



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ARAÇ KLİMA MOTORLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ
METODU İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM GÖKÇE

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MAHMUT BİNGÖL

**YALOVA
02/2023**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ARAÇ KLİMA MOTORLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ METODU
İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İBRAHİM GÖKÇE
205121015

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MAHMUT BİNGÖL

YALOVA
02/2023

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “ARAÇ KLİMA MOTORLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ METODU İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI” başlıklı bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İbrahim GÖKÇE

ÖNSÖZ

Büyük bir heyecan ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimi tamamlamanın mutluluğunu yaşıyorum. Öncelikle, akademik anlamda bana her zaman destek olan, yol gösteren, tecrübe ve bilgilerini benden sakınmayan danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut BİNGÖL'e teşekkürü borç bilirim.

İyi günümde, kötü günümde her zaman benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşime ve kızlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen, tez konusu çalışmalarında firma olanaklarından faydalanmamı sağlayan, çalışmamla alakalı bilgi ve belgeleri kullanmama izin veren Valeo Otomotiv A.Ş. yöneticilerine ve değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Şubat – 2023

İbrahim GÖKÇE

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrik Motorları ve Çeşitleri	2
1.1.1. Alternatif akım ile çalışan elektrik motorları.....	3
1.1.1.1. Asenkron motorlar	3
1.1.1.2. Senkron motorlar	4
1.1.2. Doğru akım ile çalışan elektrik motorları	5
1.1.2.1. Fırçalı (Brush) doğru akım motorları	5
1.1.2.2. Fırçasız (Brushless) doğru akım motorları (BLDC)	5
1.1.2.3. Servo motorlar	6
1.1.2.4. Step motorlar	6
1.2. BLDC Motor Çeşitleri.....	6
1.2.1. BLDC motorların avantaj ve deavantajları.....	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	15
3.1. Motor Tutucu Parçası	15
3.2. Malzeme Seçimi	16
3.1.1. PPTD20 malzeme özellikleri.....	17
3.3. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Sonlu Elemanlar Analizi	18
3.3.1. Statik analiz	18
3.3.2. Modal analiz	19
4. BULGULAR.....	21
4.1. Statik Analiz Bulguları	22
4.2. Modal Analiz Bulguları.....	35
4.3. Feder Optimizasyon Çalışmaları	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53

KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR LİSTESİ

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
BLDC	: Fırçasız Doğru Akım (Brushless Direct Current)
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik (Computer Aided Engineering)
DC	: Doğru Akım
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating, Ventilating and Air Conditioning)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. PPTD20 malzeme özellikleri	18
Tablo 4.1. 23 ⁰ C Ön yükleme sonuçları	23
Tablo 4.2. 80 ⁰ C Ön yükleme sonuçları	24
Tablo 4.3. Statik analiz bulguları	34
Tablo 4.4. Motor tutucu parçanın ilk tasarıma ait doğal frekansları	45
Tablo 4.5. Motor tutucu parçanın iyileştirilmiş tasarıma ait doğal frekansı	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Örnek ısıtma ve havalandırma tertibatı (MEGEP, 2013).....	2
Şekil 1.2. Bir elektrik motorunun yapısı (Mugul, 2022).....	3
Şekil 1.3. Örnek bir asenkron motor kesit görünüşü (İlbeyi, 2021).....	4
Şekil 1.4. Örnek bir senkron motor (Mühendislik M. , 2022)	4
Şekil 1.5. Fırçalı motor çalışma prensibi örneği (Karagülle & Yavuz, 2019)	5
Şekil 1.6. Fırçasız motor çalışma prensibi örneği (Admin, 2013)	6
Şekil 1.7. Örnek stator silisli sacları.....	7
Şekil 1.8. Konsantre sarım örneği (Fenercioğlu, 2022)	8
Şekil 1.9. Dağıtılmış sarım örneği (Fenercioğlu, 2022).....	8
Şekil 3.1. Motor tutucu parça ve kısımları.....	15
Şekil 3.2. Motor tutucu parça ve kısımları (gerçek parça görseli)	16
Şekil 3.3. Motor tutucu parça ilk tasarım görünümü	17
Şekil 4.1. Sınır şartları.....	22
Şekil 4.2. Ön yükleme modeli.....	23
Şekil 4.3. Ön yükleme sonucu toplam gerilme yoğunluğu (23 ⁰ C)	24
Şekil 4.4. Ön yükleme sonucu toplam gerilme yoğunluğu (80 ⁰ C)	25
Şekil 4.5. 1.İterasyon analiz modeli	26
Şekil 4.6a. 1.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu	26
Şekil 4.6b. 1.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu	27
Şekil 4.7a. 1.İterasyon sonucu toplam deformasyon.....	27
Şekil 4.7b. 1.İterasyon sonucu toplam deformasyon	28
Şekil 4.8. 2.İterasyon analiz modeli	29
Şekil 4.9a. 2.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu	29
Şekil 4.9b. 2.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu.....	30
Şekil 4.10a. 2.İterasyon sonucu toplam deformasyon.....	30
Şekil 4.10b. 2.İterasyon sonucu toplam deformasyon	31
Şekil 4.11. 3.İterasyon analiz modeli	32
Şekil 4.12a. 3.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu	32
Şekil 4.12b. 3.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu.....	33
Şekil 4.13a. 3.İterasyon sonucu toplam deformasyon.....	33
Şekil 4.13b. 3.İterasyon sonucu toplam deformasyon	34
Şekil 4.14. Gerilme-deformasyon iyileşme oranı (%)	35
Şekil 4.15a. Ön yükleme modal analizi mod1 ve doğal frekansı (23 ⁰ C)	36

Şekil 4.15b. Ön yükleme modal analizi mod2 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	36
Şekil 4.15c. Ön yükleme modal analizi mod3 ve doğal frekansı (23 ⁰ C)	37
Şekil 4.15d. Ön yükleme modal analizi mod4 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	37
Şekil 4.15e. Ön yükleme modal analizi mod5 ve doğal frekansı (23 ⁰ C)	38
Şekil 4.15f. Ön yükleme modal analizi mod6 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	38
Şekil 4.16a. Ön yükleme modal analizi mod1 ve doğal frekansı (80 ⁰ C)	39
Şekil 4.16b. Ön yükleme modal analizi mod2 ve doğal frekansı (80 ⁰ C).....	39
Şekil 4.16c. Ön yükleme modal analizi mod3 ve doğal frekansı (80 ⁰ C)	40
Şekil 4.16d. Ön yükleme modal analizi mod4 ve doğal frekansı (80 ⁰ C).....	40
Şekil 4.16e. Ön yükleme modal analizi mod5 ve doğal frekansı (80 ⁰ C)	41
Şekil 4.16f. Ön yükleme modal analizi mod6 ve doğal frekansı (80 ⁰ C).....	41
Şekil 4.17a. 3.İterasyon modal analizi mod1 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	42
Şekil 4.17b. 3.İterasyon modal analizi mod2 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	43
Şekil 4.17c. 3.İterasyon modal analizi mod3 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	43
Şekil 4.17d. 3.İterasyon modal analizi mod4 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	44
Şekil 4.17e. 3.İterasyon modal analizi mod5 ve doğal frekansı (23 ⁰ C).....	44
Şekil 4.17f. 3.İterasyon modal analizi mod6 ve doğal frekansı (23 ⁰ C)	45
Şekil 4.18. Doğal frekans iyileşme oranı (%)	46
Şekil 4.19a. Feder çalışması 1	47
Şekil 4.19b. Feder çalışması 2.....	48
Şekil 4.20a. Feder çalışması 3.....	49
Şekil 4.20b. Feder çalışması 4.....	49
Şekil 4.21. Feder çalışması 5	50
Şekil 4.22. Feder çalışması 6	51
Şekil 4.23a. Feder çalışması 7.....	51
Şekil 4.23b. Feder çalışması 8.....	52

ARAÇ KLİMA MOTORLARININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ METODU İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte araç içi konfor ve güvenlik çok farklı boyutlara doğru ilerlemektedir. Özellikle elektrikli araçlarla birlikte günümüzde yer edinen otonom sürüşler konfor konusunda çok farklı gelişmelere yol açmıştır. Araç ısıtma, havalandırma ve soğutma (HVAC) sistemi şüphesiz bu konforun başında gelmektedir. Özellikle uzun yolculuklarda yazın dışarısının kavurucu sıcaklığından, kışın işe dışarısının soğuktan korunmanın yolu bu ısıtma ve soğutma sisteminden geçmektedir.

Bu çalışmada, binek araçlardaki HVAC sistemin içerisinde yer alan, dışarıdan aldığı havayı iç üniteye pompalayan klima motorundaki “Motor Tutucu” diye adlandırdığımız parça incelenmiştir. Bu bahsi geçen parça elektronik kart, rotor ve statorun montajının yapıldığı, klima motorunun gerek boştaki dururken gerekse çalışırkenki yükünü taşıyan aynı zamanda elektronik kartın soğumasında önemli payı olan bir bileşendir. Bu nedenle bu parçanın gerçek çalışma koşullarında mukavemetli olması motor performansı açısından önemlidir.

Motor tutucu parçanın, sonlu elemanlar analizi ile statik ve modal analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ilk tasarım hali ile plastik deformasyon oranı çok yüksek olduğundan klima motorunun çalışmasını olumsuz etkilemekteydi. Yapılan tasarım iyileştirme çalışmaları ile motor tutucu parçasının mukavemeti arttırılarak klima motorunun daha uzun çalışması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araç klima motorları, Sonlu elemanlar analizi, Verimlilik, Plastik malzeme, Gerilme analizi

INCREASSING THE PERFORMANCE OF VEHICLE AIR CONDITIONING MOTOR WITH FINITE ANALYSIS METHOD

ABSTRACT

The vehicle comfort and safety are developing very differently with the increasing the technology. Especially, the autonomous driver module in the electric car affected this developing up of comfort and safety directly. The vehicle heating, ventilating and air conditioning (HVAC) system is most important of them because this HVAC system provides comfortable travels by protecting it from hot weather in summer and cold weather in winter.

In this study, we examined plastic motor holder part which used in the air conditioning motor in the HVAC system. This part is a component where the electronic card, rotor and stator are assembled, which carries the load of the air conditioner motor both when it is idle and when it is running, and also plays an important role in the cooling of the electronic card. For this reason, it is important for engine performance that this part is durable under real working conditions.

Static and modal analysis of the motor holder part was made with finite element analysis. According to the analysis results, the climate motor affected negatively because there were more plastic deformation with the first design. With the design improvement study, increasing the durability of motor holder part provided to run longer.

Keywords: Vehicle air conditioning motor, Finite element analysis, Performance, Plastic material, Stress analysis

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki bu tarihi değişime hep birlikte tanıklık ederken aynı zamanda bu değişimin kendisiyle birlikte birçok soru işaretinin de geldiğini görmekteyiz. Pil ömrü, tek şarjda alınan mesafe, atık pil durumu, araç ağırlığı, güvenlik, elektrik motorların performansları vb. maddeler bunlardan sadece bir kaçı olup günden güne daha iyi hale getirilmeye çalışılmaktadır. Daha iyi hale getirilmeye çalışılan bir diğer konu da şüphesiz araç içi konfordur ve özellikle otonom sürüş ile birlikte gittikçe daha da ön plana çıkmaktadır.

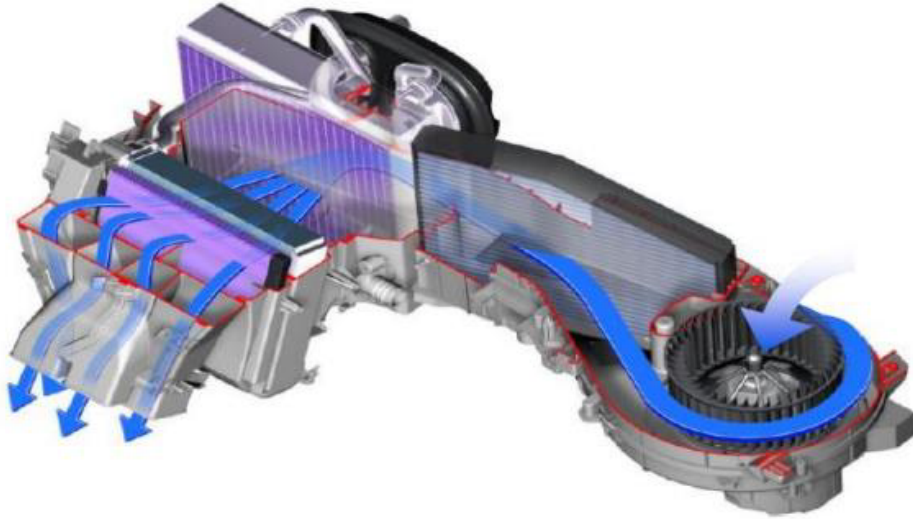
Araç içi konfor dediğimizde aklımıza ilk olarak rahat ve keyifli yolculuk yapmamızı sağlayan etmenler gelmektedir. Bunlar koltuklar, araç içi panellere ulaşım ve bunların kullanımı, ses (yalıtım), ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemi bu etmenlerin başında gelmektedir. İngilizce Heating, Ventilating and Air Conditioning terimlerinin baş harflerinin bir araya gelmesinden oluşan HVAC sistemi yani türkçe olarak ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemi, yazın dışarısının kavurucu sıcaklığından, kışın ise dışarısının soğukluğunda koruyarak rahat yolculuk yapmamızı sağlayan en önemli elemanlardan biridir.

HVAC sisteminde havayı dışarıdan alıp iç üniteye veren “Klima Motoru” bir diğer adıyla “Blower Motoru” bu ısıtma, havalandırma ve soğutma sisteminin en önemli parçasıdır. Çünkü HVAC sistemlerinin genel çalışma prensibi, Şekil 1.1’den de görüldüğü gibi klima motoru havayı dış ünitelerden alıp iç üniteye pompalar. İç üniteye klapeler(kapaklar) sayesinde sıcak istenildiğinde sıcak hava radyatörüne, soğuk istenildiğinde ise soğuk hava radyatörüne yönlendirilerek havanın ısınmasını veya soğumasını sağlayarak araç içine ulaştırır. Bu nedenle sürekli araç içine hava pompalayabilmek için bu klima motorlarının performanslı çalışması istenir.

Bu çalışmada, klima motorunda bulunan ingilizce; Brushless Direct Current terimlerinin baş harflerinden meydana gelen BLDC yani Fırçasız Motor’un ana yükünü taşıyan “Motor Tutucu” diye adlandırdığımız plastik parçanın gerçek çalışma koşulları simüle edilerek analizleri yapılmış, bunun neticesinde bir takım tasarım iyileştirme çalışmaları yapılarak çalışma şartlarında daha performanslı çalışması sağlanmıştır. Bu bahsi geçen parça elektronik kart, rotor ve statorun montajının yapıldığı, klima motorunun gerek boştaki duruşta gerekse çalışırkenki yükünü taşıyan aynı zamanda elektronik kartın soğumasında önemli payı olan bir bileşendir. Bu

nedenle bu parçaya aynı zamanda statik ve modal analizin yanı sıra termal ve akış analizleri de yapılmaktadır. Klima motoru havayı dış üniteden alıp iç üniteye pompalarken, havanın bir kısmını da bu motor tutucu parçasının içine vermektedir. Böylece çalışma esnasında ısınan elektronik kartı “Taşınım İle Isı Transferi” metoduyla ısıyı, içeriye giren hava ile dışarıya atarak soğumasını sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle klima motoru sıcak ülkelerde çalışırken daha fazla ısınacağı için bu ısıya dayanaklı olması gereklidir. Firma bünyesinde yapılan prototip çalışmalarda, klima motorunun özellikle ürün doğrulama testlerinde belirtilen +80 °C sıcaklıkta yapılan testlerde Motor tutucu parçasının plastik deformasyona uğradığı, bunun neticesinde klima motorunun performansını ciddi derecede düşürdüğü görülmüştür. Bu nedenle Motor tutucu parçasının gerçek çalışma koşullarındaki mukavemeti çok önemlidir.

Yapılan statik ve modal analizlerle parçanın gerçek çalışma koşulları simüle edilerek parçanın ana tasarımında değişiklik yapılmadan sadece feder eklenerek tasarımı iyileştirilmiş ve mukavemeti artırılmıştır.

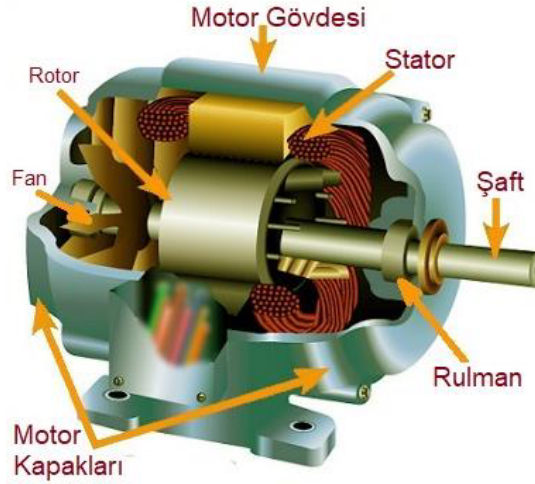


Şekil 1.1. Örnek ısıtma ve havalandırma tertibatı (MEGEP, 2013)

1.1. Elektrik Motorları ve Çeşitleri

Elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir makinedir. Elektrik motorları beslendiği elektrik akımına göre doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Doğru akım motorları (DC) akü, pil gibi doğru akım kaynakları ile çalışırken alternatif akım (AC) motorları ise şehir şebekesi, transformatör gibi frekansa bağımlı olarak çalışabilen motorlardır. Elektrik motorları

ana hatlarıyla Şekil 1.2 de gösterildiği gibi rotor, stator, rulman, şaft ve fan gibi ana parçalardan meydana gelmektedir. Genellikle şaft mili rulmanlar ile rotor ve elektrik motorunun gövdesine yataklanır, stator ise üzerindeki bakır tellerin sarılı olduğu kısımdır. Elektrik kaynağından gelen akım bu tellerden geçerek manyetik alan oluşturur ve rotorda bulunan sabit mıknatıslar ile etkileşime girerek şaft ekseninde dönme hareketi sağlar. Bu hareket ise rotora montajlanmış şaft ile dışarıya verilir. Bu işlem boyunca elektrik motorunun iç kısmında açığa çıkan sıcak hava fan yardımıyla dışarıya atılarak elektrik motorunun geç ısınması sağlanır.

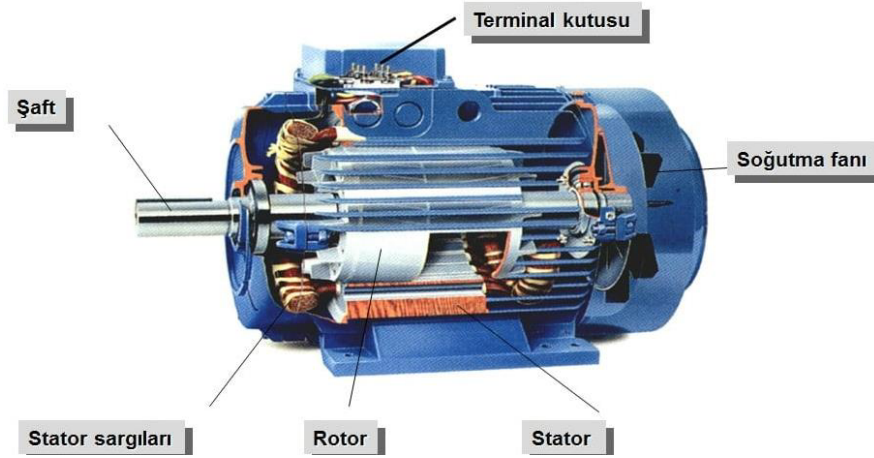


Şekil 1.2. Bir elektrik motorunun yapısı (Mugul, 2022)

1.1.1. Alternatif akım ile çalışan elektrik motorları

1.1.1.1. Asenkron motorlar

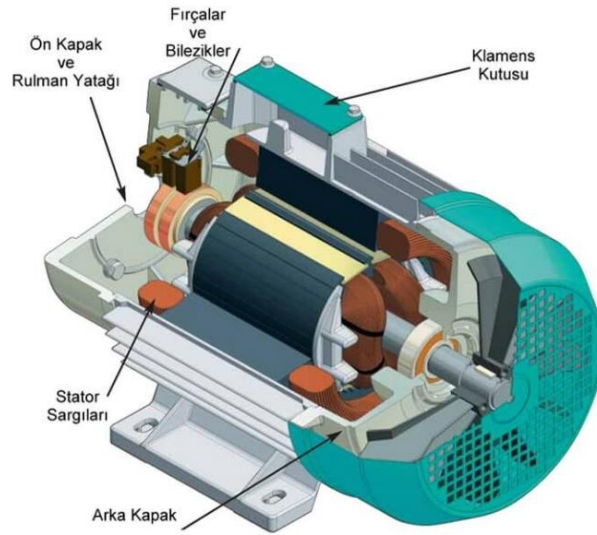
Asenkron motorlar; Şekil 1.3’de görüldüğü gibi rotor (endüvi de denir) ve stator adı verilen iki ana bölümden oluşur. Stator, yüksek geçirgenlikli çelik laminantların sıkıştırılarak çelik veya dökme şasi üzerinde oturtulmasıyla oluşturulur. Bobin sargılarını barındırmakla birlikte rotoru çevreleyen kısımdır. Rotor ise stator tarafından çevrelenmiş fakat statora temas etmeyen ve dönen kısma verilen isimdir. Sincap kafesli ve bilezikli rotor olmak üzere iki çeşit rotor vardır. Asenkron motorlarda oluşan enerji kayıplarıyla açığa çıkan ısı, sıcaklığı artırır ve bunu dağıtmak için soğutma fanı kullanılır. Rotorun hareketi şaft aracılığıyla dışarı aktarılır ve motorun çalışması için gerekli bağlantılar terminal kutusunda yapılır (İlbeyi, 2021).



Şekil 1.3. Örnek bir asenkron motor kesit görünüşü (İlbeyi, 2021)

1.1.1.2. Senkron motorlar

Senkron motorlar, hız kontrolünün daha önemli olduğu ve yüksek hassasiyetin istendiği durumlarda kullanılırlar. Örneğin; motorun uygulanacağı yer bir araba veya tren ise senkron motor seçilir. Senkron motorların bölümleri asenkron motorlar ile aynı olup Şekil 1.4’den de anlaşıldığı gibi üç fazdan alınan gerilim aracılığı ile dönen manyetik alan oluşturan stator, stator ile etkileşime girerek dönme hareketini gerçekleştiren rotor, oluşan sıcaklığı dağıtma görevi üstlenen soğutma fanı, bağlantıların yapıldığı terminal kutusu ve hareketin iletildiği şaft aynen bulunur ancak burada senkron motoru asenkron motordan ayıran durum rotorun yapısının farklı oluşundan kaynaklanır (İlbeyi, 2021).

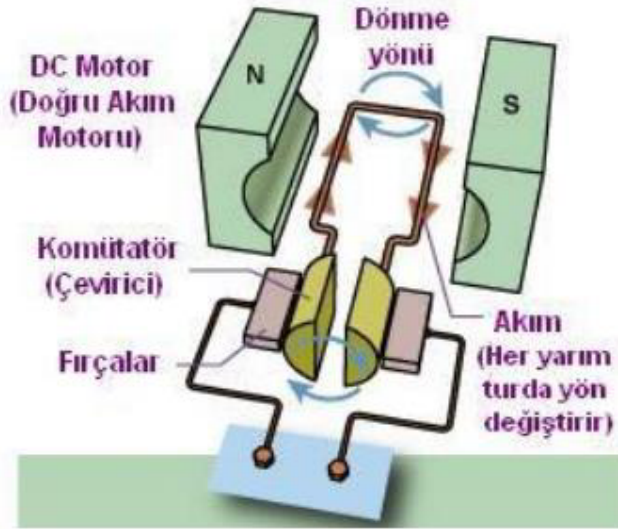


Şekil 1.4. Örnek bir senkron motor (Mühendislik M. , 2022)

1.1.2. Doğru akım ile çalışan elektrik motorları

1.1.2.1 Fırçalı (Brush) doğru akım motorları

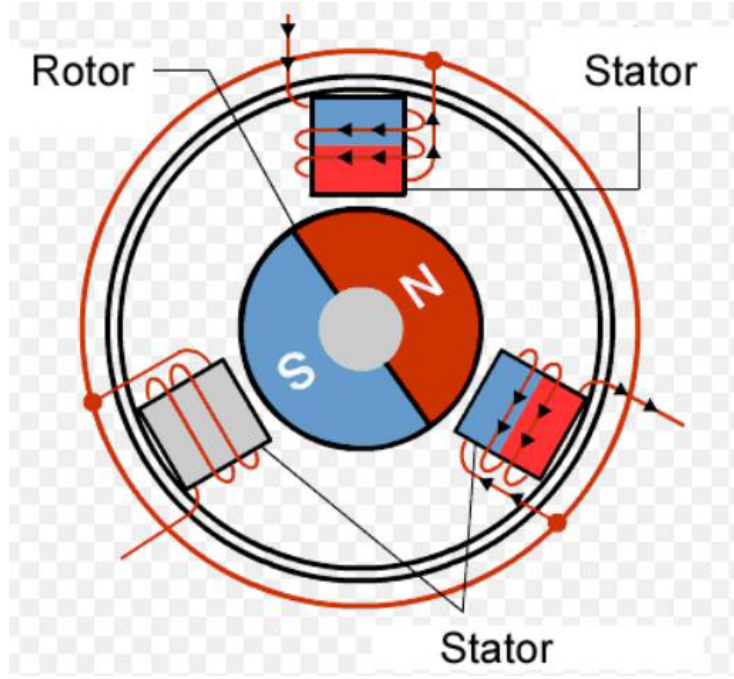
Şekil 1.5’de gösterildiği gibi güç kaynağından verilen akım fırçalar yardımıyla statorunda bulunan bakır tel sarımlardan geçerek bir manyetik akım oluşturmaktadır. Statorun çevresinde bulunan rotordaki güçlü mıknatıslar manyetik alandan etkilenecek bir taraftan itme kuvveti uygularken diğer taraftan ise çekme kuvveti uygular. Böylece rotora bağlı şaft dönme hareketi yapar. Mil üzerindeki fırçalar dönme esnasından + ve – kutba temas ederek manyetik akımın sürekliliğini sağlayarak bu hareketin devamını sağlar.



Şekil 1.5. Fırçalı motor çalışma prensibi örneği (Karagülle & Yavuz, 2019)

1.1.2.2. Fırçasız (Brushless) doğru akım motorları (BLDC)

Adından da anlaşılacağı gibi bu motorlarda fırça bulunmamaktadır. Güç kaynağından gelen akım direkt olarak stator üzerindeki sarımlara ulaşmaktadır. Sarımlara gelen akım, manyetik alan oluşturarak fırçalı motorlarda olduğu gibi rotor üzerindeki güçlü mıknatıslar üzerinde çekme ve itme kuvveti oluşturmak suretiyle hareket elde edilmektedir. Elde edilen hareket ise rotorda bulunan şaft vasıtasıyla dışarıya aktarılmaktadır (Şekil 1.6.).



Şekil 1.6. Fırçasız motor çalışma prensibi örneği (Admin, 2013)

1.1.2.3. Servo motorlar

Servo, herhangi bir mekanizmanın işleyişini, hatayı algılayarak yan bir geri besleme düzeneğinin yardımıyla denetleyen ve hatayı gideren otomatik aygıttır. Robot teknolojisinde en çok kullanılan motor çeşididir. Bu sistemler mekanik olabileceği gibi elektronik, hidrolik, pnömatik veya başka alanlarda da kullanılabilir. Servo motorlar; çıkış, mekaniksel konum, hız veya ivme gibi değişkenlerin kontrol edildiği, özetle hareket kontrolü yapılan bir düzeneğdir (Servo Motor, 2022).

1.1.2.4. Step motorlar

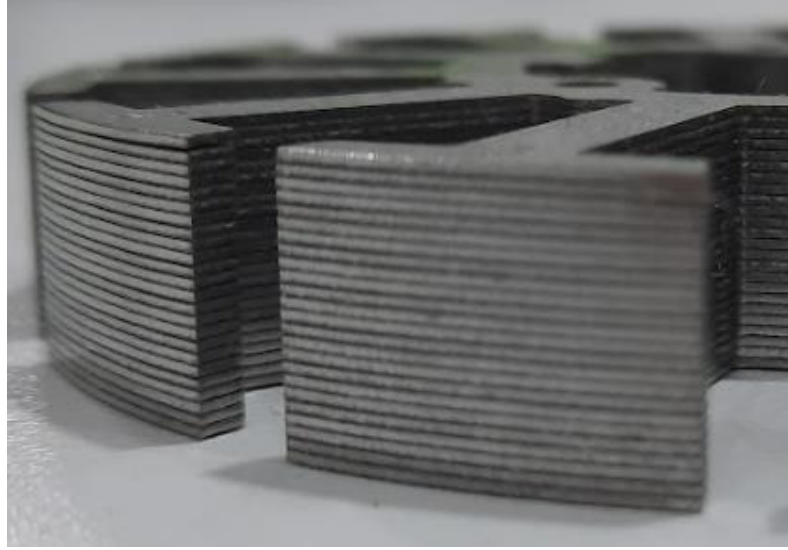
Step motorlar adından anlaşıldığı gibi adım adım hareket eden motorlardır. Mikro denetleyicilerden aldığı darbe komutlarıyla adım adım hareketini yaparlar. Belirli sayıda darbe sağlandığında, şaft bilinen bir açıyla dönmüş olacaktır ve bu, motoru açık çevrim konum kontrolü için ideal hale getirir.

1.2. BLDC Motor Çeşitleri

Fırçasız Doğru Akım Makineleri özel elektrik makinesi grubundan olup senkron motor sınıfındandır. Rotoru sabit mıknatıslardan meydana gelir. Yapı olarak senkron makinalara benzer. Bu motorlar uzun ömürlü olmaları, bakım

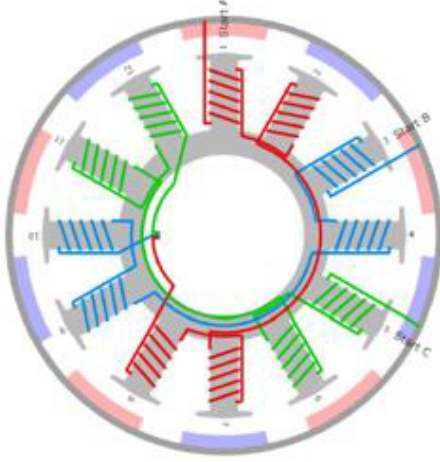
gerektirmemeleri, gürültüsüz çalışmaları ve yüksek verimli olmaları gibi birçok avantaja sahiptirler. Ancak bu motorlar yüksek maliyetli olmaları, belli bir gücün üzerinde üretilmemeleri, sürücü ve konum sensörü gerektirmeleri ve yüksek frekanslı osilasyonlara sahip olmaları gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle bazı özel uygulamaların dışında pek kullanılmamaktadır. Giderek sürücü ve elektronik kontrollerin ucuzlaması bu motorların kullanımını arttırmıştır. Bilgisayarlarda, uzay araçlarında, ev gereçlerinde, endüstride otomotivde ve askeri ekipmanlarda sıkça kullanılmaktadır. Kontrolünde doğru akım komütasyonu için rotor pozisyon bilgisi gerekmektedir. Bu rotor bilgisini birkaç yöntem ile elde etmek mümkündür. Örnek olarak hall sensörler veya sensörsüz yöntemler ile elde etmek mümkündür (Aktaş, 2019).

BLDC motorlar rotor ve stator olmak üzere 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Rotor, genellikle sabit mıknatısın olduğu, milin takıldığı ve dönme hareketinin olduğu kısımdır. Stator ise rotorun tersi olarak faz sargılarının yapıldığı sabit kısımdır. Bu sargılar demir kayıplarını azaltmak için Şekil 1.7’ de gösterildiği gibi silisli saclardan üretilmekte olup olup katman halindedir. Statorlar ise sarım çeşidine göre konsantre sarım ve dağıtılmış sarım olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 1.8 ve Şekil 1.9).

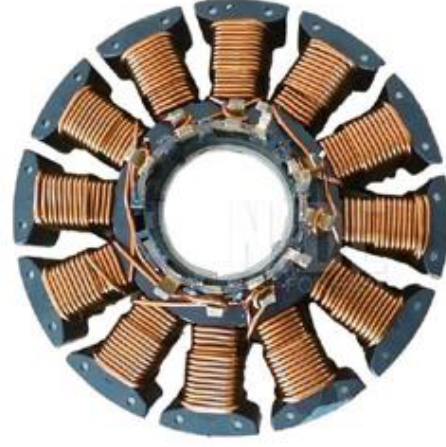


Şekil 1.7. Örnek stator silisli sacları

KONSANTRE SARGI

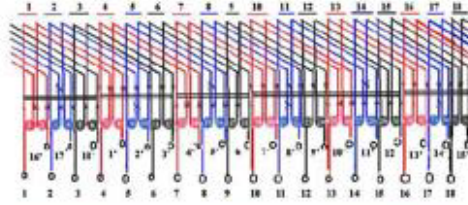
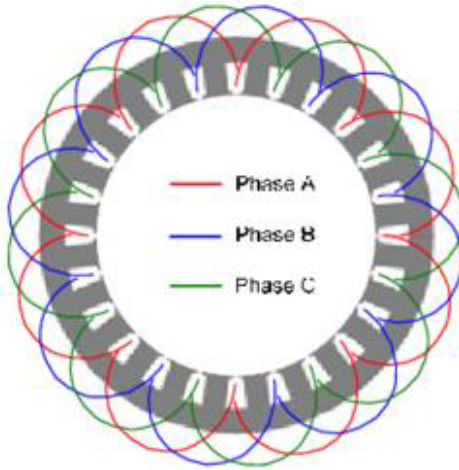


Sarım Şeması



Şekil 1.8. Konsantre sarım örneği (Fenercioğlu, 2022)

DAĞITILMIŞ SARGI



Şekil 1.9. Dağıtılmış sarım örneği (Fenercioğlu, 2022)

1.2.1. BLDC motorların avantaj ve deavantajları

Fırçasız motorların fırçalı motorlara karşı avantajları şu şekildedir.

- Fırça kullanılmadığı için zamanla bakım ihtiyacı duymazlar. Dolayısıyla bakım masrafları yoktur.

- Fırçalı motorlarda olduğu gibi devri düşürüp torku arttırmak için bir redüktöre ihtiyaç duymazlar. Kısa devir yüksek tork üretebilirler.
- Fırçalı motorlar sürtünme prensibiyle çalıştığı için arıza riski yüksek ve kısa ömürlüdürler. Fırçasız motorlar uzun ömürlü ve arıza riski çok düşüktür.
- Sabit mıknatıslar kullanıldığından dolayı manyetik alan kaybı söz konusu olamaz. Buda komütasyonu iyileştirici etkidir.

Dejavantajları ise şu şekildedir.

- Elektronik devreler ile çalışır. Bu da maliyeti arttırıcı bir etkidir.
- Sabit mıknatısların maliyetlerinin yüksek olması
- Mıknatısların zamanla demagnetize olmaları

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Altuğ ve diğ. (2001)'nin yaptığı çalışmada, plastik parçalara federler ekleyerek parçanın mukavemeti arttırılmış aynı zamanda eklenen federlerin parçanın görünümünü etkilemediğini görmüşlerdir. Aynı çalışmada feder ile plastik parçanın et kalınlığını arttırmadan çarpılmaları ve çökmeleri en aza indirildiğini de gözlemlediler.

Başka bir çalışmada ise topoloji optimizasyon metodu ile yapıların rijitliğini arttırmak için kullanılan federlerin optimal şekillerini ve konumlarını araştırmışlardır. Özellikle ağırlık kısıtlaması olan parçalarda kullanılacak olan federlerin konumu ve şekilleri çok önemlidir. Bu çalışmada yeni bir yöntem ile federlerin rijitliğini arttırarak kütlesini azaltmışlar, yeni feder tasarımı yaparak ana parçanın dayanıklılığını arttırmışlardır (Chung ve Lee, 2016).

Leong, ve diğ. (2022), Negatif Poisson oranı gibi biyomimetik mekanik özelliklere sahip yumuşak ağ malzemeleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Öngörülen mekanik özelliklere sahip ağ malzemeleri üretmek için birkaç sonlu eleman (FE) tabanlı tasarım stratejisi geliştirdiler. Bununla birlikte, önceden belirlenmiş bir negatif Poisson oranı ile büyük gerinime sahip ağ tasarımları elde etmek bir sorun olmuştur. Burada, büyük gerinimler üzerinde kontrol edilebilir negatif Poisson oranları ile yumuşak eksik feder yapılarının tasarımı için izogeometrik analiz ve bir genetik algoritma kullanılarak bir optimizasyon çerçevesi geliştirdiler. Altı bağına sahip eksik feder yapıları, düzlem stres koşulu altında -0,1 ila -0,6 arasında %70'e kadar değişen sabit negatif Poisson oranları elde etmek için optimize ettiler. Bu optimize edilmiş tasarım, sıvı katkılı üretim yoluyla biyoyumlu bir malzeme kullanılarak ürettir ve deneysel olarak doğrulayarak, biyomedikal uygulamalar için feder tasarımlarının potansiyelini gösterdiler.

Lam ve Santhikumar, (2003)'ün yaptığı çalışmada özellikle belirli bir tasarım kısıtına sahip çalışmalarda federlerin optimum konumlarının otomatik olarak belirlenmesi için bir metodoloji geliştirdiler. Bu yeni metodoloji ile federlerin yüksekliği ve genişliği, federler arasındaki mesafe ve federlerin birbirleri ile kesişmesine izin verilip verilmediği gibi kısıtlamaları dikkate aldığı gibi yeni metodoloji herhangi bir sonlu elemanlar analizine harici bir döngü olarak eklenebilmektedir. Böyle tasarım

kısıtlamalarına göre uygun federlerin yerlerini ve konumlarını tespit etmesini kolaylaştırmıştır.

Kuyumcuoğlu (2008)'nin, tahrik uygulamaya gerek kalmadan sistemlerin gerçek çalışma şartları altındaki dinamik özelliklerinin belirlenebilmesini hedefleyen çalışma şartlarındaki modal analiz yöntemleri, bu süreci daha kolay ve daha ekonomik hale getirdiğini ve bu yöntemin uygulamalar için cazip gözüktüğünü belirtmiştir.

“Modal Analiz” kitabında He ve Fu (2001, s.2) “Doğal titreşim modları, dinamik bir sistemin doğasında vardır ve tamamen fiziksel özellikleri (kütle, sertlik, sönümleme) ve bunların mekansal dağılımları tarafından belirlenir” şeklinde görüş beyan etmiştir.

Tian-Syung ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada bir plastik federin optimum yapısal parametrelerinin, hem Taguchi yönteminin hem de ANSYS'nin entegrasyonu ile etkili bir şekilde bulunabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışma ile, çeşitli feder şekilleri için optimum tasarıma sahip gelişmiş bir sistemin oluşturulabileceğini ve bunun yeni bir ürünün geliştirme süresini en aza indirmede, plastik enjeksiyon endüstrisi için feder tasarımına yeni bir teknik kattığını göstermişlerdir.

Eisenberger ve Deutsch, (2015)'ın yaptığı çalışmada ise kenarları sabitlenmiş dikdörtgen plakaların doğal frekanslarının daha basit sınır koşullarına sahip eşdeğer plakaların statik analizinden bulunabileceğini göstermişlerdir. Bu yeni yöntem gelecekteki yeni çalışmalarda, kenarlarında herhangi bir sınır koşulu setine, kompozit malzemeye ve fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemelere genişletilebileceğini ve doğruluk oranının ise bilinen yöntemlere kıyasla çok yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Vanam ve diğ. (2012), çeşitli sınır koşulları ve çeşitli yük uygulamaları ile izotropik dikdörtgen bir plakanın statik analizini analiz etmeyi amaçlamışlardır. İzotropik dikdörtgen bir levha için, ana elemanı dört düğümlü bir dörtgen eleman olarak kabul ederek sonlu eleman analizi gerçekleştirdiler daha sonra MATLAB matematiksel yazılımında programlama geliştirerek sayısal analiz (sonlu elemanlar analizi, FEA) yapılmış ve MATLAB'den elde edilen sonuçlar, klasik yöntem - kesin çözümler ile elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum göstermiş. Daha sonra aynı yapı için sonlu elemanlar analiz yazılımı ANSYS kullanılarak analiz yapılmış. Bu iş, sonuçların sadece düğüm noktalarında değil, aynı zamanda dikdörtgen plakanın tüm yüzeyinde elde edilmesine yardımcı olmuş ve son olarak FEA sayısal analizinden elde edilen

sonuçlar ile ANSYS sonuçlarının klasik yöntem - kesin çözümler ile karşılaştırılması yapılmış. Sayısal sonuçlar, sonlu elemanlar analizi ve ANSYS benzetim sonuçları ile elde edilen sonuçların, klasik yöntemden kesin çözümlerden elde edilen sonuçlarla yakın uyum içinde olduğunu gösterdiler.

Amjadve diğ. (2001), yaptıkları çalışmada fiber takviyeli, plastik sandviç eğik köprü tabliyesi veya üst yapısını incelemek için basitleştirilmiş bir statik analiz prosedürü sunmuşlar. Bu sadeleştirilmiş yöntemde Ritz metodu kullanılmış, ve bu basitleştirilmiş yöntem ile mühendislerin kapsamlı sonlu eleman analizlerine başvurmadan, tasarımın ilk aşamalarında belirli bir soruna yönelik çok çeşitli çözümleri keşfetmelerine olanak tanıdığını beyan etmişlerdir.

Karuppaiah ve diğ. (1999), bir binek araca ait aksları, süspansiyon ve lastikleri dikkate almışlar ve Lanczos yöntemi ile başarılı bir şekilde Modal analizi tamamladılar. Test sonrasında aracın kritik bölgelerinde bulunan ivmeölçerden ve gerinimlerlerden topladıkları verileri sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırdılar. Aracın maksimum sürüş konforu için, optimum süspansiyon ve lastikzelliklerini bulmak amacıyla parametrik çalışma da yapmışlar.

Konez, (2019) yaptığı çalışmada, trenlerde kullanılan bir tür şasi eşitidi olan Y32 boji şasının statik analizde aşırı yük durumlarını incelediler. Yorulma analizinde her düğüm noktasına (node) karşılık gelen ortalama gerilme (mean stress) ve gerilme genliği (alternating stress) sonuçları çıkartmışlar ve bu sonuçları Haigh Diyagramı'nda değerlendirmişler, çıkan sonuçların gereksinimlerini karşıladığını beyan etmişlerdir.

Erzurumlu ve diğ., (2005) yaptıkları çalışmada farklı feder kesit tiplerine ve federlerin yerleşim açısına sahip plastik parçaların işlem parametreleri açısından eğrilme ve çökme indeksinin Taguchi optimizasyon yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, paketlenme basıncı, ek olarak feder kesit tipleri ve feder yerleşim açısı gibi işlem parametreleri gözönüne aldıklarında, çarpılma ve batma indeksi verilerinden yararlanmak için bir dizi kalıp analizi gerçekleştirmişler bunların sonucunda enjeksiyonla kalıplanmış termoplastik parçalarda meydana gelen kalite problemini zlemek için Taguchi yönteminin çok uygun olduğu sonucuna varmışlar.

Polagangu ve diğ. (2009) alışmasında, bir nakliye uçağının kanat kirişleri arasındaki federleri, kanatların bükülmesinden kaynaklı yük altındaki davranışını sonlu elemanlar

analiziyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonuncunda federlerin yeniden tasarlanması ile birlikte toplam kütlesini %15.77 azaltarak ağırlık tasarrufu sağladılar.

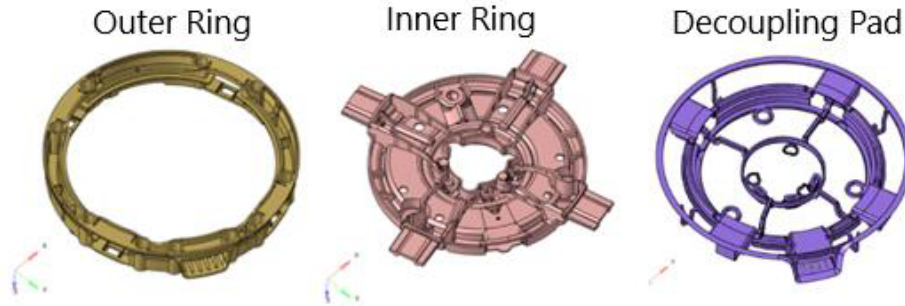
Bir başka çalışmada ise Erdemir ve Özkan (2019), esneyerek kilitlenen plastik bir bağlantı elamanının modal analizi ile doğal frekanslarını incelediler. Aynı zamanda çalışma ortamında bulunan titreşimin bu bağlantı elemanlarının kendi kendine çözülme olup olmayacağını incelemişler. Böylece tasarımı yapılan bağlantı elamanının çalışma ortamında güvenli bir şekilde çalışıp çalışmayacağını kontrol etmişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

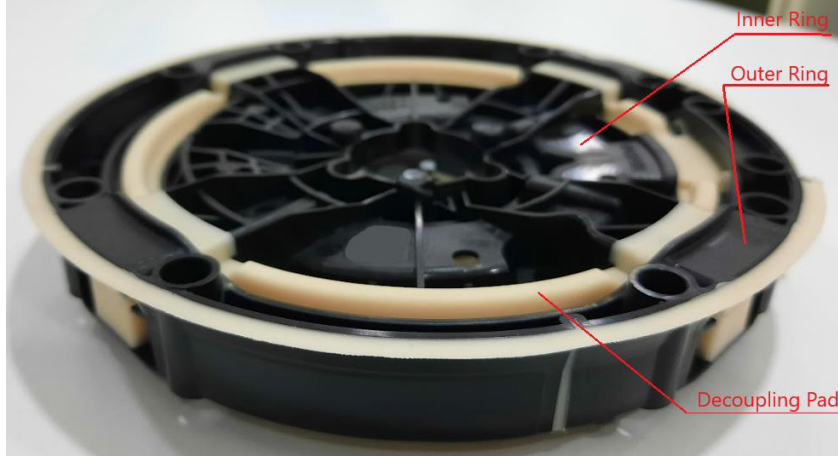
3.1. Motor Tutucu Parçası

Motor Tutucu parçası BLDC Motorun en önemli bileşeni olup 2K plastik enjeksiyon teknolojisi ile üretilmektedir. BLDC motorun tüm yükünü taşıdığı için çalışma koşullarında mukavemetli olması istenmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında bu ürün seçilmiştir.

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Motor Tutucu parçası “Inner Ring”, “Outer Ring” ve “Decoupling Pad” olmak üzere 3 kısıma ayrılmaktadır. Inner ring parçası bu tez kapsamında incelenen parça olup asıl yükün uygulandığı kısımdır. Outer ring ise inner ring kısmının bağlandığı ve motor tutucu parçanın HVAC ünitesine bağlanan ve “Deflektör” diye adlandırdığımız parçaya montajının yapıldığı kısımdır. Genellikle fazla yüke maruz kalmazlar. Decoupling pad kısmı ise inner ring ile outer ring parçalarının arasında kalan bir parçadır. Inner ring ve outer ring parçaları %20 Talk dolgulu polipropilen (PPTD20) malzemesinden üretilirken Decoupling pad parçası daha yumuşak olan Stiren Etilen Butilen Stiren (SEBS) malzemesinden üretilmektedir. Bunun sebebi, motordan ve yoldan gelen titreşimlerin bir kısmı bu decoupling pad’ de absorbe edilir. Kalanlar BLDC motora geçer. Bu nedenle bu parçanın malzemesi yumuşak bir hammadde seçilmiştir. Şekil 3.2’de montajlı hali bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Motor tutucu parça ve kısımları

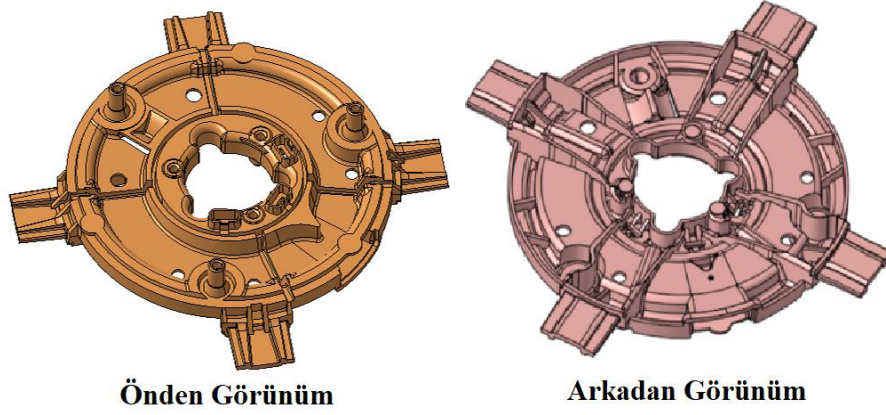


Şekil 3.2. Motor tutucu parça ve kısımları (gerçek parça görseli)

3.2. Malzeme Seçimi

Plastik parçaların imalatında en yaygın olarak kullanılan plastik türü polietilen ve polipropilen malzemesidir. Şekillendirme ve kalıplanabilirliğinin kolay olması, yoğunluğunun en düşük plastik türlerinden biri olması, maliyetinin düşük olması, kimyasallara karşı dirençli olması, istenilen renkte üretilebilmesi, elektrik direncinin yüksek olması, ısı iletim katsayısının düşük olması, mekanik özelliklerinin iyi olması vb. özelliklerinden dolayı polipropilen malzemesi bu çalışma kapsamında tercih edilmiştir (Altuğ ve diğ., 2001, s. 1).

Motor tutucu parçası, daha önce izah edildiği gibi elektronik kart, rotor ve statorun montajının yapıldığı, klima motorunun gerek boştaki dururken gerekse çalışırkenki yükünü taşıyan aynı zamanda elektronik kartın soğumasında önemli payı olan bir bileşendir. Aynı zamanda aracın çalışması esnasında oluşan titreşim ve hareket anında yoldan gelen titreşimlerin büyük bir kısmını da absorbe ederek motorun daha performanslı çalışmasına olanak sağlar. Bunun yanında çok farklı iklim koşullarına sahip dünyanın bir çok yerinde; tozlu, yağmurlu, sıcak ve soğuk ortamlarda dahi binek araçların kullanım koşullarını göz önünde bulundurduğumuzda klima motorunun performanslı çalışması istenmektedir. Bu nedenle bu çalışma koşullarına dayanabilecek dayanıma sahip olması gerekmektedir. Otomotiv endüstrisinde yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı polipropilen türü bir malzeme tercih edilmiştir. Motor tutucu parçanın görseli Şekil 3.3’de, kullanılan malzemenin özellikleri de Tablo 3.1’de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Motor tutucu parça ilk tasarım görünümü

3.1.1. PPTD20 malzeme özellikleri

Bu çalışma için seçilen PPTD20 malzemesi (%20 Talk dolgulu polipropilen), toksik olmayan, düşük yoğunluklu, mukavemetli, sertlik ve ısı direnci düşük basınçlı polietilenden daha iyidir, yaklaşık 100 °C'de kullanılabilir. İyi dielektrik özelliklere ve yüksek frekanslı yalıtıma sahiptir ve nemden etkilenmez ancak düşük sıcaklıklarda kırılgan hale gelir, aşınmaya dayanıklı değildir ve yaşlandırması kolaydır. Genel mekanik parçalar, korozyona dayanıklı parçalar ve yalıtım parçaları yapmak için uygundur. Asitler ve alkaliler gibi yaygın organik çözücüler üzerinde çok az etkiye sahiptir ve gıda gereçleri için kullanılabilir. Polipropilen yüksek kristaliteye ve düzenli yapıya sahiptir, bu nedenle mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Polipropilenin mekanik özelliklerinin mutlak değeri polietilenden daha yüksektir. Sıcaklık ve yükleme oranı polipropilenin tokluğu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Sıcaklık camsı geçiş sıcaklığından daha yüksek olduğunda, darbe hasarı sünek kırılmadır fakat sıcaklık camsı geçiş sıcaklığından daha düşük olduğunda ise gevrek kırılma olur ve darbe mukavemeti değeri büyük ölçüde azalır. Yükleme oranının artırılması sünek kırılmadan, gevrek kırılmaya geçiş sıcaklığını artırabilir. Bükülme yorgunluğuna karşı mükemmel dirence sahiptir ve ürünler oda sıcaklığında hasar görmeden birkaç kez bükülebilir (Juliertechn, 2017).

Tablo 3.1. PPTD20 malzeme özellikleri

Bileşen	Malzeme Adı	Yoğunluk (g/cm ³)	Young Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Çekme Dayanımı (MPa)
Motor Tutucu	PPTD - 20	1.04	3200	0.38	32

3.3. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Sonlu Elemanlar Analizi

Bu çalışma bilgisayar destekli tasarım (CAD- Computer Aided Design) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım programları bir ürünün geliştirilmesinde büyük payı vardır. CAD kullanılmaya başlanmadan önce, yeni ürünlerin tasarlanması ve üretilmesi çok uzun zaman almaktaydı. Tasarlanıp üretilen ürün gerekli testlere tabi tutulur ve bir takım geri bildirimler alınarak parça hakkında fikir sahibi olunurdu. Bu da hem zaman olarak hem de maliyet olarak tercih edilemeyecek bir durumdu. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bütün bunları sanal ortamda gerçeğe yakın bir şekilde yapan CAD sistemi geliştirilmesi hem iş verenleri hem de girişimcileri büyük bir iş gücünden ve maliyetten kurtarmıştır.

Öncelikle katı model tasarım programlarında tasarlanan parça, analiz programına aktarılır. Burada genellikle kullanılacak model, 2mm den ince ve sabit kalınlıklı ise, yüzeyinde çok fazla girinti ve çıkıntı yoksa katı modelden ziyade yüzey olarak modelleme tercih edilir. Parça kalınlığı analiz programına tanımlanır. Bu da özellikle optimizasyon çalışmalarında parça kalınlığını ve/veya bağlantı noktalarını değiştirme durumlarında tekrar modelin çizilmesi, analiz programında mesh yapma gibi süreçlerin tekrarlanması önüne geçmektedir. Fakat kullanılacak olan model 2mm den kalın, değişken kalınlıklı ve yüzeylerinde girinti ve çıkıntı fazla ise genellikle katı model olarak tercih edilir. Kullanılan modelde feder kalınlığı ile parça kalınlığı farklı olduğu için katı model olarak mesh işlemi yapılır. İlgili parametre ayarları yapıldıktan sonra yapılmak istenilen analiz gerçekleştirilip sonuçlar alınır.

3.3.1. Statik analiz

Statik analiz ile, bir yapının üzerindeki yükün veya dışarıdan gelen herhangi bir etkinin yapının üzerindeki etkisine bakılır ve bu yapının güvenli olup olmadığı veya sehim gibi konularda bilgi alınmasını sağlayan analiz türüdür. Günümüzde endüstride, hemen hemen her konuda statik analiz kullanılmaktadır. Bir arabanın kendi dayanımı

veya bir profil sisteminin üzerindeki yükü taşıyıp taşıyamayacağı konularında ve benzeri diğer konularda statik analiz kullanılmaktadır (Kırmızı Mühendislik, 2020).

Yeni ürün tasarımlarında veya mevcut ürünün geliştirilmesinde sıklıkla tercih edilen statik analiz, özellikle topolojik optimizasyon metodu ile parça hafifletme çalışmalarında çok sık tercih edilir. Gerçek çalışma koşullarında maruz kalacağı yükü, sanal ortamda yükleyerek malzemenin/parçanın nasıl davranacağını görüp çalışmalar ona göre şekillendirilir. Buda yukarıda izah edildiği gibi hem zaman açısından hem de maddi açıdan çok büyük kazanç sağlar.

3.3.2. Modal analiz

Modal analiz, nesnelerin yapısal dinamiklerini, yapıların ve nesnelerin nasıl titreştiğini ve uygulanan kuvvetlere ne kadar dirençli olduklarını anlamak için vazgeçilmez bir araçtır. Böylece tasarımlar test edilebilir, optimize edilebilir ve doğrulanabilir. Modal analiz , otomotiv, inşaat mühendisliği, havacılık, enerji üretimi ve müzik aletleri endüstri vb. daha birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesinde yaygın olarak kabul edilmektedir. Nesnelerin doğal rezonans frekansları ve sönümlleme parametreleri hesaplanabilir ve ölçülen nesnelerin animasyonlu bir geometrisi üzerinde mod şekilleri görselleştirilebilir (RMC Mühendislik, 2009).

Modal Analizin ucuz ve hızlı olması, herhangi bir tahrik elemanına dolayısıyla da kuvvet sensörüne ihtiyaç duymaması en önemli avantajlarından biridir. Herhangi bir sınır şartı sınırlaması yoktur. Tahriki zor veya ölçülmesi uygun olmayan yapılara uygulanabilmektedir. Bunun yanında yöntemin dezavantajları da mevcuttur. İlk olarak çoğu mühendisler için yeni bir tekniktir. Yapıya ait bazı ön bilgilere ihtiyaç vardır. Çalışma şartlarında modal analizin en önemli şartlarından biri ise bir referans ivmeölçere (sensör) ihtiyaç duyulmasıdır. Bu referans ivmeölçer yapı üzerinde herhangi bir yere konmamalıdır. Herhangi bir mod şeklinde yapı üzerinde hareketsiz kalan noktalar nodal nokta olarak adlandırılır. Dolayısıyla referans ivmeölçer de bu nodal noktaların üzerinde olmamalıdır. Tam aksine tüm mod şekillerinde yapı üzerinde en fazla deplasman gördüğümüz yerlere referans ivmeölçer koyulmalıdır. Çalışma Şartlarında Modal Analiz yöntemleri yüksek veri kapasitesine ve hesaplamasına ihtiyaç duyar (Kuyumcuoğlu, 2008).

Bu alışmada Modal analiz tek başına değerlendirilmek yerine statik analiz ile birlikte değerlendirilecektir. Çünkü modal analiz ile parçanın doğal frekansı tespit edilmektedir ve bu doğal frekansın değişmesine etki eden faktörlerden birisi de parçanın kütle yapısının değişmesi ve parçanın rijitliğinin değişmesidir. Motor tutucu parçasının her ne kadar ana tasarımı değişmese de, feder yapılarının değişmesi ile parçanın rijitliği artmaktadır ve bu da doğal frekansını doğrudan etkilemektedir.

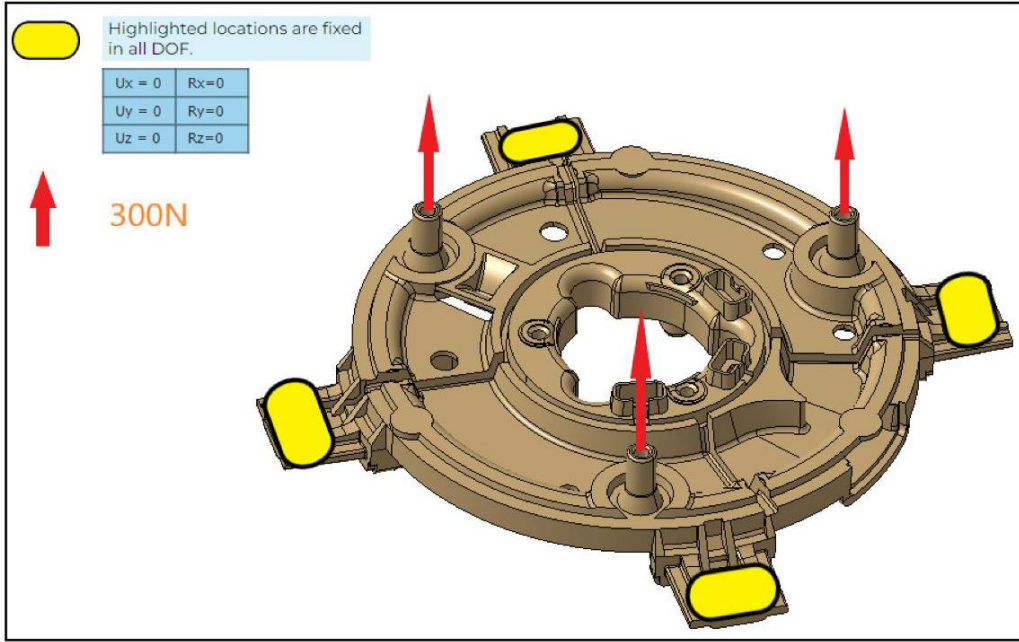
4. BULGULAR

BLDC motor içerisinde bulunan “Motor Tutucu” parçasının bilgisayar destekli analizi için gereken 3D modeli Catia V5 programı ile oluşturulmuştur. Daha sonra Altair Hypermesh programı ile mesh işlemi yapıldıktan sonra Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sınır şartları tanımlanmıştır. Sınır şartları, 3 boyutlu modelleri gerçek parça gibi davranması için gerekli olan şartlardır. Bunlardan ilki ve en önemlisi serbestlik derecesi. Her bir üç boyutlu parça üçü dönme ve üçü öteleme olmak üzere toplamda 6 serbestlik derecesine sahiptir. Parçanın çalışma koşuluna göre gerekli olan serbestlik derecesi sabitlenerek işlem yapılır. Bu çalışmada Şekil 4.1’de belirtilen noktalar, Motor tutucu parçasının diğer parçaya bağlandığı noktalar olup tüm serbestlik dereceleri sabitlenmiştir. Daha sonra gerekli kuvvet ve kuvvetin yönü tanımlandıktan sonra Abaqus programında statik analiz ve modal analiz yapılmıştır. Bu analiz çalışması, oda sıcaklığı +23°C ve maksimum çalışma sıcaklığı olan +80°C de gerçekleştirilerek davranışı incelenmiştir.

Tanımlanan kuvvet, “heatsink” parçası montajının yapıldığı ve kuvvetlerin Motor Tutucu parçasına uygulandığı yer olan 3 tane pinlere 300 N olacak şekilde uygulanmıştır. Bu 300 N’ luk kuvvet, müşteri istekleri ve geçmiş tecrübelerden gelen bilgilere dayanılarak tespit edilmiştir.

Statik analiz yaklaşık olarak 10 iterasyonda yapılmış olup her bir iterasyon sonrasında ana tasarım üzerinde gerilme yoğunluğunun fazla olduğu yerlere feder ilave ederek gerilmelerin dağılması sağlanmıştır. Ayrıca her bir iterasyonda eklenen federlerin uygunluğu kontrol edilmiş olup analiz sonrası da o bölgede kullanılan feder yapısının optimizasyonu da yapılmıştır. Böylece her bir tasarım değişikliği gerilme yoğunluğu azaltılırken aynı zamanda kullanılan federlerin de uygunlu kontrol edilmiştir. Bu uygunluk gerek kalıplanabilirlik/üretilebilirlik açısından gerekse parçanın montajına mani olmayacak şekilde konumlandırılmasına ve gerilme dağılımını maksimum düzeyde etki edecek şekilde kontrol edilmiştir.

Yapılan 10 iterasyondan sadece 3 iterasyon sonucu seçilip ana çalışma kabul edilmiştir ve bu tez çalışmasında bu 3 ana çalışma sonuçları paylaşılacaktır. Kalan iterasyonlar ise ana çalışma için yardımcı çalışmalar kabul edilerek çalışma sonuçları paylaşılmayacaktır.



Şekil 4.1. Sınır şartları

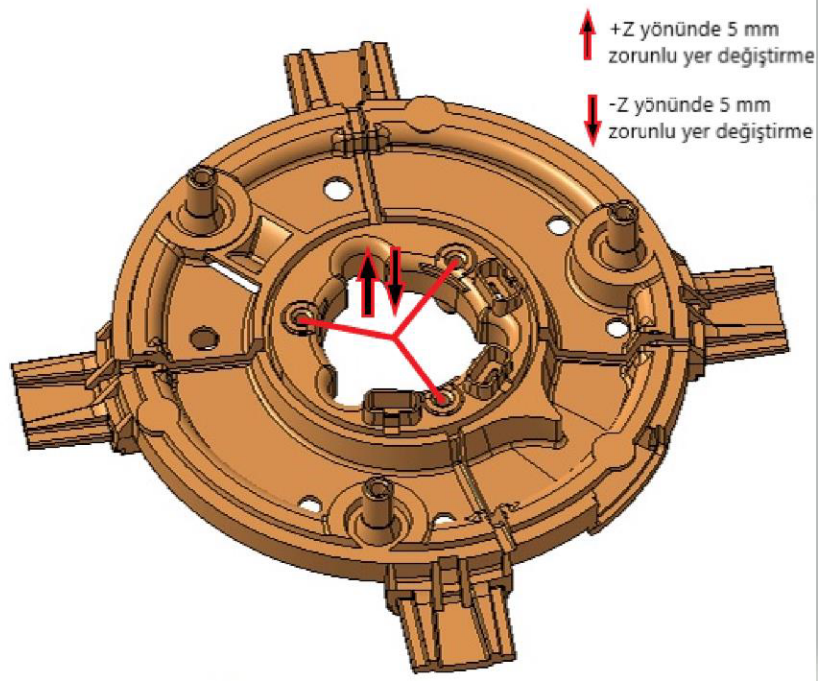
4.1. Statik Analiz Bulguları

Statik analiz öncesi, parçanın yalın tasarımında gerilme dağılımını görebilmek için öncelikle Şekil 4.2’ de gösterilen noktalardan kuvvet uygulayarak parçaya zorunlu 5 mm +/- Z yönünde hareket ettirilir. Bunun neticesinde parçanın bu zorunlu yer değiştirme neticesinde 23⁰C’de parçanın gösterdiği tepki kuvveti 1990 N iken, yer değiştirme neticesinde meydana gelen toplam gerilme ise 306MPa dır. Aynı zorunlu yer değiştirme 80⁰C’de yapıldığında parçanın gösterdiği tepki 995 N iken meydana gelen toplam gerilme ise 153 MPa olarak ölçülmüştür (Tablo 4.1, Tablo 4.2.). Bu tablodaki veriler parçanın plastik deformasyona uğradığını göstermektedir. Şöyleki Tablo 3.1’de verilen PPTD20 malzeme özelliklerinden “Çekme Dayanımı” malzemenin boyun vermeden önceki en yüksek değer olup analiz verilerindeki toplam gerilmeler bu sınırı aştığı için parçada plastik deformasyon meydana gelmiştir şeklinde yorum yapabiliriz.

Bu analizin amacı, statik analiz öncesinde parçadaki gerilme dağılımının hangi noktalarda yoğunlaştığını ve uygulanan kuvvetin parça üzerinde nasıl dağıldığını görebilmemiz içindir. Sonuçlar incelendiğinde +80⁰C sıcaklıktaki veriler 23⁰C sıcaklıktaki verilerin yarısıdır. Aynı şekilde Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de görüldüğü gibi gerilme yığılması parça üzerinde homojen dağılmayıp kuvvetin uygulandığı bölgede

yoğunlaşmıştır. Bu sonuçlar bize bu bölgelere yoğunlaşmamız gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 deki veriler neticesinde analizler “kötü koşul” prensibine dayanarak en kötü verilerin alındığı 23⁰C sıcaklıkta yapılacaktır.



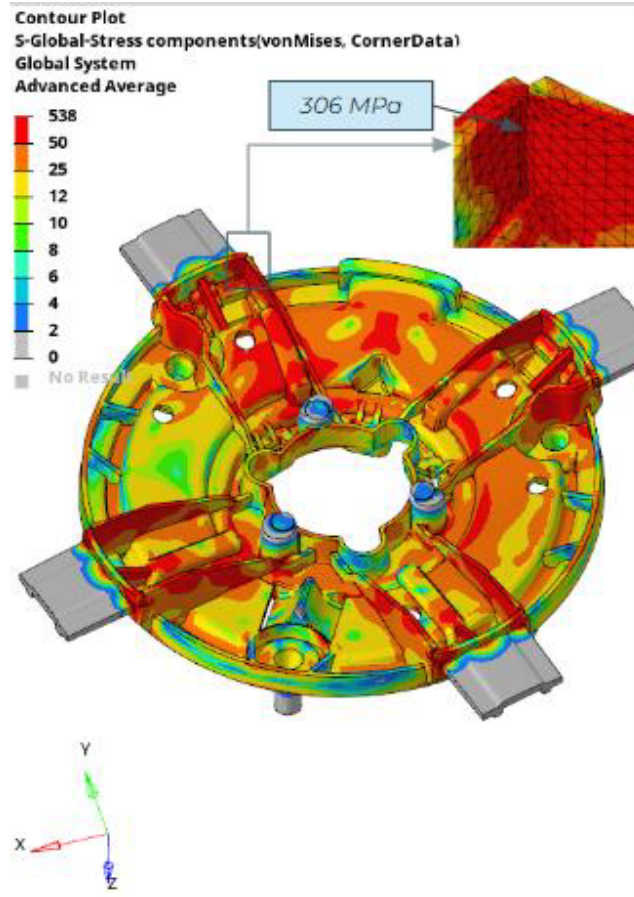
Şekil 4.2. Ön yükleme modeli

Tablo 4.1. 23⁰C Ön yükleme sonuçları

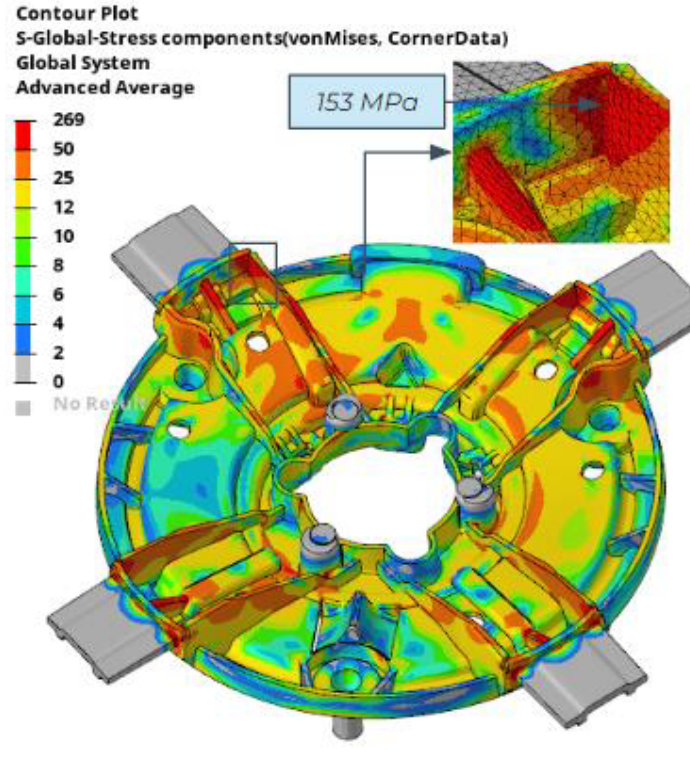
23 ° C Özet Sonuçlar		
	(+) Z Yönü	(-) Z Yönü
Yer Değiştirme (mm)	5.2	5.2
Tepki Kuvveti (N)	1990	-1990
Gerilme (MPa)	306	301

Tablo 4.2. 80⁰C Ön yükleme sonuçları

80 ° C Özet Sonuçlar		
	(+) Z Yönü	(-) Z Yönü
Yer Değiştirme (mm)	5.2	5.2
Tepki Kuvveti (N)	995	-995
Gerilme (Mpa)	153	153

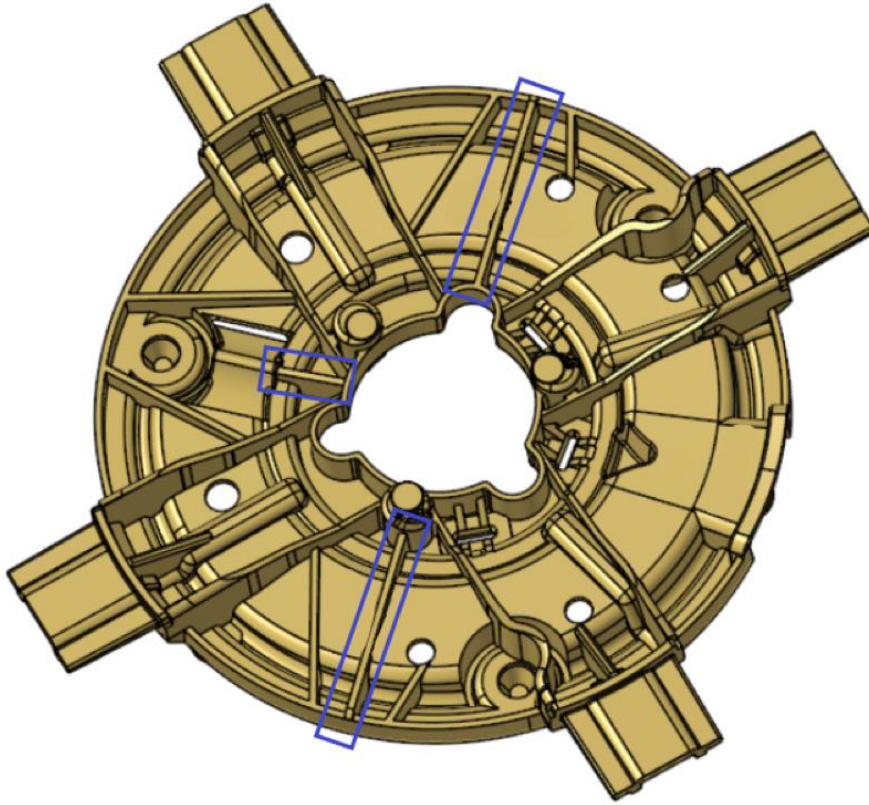


Şekil 4.3. Ön yükleme sonucu toplam gerilme yoğunluğu (23⁰C)

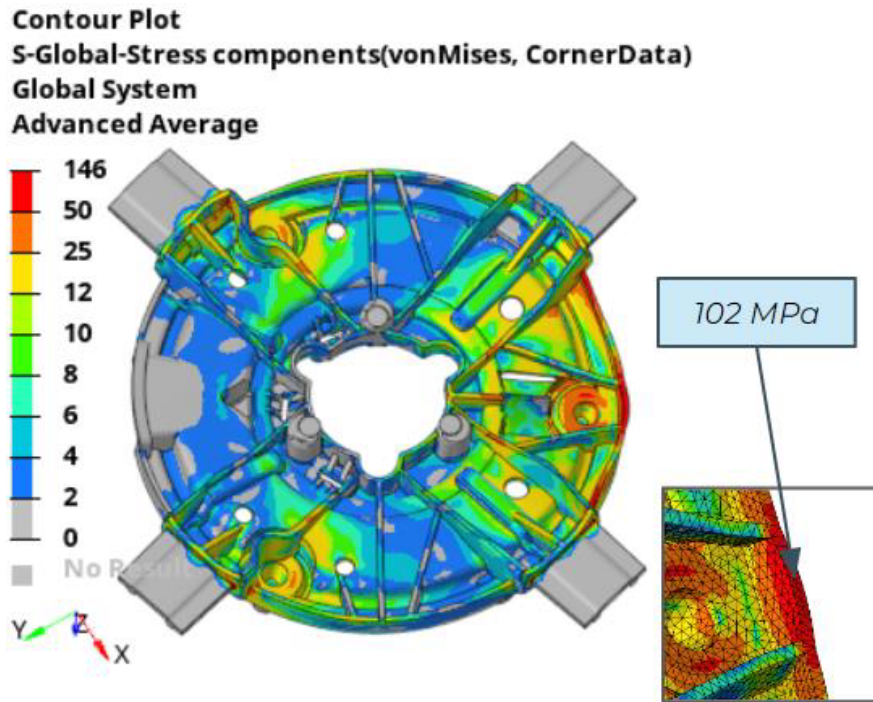


Şekil 4.4. Ön yükleme sonucu toplam gerilme yoğunluğu (80°C)

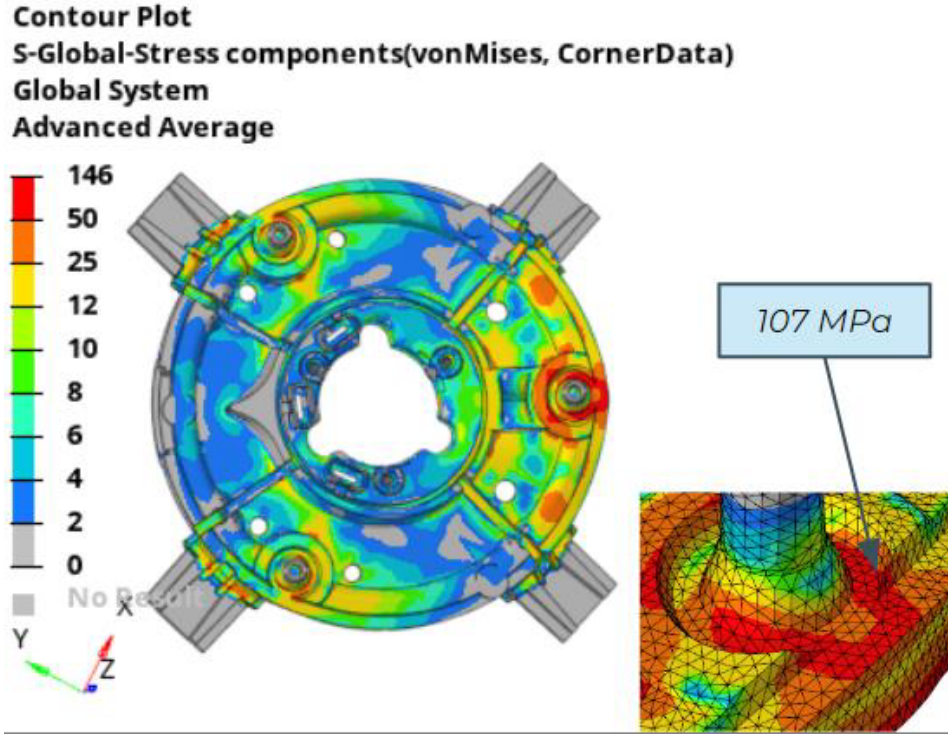
Ön yükleme analizinden sonra elde edilen veriler ile, ilk tasarıma Şekil 4.5’de gösterilen ilave federler eklenerek model güncellendi. Bu yeni güncellenmiş model üzerine Şekil 4.1’de belirtildiği gibi 300N luk kuvvet uygulayarak statik analiz yapıldı. Bu analiz neticesinde elde edilen toplam gerilme 107 Mpa’dır (Şekil 4.6a, Şekil 4.6b, Şekil 4.7a, Şekil 4.7b). Bu grafikler bize gerilme yoğunluğunun kuvvet uygulanan pin civarında toplandığını ve hala gerilmenin parça üzerinde homojen dağılmadığını gösterir. Aynı şekilde parçada oluşan maksimum gerilme, parçanın çekme dayanımını çok aştığı da görülmektedir. Bunun neticesinde parçada plastik deformasyon meydana gelmiştir şeklinde yorum yapılabilir.



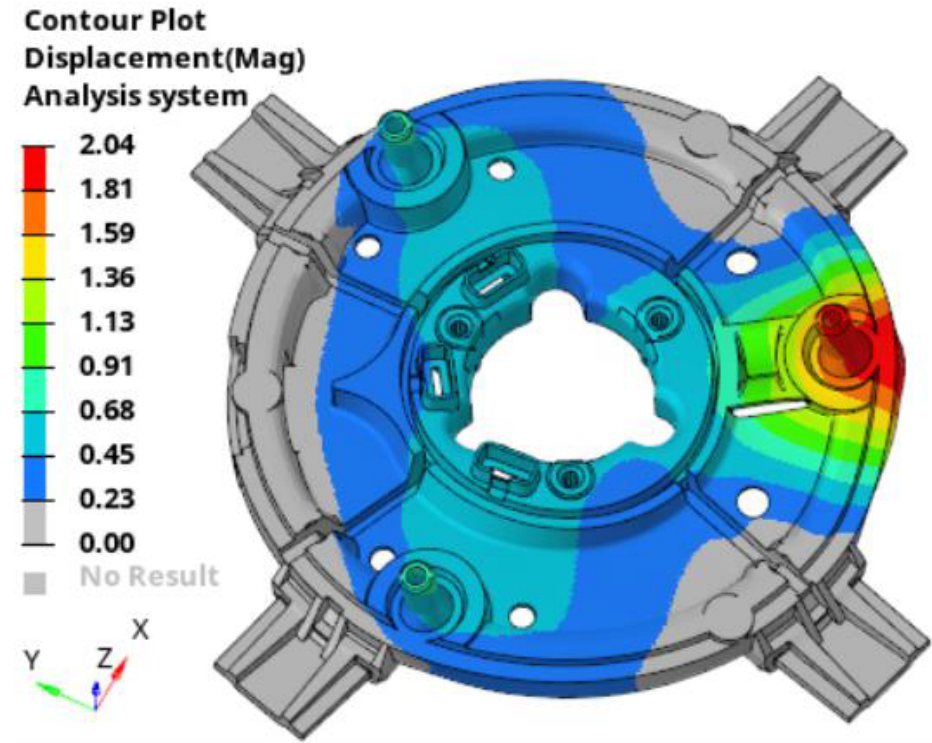
Şekil 4.5. 1.İterasyon analiz modeli



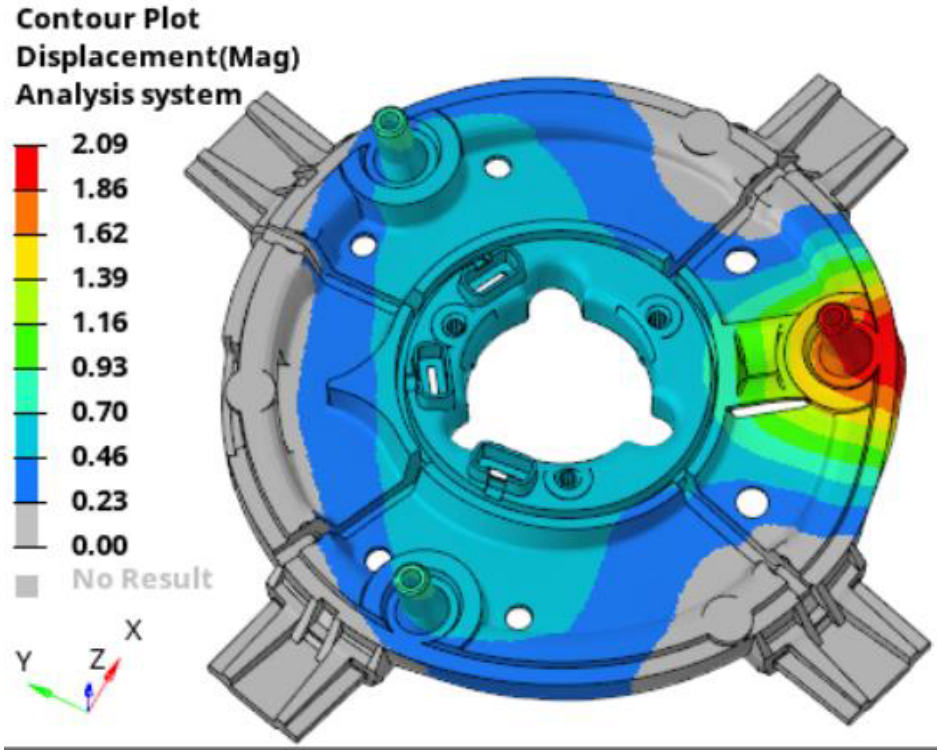
Şekil 4.6a. 1.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



Şekil 4.6b. 1.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



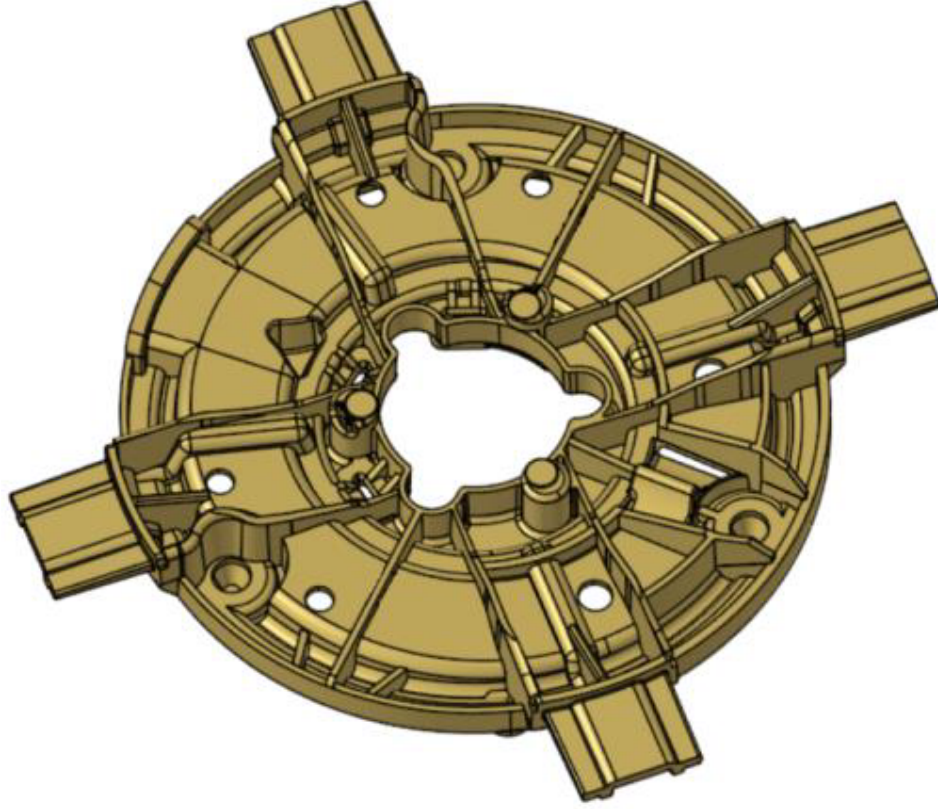
Şekil 4.7a. 1.İterasyon sonucu toplam deformasyon



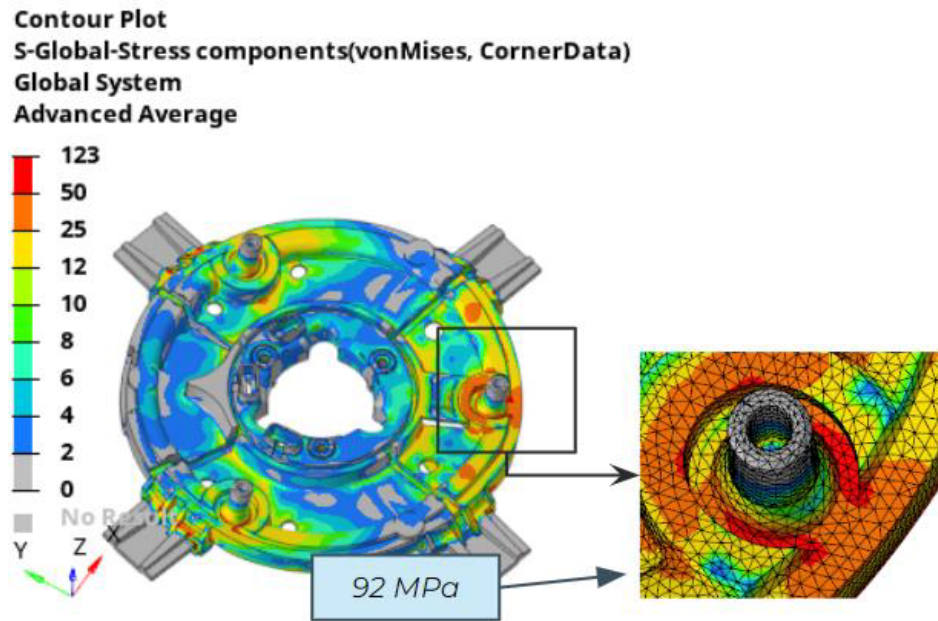
Şekil 4.7b. 1.İterasyon sonucu toplam deformasyon

Ayrıca parçada kuvvete bağlı yer değiştirme neticesinde meydana gelen toplam deformasyon 2.04 mm seviyesindedir. Her ne kadar uygulanan 300N kuvvet 3 pin ile parçaya uygulansa da Şekil 4.7’de görüldüğü gibi gerilme sadece tek pin bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bu da yukarıda izah edildiği gibi gerilmenin parçaya homojen dağılmadığını göstermektedir.

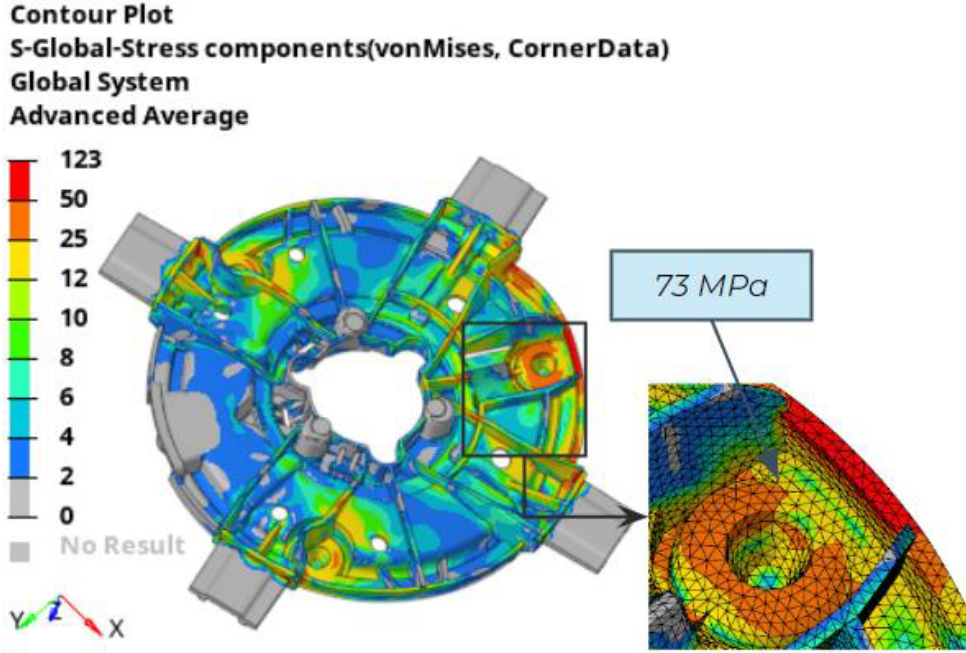
Bu bölgedeki gerilme yoğunluğunu ve deformasyonu azaltmak için federlerin konumunda ve tasarımında bir takım değişiklikler yapılarak statik analiz tekrarlanmıştır. Yapılan bu ara çalışmalar neticesinde Şekil 4.8’de olduğu gibi yeni bir model oluşturulmuştur. Yapılan analiz tekrar yeni tasarım için uygulanmış, bunun neticesinde Motor tutucu parçasında maksimum gerilmenin 92 MPa’a toplam deformasyon ise 1.69 mm’ye düştüğü görülmüştür (Şekil 4.9a, Şekil 4.9b, Şekil 4.10a, Şekil 4.10b).



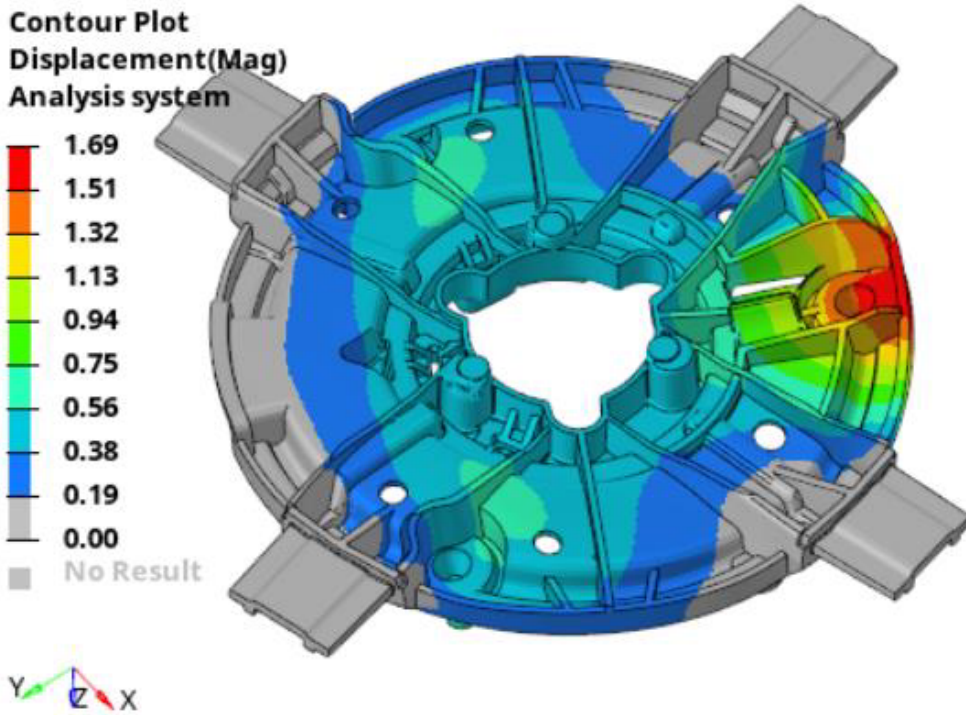
Şekil 4.8. 2.İterasyon analiz modeli



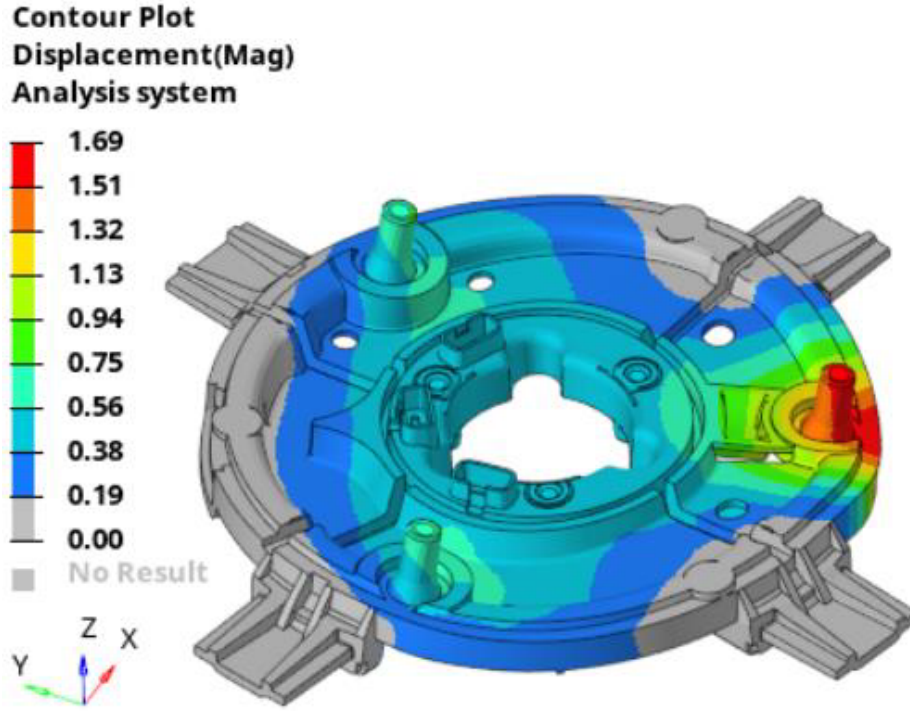
Şekil 4.9a. 2.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



Şekil 4.9b. 2.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



Şekil 4.10a. 2.İterasyon sonucu toplam deformasyon

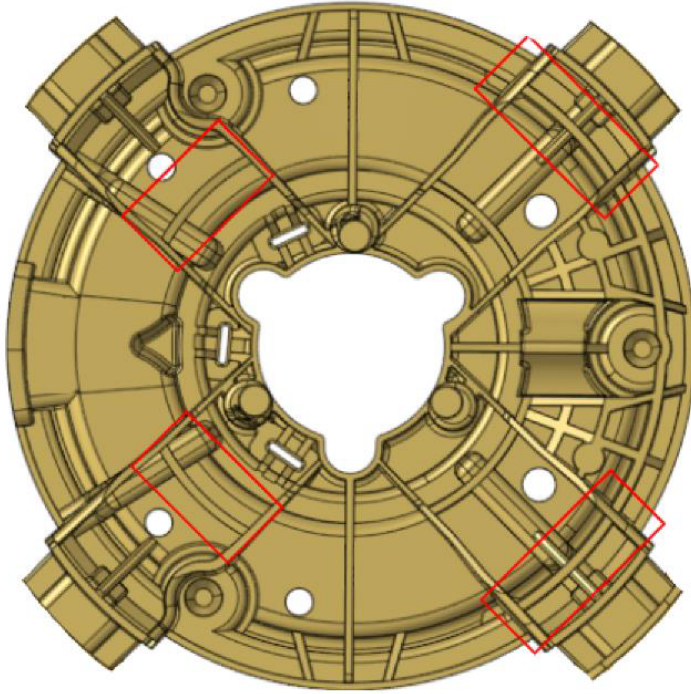


Şekil 4.10b. 2.İterasyon sonucu toplam deformasyon

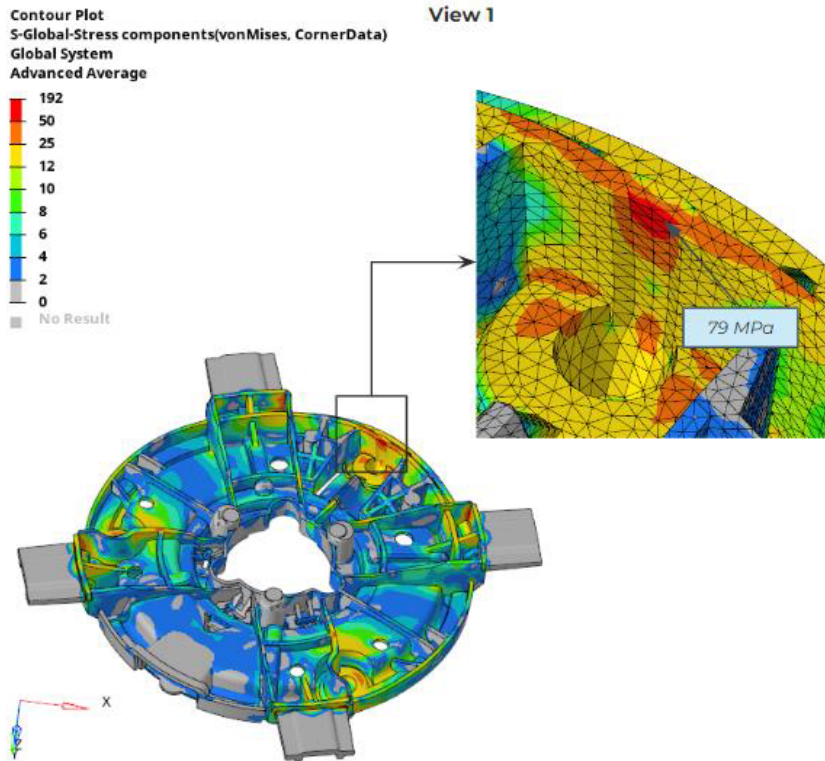
2.İterasyon sonucu yapılan değerlendirmede, eklenen feder yapılarının o bölgedeki gerilmeleri dağıtmada yetersiz kalmıştır. Bunun neticesinde de yeniden tasarım değişikliğine gidilmiştir. Yapılan ara çalışmalar ile o bölgedeki gerilmeleri parçaya dağıtmak için bir takım tasarım ve analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu ara çalışmalar ile hem parçanın genel yapısını etkilemeden hem de gerilmeleri dağıtmak için uygun feder yapısı hedeflenmiş ve Şekil 4.11 elde edilmiştir. Bu grafiklerden anlaşılabacağı üzere gerilme büyük oranda parçaya homojen bir şekilde yayılmıştır.

Yeni modele statik analiz tekrar uygulanmış ve bunun neticesinde Motor Tutucu parçasındaki toplam gerilme Şekil 4.12a ve Şekil 4.12b’de görüldüğü gibi 79 MPa’a, toplam deformasyon ise Şekil 4.13a ve Şekil 4.13b’de görüldüğü gibi 0.86 mm’ye düşürüldüğü görülmüştür.

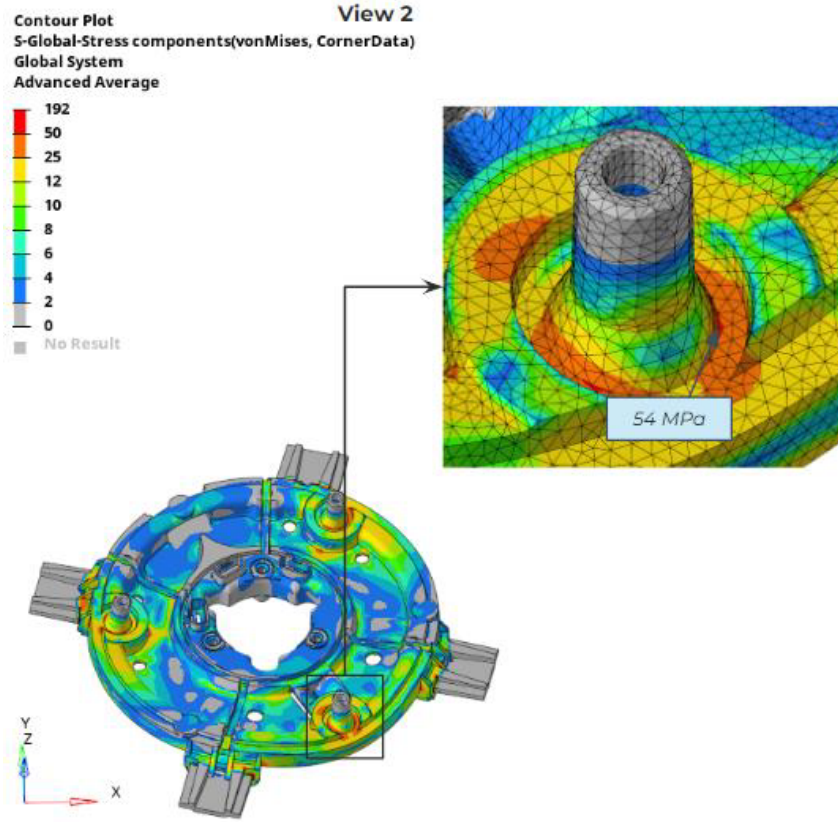
Yapılan değerlendirmede, parçanın ilk tasarımından son tasarımına toplamda 10 adet statik analiz gerçekleştirilmiş olup bu analizler arasından, Motor Tutucu parçasında meydana gelen toplamda deformasyon %57.84 oranında, toplam gerilme ise %26.17 oranında iyileştirilme sağlanmıştır.



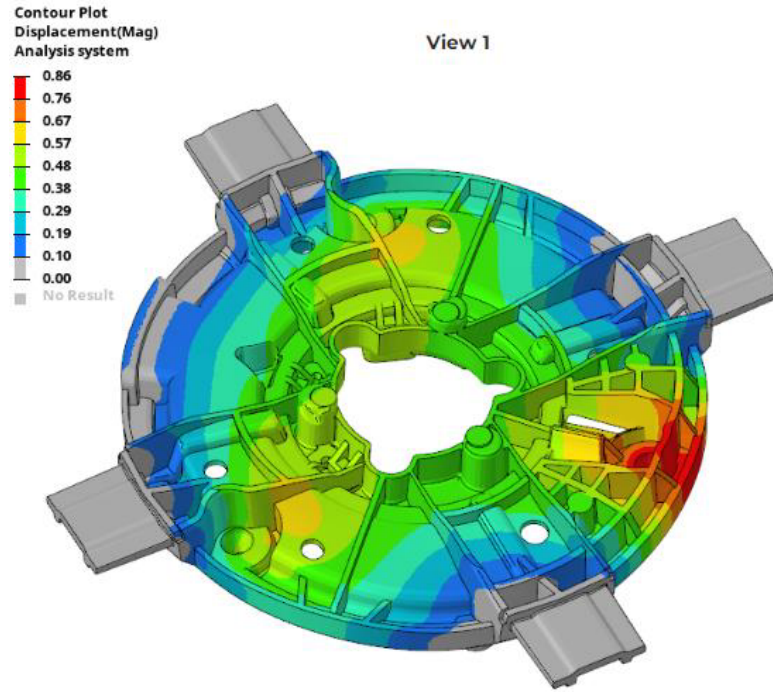
Şekil 4.11. 3.İterasyon analiz modeli



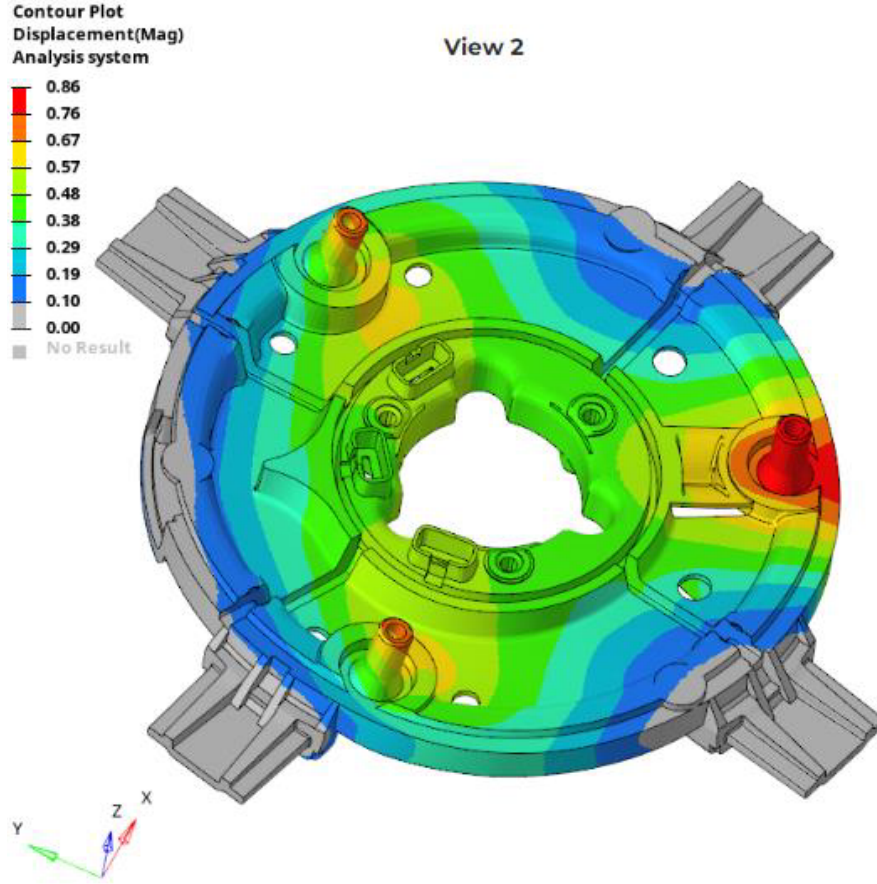
Şekil 4.12a. 3.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



Şekil 4.12b. 3.İterasyon sonucu toplam gerilme yoğunluğu



Şekil 4.13a. 3.İterasyon sonucu toplam deformasyon

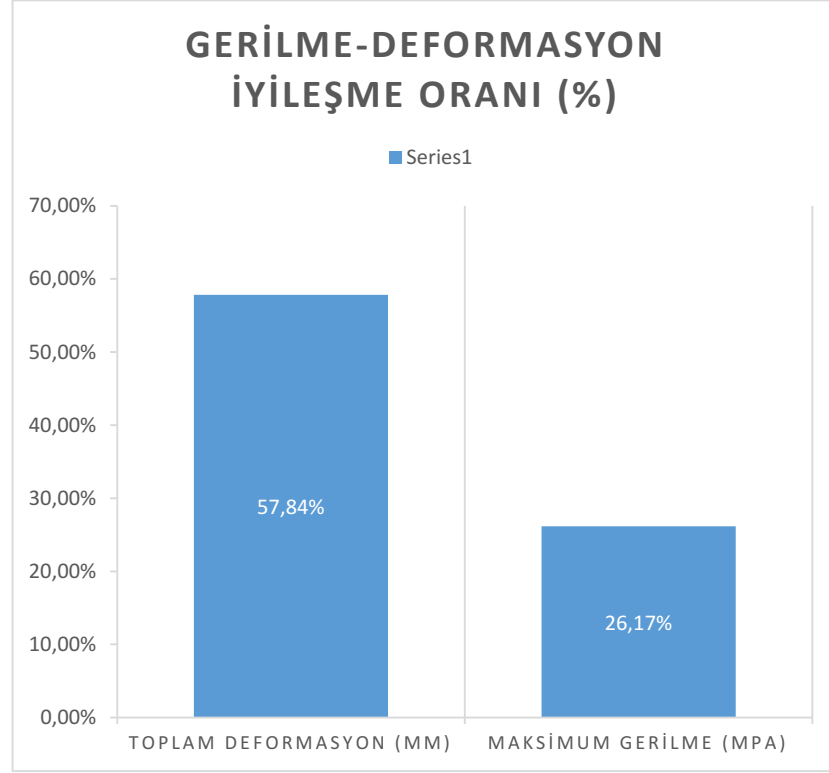


Şekil 4.13b. 3.İterasyon sonucu toplam deformasyon

Yapılan statik analiz çalışması neticesinde, motor tutucu parçasının toplam deformasyonu 2.04 mm'den 0.86 mm'ye düşürülerek %57.84, toplam gerilmesi ise 107 MPa'dan 79 MPa'a düşürülerek %26.17 oranında iyileşme sağlanmıştır. (Tablo 4.3. ve Şekil 4.14) Bu değerler parçanın çalışma koşulları için yeterli görülmüş ve bu çalışmalar neticesinde klima motorunun performansı artarak daha uzun çalışması sağlanmıştır.

Tablo 4.3. Statik analiz bulguları

	1.İTERASYON	2.İTERASYON	3.İTERASYON
Toplam Deformasyon (mm)	2.04	1.69	0.86
Maksimum Gerilme (MPa)	107	92	79



Şekil 4.14. Gerilme-deformasyon iyileşme oranı (%)

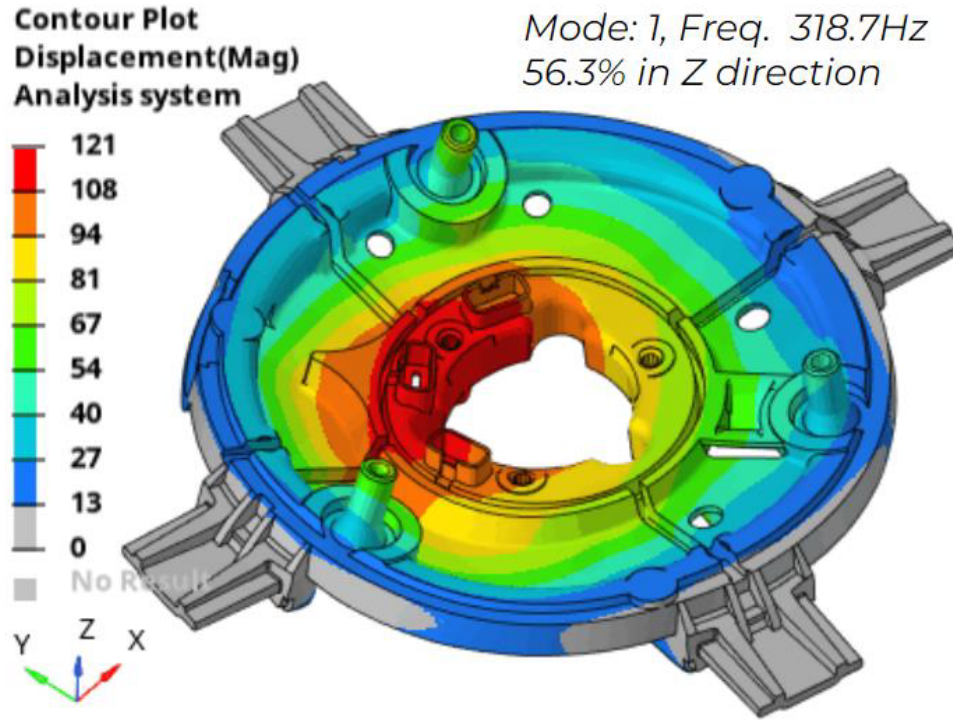
4.2. Modal Analiz Bulguları

Modal analiz, yukarıda bahsedildiği gibi parçanın doğal frekansını tespit edip, çalıştığı ortamın yaydığı titreşim ile rezonansa girip girmeyeceğinin kontrol edildiği önemli bir analizdir. Tasarımlarda parçayı rijitleştirmek için yapılan her bir değişiklik direkt olarak parçanın doğal frekansını da etkilemektedir. Bu nedenle Modal analiz statik analiz ile beraber yorumlanmalıdır.

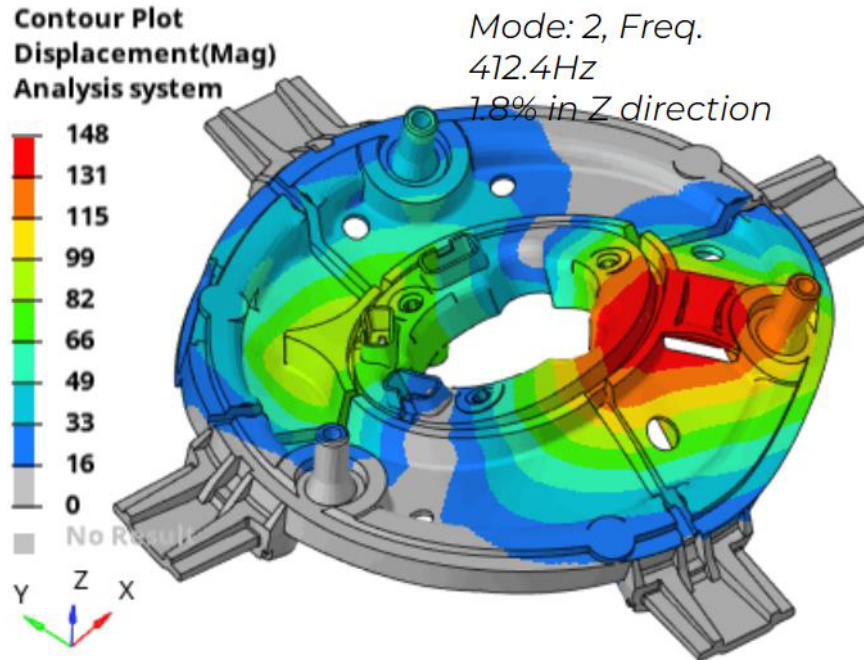
Modal analiz grafiklerinde karşımıza birden fazla “MOD” karşımıza çıkmaktadır. Mod şekilleri parçanın doğal frekansında çalışırken nasıl davrandığını gösteren önemli verilerdir. Bu veriler tasarımcılara, parçanın nerelerden tasarımsal değişikliği yapılarak rezonansa girmeyeceğini göstermektedirler.

Bu çalışmada ilk tasarımımıza yapılan +/- Z yönündeki 23⁰C ve 80 ⁰C’de 5 mm zorunlu yer değiştirme ile birlikte parçanın doğal frekansı da tespit edilmiştir. Bu parça için sadece 6 mod seçilmiş olup bunlar geçmişteki tecrübelerle istinaden bu şekilde

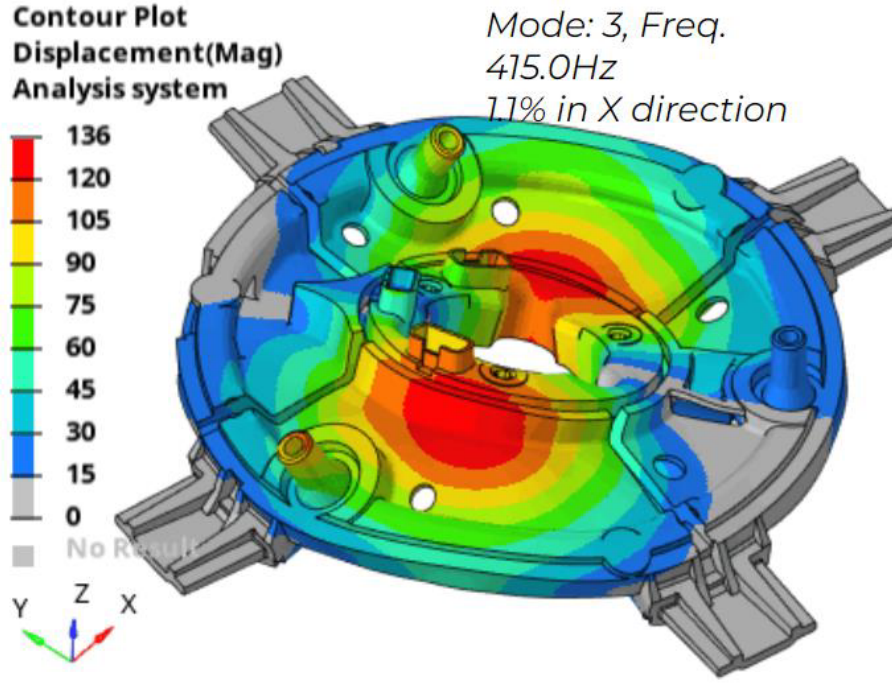
uygulanmıştır. Bu 6 mod'a ait frekans değerleri Şekil 4.15a-f ve Şekil 4.16a-f'de verilmiştir.



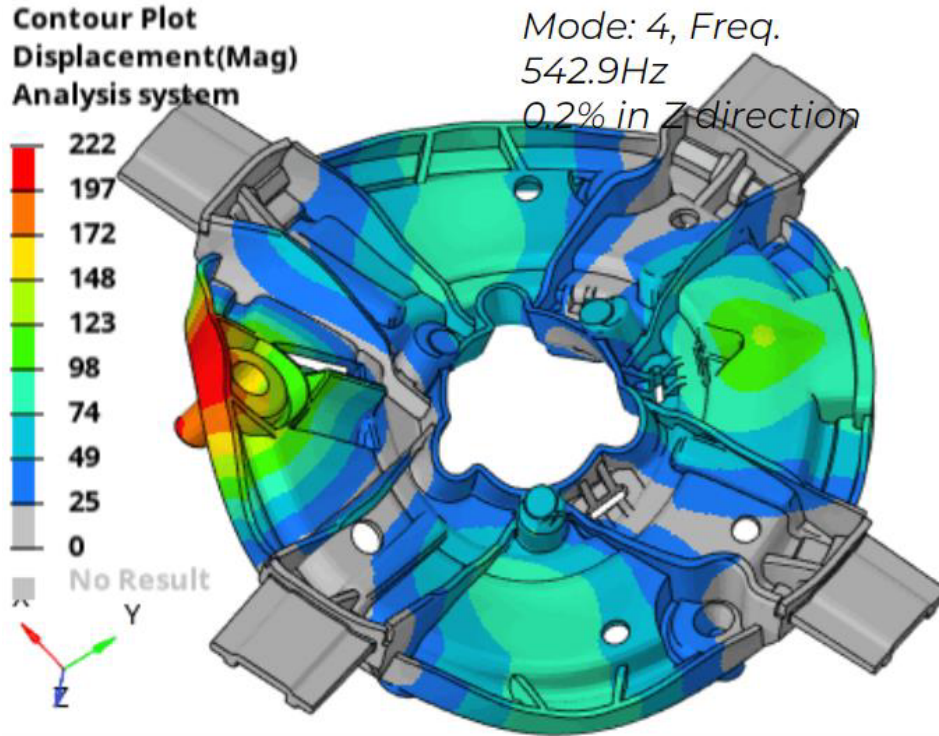
Şekil 4.15a. Ön yükleme modal analizi mod1 ve doğal frekansı (23⁰C)



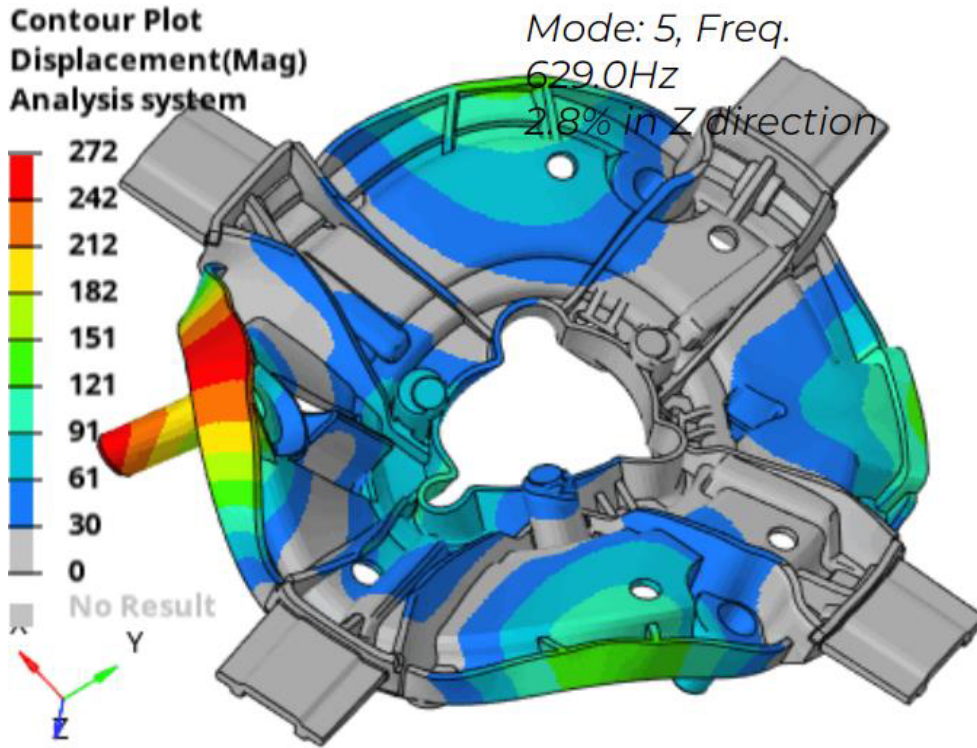
Şekil 4.15b. Ön yükleme modal analizi mod2 ve doğal frekansı (23⁰C)



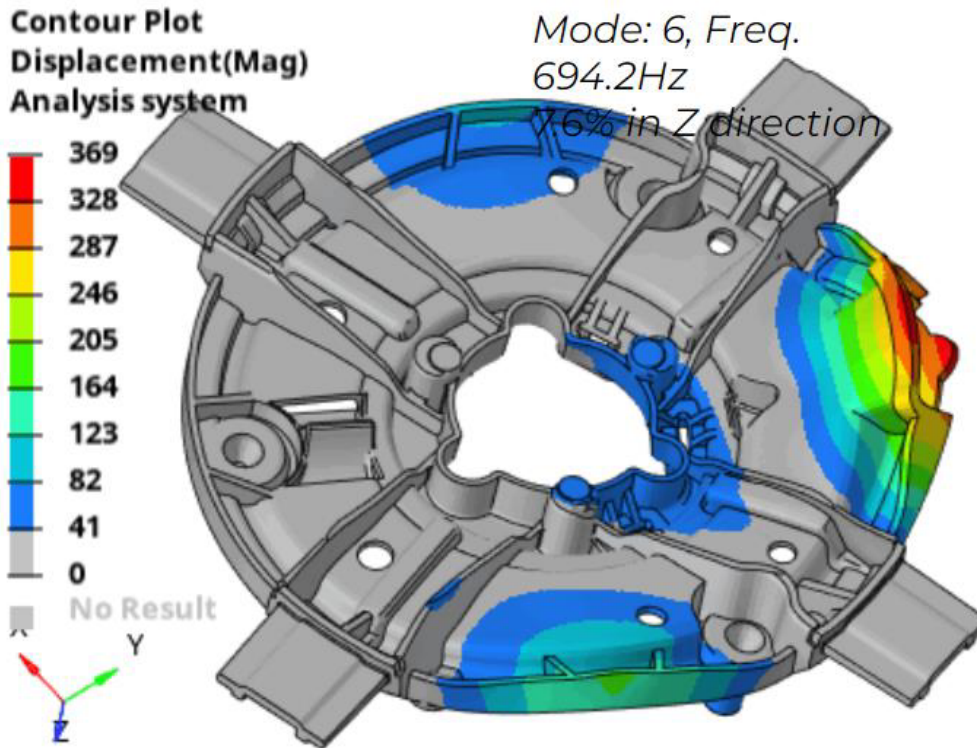
Şekil 4.15c. Ön yükleme modal analizi mod3 ve doğal frekansı (23⁰C)



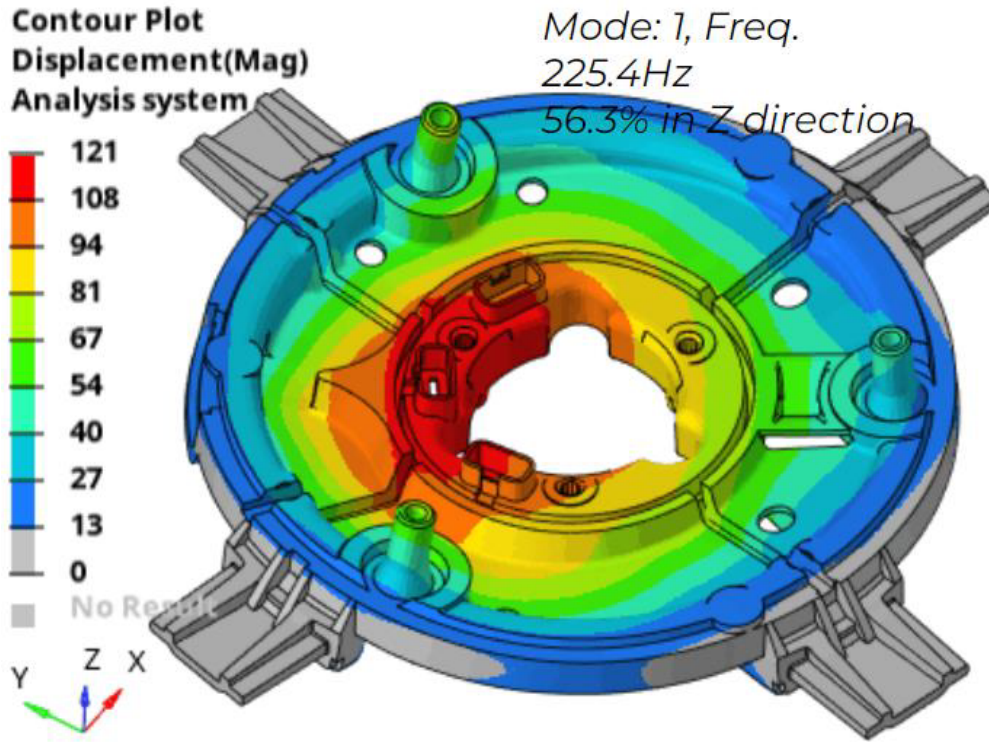
Şekil 4.15d. Ön yükleme modal analizi mod4 ve doğal frekansı (23⁰C)



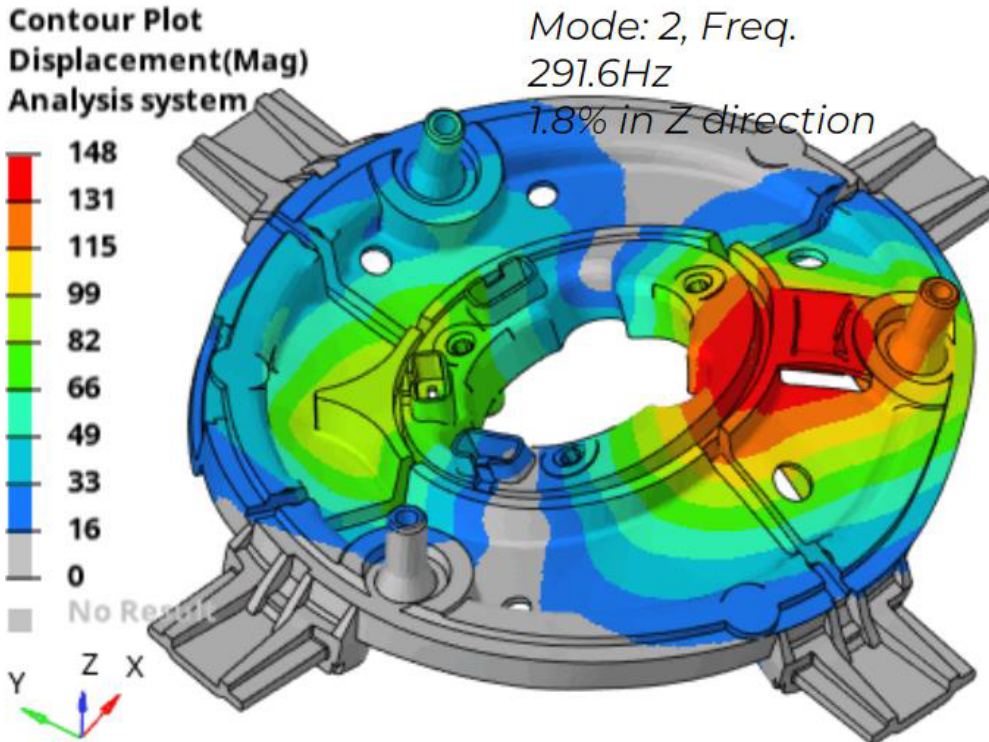
Şekil 4.15e. Ön yükleme modal analizi mod5 ve doğal frekansı (23⁰C)



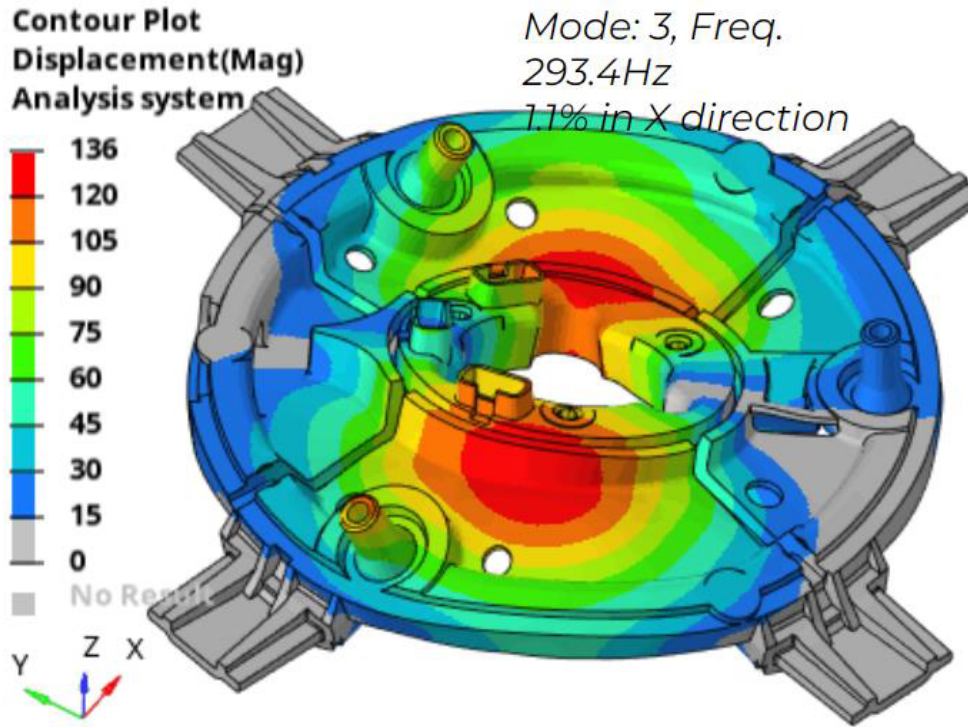
Şekil 4.15f. Ön yükleme modal analizi mod6 ve doğal frekansı (23⁰C)



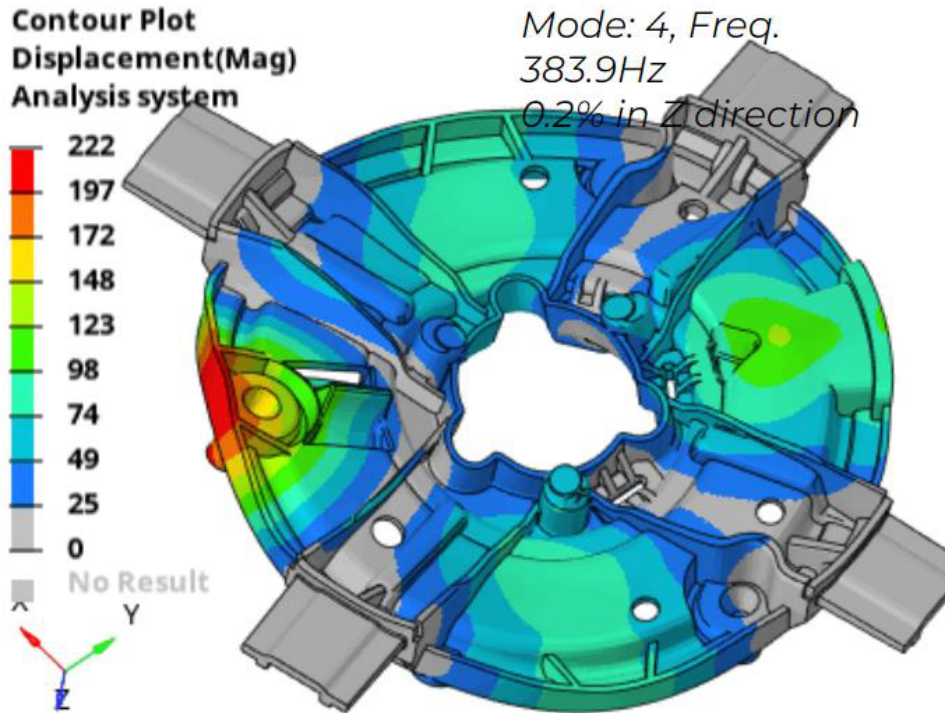
Şekil 4.16a. Ön yükleme modal analizi mod1 ve doğal frekansı (80°C)



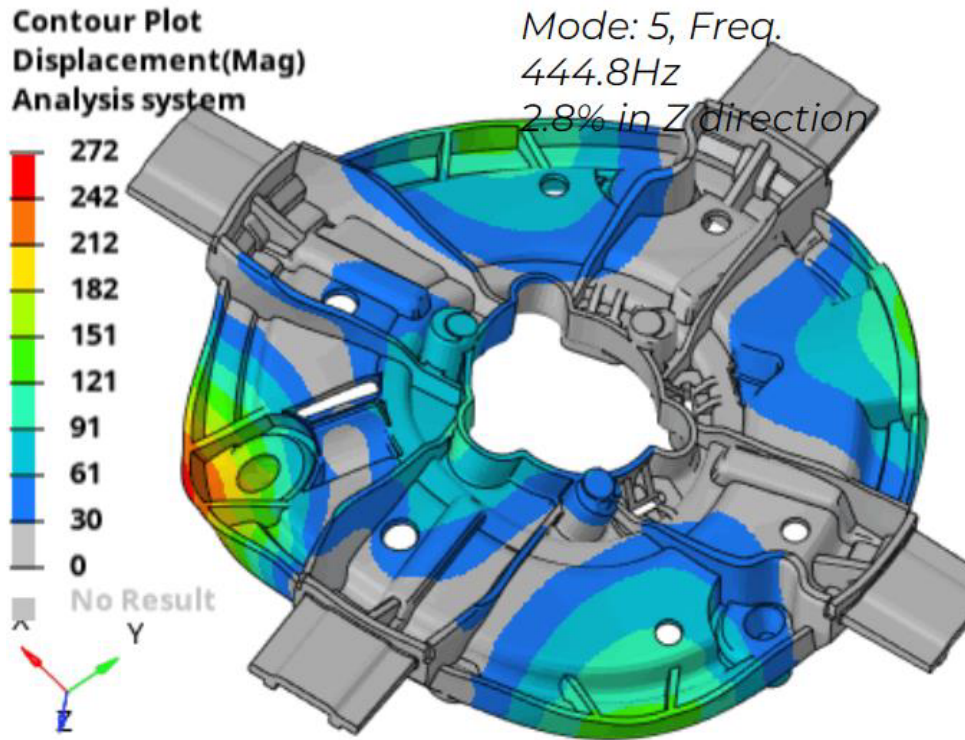
Şekil 4.16b. Ön yükleme modal analizi mod2 ve doğal frekansı (80°C)



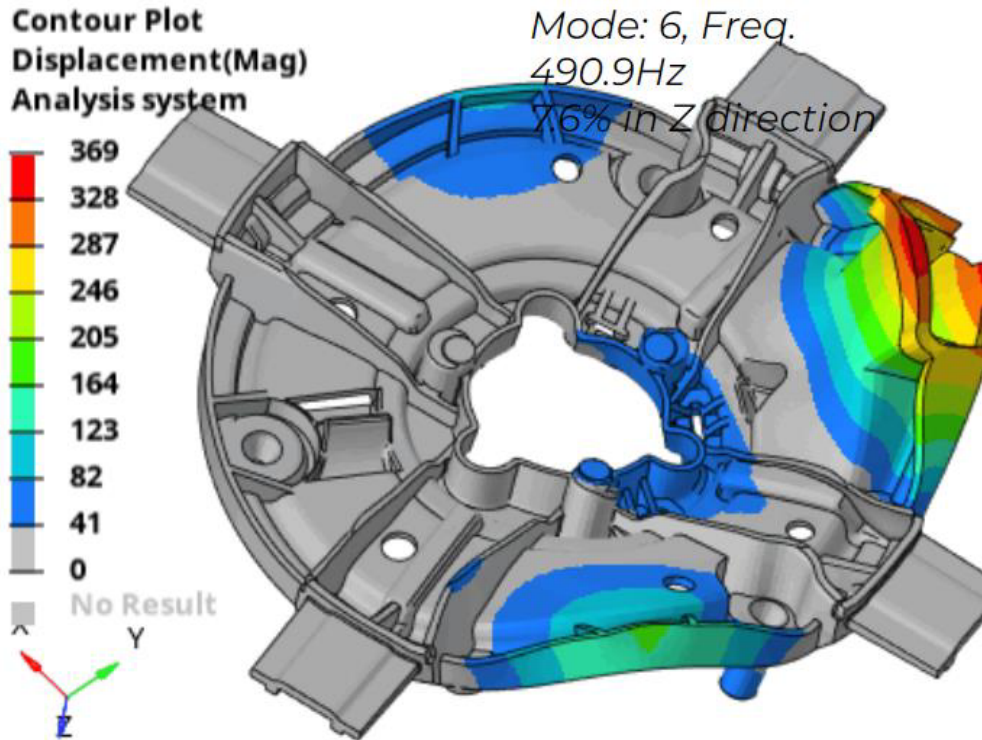
Şekil 4.16c. Ön yükleme modal analizi mod3 ve doğal frekansı (80°C)



Şekil 4.16d. Ön yükleme modal analizi mod4 ve doğal frekansı (80°C)



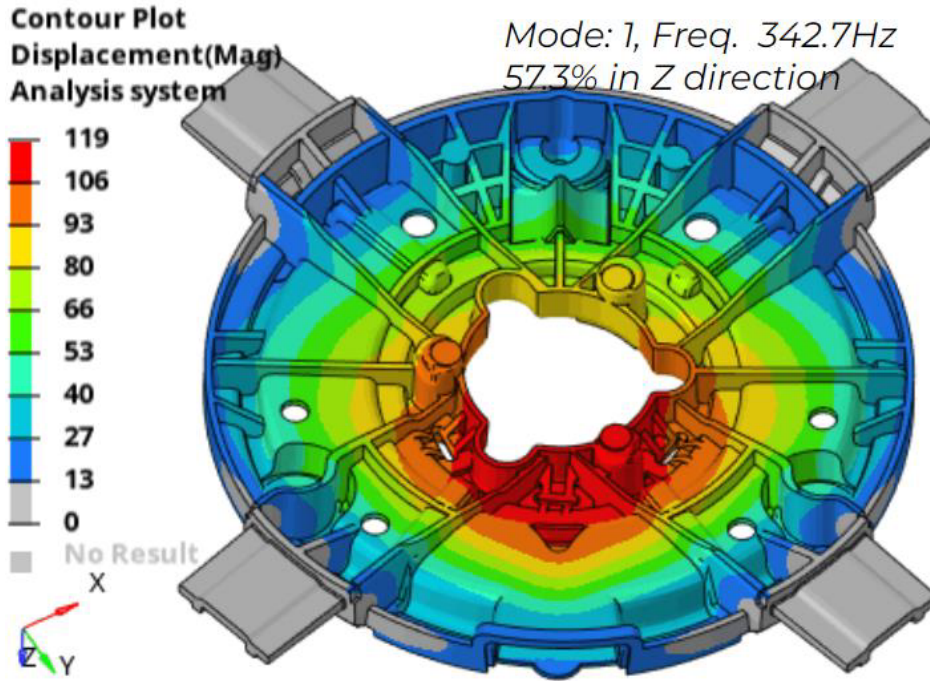
Şekil 4.16e. Ön yükleme modal analizi mod5 ve doğal frekansı (80°C)



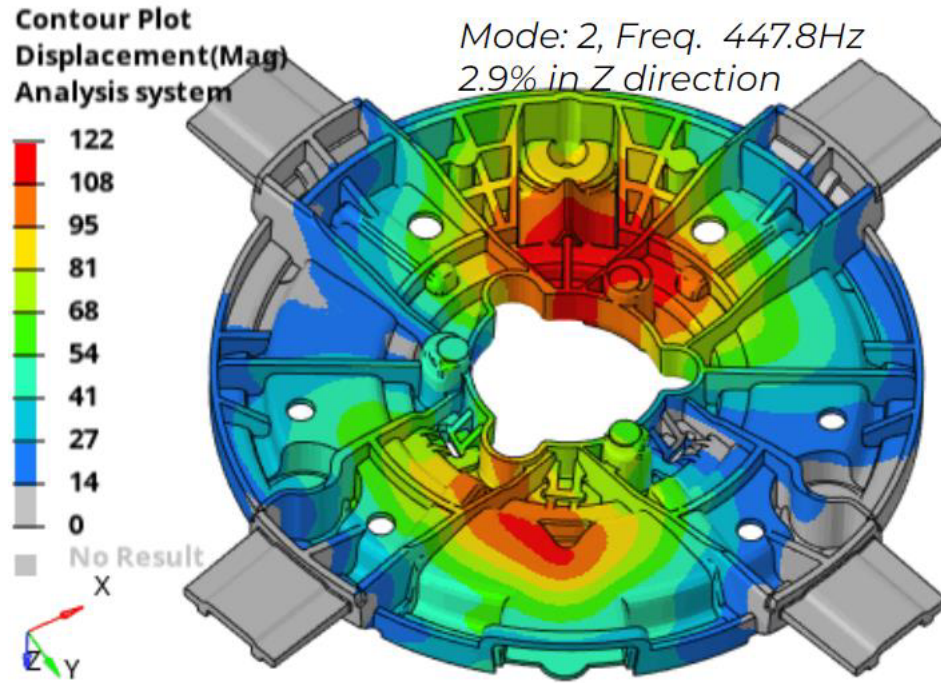
Şekil 4.16f. Ön yükleme modal analizi mod6 ve doğal frekansı (80°C)

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde Motor Tutucu parçasının doğal frekans modlarında nasıl davranış sergileyeceği ve bu davranışı sergilerken parçada gelecek toplam deformasyonu göstermektedir. Aynı zamanda modal analizler “kütle katılım oranı” dediğimiz bir durum da ortaya çıkmaktadır. Bu kütle katılım oranı parçanın rezonans halinde belirtilen eksende kütlenin % kaçının rezonansa girme eğilimi olduğu bilgisini bize vermektedir. Örneğin, Şekil 4.16’de Motor tutucu parçasının mod 6 80°C’de doğal frekansı 490.9 Hz olup parça bu doğal frekansta çalıştığında motor tutucu parçasının toplam kütlesinin %7.6’i rezonansa girme eğilimi göstermektedir ve bu bölge şekilde belirtilen kırmızı alandır.

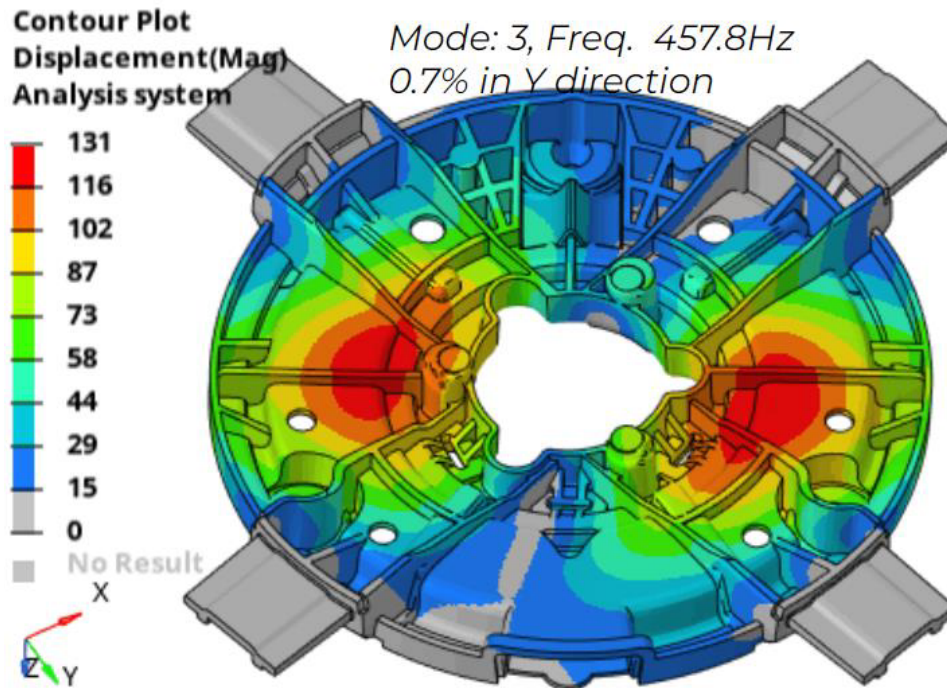
Statik analizde olduğu gibi benzer durum burda da bulunmaktadır. 80°C de yapılan modal analiz sonuçları, 23°C’de yapılan modal analizin hemen hemen yarısı kadardır. Bu nedenle 3. İterasyona ait modal analiz 23°C’de yapılmıştır (Şekil 4.17a-f).



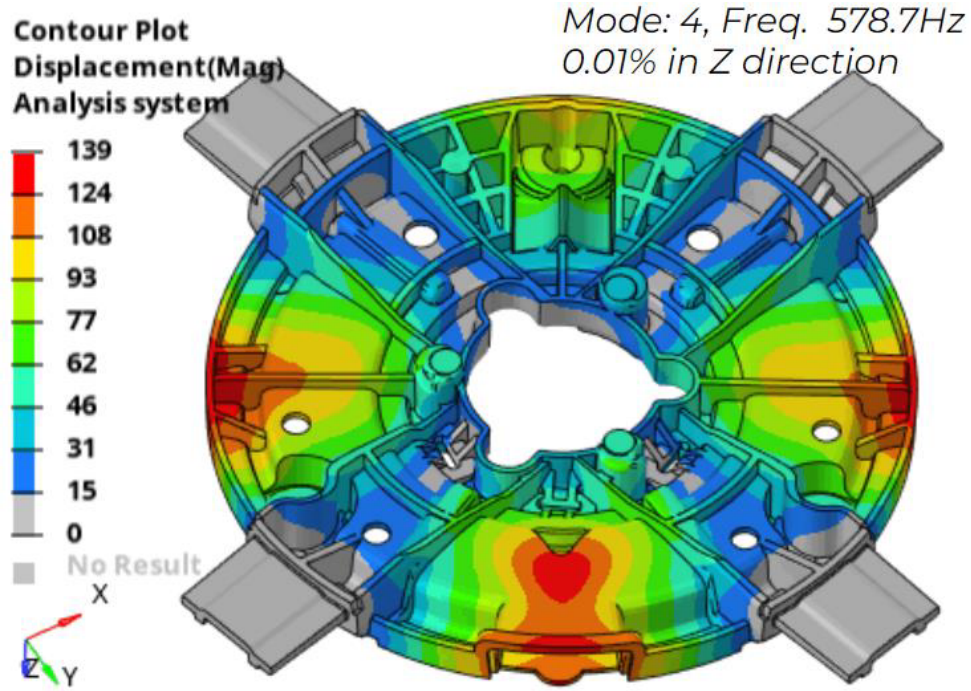
Şekil 4.17a. 3.İterasyon modal analizi mod1 ve doğal frekansı (23°C)



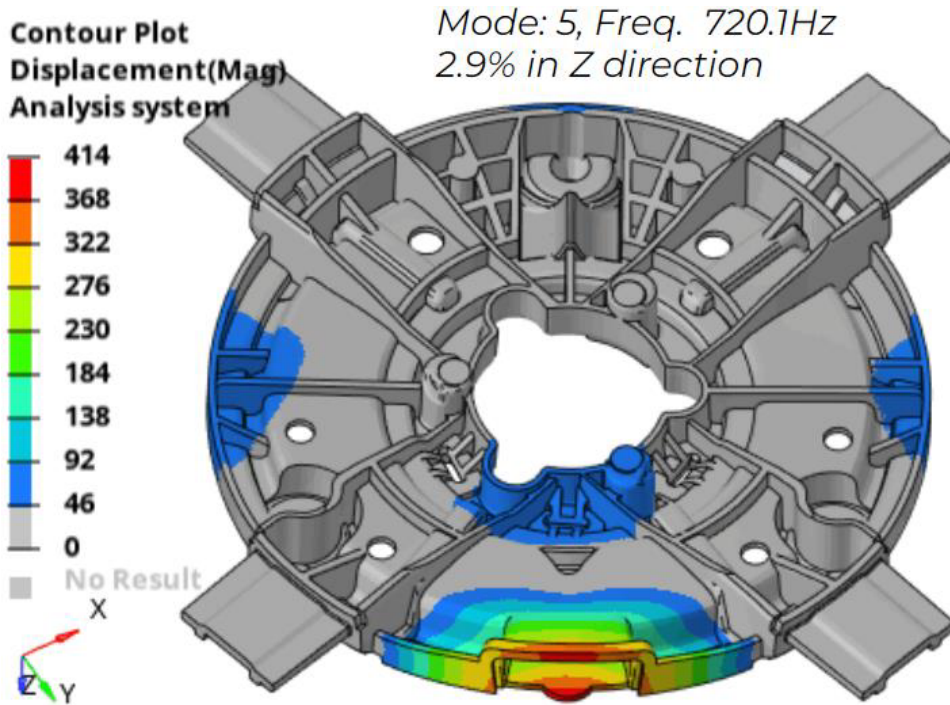
Şekil 4.17b. 3.İterasyon modal analizi mod2 ve doğal frekansı (23⁰C)



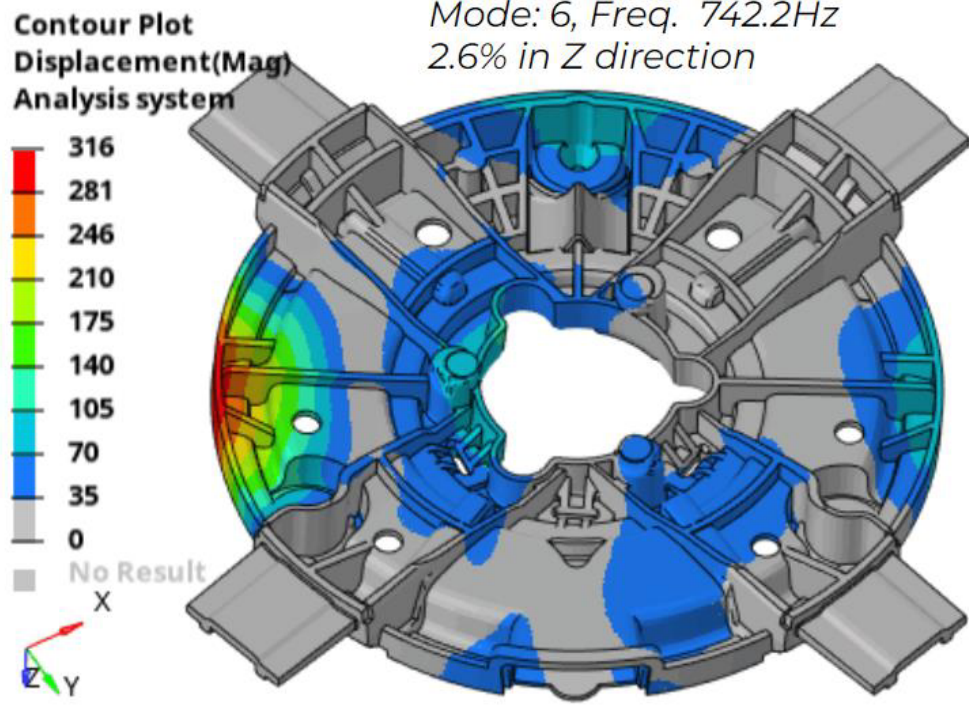
Şekil 4.17c. 3.İterasyon modal analizi mod3 ve doğal frekansı (23⁰C)



Şekil 4.17d. 3.İterasyon modal analizi mod4 ve doğal frekansı (23⁰C)



Şekil 4.17e. 3.İterasyon modal analizi mod5 ve doğal frekansı (23⁰C)



Şekil 4.17f. 3.İterasyon modal analizi mod6 ve doğal frekansı (23⁰C)

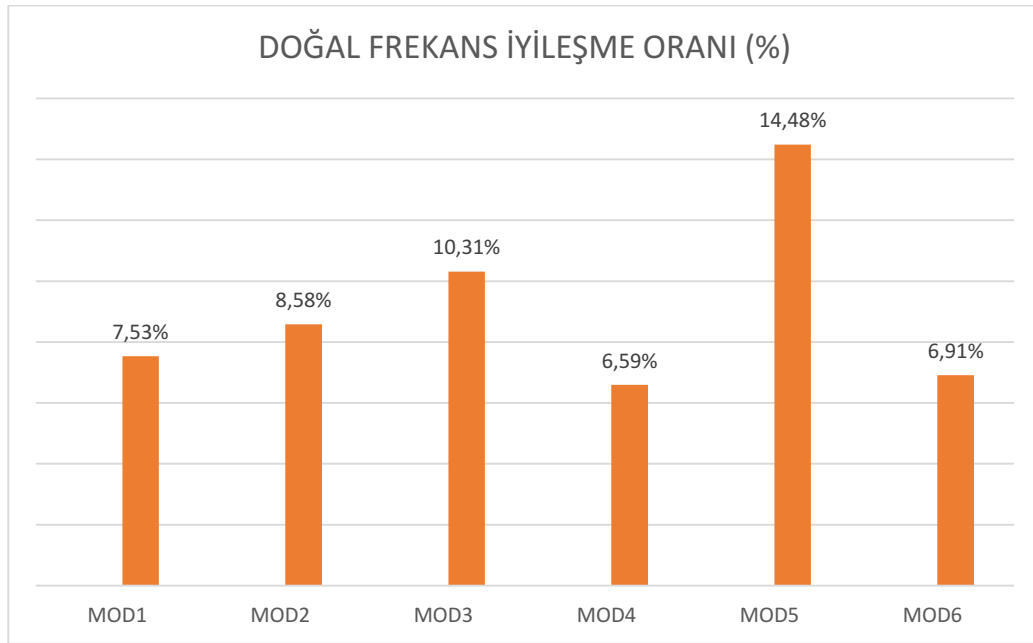
Yapılan statik analiz çalışmaları ile parçanın rijitliğinde meydana gelen değişim ile birlikte parçanın doğal frekansında da olumlu yönde değişim meydana gelmiştir. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de görüldüğü gibi ilk duruma oranla parçanın doğal frekansında artma meydana gelmiştir. Bu değişim neticesinde MOD 1’de %7.53, MOD 2’de %8.58, MOD 3’de %10.31, MOD 4’de %6.59, MOD 5’de %14.48, MOD 6’de %6.91 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

Tablo 4.4. Motor tutucu parçanın ilk tasarıma ait doğal frekansları

Mod	Doğal Frekans (Hz)
1	318.7
2	412.4
3	415.0
4	542.9
5	629.0
6	694.2

Tablo 4.5. Motor tutucu parçanın iyileştirilmiş tasarıma ait doğal frekansı

Mod	Doğal Frekans (Hz)
1	342.7
2	447.8
3	457.8
4	578.7
5	720.1
6	742.2



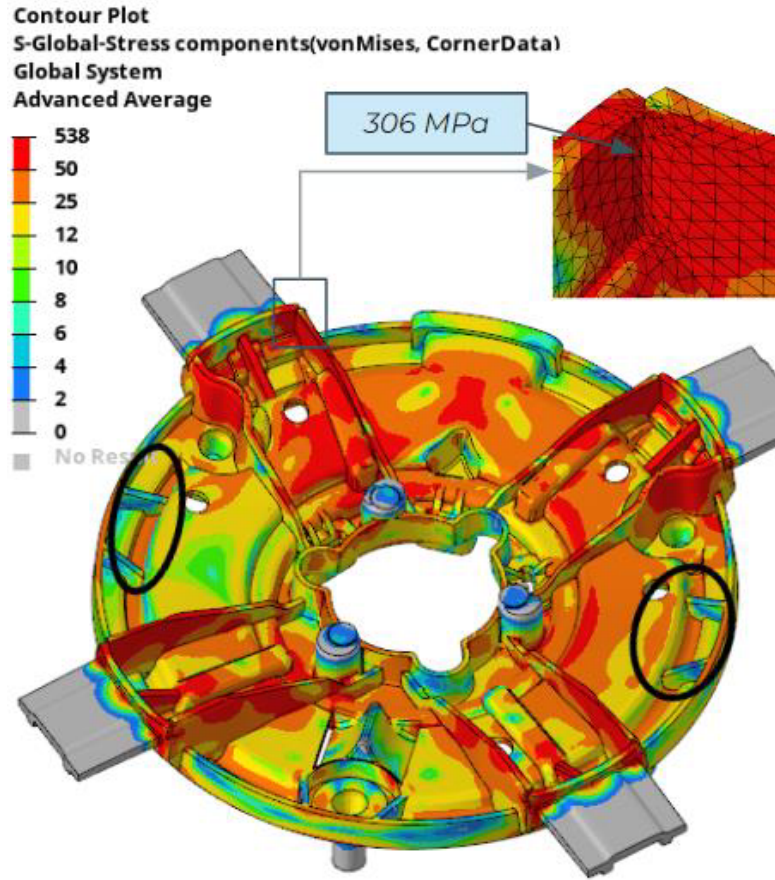
Şekil 4.18. Doğal frekans iyileşme oranı (%)

4.3. Feder Optimizasyon Çalışmaları

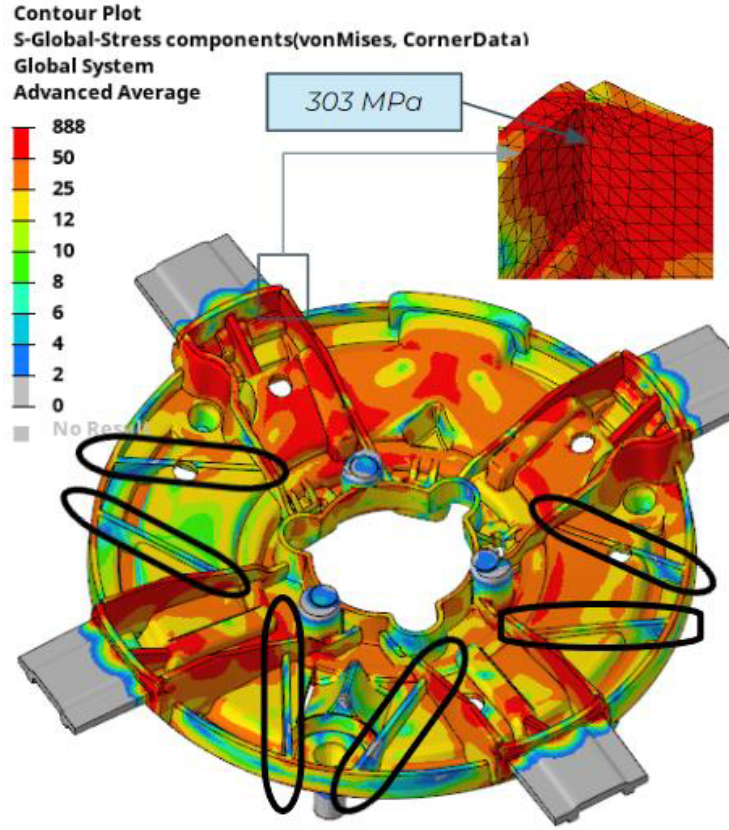
Yukarıda izah edildiği gibi motor tutucu parçası, zorunlu yer değiştirme çalışması ile birlikte 10 adet iterasyon yapılarak nihai tasarım elde edilmiştir. Bu 10 iterasyondan sadece 3 tanesi burada aktarılmış olup diğer çalışmalardan ise “ara çalışma” olarak

bahsedilmiştir. Bu ara çalışmalar boyunca parçaya yerleştirilen feder yapıları her bir analizde değerlendirilmiş olup fazla olduğu durumlarda çıkartılmıştır.

Örnek vermek gerekirse, ön yükleme çalışması Şekil 4.19a'da belirtilen feder ile yapıldıktan sonra aynı çalışma Şekil 4.19b'de belirtilen feder ile de tekrarlanmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde gerilmenin öncekine göre bir miktar daha azaldığı gözlemlenmiş ve bu nedenden dolayı Şekil 4.19b'nin feder yapısı üzerine yoğunlaşmıştır.

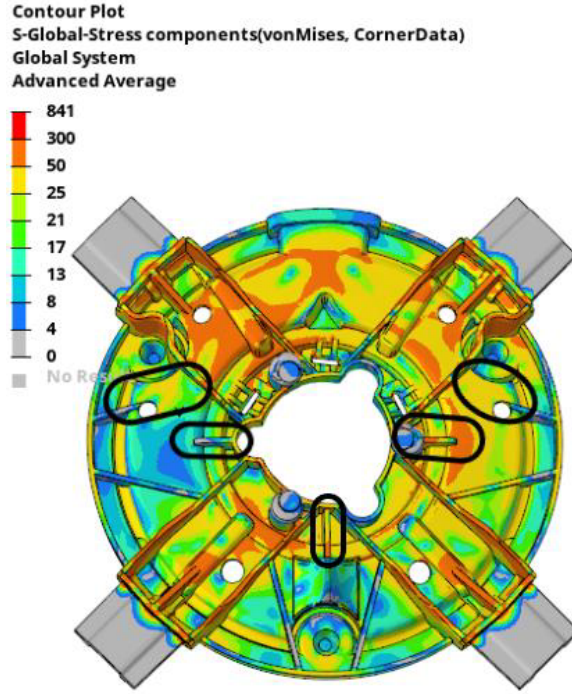


Şekil 4.19a. Feder çalışması 1

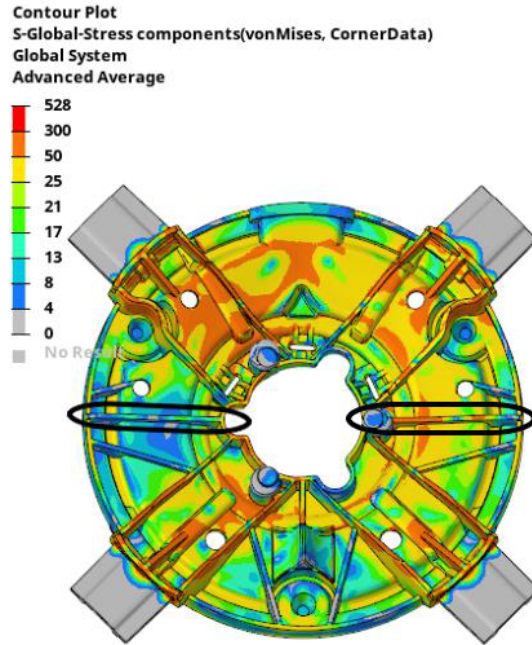


Şekil 4.19b. Feder çalışması 2

Yapılan çalışmalar neticesinde Şekil 4.20a’ da olduğu gibi federin bir kısmı azaltılarak çalışma tekrarlanmış daha sonra bu iki federin ortasına Şekil 4.20b’de olduğu gibi bir feder eklenerek malzemenin davranışı incelenmiştir.



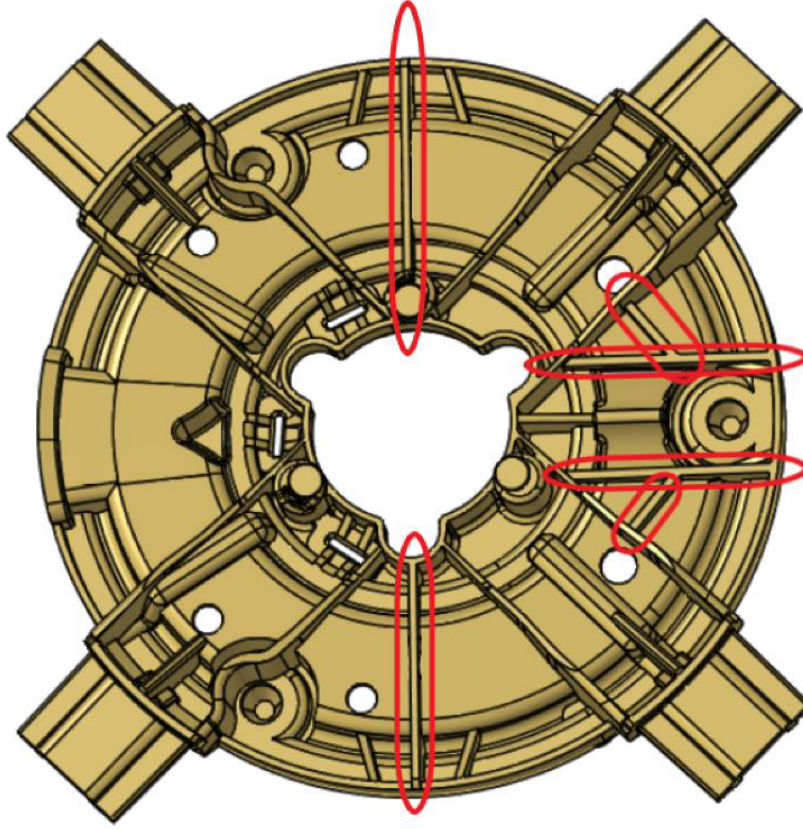
Şekil 4.20a. Feder çalışması 3



Şekil 4.20b. Feder çalışması 4

Özellikle orta federler eklendikten sonra parça üzerindeki gerilmelerin azaldığı gözlemlendikten sonra yapılan çalışmada Şekil 4.21'daki gibi sadece orta federler kalacak şekilde tasarım güncellenmiş, çalışmalar bunun üzerinden ilerlemiştir. Aynı

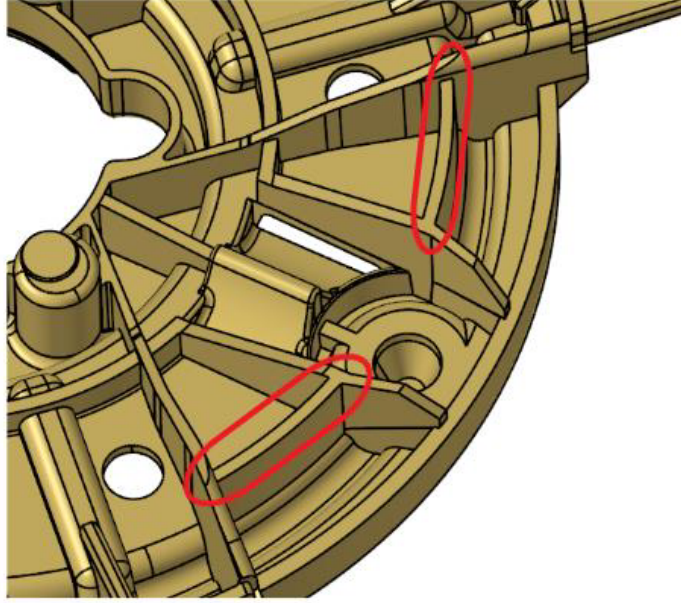
zamandan kuvvetin maruz kaldığı pim civarında da ilave federler eklenerek malzemenin davranışı yeniden incelenmiştir.



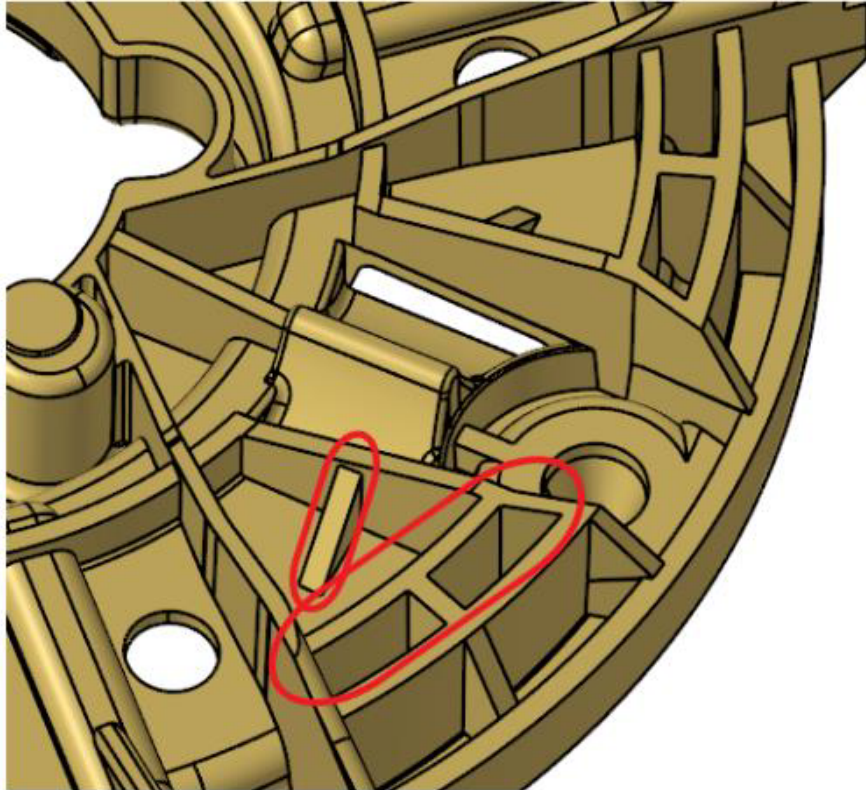
Şekil 4.21. Feder çalışması 5

Yapılan inceleme neticesinde Şekil 4.21’da pim civarına eklenen federin konumu değiştirilmiş Şekil 4.22’deki gibi yerleştirilerek malzeme davranışı yeniden gözlemlenmiştir.

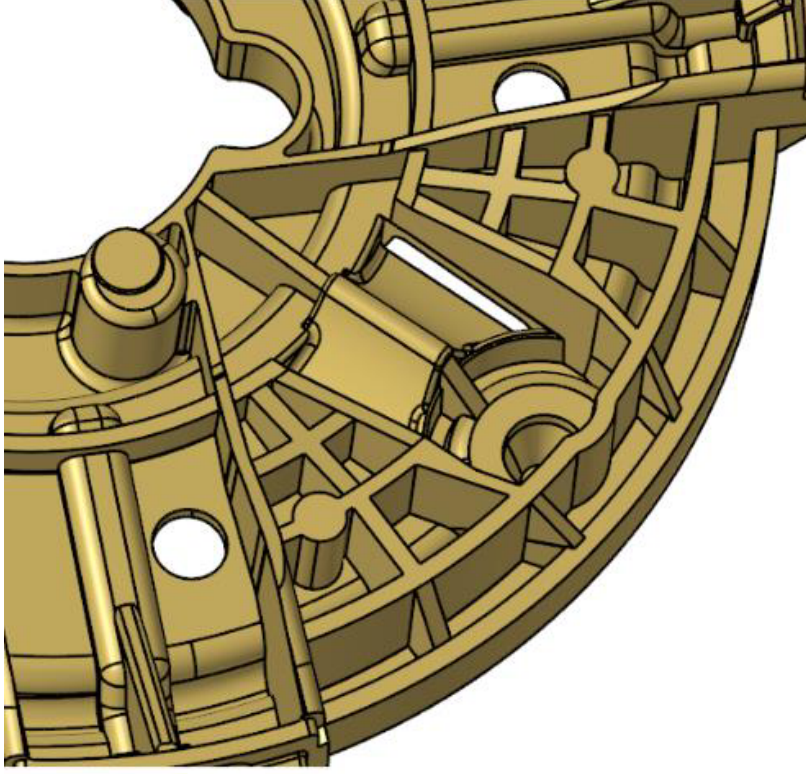
Yapılan analiz çalışmaları neticesinde Şekil 4.23a’da olduğu gibi ilave feder eklenerek malzemenin davranışı yeniden incelenmiştir. Daha sonra eklenen ara feder iptal edilerek Şekil 4.23b’deki gibi güncellenmiştir.



Şekil 4.22. Feder çalışması 6



Şekil 4.23a. Feder çalışması 7



Şekil 4.23b. Feder çalışması 8

Statik analiz bulgularında izah edildiği gibi yapılan tüm ara çalışmaların amacı parçada oluşan toplam gerilmeyi azaltırken mümkün olduğu kadar minimum feder kullanarak bunu gerçekleştirmektir. Statik analiz bulgularında belirtildiği gibi kuvvetin uygulandığı pimin sadece birinde gerileme yığılması fazla olduğu için yapılan tüm feder çalışmaları bu noktaya yoğunlaşarak yapılmıştır.

Bu çalışma neticesinde 3.iterasyondaki yapı meydana gelerek analiz ve feder çalışmaları da neticelenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar neticesinde ilk tasarımda uygulanan zorunlu yer değiştirme sonucunda motor tutucu parçasında meydana gelen maksimum gerilme 306 MPa, toplam deformasyon ise 5.2 mm'dir. Bu analiz ile birlikte uygulanan kuvvet neticesinde parçada meydana gelen gerilmelerin parça üzerindeki yayılımı tespit edilip tasarım iyileştirme çalışmaları için bu noktalara yoğunlaşıldı. Yapılan tasarım çalışmaları neticesinde 1.iterasyon ile motor tutucu parçasındaki maksimum gerilme 107 MPa ve toplam deformasyon ise 2.04 mm iken yapılan tasarım değişiklikleri, feder optimizasyon çalışmaları, bunların üretilebilirlik kriterleri gibi çalışmalar neticesinde toplam gerilme 79 MPa ve toplam deformasyon ise 0.86 mm seviyesi düşürülmüştür. Sonuç olarak, motor tutucu parçasının toplam deformasyonu %57.84, toplam gerilmesi ise %26.17 oranında iyileşme sağlanarak çalışma koşullarındaki mukavemetinin arttığı gözlemlendi.

Yapılan modal analiz çalışması neticesinde ise, ilk tasarım ile elde edilen doğal frekanslar, statik analiz kapsamında parçada meydana gelen rijitlik ile daha iyi seviyelere çıkartılmıştır. Yukarıda izah edildiği gibi yapının rijitliği ve kütsel değişimi direkt olarak parçanın doğal frekansını etkilediğinden, ilk tasarıma ait doğal frekans ve mod'lar ile yapılan tasarım iyileştirme çalışmaları neticesinde doğal frekanslar ve mod'lar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde parçanın doğal frekansında pozitif yönde % 6 ile %15 arasında iyileşme gözlemlendi.

Tüm bu çalışmalar ile binek araçlardaki klima motorunun performansı iyileştirilmiş, yapılan doğrulama testlerinde klima motorunun ilk versiyonuna göre daha uzun çalışması sağlanmış böylece otomotiv sektörüne katkı sağlanmıştır.

Burada elde edilen bilgi ve tecrübeler ise yeni projelerde ve çalışmalarda temel olacak şekilde kayıt altına alınmıştır.

KAYNAKLAR

- Karuppaiah, N., Sujatha, C., & Ramamurti, V. (2018). Modal and Vibration Stress Analysis of a Passenger Vehicle by FEM. *SAE International by University of Liverpool*.
- Admin. (2013, 4 16). *Fırçasız DC Motor*. Elektrik Rehberiniz: <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/fircasiz-dc-servo-motor-3974/> adresinden alındı
- Aktaş, M. (2019). *Prof.Dr.* Samsun: Samsun 19 Mayıs Üniversitesi.
- Altuğ, M., Güldaş, A., & Khakzad, F. (2001). Plastik Parçalarda Federin Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 1.
- Amjad, J., Sreenivas, A., & Yihong, H. (2001). Ritz-Based Static Analysis Method For Fiber Reinforced Plastic Rib Core Skew Bridge Superstructure. *Journal Of Engineering Mechanics*.
- Chung, J., & Lee, K. (2016). Optimal design of rib structures using the topology optimization technique. *Journal of Mechanical Engineering Science*.
- Eisenberger, M., & Deutsch, A. (2015). Static Analysis for Exact Vibration Analysis of Clamped Plates. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*.
- Elektrik Motoru Nedir? Çeşitleri Nelerdir?* (2022). Mugul Elektronik: <https://mugul.com/elektrik-motoru/> adresinden alındı
- Erdemir, F., & Özkan, M. (2019). Plastik Parçalarda Bir Esneyerek Kilitlenen Bağlantı Modelinin Modal Analizi. *Politeknik Dergisi*.
- Erzurumlu, T., & Babur, O. (2005). Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method. *Materials and Design*.
- Fenercioğlu, A. (2022). *Elektrik Motorları Eğitim Notları*. Bursa: Bursa Teknik Üniversitesi.
- Fu, Z. F., & He, J. (2001). Modal Analiz Nedir? Z. F. Fu, & J. He içinde, *Modal Analiz* (s. 2). Delhi: Planta Tree.
- İlbeyi, F. (2021, Nisan 30). *Elektrik motorları nedir? Çalışma prensibi ve çeşitleri ile detaylı teknik anlatım*. enerji360: <https://enerji360.com/guc-kalitesi/elektrik-motorlari> adresinden alındı
- Juliertech. (2017). *PP-TD20 Polipropilen Plastik Hammadde*. JULIERTECH: <http://tr.custom-plastic-molds.com/plastic-raw-material/polypropylene/pp-t20-polypropylene-plastic-raw-material.html> adresinden alındı
- Karagülle, H., & Yavuz, Ş. (2019). *Doğru Akım Motorları*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.

- Kırmızı mühendislik. (2020). *Statik Analiz Nedir?* Kırmızı Mühendislik: <https://kirmizimuhendislik.com/statik-analiz/> adresinden alındı
- Konez, O. (2019). Y32 Boji Şasinin Statik Aanalizi ve Yorulma Bakımından İncelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kuyumcuoğlu, A. (2008). Çalışma Şartlarında Modal Analiz. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 16.
- Lam, Y. L., & Santhikumar, S. (2003). Automated rib location and optimization for plate structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*.
- Leong, H. P., Deepak, K. P., Zhenpei, W., Jee, C. T., Chwee, T. L., & Ser, T. Q. (2022). Soft Missing Rib Structures with Controllable Negative Poisson's Ratios over Large Strains via Isogeometric Design Optimization. *Journal of Engineering Mechanics*.
- MEGEP. (2013). *Araç Isıtma ve Havalandırma Sistemleri*. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Mühendislik, M. (2022). *Senkron Motor Nedir?* MEGA Mühendislik: <https://www.megapl.com.tr/1-senkron-motor-nedir-nerelerde-kullanilir/> adresinden alındı
- Mühendislik, R. (2009). *Modal Analiz Nedir?* RMC Mühendislik: <https://rmc.com.tr/modal-analiz-nedir/> adresinden alındı
- Polagangu, J., Murali, K., Gaddikeri, K., & Byji, V. (2009). Finite Element Analysis of Inter Spar Ribs of Composite Wing of Light Transport Aircraft against Brazier Load. *National Conference on Scientific Achievements of SC & ST Scientists & Technologists*.
- Servo Motor*. (2022, 3 22). Wikipedi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Servo_motor adresinden alındı
- Tian-Syung, L., Min-Chie, C., & Long-Jyi, Y. (2008). An approach to rib design of injection molded product using finite element and Taguchi method. *Health & Environmental Research Online (HERO)*, 299-305.
- Vanam, B., Rajyalakshmi, M., & Inala, R. (2012). Static analysis of an isotropic rectangular plate using finite element analysis (FEA). *Journal of Mechanical Engineering Research*.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim GÖKÇE, ilk, orta ve lise öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2008 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2014 yılında mezun oldu. Askerlik görevinden sonra 2015 yılında Ankara Yepsan Savunma Sanayi firmasında Ar-Ge Tasarım Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Daha sonra 2016 yılında istifa ederek Bursa Grammer Koltuk Sistemleri A.Ş. de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışma hayatına devam etti. Buradaki görevinden 2022 yılında istifa ederek Valeo Otomotiv firması Termal Sistemler fabrikasında Ar-Ge Mekanik Tasarım Mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı görevde çalışmaya devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Gokce, I., Bingol, M. (2022). Araç klima motorlarında kullanılan plastik parçanın, sonlu elemanlar analizi metodu ile verimliliğinin artırılması. *10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi*.

DİĞER YAYIN VE ESERLER

Kaman, M.O., Celik, N., Gokce, I. (2012). Thermal and residual stress analyses of a welded stainless steel plate. *9th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics 2012*.

Gokce, I., Sendeniz, G., Bingol, M. (2021). Weight reduction with finite analysis method using alternative materials on the passenger seat chassis. *10. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON2020)*.

Unlu, O., Ozkan, M., Gokce, I., Kaya, N. (2021). Plastik ve kauçuk malzeme model parametrelerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi. *10. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON2020)*.