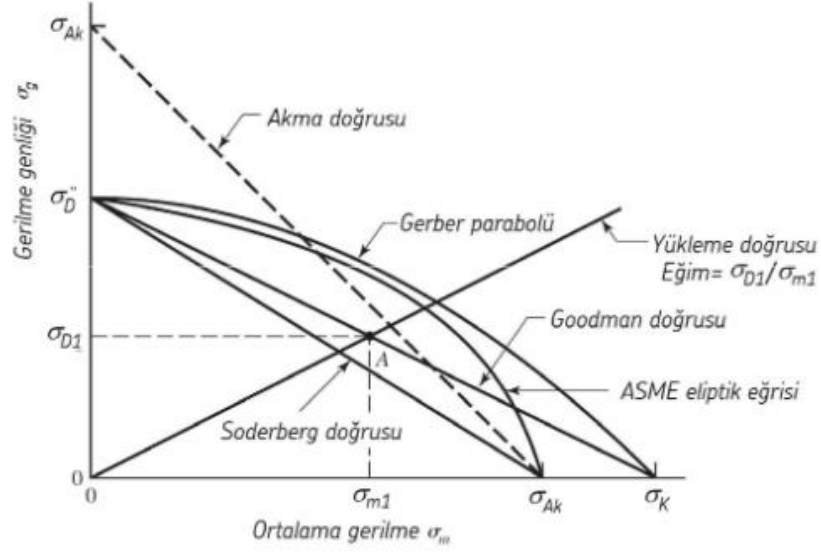
Goodman:

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1; \quad K_f \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N}$$

Gerber:

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1; \quad K_f \frac{\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = \frac{1}{N}$$

Buradan;



Şekil 3.8. Wöhler Yöntemi İçin Uygulanan Teoriler

Genellikle, tecrübe ile elde edilen sonuçlar çoğunlukla Gerber ve Goodman teorileri ile uyumaktadır. Sünek olan malzemeler için genellikle Gerber Teorisi doğru sonuçlar verirken, Goodman teorisine göre az sünek malzemeler ve yüksek dayanımlı malzeme doğru sonuçlar vermektedir. (Bannantine ve ark. 1990)

3.4.2. Gerinme – Ömür(ϵ -N) Yöntemi İle Yorulma Dayanımının Saptanması

Yorulma hasarları daima çentikli bölgeden, gerilme yoğunluğunun biriktiği bölgeden, veya yarık olan bölgede çatlak oluşması ile başlar. Yorulma hasarının başladığı çatlak plastik deformasyon ile zamanla ilerler ve sınırlarını genişletir. Yorulma hasarının oluşması için bu deformasyonların kendisini döngüsel olarak sürekli tekrar ediyor olması gerekmektedir. Gerinim-ömür metodunda, kendini tekrar eden döngüsel formasyonların malzeme üzerindeki etkisi incelenmektedir.

Gerinim-ömür metodu lokal gerinme değeri ile çatlak başlangıcı arasında ilişki kurar. Bu metot malzemelerin sadece elastik gerinime uğradığı yüklerde değil aynı zamanda malzemenin plastik gerinime uğradığı tekrarlı yükleme durumlarında da ömür hesabı yapma için kullanılır. Plastik gerinime uğrayan tekrarlı yükleme durumlarında malzemede ömür hesabı yapabilmek için bu gerinimi elastik gerinim ve plastik gerinim

olarak ikiye ayırmak ve ayrı ayrı incelemek gerekir. Kalıcı şekil değişimlerinin olduğu yorulma hasarlarında gerinim – ömür metodu daha doğru sonuç vermektedir.

Gerinim-ömür metodu ile yüksek çevrim nedeniyle oluşan yorulma ve düşük çevrim nedeni ile oluşan yorulma bölgelerini ayırarak hasarın oluşacağı çentik bölgesinde ortalama gerilme etkisini ve plastik şekil değişimini yorulma sonucu oluşacak hasarın hesaplanmasında dikkate alır.(Yung-Li ve ark.)

3.5. Kullanılan Bilgisayar Yazılımları

Bu çalışma hazırlanırken tasarımların yeniden düzenlenmesi için BDT programlarından Solidworks kullanılmıştır. SEA çalışmaları ve yapısal optimizasyon için Altair Engineering Firmasının Hyperworks programının modüllerinden yararlanılmıştır.

3.5.1. SolidWorks

Basit bir arayüze sahip olan SolidWorks programı katı modelleme yapabilmektedir. Parça üretimi için tasarım yapma, mevcut tasarımların geliştirme ve iyileştirmesini yapabilmektedir. SolidWorks programı analiz programları ile entegre olarak çalışabilmesi büyük kolaylık sağlamaktadır.

3.5.2. Hyperworks

Amerikan kökenli Altair Engineering tarafından geliştirilen bilgisayar destekli analiz için hazırlık ve sonuç verebilen işlemci yazılımıdır. Piyasada bulunan popüler SAE ve BDT yazılımlar ile ortak çalışabilmektedir. Hyperworks yazılımı hazırlık, analiz çeşitleri, sonuç için ayrı modülleri mevcuttur. Bu çalışmada elemanlara ayırmak için hypermesh, statik analiz ve topoloji optimizasyonu için Optistruct, boyut optimizasyonu için Hyperstudy, sonuçları görüntülemek için Hyperview modülleri kullanılmıştır.

Hypermesh

Sonlu elemanlar analizi için modelleme yapması için hazırlanan yazılımdır. HyperMesh yazılımı ile yapılacak her türlü analiz ve optimizasyon işlemleri için geometrinin

hazırlanması, meshleme yapılması, temasların belirlenmesi, sınır koşullarının ayarlanması vb. işlemler ile çözüm için modellerin hazırlanmasını sağlamaktadır. Hypermesh modülü otomatik, yarı-otomatik elemanlara bölmeyi sağlar ve manuel olarak bu elemanları düzenlemeyi sağlamaktadır. 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellerde quads, trias, R-trias veya quads ve trias karışık olarak meshleme sağlayabilmektedir.

Hızlı ve kaliteli mesh oluşturulabilmekte ve yaygın olarak kullanılan BDT programlarından oluşturulan dosyaları doğrudan açabilmektedir. Piyasada kullanılan SEA çözücü yazılımlarını desteklemektedir.

Güçlü otomatik mesh oluşturabilen yapısı sayesinde 2 boyutlu ve 3 boyutlu modelleri çeşitli eleman modelleri ile meshleyebilmektedir.

Optistruct

Optistruct yazılımı sonlu eleman analizleri için çözücüdür. Optistruct ile lineer ve nonlinear analizler, titreşim analizi, statik ve dinamik analizler, akustik analizi, yorulma analizi için çözüm yapabilmektedir. Yapısal optimizasyonlar için de oldukça kaliteli çözümler elde edilebilmektedir. Sonlu elemanlar metoduna bağlı kalarak yapılan ve gelişmiş analiz ve optimizasyon algoritması sayesinde yeni hafif ve yapısal olarak verimli tasarımlar yapılmasına yardımcı olan çözücüdür.

Hyperstudy

Kullanıcıların deney tasarımı, cevap yüzeyi metodu ve optimizasyon gibi yöntemleri kullanarak tasarımlarını anlamalarını ve geliştirmelerini sağlayan bir yazılımdır. Bu çalışmaların sonuçları, yazılımın ileri seviyedeki sonuç görüntüleme ve veri madenciliği yetenekleri kullanılarak kolayca analiz edilebilir ve yorumlanabilir.

Hyperview

Analizlerin ve optimizasyonların yapılmasından sonra bunların doğru olarak görselleştirilmesi oldukça önemlidir. Hyperview yazılımı yapılan analiz ve simülasyon sonuçlarının ayrıntılarını incelenmesini ve bunların raporlanmasını sağlayan bir yazılımdır. Hyperview ile hazırlanan animasyonlar ile parçanın deformasyonu hızlandırılmış şekilde incelenebilir. Karşılaştırılmak istenen iki sonuç aynı sayfada..farklı pencerelerde gösterilerek irdelenmesi sağlanabilmektedir.

HyperView içerisinde gerçekleştirdiğiniz sonuç inceleme raporlarını resim, AVI, H3D , HTML veya PowerPoint formatlarında dışarıya aktarılabilir.

Desteklenen sonuç tiplerinden bazıları ; H3D, odb, rst, d3plot, op2, t16, xdb, dsy, encas, log, gra, udm,


4. BULGULAR

Bu çalışmadaki amaç mevcut tasarımın statik gerilmeleri ve yer değiştirmelerine inceleyerek bir emniyet katsayısı elde etmektir. Optimizasyon sonucunda yeni yapılacak tasarımlarda yeni emniyet katsayısı elde edilecek ve bu katsayılar karşılaştırılacaktır.

Mevcut tasarımda ağırlık azaltmak amaçlandığı için yapısal optimizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak topoloji optimizasyonu uygulanmıştır. Topoloji optimizasyonla yeniden tasarlanan parçanın daha optimum değerlere ulaşabilmek için şekil optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Direksiyon mafsalı sürekli yükler altında çalıştığı için yorulmadan dolayı da hasar görmesini istememekteyiz. Bu yüzden tasarım her değişiminde yorulma analizi yapılarak değişen yapının yorulmaya etkisini incelenmiştir.

Gerçekleştirilen analizlerde ve optimizasyonlarda direksiyon mafsalı için en çok kullanılan malzeme olan küresel grafitli dökme demir malzeme seçilmiştir. Tüm çalışmalarda KGDD özellikleri girilerek gerçekleştirilmiştir.

Name	Value
Solver Keyword	MAT1
Name	KGDD
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	<input checked="" type="checkbox"/>
Card Image	MAT1
User Comments	Do Not Export
E	172000.0
G	372000.0
NU	0.27
RHO	7.2e-09
-	-

Şekil 4.1. Malzeme Özelliklerinin Programa Aktarılması

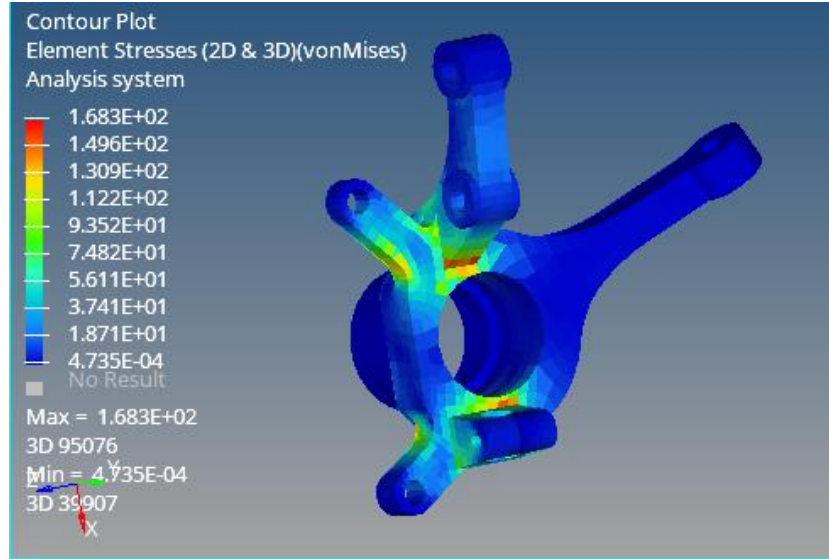
4.1. Mevcut Tasarımda Statik Analiz

Mevcut direksiyon mafsalında gerilme ve yer değiştirme değerlerini öğrenmemiz gerekmektedir. Böylece mevcut tasarımın emniyet katsayısı değerleri öğrenilecek ve modele yapılan tasarım iyileştirmeleri sonucunda ilk haliyle kıyaslanabilecektir.

Mevcut tasarım meshleme işlemi yapıldı. Meshleme 95272 eleman elde edildi. KGDD özellikleri ve gerekli yüklemeler sonucunda analiz koşturuldu.

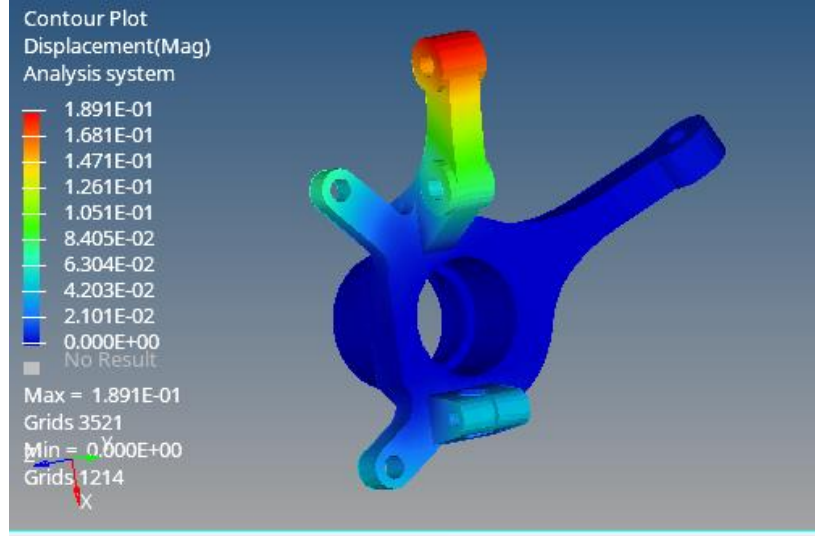
Analiz sonucunda gerilmeler maksimum bölgede 168.3 MPa gerilim ile zorlandığı bulunmuştur. Bu durumda akma dayanımı KGDD için 345 MPa'dır. Bu durumda akma emniyet katsayısını 2.05 bulmaktayız;

$$\frac{345}{168.3} = 2.05 \geq 1 \quad (4.1)$$



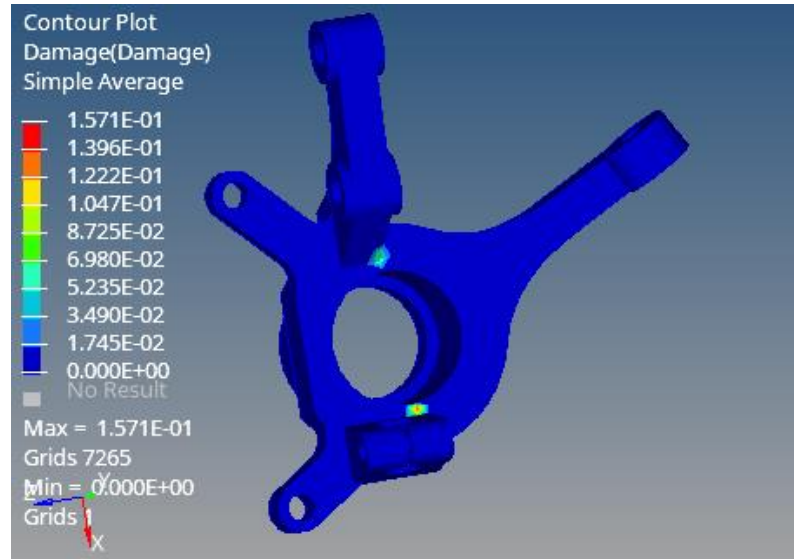
Şekil 4.2 Mevcut Tasarımda Gerilme Değerleri

Mevcut tasarımda statik analiz sonucunda yer değiştirme değerleri 0.189 mm çıkmıştır. Bu değer yüklenme koşullarında malzeme en fazla 0.189 mm hareket edeceğini göstermektedir. Malzeme akma dayanımının altında olduğu için bu yer değiştirme elastik bölgede olacaktır.



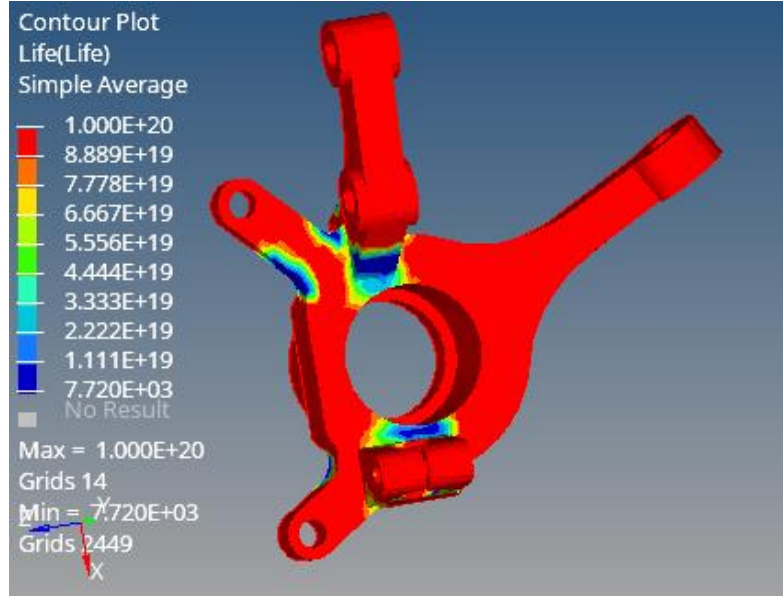
Şekil 4.3. Mevcut Parçanın Yer Değiştirme Değerleri

Direksiyon mafsalı değişken yükler altında sürekli gerilmelere maruz kalmaktadır. Bu gerilmeler akma dayanımı altında olsa bile sürekli olduğu için malzeme yorulma sonucu hasara uğrayabilmektedir. Bu yüzden mevcut tasarımın sürekli yüklemeye altında nerelerden hasar alabileceğini incelenmiştir. Sonuçlardan amortisörün ve alt salıncağın bağlandığı noktalardan çatlak başlangıcı olabileceğini görmekteyiz.



Şekil 4.4. Mevcut Parçanın Yorulma Analizi Sonucu Olası Hasar Bölgeleri

Yapılan yorulma analizi sonucunda mevcut direksiyon mafsalinın ömrü, üzerine bağlı olan bileşenlerin uygulandığı kuvvetlerin devamında birleşim köşelerinde diğer noktalara göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.5. Mevcut Parçanın Yorulma Analizi Sonucu Ömür Analizi

Yapılan bu çalışmada amaç mevcut tasarımdaki güvenlik kriterlerini göz önünde bulundurarak mevcut tasarımdan daha hafif bir tasarım elde etmektir. Mevcut tasarımın ağırlığının miktarı öğrenilerek diğer optimizasyon uygulamaları sonucunda değişim görülebilecektir. Malzemesi KGDD olan mevcut tasarımdaki direksiyon mafsalinın ağırlığı 2.641 kg olarak bulunmaktadır.

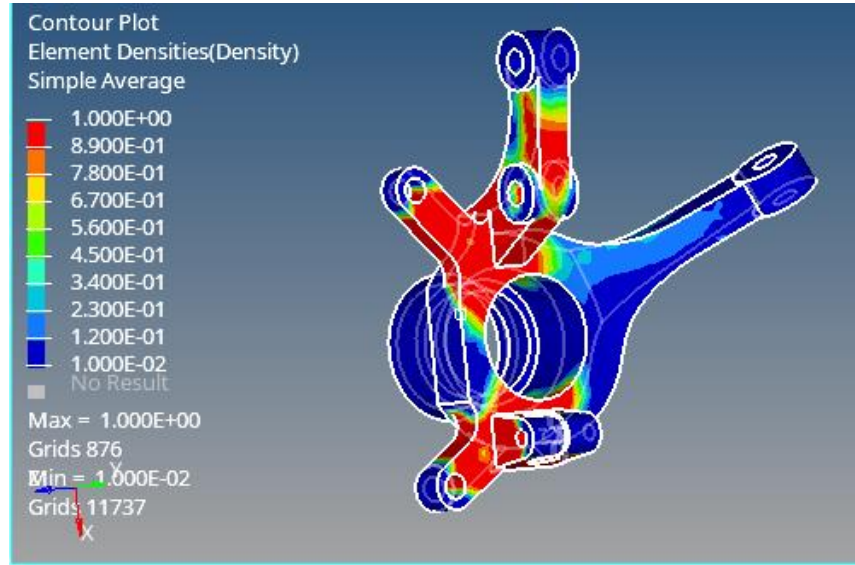
area =	0.000	calculate
volume =	366755.030	
total mass =	2.641e-03	

Şekil 4.6 Mevcut Tasarımda Kütle

4.2. Topoloji Optimizasyon

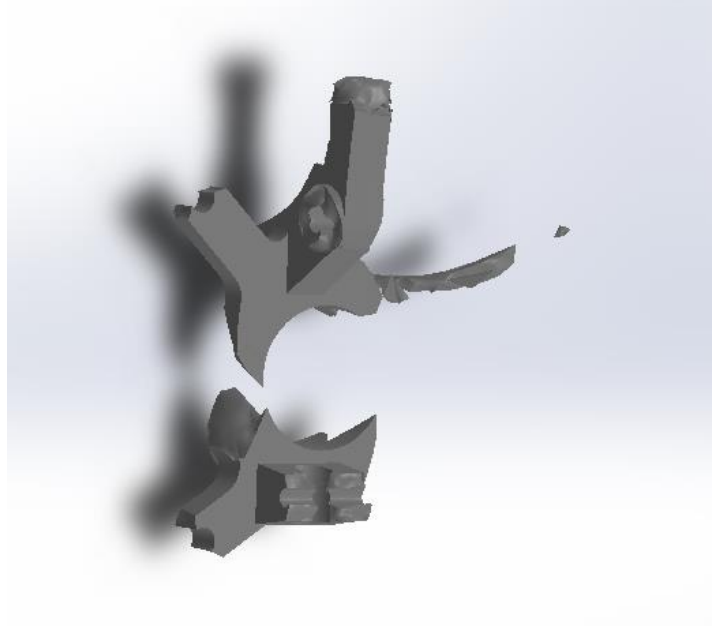
Yapılan statik analiz sonucunda gerilme grafiğinde görüldüğü üzere bazı bölgelerde gerilmelerin oldukça düşük olduğu görüldü. Mevcut tasarımı hafifletmek için Topoloji optimizasyonu uygulaması yapmak uygun olduğu gözlemlendi.

Topoloji optimizasyon için malzeme boşaltma kısıtı olarak üst limit 0.4 yazıldı . Yani hacminin %60'ı boşaltılabileceği amaçlandı. Optimizasyon işlemlerinin koşturulmasının ardından boşaltılabilecek konturler belirlendi. Mavi ile gösterilen bölgeler yük taşıma miktarı en az kırmızı bölgelerde ise en fazla yük taşıma miktarı olduğu tespit edildi. Mavi olan bölgelerin kaldırılması gerilmelerde ve yer değiştirmede fazla etkisi olmayacağı için kaldırıldı.



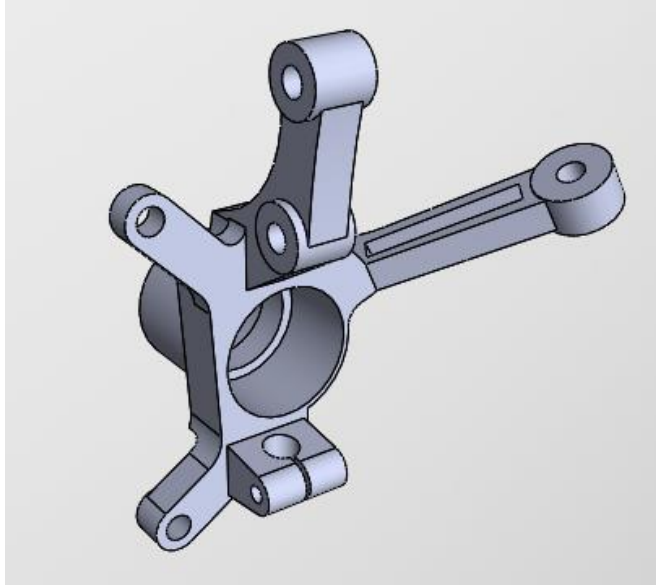
Şekil 4.7 Topoloji Sonuçları

Parçanın en az zorlamaya maruz kalan bölgeleri mevcut parçadan çıkartıldı ve topoloji optimizasyon uygulanmış üç boyutlu parçanın BDT programlarında açılabilmesi için programdan .STEP formatında çıktısı alındı. .STEP formatında alınan bu çıktının Solidworks programında açıldı



Şekil 4.8 Topoloji Optimizasyon Sonrası Data

Topoloji optimizasyon sonrası elde edilen model karmaşık ve imal edilmesi olanaksızdır. Bu yüzden bu model referans alındı. SOLIDWORKS programı kullanılarak yeniden tasarlandı. Yeniden oluşturulan bu model imalat için uygundur.

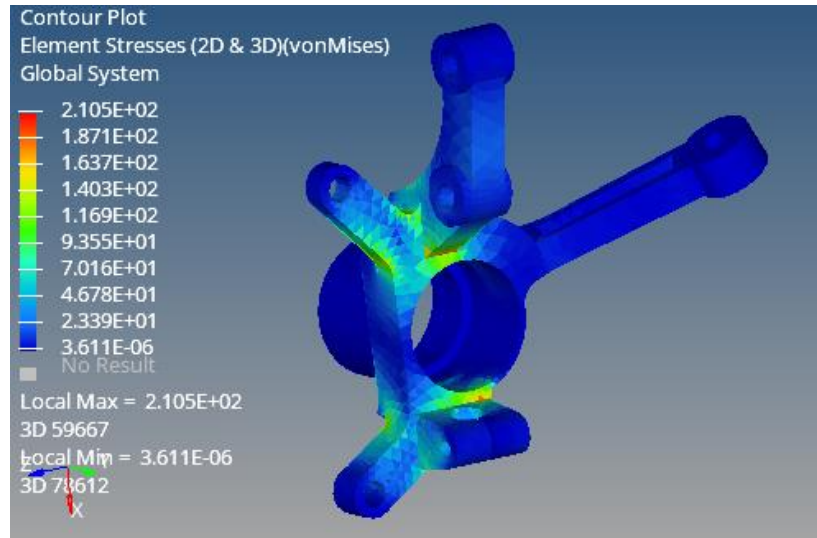


Şekil 4.9 Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarım

Yapılan tasarım aynı yükleme koşullarında ve aynı malzeme olarak KGDD özellikleri girilerek statik analiz yapıldı. Meshleme yapmak için 59667 eleman yaratıldı.

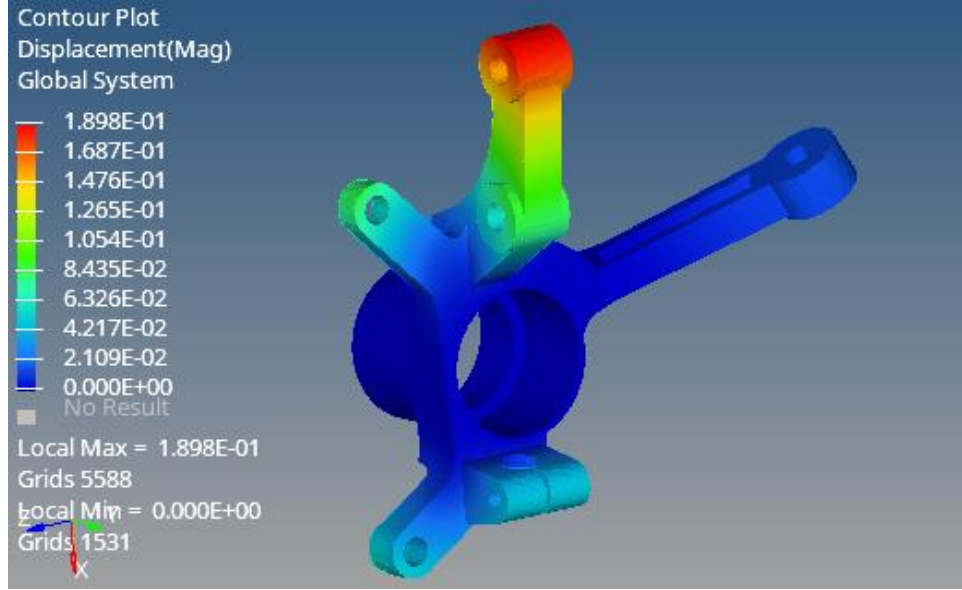
Topoloji optimizasyon sonucu elde edilen modelde gerilmeler maksimum bölgede 210.5 MPa gerilim ile zorlandığı bulunmuştur. Seçilen malzeme akma dayanımı KGDD için 345 MPa'dır. Bu durumda akma emniyet katsayısını 1.64 bulmaktayız.

$$\frac{345}{210.5} = 1.64 \geq 1 \quad (4.2)$$



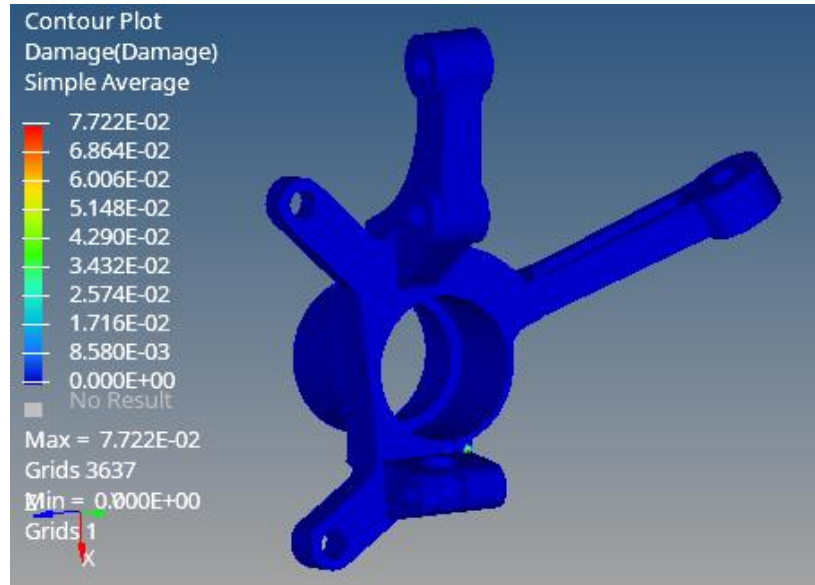
Şekil 4.10. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Analiz Sonuçları

Yer değiştirme miktarları süspansiyon bağlandığı bölgede maksimi 0.189 mm olarak ölçülmüştür. Frenin ve salıncağın bağlandığı noktalarda da bir miktar şekil değişikliği vardır. Tüm bu şekil değiştirmeler elastik bölgede olmaktadır.



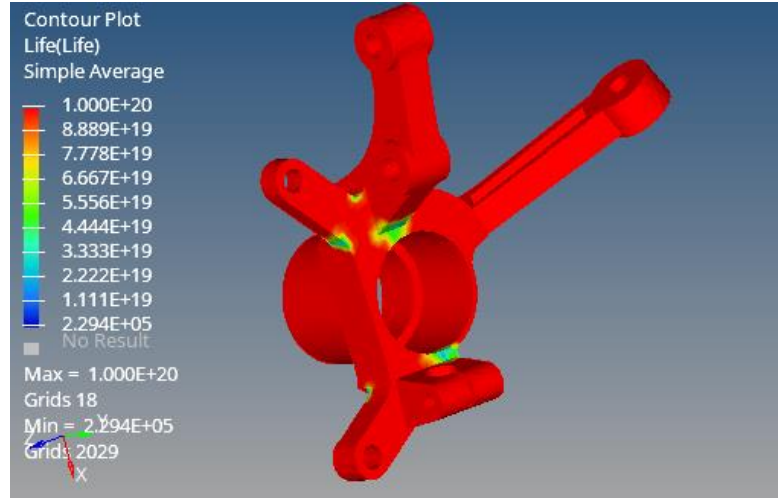
Şekil 4.11. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yer Değiştirme Miktarı

Topoloji optimiazasyondan sonra parçanın yorulma analizi ile hasar olabilecek bölgeler incelendi.



Şekil 4.12. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yorulma Sonucu Hasar Miktarları

Yorulma analizi sonucunda yeni tasarlanan direksiyon mafsalının ömür analiz sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Yorulma Sonucu Ölçülen Ömrü

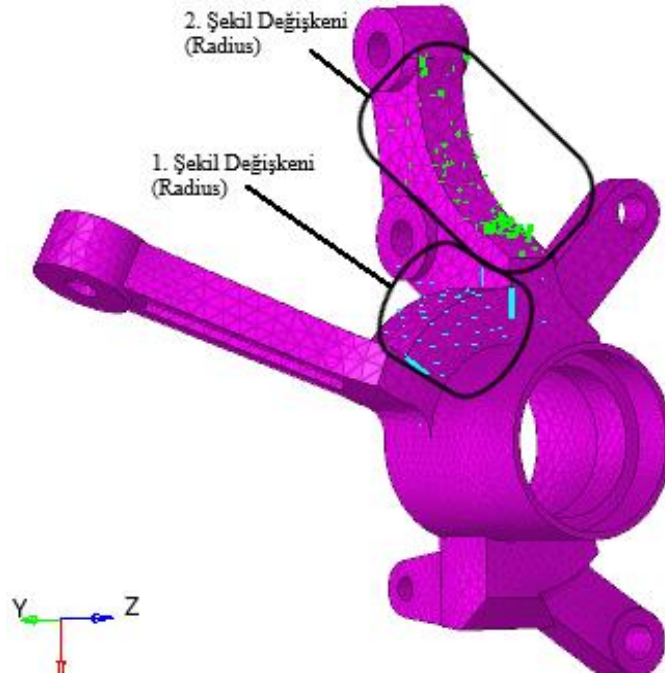
Yeni tasarlanan direksiyon mafsalında amacımız ağırlığı azaltmak olduğu yeniden ölçülerek hafifleme miktarına bakıldı. Ağırlık 1.938 kg'a kadar düşürülmüştür.

area =	0.000	calculate
volume =	269210.251	
total mass =	1.938e-03	

Şekil 4.14 Topoloji Optimizasyon Sonrası Yeni Tasarımın Ağırlığı

4.3. Şekil Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen yeni tasarımda hala değişiklikler yaparak hafifletilebileceği görülmektedir. Bu bölgelere şekil değişkeni tanımlanarak şekil optimizasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.15. Şekil değişkenleri

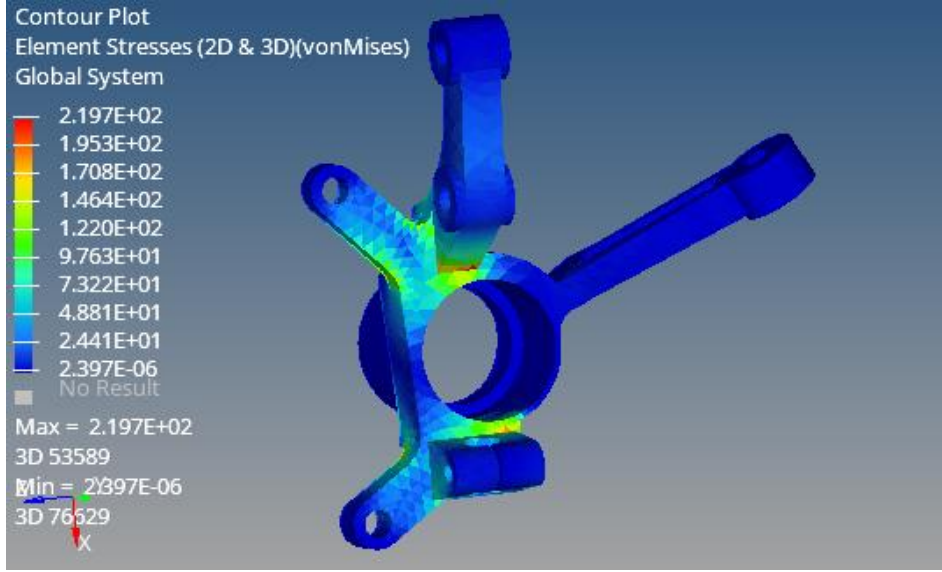
Şekil optimazasyonu sonucunda maksimum stres 219.8 Mpa ve yer değiştirme 0.21mm elde edilmiştir.

	morti...dius.	Dis_radius.S	Mass	stress	Jisplacemen	Objective 1	Constraint 1	Constraint 2	It
4	0.1000000	0.1000000	1.9271100	210.49121	0.1942289	1.9271100	210.49121	0.1942289	4
5	0.1000000	0.9487500	1.8699100	212.39534	0.2085965	1.8699100	212.39534	0.2085965	5
6	0.1500000	0.9987500	1.8651100	217.90123	0.2098277	1.8651100	217.90123	0.2098277	6
7	0.1579582	1.0144178	1.8639000	219.79601	0.2100245	1.8639000	219.79601	0.2100245	7

Şekil 4.16 Şekil Optimizasyonu Sonucu Elde Edilen Optimum Değerler

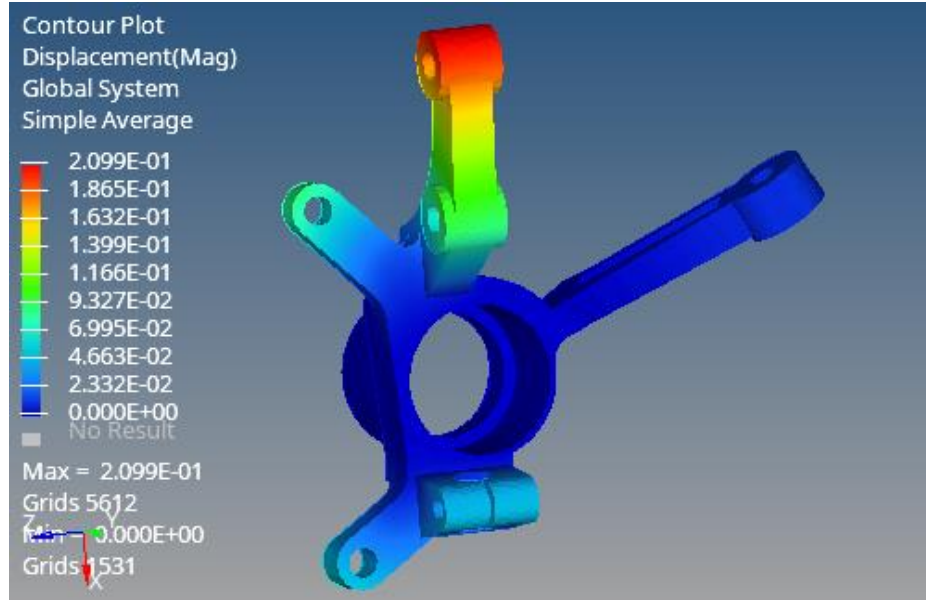
Elde edilen sonuçlar neticesinde nihai elde edilen tasarımda üzerinde oluşan gerilmeler aşağıdaki gibi görülmektedir. Emniyet katsayısı 1.57 elde edilmiştir.

$$\frac{345}{219.7} = 1.57 \geq 1 \quad (4.3)$$



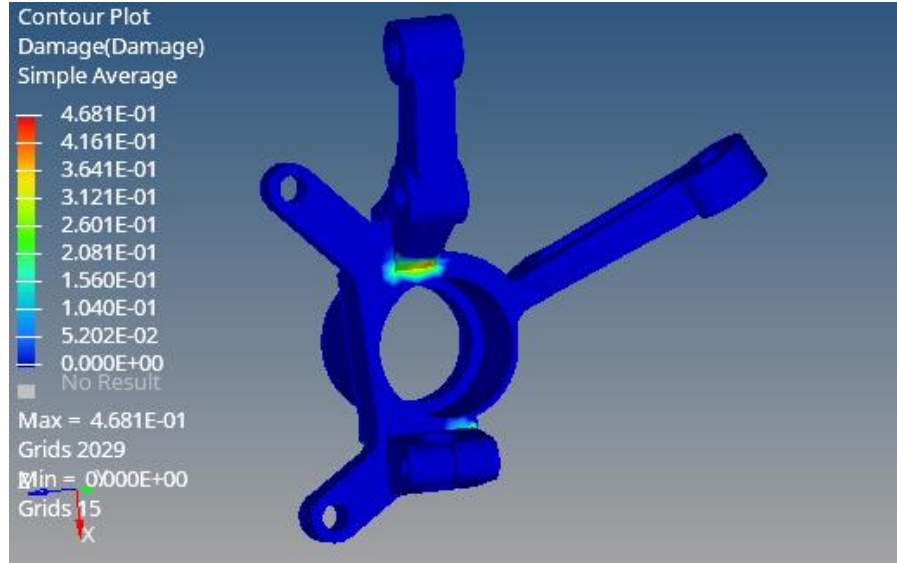
Şekil 4.17. Nihai Tasarım Gerilme Değerleri

Maksimum yer değiştirme süspansiyonun bağlandığı bölgede görülmektedir. Bu bölgede 0.21 mm yer değiştirme vardır. Fren kaliperi ve salıncağın bağlandığı bölgelerde de yer değiştirme vardır fakat bu değer altındadır.



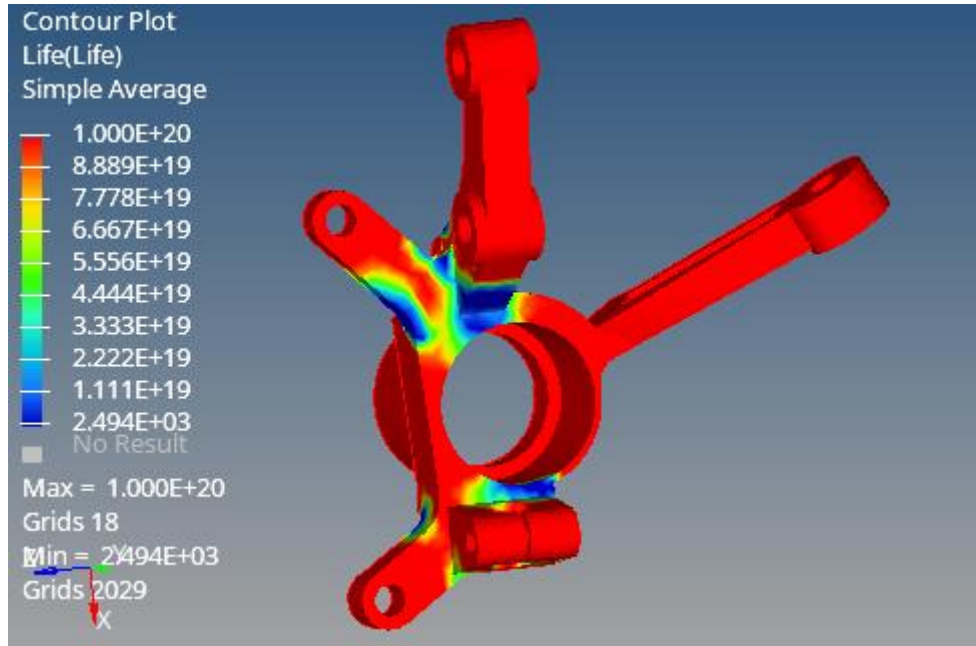
Şekil 4.18. Nihai Tasarım Yer Değiştirme Değerleri

Nihai tasarım için yapılan yorulma analizi sonucunda diğer modellere benzer bölgelerde hasar oluşma ihtimali görülmektedir.



Şekil 4.19. Nihai Tasarım Yorulma Analizi Olası Hasar Bölgeleri

Nihai modelde yorulma analizi sonucunda elde edilen ömür bilgisi alınmıştır.



Şekil 4.20. Nihai Tasarım Yorulma Analizi Ömür Sonuçları

Nihai tasarımda ağırlık 1.864kg'a kadar düşürülmüştür.

area =	0.000	<input type="button" value="calculate"/>
volume =	258918.642	
total mass =	1.864e-03	

Şekil 4.21. Nihai Tasarım Ağırlık Değerleri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Otomotiv üretiminde ağırlığın azaltılması hem üretici firmalar için maliyet ve iş gücünü kazanım sağlamakta hem de az yakıt tüketimi yapan araçlar imal edilmektedir. Bu çalışmada otomobiller için oldukça kritik olan direksiyon mafsalına yapısal optimizasyon uygulamaları yapıldı.

Çizelge 5.1 Analiz Sonuçları

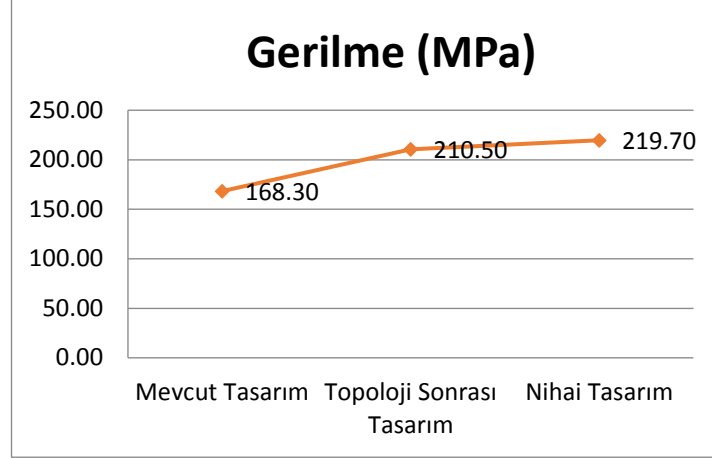
	Mevcut Tasarım	Topoloji Sonrası Tasarım	Nihai Tasarım
Gerilim (MPa)	168,3	210,5	219,7
Yer Değiştirme(mm)	0,189	0,189	0,209
Ağırlık(kg)	2,641	1,94	1,86
Emniyet Katsayısı	2,05	1,64	1,57

Mevcut durumda piyasada direksiyon mafsalının imalatı için en çok tercih edilen KGDD malzemesi tercih edildi. Üzerine gelecek yükler tanımlandı. Statik ve yorulma analiz yapıldı. Statik analiz sonucunda mevcut parça 168,3 Mpa gerilmeye maruz kaldığı ve maksimum yer değiştirmesi 0.189mm olduğu bulundu. Bu sonuçlara göre parça emniyet katsayısı 2.05 elde edildi. Bu durumda parçanın ağırlığı 2.641 kg'dır.

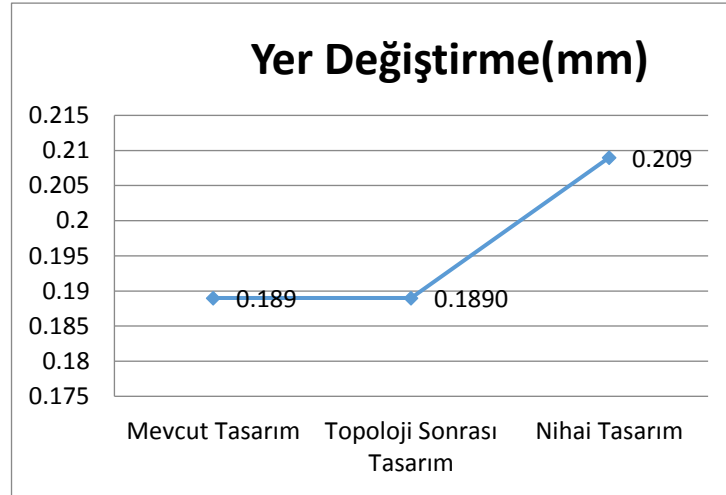
Mevcut parça üzerinden aynı yükleme tanımlamaları yapılarak topoloji optimizasyonla %40 hacimsel azalma hedeflendi. Topoloji Optimizasyon sonrası elde edilen yapı incelendi. SolidWorks programı ile yeniden modellenerek üretime uygun hale getirildi. Elde edilen yeni tasarım yeniden analiz yapıldı. Gerilme değerlerinde %20 oranında bir artış meydana geldi. Ağırlığında ise %28 oranında bir düşüş elde edildi. Maksimum yer değiştirme miktarlarında bir değişiklik olmamıştır. 210,5 MPa olan gerilme değerleri ile emniyet katsayısı 1.64'e düştü. Bu değer bize hala güvenli bir direksiyon mafsalına sahip olduğumuz halde hafiflik sağladığımızı göstermektedir.

Topoloji optimizasyon sonrası elde edilen modele şekli optimizasyonu uygulanarak daha fazla hafiflik elde edilmek istenildi. Topoloji sonrası elde edilen modelin üzerinde iki bölgeye şekil değişkeni tanımlandı. Optimum değerler elde edildi. Elde edilen değerlere

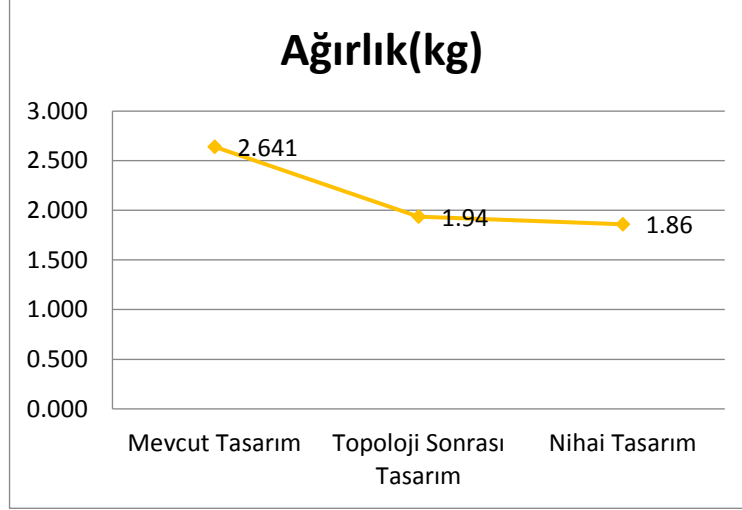
göre gerilme değeri 219.7 MPa elde edildi. İlk modele göre gerilme değerleri %23.4 artış gösterdi. Emniyet katsayısı 1.57' ye düştü. Bu değer parçanın hala emniyetli bölgede olduğunu göstermektedir. Son olarak elde edilen direksiyon mafsalı %29.6 hafifleme sağlanmıştır. Nihai parça 1.86 kg olmuştur.



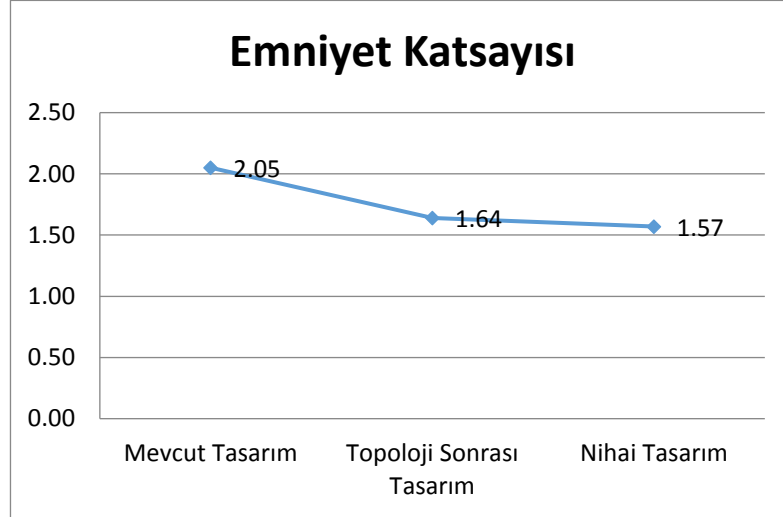
Şekil 5.1. Gerilme Grafiği



Şekil 5.2. Maksimum Yer Değiştirme Grafiği



Şekil 5.3. Ağırlık Değişim Grafiği



Şekil 5.4. Emniyet Katsayısı Değişim Grafiği

Direksiyon mafsalı statik yüklemeler altında hafiflemesi sağlanırken güvenli değerler altında çalışmaya devam edebilmektedir. Fakat bu güvenlik olarak yeterli olmamaktadır. Statik değerler altında direksiyon mafsalı güvenli olsa bile yorulma ile çatlak başlangıcı olup bu ilerleyerek parçaya hasar verebilmektedir. Bunun için mevcut durumda direksiyonun yorulma analizi yapılarak ömrüne ve hasar başlangıcı olabilecek noktaları incelendi.

Elde edilen yorulma analizi sonuçlarına göre mevcut olan tasarımdakine göre parça %29.6 hafiflemesine rağmen fazla değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Yorulma sonucu muhtemel hasara uğrama bölgeleri aynı kalmıştır. Direksiyon mafsalının yorulma nedeni ile hasara uğrama süresi yaklaşık aynı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2020a.** <http://www.dropforging.net/forging-process-for-automotive-steering-knuckle.html> (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Anonim, 2020b.** <http://www.padtinc.com/blog/additive-manufacturing-back-to-the-future/> (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Anonim, 2020c.** http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ductile_cast_iron_as_tm_a536 (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Anonim, 2020d.** https://en.wikipedia.org/wiki/Level-set_method (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Anonim, 2020e.** Alüminyum Raporu, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Babu, B., Prabhu, M., Dharmaraj, P., Sampath, R., 2014.** Stress Analysis on Steering Knuckle of the Automobile Steering System, *International Journal of search in engineering and Technology*, 03: 2319-1163.
- Bendsoe, M. P., Kikuchi, N., 1988.** Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method, *Comput. Meth. Appl. Mech. Engng*, 71: 197-224.
- Bendsøe, M.P. 1989.** Optimal shape design as a material distribution problem. *Struct. Optim.* 1: 193–202.
- Bendose, M.P. & Sigmund, O., 2003.** *Topology Optimization, Theory, Methods, and Applications* (2nd Edition). Berlin: Springer.
- Güler M. S., şen S., 2015.** Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler, *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, Cilt:5, Sayı:1,56-66.
- Gysen, B.L.J., Lomonova, E.A., Johannes, Paulides J.H., 2011.** Generalized Harmonic Modeling Technique for 2D Electromagnetic Problems Applied to the Design of a Direct-Drive Active Suspension System, Eindhoven University of Technology Library 01.01.2010, Eindhoven, 26s.
- Perez, D., H., 2012.** Level Set Method Applied to Topology Optimization, <https://www.upct.es/goe/level-set-slides.pdf>, (Erişim tarihi: 30.06.2020).
- Razak I.H.A, Yusop M.Y.M, Yusop M.S.M, Hashim M.F, 2013.** Modeling, Simulation and Optimization Analysis of Steering Knuckle Component for Race Car, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(04): 2278-0181.

Sethian J.A., Wiegmann A. 1999. Structural Boundary Design Via Level Set and Immersed Interface Methods, *Science Direct*, 163(02): 489-528.

Shigley, J. E., Mischeke, C. R, 2001. Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Company, New York, 1055s.

Sigworth, G. K., Kuhn, T. A. 2007. "Refinement of aluminium casting alloys", *AFS Transactions*, 115: 1-12.

Sivananth V., Vijayarangan S., 2015. Fatigue life analysis and optimization of a passenger car steering knuckle under operating conditions, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 11: 2417-2429.

Temiz V., 2008. Makina Elemanlarının Sürekli Mukavemete Göre Hesabı, ITU Ders Notları, İstanbul, 105s.

Triantafyllidis, K, Antonopoulos, A, Spiliotis, A, Fedonos & Repanis D 2009. Fracture characteristics of fatigue failure of a vehicle's ductile iron steering knuckle", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 9, no. 4, pp. 323-328.

Wohler, A. 1860. Versuche über die Festigkeit der Eisenbahnwagenachsen, Zeitschrift für Bauwesen, 10, *English summary (1867)*, *Engineering*, Vol.4, pp.160-161.

Yadav S., Kumar M. R., Varish A., Lal S. B. 2016. Design and Analysis of Steering Knuckle Component, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 120(6): 3853-38560.

Yadav, S., Mishra, R.K., Ansari V., Lal S.B., 2016. Design and analysis of steering knuckle component, *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 11(04): 1-8.

Yang, R.J., Chuang, C.H., 1993. Optimal Topology Design Using Linear Programming, *Structural Optimization*, 68, 265-290.

Yıldız, A.R., Öztürk, N., Kaya N., Öztürk, F. 2003a. Integrated optimal topology design and shape optimization using neural networks. *Struct Multidisc Optim* 25, 251-260.

Yıldız, A. R., Kaya, N., & Öztürk, F. 2003b. Taşıt elemanlarının optimum topoloji yaklaşımı ile tasarımı, *Mühendis ve Makina*, 44 (516).

Yıldız, A.R., Öztürk, N., Kaya, N., & Öztürk, F. 2007. Hybrid multi-objective shape design optimization using Taguchi's method and genetic algorithm, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 34 (4): 277 – 365.

- Yıldız, A.R. 2008a.** Hybrid Taguchi-Harmony Search Algorithm for Solving Engineering Optimization Problems, *International Journal of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*, 15 (3): 286 – 293.
- Yıldız, A.R. 2008b.** Optimal structural design of vehicle components using topology design and optimization, *Materials Testing*, 50 (4): 224 – 228.
- Yıldız, A.R. 2009a.** A novel hybrid immune algorithm for global optimization in design and manufacturing, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25 (2): 261 – 270.
- Yıldız, A.R. 2009b.** A New Design Optimization Framework based on immune Algorithm and Taguchi Method, *Computers in Industry*, 60 (8): 613 – 620.
- Yıldız, A.R. 2009c.** An effective hybrid immune-hill climbing optimization approach for solving design and manufacturing optimization problems in industry, *Journal of Materials Processing Technology*, 50 (4): 224 – 228.
- Yıldız, A.R. 2009d.** Hybrid immune-simulated annealing algorithm for optimal design and manufacturing, *International Journal of Materials and Product Technology*, 34 (3): 217 – 226.
- Yıldız, A.R. 2012a.** A comparative study of population-based optimization algorithms for turning operations, *Information Sciences*, 210: 81-88.
- Yıldız, A. R. 2012b.** A new hybrid particle swarm optimization approach for structural design optimization in the automotive industry, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 226 (10): 1340-1351.
- Yıldız, A.R. 2013a.** Comparison of evolutionary-based optimization algorithms for structural design optimization, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 28 (1): 327 – 333.
- Yıldız, A.R. 2013b.** A new hybrid bee colony optimization approach for robust optimal design and manufacturing, *Applied Soft Computing*, 13: 2906 – 2912.
- Yıldız, A.R. 2013d.** Hybrid Taguchi-differential evolution algorithm for optimization of multi-pass turning operations, *Applied Soft Computing* 13 (3): 1433-1439.
- Yıldız, A.R. 2013e.** A new hybrid differential evolution algorithm for the selection of optimal machining parameters in milling operations, *Applied Soft Computing* 13 (3): 1561-1566.
- Yıldız, A.R. 2013f.** Cuckoo search algorithm for the selection of optimal machining parameters in milling operations, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64 (1-4): 55-61.

Yıldız, A.R. 2013g. Comparison of evolutionary based optimization algorithms for structural design optimization, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1): 327–333.

Yıldız, A.R. 2013h. Optimization of cutting parameters in multi-pass turning using artificial bee colony-based approach, *Information Sciences*, 220: 399–407.

Yıldız, A.R., 2019. Ders Notları, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa, 82s.

Yıldız, A.R. Kılıçarpa, U.A., Demirci, E. 2019. Topography and topology optimization of diesel engine components for light-weight design in the automotive industry, *Materials Testing*, 61(1): 27-34.

Yüksel, M., Meran, C., 2013. Malzeme Bilgisine Giriş, Malzeme Bilimleri Serisi -Cilt 2, MMO yayını, Ankara, 568s

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Anıl KETEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar 25.05.1993
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Afyon Anadolu Lisesi
Lisans : Pamukkale Üniversitesi, Makine Müh. 2016
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi ,Fen Bilimleri Ens, Oto. Müh. ABD

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Robotek Otomasyon,(2019-Halen)
Kaplanlar Soğutma,(2018-2019)
Hisarlar-Mahindra Makine,(2017-2018)

İletişim (e-posta) : anilketen@outlook.com