



T.C

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVRAMA METALİK DİSK ELEMANININ PEDAL KONFORU VE YORULMA
DAYANIMI AÇISINDAN EVRİMSEL ALGORİTMA İLE TASARIM
OPTİMİZASYONU VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Samet KARTAL

Prof. Dr. Necmettin KAYA
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Samet KARTAL tarafından hazırlanan "KAVRAMA METALİK DİSK ELEMANININ PEDAL KONFORU VE YORULMA DAYANIMI AÇISINDAN EVRİMSEL ALGORİTMA İLE TASARIM OPTİMİZASYONU VE PROTOTİP ÜRETİMİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Necmettin KAYA

Başkan : Prof. Dr. Necmettin KAYA
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı


İmza

Üye : Prof. Dr. Ali Rıza YILDIZ
Bursa Teknik Üniversitesi
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı


İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı

İmza


Yukarıdaki Sonucu Onaylarım


Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
16.8.2017

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

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

beyan ederim.

.././....

Samet KARTAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAVRAMA METALİK DİSK ELEMANININ PEDAL KONFORU VE YORULMA DAYANIMI AÇISINDAN EVRİMSEL ALGORİTMA İLE TASARIM OPTİMİZASYONU VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Samet KARTAL

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin KAYA

Araçlarda kullanılan debriyaj elemanı, motorla vites kutusu arasındaki irtibatı keserek vites değiştirme olanağı sağlayan aktarma organıdır. Motordan aldığı torku iletmenin yanında, kalkış ve vites geçişi esnasında sürüş konforunu da sağlar. Günümüz binek araçları konvansiyonel debriyaj sistemleriyle donatılmışlardır. Bu debriyaj sistemi; disk kompleksi, volan ve kendi içerisinde kapak, diyafram yayı ve baskı plakasından oluşan baskı kompleksinden meydana gelmektedir.

Bu yüksek lisans tezinde, kuru sürtünme yüzeyli debriyaj sistemi elemanlarından metalik disk yayın istenen konfor ve yorulma kısıtlarını sağlayacak optimum tasarımının evrimsel algoritma kullanılarak şekil optimizasyonu ile elde edilmesi, prototip üretimi ve testleri gerçekleştirilmiştir.

Disk kompleksi dişli kutusu miline bağlanan mekanik bir parçadır ve fonksiyonel özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kavrama pozisyonunda motor torkunun tamamını iletmek,
- Motor torkunu sönmüleyerek iletmek.
- Motorun çalışması esnasında oluşturduğu titreşimleri filtrelemek.

Metalik disk elemanının da içinde bulunduğu disk kompleksinin fonksiyonlarından bir tanesi de motor torkunu sönmüleyerek iletmektir. İki balata arasında bulunan disk elemanı, dalgalı bir yüzeye sahip olup kavrama sırasında her iki balatanın sıkıştırması sonucu yüzey geometrisi gereği yay gibi davranmaktadır. Kavrama sırasındaki rijitlik eğrisi incelendiğinde, diskin aksenal yer değiştirme değeri arttıkça rijitlik doğrusal olmayan bir formda progresivite şeklinde artma eğilimindedir. Rijitlik eğrisinin bu formu debriyaj pedalına basılması sürecinde, sürücünün pedal konforunu doğrudan etkiler ve istenen konforun sağlanması için rijitlik eğrisinin belirli limitler arasında olması gerekir. Uygun olmayan rijitlik eğrisi titreşim ve vuruntuyu sürücüye yansıtır, kavrama konforsuz ve sert bir biçimde gerçekleşir. Ayrıca ilerleyen ömür süresince tork

iletiminin gerçekleşmemesine neden olur ve debriyaj ömrünü azaltır. Hatta yastıklama fonksiyonu bulunmayan diskte gerçekleşecek bir kavrama motorun durmasına dahi sebep olabilir. Tork iletimi yüksek enerji seviyelerinde gerçekleştiği için, baskı plakası ısınır ve deforme olur. Bu deformasyon sonrası i çapıyla tork iletime eğilimine girer, bu da iletilen torkta düşüşe neden olur. Uygun bir rijitlik eğrisine sahip olan disk bu düşüşü dengeler.

Her araç üreticisi tarafından konfor istekleri doğrultusunda belirlenen pedal yükünden hareketle rijitlik eğrisi hesaplanır. Bu tez çalışmasında istenen rijitlik eğrisini sağlayan diskin tasarımının şekil optimizasyonu ile gerçekleştirilerek daha kısa zamanda ve istenen özelliklerde elde edilmesi planlanmıştır. şekil optimizasyonu için evrimsel optimizasyon algoritmalarından diferansiyel gelişim algoritması, screening algoritması ve optimizasyon amaç fonksiyonu hesaplamalarında ise metalik disk sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır.

Metalik disk şekil değişkenlerinin belirlenmesinin ardından sıcak şekillendirme ile prototip imal edilmiş ve testler ile tasarım doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Debriyaj, Kavrama, Metalik Disk, Rijitlik Eğrisi, Optimizasyon

2017, x + 69 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OPTIMIZATION OF CLUTCH CUSHION DISC IN TERMS OF PEDAL COMFORT AND FATIGUE STRENGTH AND PROTOTYPE PRODUCTION

Samet KARTAL

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Necmettin KAYA

The clutch is an element which makes a temporary connection between gear box and vehicle engine. It transmits not only engine torque, but also ensures comfort and drivability during slippage. Today's passenger cars and light trucks are now almost exclusively equipped with conventional clutches which consist of clutch disc, flywheel, cover, diaphragm spring and a pressure plate.

In this thesis study, optimum shape design of metallic disc which is used in dry clutch has been performed using an evolutionary optimization algorithm subject to durability constraint. Objective function has been selected as drivers' comfort. Optimized design has been produced as a prototype and test has been done in order to validate the prototype.

Disc assembly is a mechanical part of clutch which connect to gear box input shaft. Functional requirements of disc assembly are specified as below;

- Transmit engine torque completely during the slippage time,
- Transmit engine torque with progressivity,
- Absorb the vibrations coming from engine.

There are many functions of disc assembly. One of them is to transmit the engine torque with absorbing vibrations. It allows a soft gradual re-engagement of torque transmission. Metallic disc which is located between two facings has wavy surface, thus it behaves like a spring during engagement. The axial elastic stiffness of the clutch disc is obtained by a metallic disc. The load-deflection curve gives the axial load versus axial displacement obtained by compressing metallic disc. The wavy shape of the disc provides progressive stiffness curve. The metallic disc participates to the drivers' comfort during engagement of the clutch. The comfort depends on the limits of the progressive stiffness curve. Outside the limits of this cushion function, the clutch

engagement would be harsh and uncomfortable for the driver. Besides, engine torque may not be transmitted during the later service lifetime and life of the clutch might be decreased. In the case of, metallic disc has no cushioning function, engine might be stopped. Additionally, unproper cushioning function cause to heat and deform of the pressure plate and it also decreases the transmitted engine torque. Therefore, metallic disc has to have certain cushioning characteristics in order to overcome these problems.

Design of the clutch starts with the pedal force designated by the vehicle manufacturer. Optimum metallic disc has been designed by shape optimization in a short time than classical approach with this thesis study. Among the optimization algorithms, differential evolution and screening algorithms has been used for shape optimization and finite element method has been used for objective function calculations in this thesis.

Prototypes of the metallic disc has been produced with the hot forming method after the shape optimization and then has been validated with tests.

Keywords: Clutch, Metallic Disc, Cushioning Curve, Optimization

2017, x + 69 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca desteklerini esirgememiş olan aileme, sanayi tezleri kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol göstermiş olan değerli hocam Prof. Dr. Necmettin Kaya'ya, bilgileri ve tecrübeleriyle bana destek olan Valeo Otomotiv San. A.Ş firması ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Samet KARTAL

.././...



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | x |
| 1.GİRİŞ..... | 1 |
| 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 5 |
| 2.1. Sıcaklığın Metalik Disk Yayının Rijitliğine Etkileri Üzerine Çalışmalar..... | 5 |
| 2.2.Geometrik Değişkenlerin Metalik Disk Yayının Rijitliğine Etkileri Üzerine Çalışmalar..... | 7 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 15 |
| 3.1. Manuel Kavramalı Araçlarda Güç Aktarım Sistemi..... | 15 |
| 3.2. Debriyaj Sisteminde Tork İletimi..... | 17 |
| 3.3. Debriyaj Sistemi Baskı Kompleksi Elemanı..... | 18 |
| 3.4. Debriyaj Sistemi Disk Kompleksi Elemanı..... | 21 |
| 3.5. Disk Kompleksi Metalik Disk Yayısı Elemanı..... | 24 |
| 4.BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 30 |
| 4.1. Metalik Disk Yayısı Sonlu Elemanlar Modeli..... | 30 |
| 4.2. Metalik Disk Yayısı Malzeme Özellikleri..... | 36 |
| 4.3. Metalik Disk Yayısı Sonlu Elemanlar Özellikleri..... | 38 |
| 4.4. Metalik Disk Yayısı Temas Özellikleri..... | 43 |
| 4.5. Metalik Disk Yayısı Sınır Koşulları..... | 44 |
| 4.6. Ki-Kare Yöntemi ile Rijitlik Eğrilerinin Uyum Değerinin Tespiti..... | 47 |
| 4.7. Ansys Optimizasyon Modülü ile Hedef Rijitlik Eğrisinin Tespiti..... | 56 |
| 5. SONUÇ..... | 68 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| | |
|-------|--|
| N | Sürtünme yüzey sayısı |
| T | İletilen tork miktarı |
| μ | Sürtünme katsayısı |
| P | Baskı kuvveti |
| R | Tork iletiminin yapıldığı ortalama balata çapı |
| X | Ki-Kare değeri |
| n | Dağılım sayısı |
| u_b | Beklenen yer değıştirme |
| u_h | Hesaplanan yer değıştirme |
| E | Young modülü |
| ν | Poisson oranı |

Kisaltmalar

| | |
|-----|----------------------------------|
| DGA | Diferansiyel Gelişim Algoritması |
| SEA | Sonlu Elemanlar Analizi |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Güç aktarım sistemi | 1 |
| Şekil 1.2. Disk kompleksi elemanları | 2 |
| Şekil 1.3. Metalik disk yayı..... | 3 |
| Şekil 1.4. Rijitlik eğrisi | 4 |
| Şekil 2.1. Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli | 5 |
| Şekil 2.2. Sıcaklığa bağlı olarak rijitlik eğrisi grafiği | 6 |
| Şekil 2.3. Metalik disk yayı parametrik modeli | 7 |
| Şekil 2.4. Rijitlik eğrisi sonuçlarının karşılaştırılması | 8 |
| Şekil 2.5. Deney tasarımına bağlı rijitlik eğrisi sonuçları | 9 |
| Şekil 2.6. Perçinlemiş sonlu elemanlar modeli | 9 |
| Şekil 2.7. Temas basıncının karşılaştırılması | 10 |
| Şekil 2.8. Kavrama sistemi modelİ | 11 |
| Şekil 2.9. Diyafram yayı parametrik modeli | 11 |
| Şekil 2.10. Genetik algoritma ile belirlenen diyafram yayı modelleri | 12 |
| Şekil 2.11. Debriyaj çatalı parametrik modeli | 13 |
| Şekil 2.12. Optimum debriyaj çatalı geometrisi | 13 |
| Şekil 3.1. Manuel kavrama araç güç aktarım sistemi | 16 |
| Şekil 3.2. Manuel kavrama araç güç aktarım sistemi | 16 |
| Şekil 3.3. Debriyaj sistemi kavrama durumu | 17 |
| Şekil 3.4. Debriyaj sistemi ayırma durumu | 18 |
| Şekil 3.5. Debriyaj sistemi kavrama anı | 18 |
| Şekil 3.6. Baskı kompleksi elemanları | 19 |
| Şekil 3.7. Baskı kompleksi kapak elemanı | 19 |
| Şekil 3.8. Disk kompleksi ortalama tork iletim çapı | 21 |
| Şekil 3.9. Disk kompleksi tork iletimi ve damper elemanları | 22 |
| Şekil 3.10. Disk kompleksi göbek elemanı iç spline eğrileri | 23 |
| Şekil 3.11. Metalik disk yayı elemanı | 24 |
| Şekil 3.12. Metalik disk yayı bağlantı şekli | 25 |
| Şekil 3.13. Metalik disk yayı elemanı şekil geometrileri | 26 |
| Şekil 3.14. Metalik disk yayı baskı yükü dağılımına etkisi | 27 |
| Şekil 3.15. Metalik disk yayı rijitlik eğrisi | 28 |
| Şekil 4.1. Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli | 30 |
| Şekil 4.2. Metalik disk yayı sac kalınlığı | 31 |
| Şekil 4.3. Metalik disk yayı yaylanma bölgeleri | 32 |
| Şekil 4.4. Metalik disk yayı ısıl işlem basamakları | 33 |
| Şekil 4.5. Metalik disk yayı sıcak şekillendirme | 34 |
| Şekil 4.6. Metalik disk yayı radyus değerleri | 35 |
| Şekil 4.7. Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli | 35 |
| Şekil 4.8. Metalik disk yayı şekil değişkenleri | 36 |
| Şekil 4.9. Metalik disk yayı malzeme özellikleri | 37 |
| Şekil 4.10. Balata modeli | 37 |
| Şekil 4.11. Sonlu elemanlar tipleri | 38 |
| Şekil 4.12. Sonlu elemanlar boyutu "1.2" seçilen metalik disk yayı | 39 |
| Şekil 4.13. Sonlu elemanlar boyutu "1" seçilen metalik disk yayı | 40 |
| Şekil 4.14. Sonlu elemanlar boyutu "0.8" seçilen metalik disk yayı | 41 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.15. Ansys sonlu elemanlar boyut özellikleri..... | 42 |
| Şekil 4.16. Ansys sonlu elemanlar modeli temas özellikleri | 43 |
| Şekil 4.17. Ansys sonlu elemanlar yükleme koşulları | 44 |
| Şekil 4.18. Ansys sonlu elemanlar üst rijit plaka sınır koşulları | 45 |
| Şekil 4.19. Ansys sonlu elemanlar alt rijit plaka sınır koşulları | 45 |
| Şekil 4.20. Ansys sonlu elemanlar metalik disk yayı sınır koşulları | 46 |
| Şekil 4.21. Ansys sonlu elemanlar üst rijit plaka yer değiştirme sonuçları | 47 |
| Şekil 4.22. Sonlu elemanlar analizinde hesaplanan rijitlik eğrisi | 48 |
| Şekil 4.23. Hesaplanan – beklenen rijitlik eğrisi grafiği | 49 |
| Şekil 4.24. Metalik disk yayı şekil değişkenleri | 50 |
| Şekil 4.25. Metalik disk yayı birinci rijitlik eğri çalışması | 50 |
| Şekil 4.26. Metalik disk yayı ikinci rijitlik eğri çalışması | 51 |
| Şekil 4.27. DGA ile çözümlenmiş optimum birinci hedef eğri değişkenleri..... | 53 |
| Şekil 4.28. Birinci durum optimum & hedeflenen eğri karşılaştırması | 54 |
| Şekil 4.29. DGA ile çözümlenmiş optimum ikinci hedef eğri değişkenleri | 54 |
| Şekil 4.30. İkinci durum optimum ve hedeflenen eğri karşılaştırması | 55 |
| Şekil 4.31. Ansys sonlu elemanlar modeli ki-kare tanımlaması | 56 |
| Şekil 4.32. Hedef rijitlik eğrisinin limitleri | 57 |
| Şekil 4.33. Sea ve fonksiyonel ölçüm korelasyonu..... | 58 |
| Şekil 4.34. Ansys optimizasyon modülü screening metodu | 59 |
| Şekil 4.35. Ansys optimizasyon modülü ile belirlenen optimum şekil değişkenleri | 59 |
| Şekil 4.36. Kesme işlemi gerçekleşmiş metalik disk yayı | 60 |
| Şekil 4.37. Isıl işlem sonrası ve sıcak formlanmış prototip metalik disk yayı..... | 61 |
| Şekil 4.38. Fonksiyonel ölçüm sonuçları | 64 |
| Şekil 4.39. Fonksiyonel ölçüm sonuçları | 65 |
| Şekil 4.40. Metalik disk yayı maksimum gerilme değeri..... | 66 |
| Şekil 4.41. Metalik disk yayı ömür analizi modeli | 66 |
| Şekil 4.42. Metalik disk yayı ömür analizi sonucu | 67 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

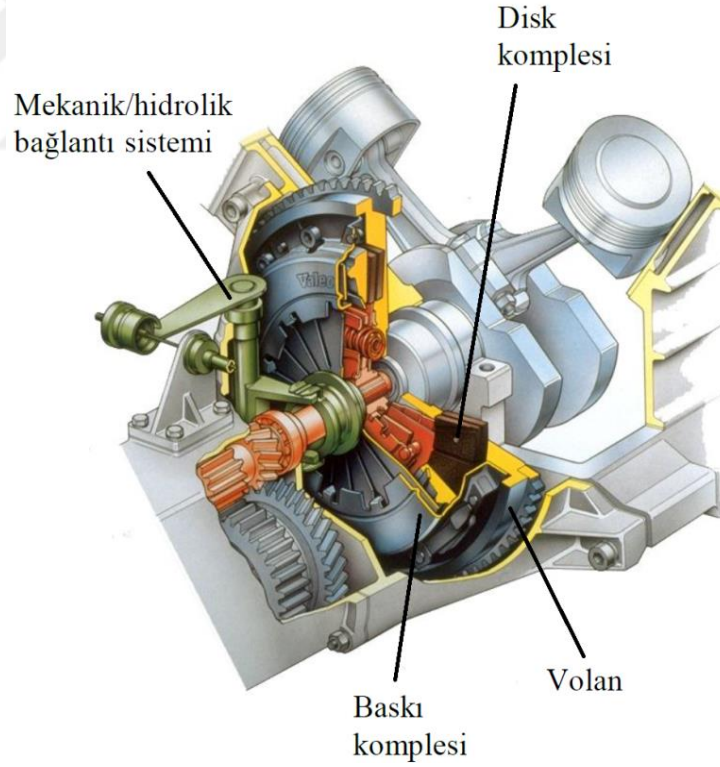
Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 4.1. Sonlu elemanlar boyutu “1.2” | 39 |
| Çizelge 4.2. Sonlu elemanlar boyutu “1” | 40 |
| Çizelge 4.3. Sonlu elemanlar boyutu “0.8” | 41 |
| Çizelge 4.4. Sonlu eleman sayısı yakınsama çalışması | 42 |
| Çizelge 4.5. Birinci hedef eğri deney tasarım sonuçları | 52 |
| Çizelge 4.6. Prototip metalik disk yayları geometrik ortalama ölçüm sonuçları | 62 |
| Çizelge 4.7. Prototip metalik disk yayı şekil değişkenlerinin karşılaştırılması | 62 |
| Çizelge 4.8. Fonksiyonel ölçümler sonrası rijitlik eğrisi değerleri | 63 |
| Çizelge 4.9. Fonksiyonel ölçümler sonrası ki-kare değerleri | 64 |



1.GİRİŞ

Otomotiv sektöründe son yıllarda görülen büyük gelişmelerin beraberinde araçların kullanıcılara sunduğu konfor düzeyi de sorgulanmaya başlanmış olup, konfor düzeyinin iyileştirme süreçleri daha önemli hale gelmiştir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında araç güç aktarım organı olarak görev yapan debriyaj sisteminin elemanlarından olan ve pedal konforuna doğrudan etki eden metalik disk yayının şekil optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Metalik disk yayı elemanının sonlu elemanlar modeli oluşturularak yük – yer değiştirme değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen değerlere bağlı olarak metalik disk yayının optimum şekil değişkenleri belirlenmiş, prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Prototip üretim sonrasında deneysel veriler ile analiz sonuçları karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



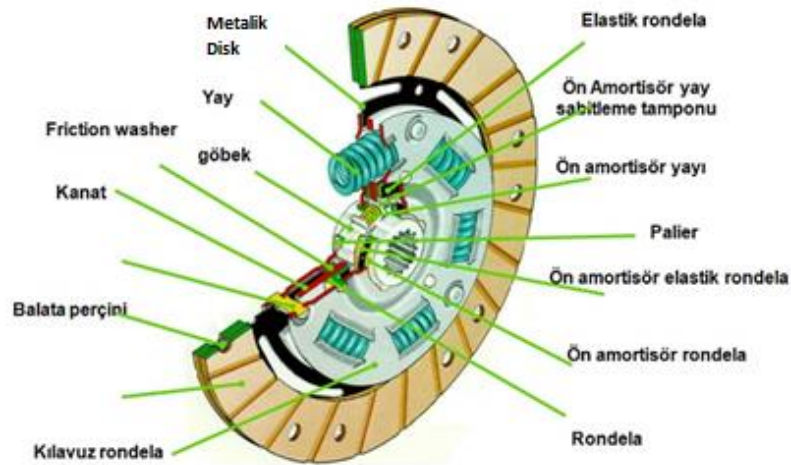
Şekil 1.1. Güç aktarım sistemi

Araçlarda güç aktarma organı olarak kullanılan debriyaj sistemi, aracın motoru ile vites kutusu arasındaki tork iletimini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Debriyaj sistemi, motor ve vites kutusu arasında tork iletimini gerçekleştirmesinin beraberinde vites geçişleri sırasında tork iletiminin engellenmesini sağlamaktadır.

Debriyaj sistemi temelde dört ana parçadan meydana gelmektedir. Bu temel parçalar; volan, baskı kompleksi, disk kompleksi, ve mekanik/hidrolik bağlantı sistemidir.

Sürücü tarafından debriyaj pedalına basıldığında, mekanik/hidrolik bağlantı sisteminde yer alan rulman, baskı kompleksinde yer alan diyafram yayına eksenel yönde kuvvet uygulamaktadır. Diyafram yayı üzerine uygulanan kuvvet ile birlikte sistemde tork iletimi önlenmektedir. Pedala uygulanan kuvvet ortadan kalktığında diyafram yayı eski şeklini almakta ve tork iletimi yeniden gerçekleşmektedir.

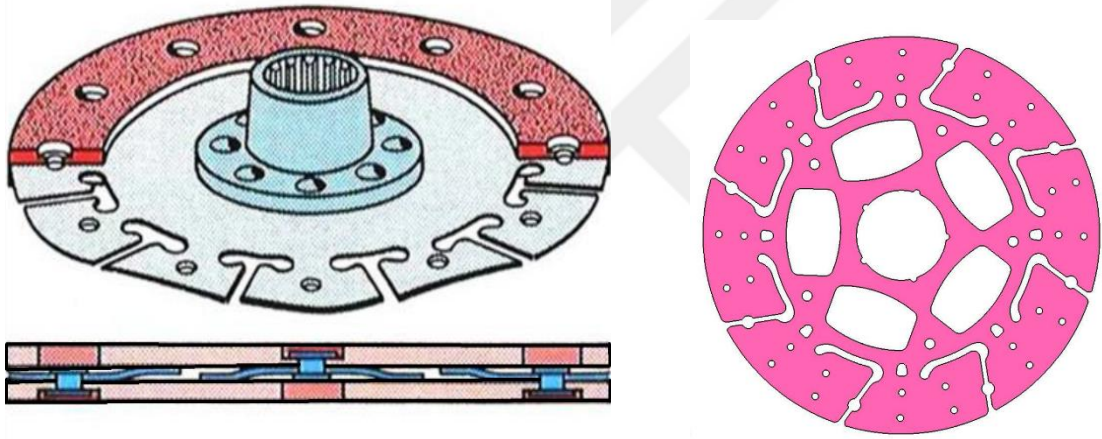
Debriyaj sisteminin görevi, kavrama ile torkun tamamını sönmüleyerek iletmek ve motorun çalışması esnasında oluşturduğu titreşimleri filtrelemektir. Tork iletimini ve titreşimlerin filtrelenmesini sağlayan debriyaj sistemi elemanlarından birisi olan disk kompleksi; temel olarak balatalar, metalik disk, göbek, damper yay ve perçin bağlantılarından oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Disk kompleksi elemanları

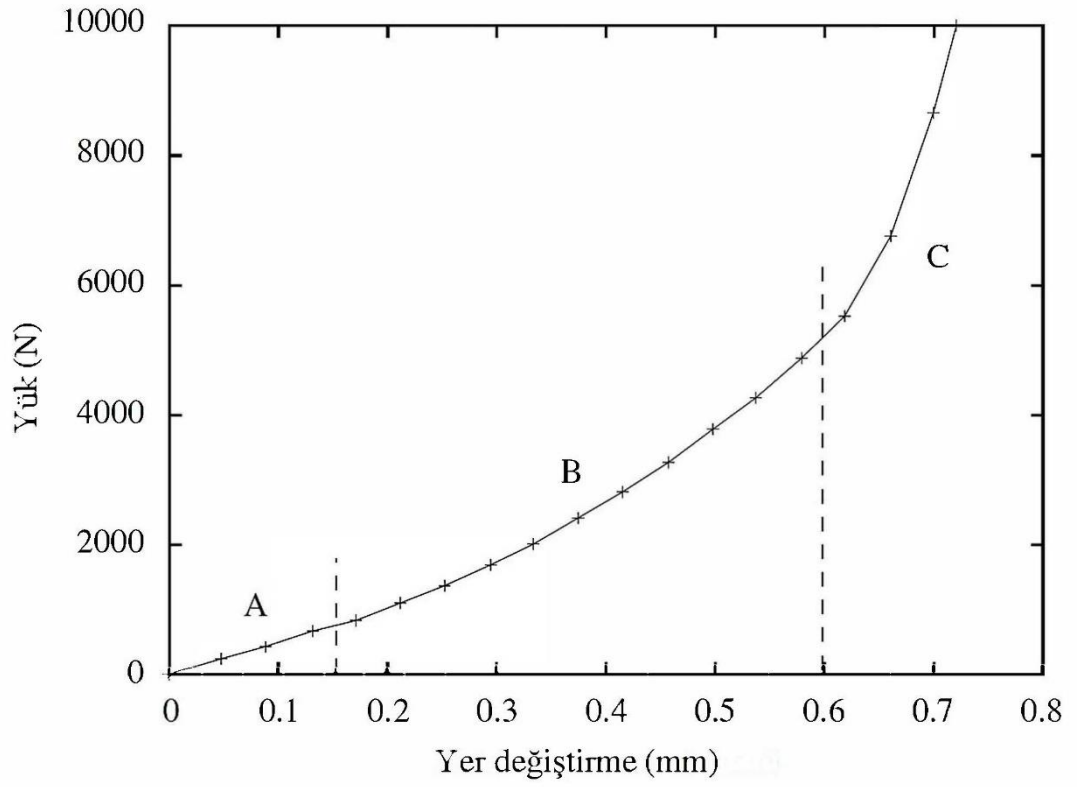
Disk kompleksi üzerinde bulunan elemanlardan damper yay, kavrama sırasındaki dönüş hareketinin sarsıntısız ve yumuşak bir şekilde vites kutusuna iletilmesini sağlar. Diğer taraftan balatalar arasında yer alan metalik disk yayı geometrisi gereği yay gibi davranarak aksenal yöndeki ani kuvvetlerin yumuşak bir şekilde diğer tarafa iletilmesi ile motorun ömrünü artırır ve sürücünün konforuna katkıda bulunur.

Bu tezin konusunu teşkil eden metalik disk elemanı, iki balata arasına perçin bağlantıları ile sabitlenmiştir. Daha yumuşak bir kavrama sağlayabilmek için balatanın tutturulduğu metalik diskler dilimli biçimde yapılmıştır. Bu diskler yastık disk olarakta isimlendirilmektedir. Metalik disk yayının yüzeyi dalgalı formda olup balatalar tarafından sıkıştırılınca bir yay gibi davranarak kavrama konforunu artırmaktadır.



Şekil 1.3. Metalik disk yayı

Kavrama diskinin elastik rijitliği metalik disk yayı ile sağlanır. Balataların arasında perçinler ile sabitlenen metalik disk yayının kavrama sırasında balatalar tarafından sıkıştırılması sonucu doğrusal olmayan rijitlik davranışı gözlenir. Küçük aksenal yer değiştirmelere karşı çok yüksek reaksiyon kuvvetleri elde edilir. Şekil 1.4 de gösterilen örnek bir rijitlik eğrisi incelendiğinde, üç bölgeden oluştuğu görülür. Başlangıçtaki A bölgesinde baskı plakası henüz diske temas etmemiştir, bu bölge önyükleme bölgesidir, B bölümü ise kısmi baskı bölgesidir, C bölgesinde ise kavrama diski tam kavrama halinde motor torkunu aktarmaktadır.



Şekil 1.4. Rijitlik eğrisi

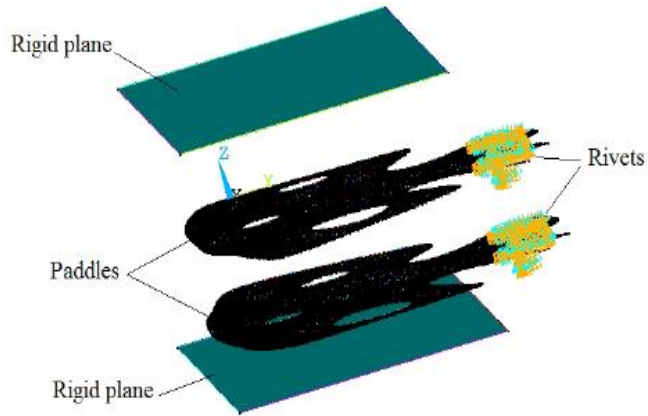
Kavrama sisteminin istenen fonksiyonları yerine getirmesinde metalik diskin davranışı oldukça önemlidir. Hedef pedal baskı kuvvetini sağlayan kavrama tasarımıının, kavrama üreticisi tarafından yerine getirilmesi ana sanayi tarafından beklenir. Kavrama üreticisi firmalar, hedef pedal kuvvetinden hareketle kavrama sistemini tasarlar, test eder ve üretirler. Bu süreç içindeki çalışmalarda, istenen pedal baskı kuvvetini oluşturacak metalik diskin rijitlik eğrisi belirlenir. Bu rijitlik eğrisini sağlayan metalik diskin tasarlanarak üretilmesi bu sürecin en önemli aşamalarından birisidir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Otomobil kavrama sistemleri ilgili literatürdeki çalışmalar daha çok kavrama sisteminin kontrolü, balata malzemeleri, aşınma davranışı, sürtünme kaynaklı titreşim ve sıcaklık artışının kavrama performansına etkileri üzerinedir. Kavrama elemanlarının modellenmesi ve optimizasyonu ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Kavrama elemanları içerisinde konfor açısından büyük önem arz eden metalik disk yayı hassas forma sahip ve yüksek sayıda şekil değişkenine bağlı olması sebebiyle de , elde edilmek istenen rijitlik eğrisine ulaşmak için bir o derece hassas değerlere gereksinim duymaktadır. Bu tezin konusu ile ilgili olan kavrama elemanlarından metalik disk yayı konusundaki çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır.

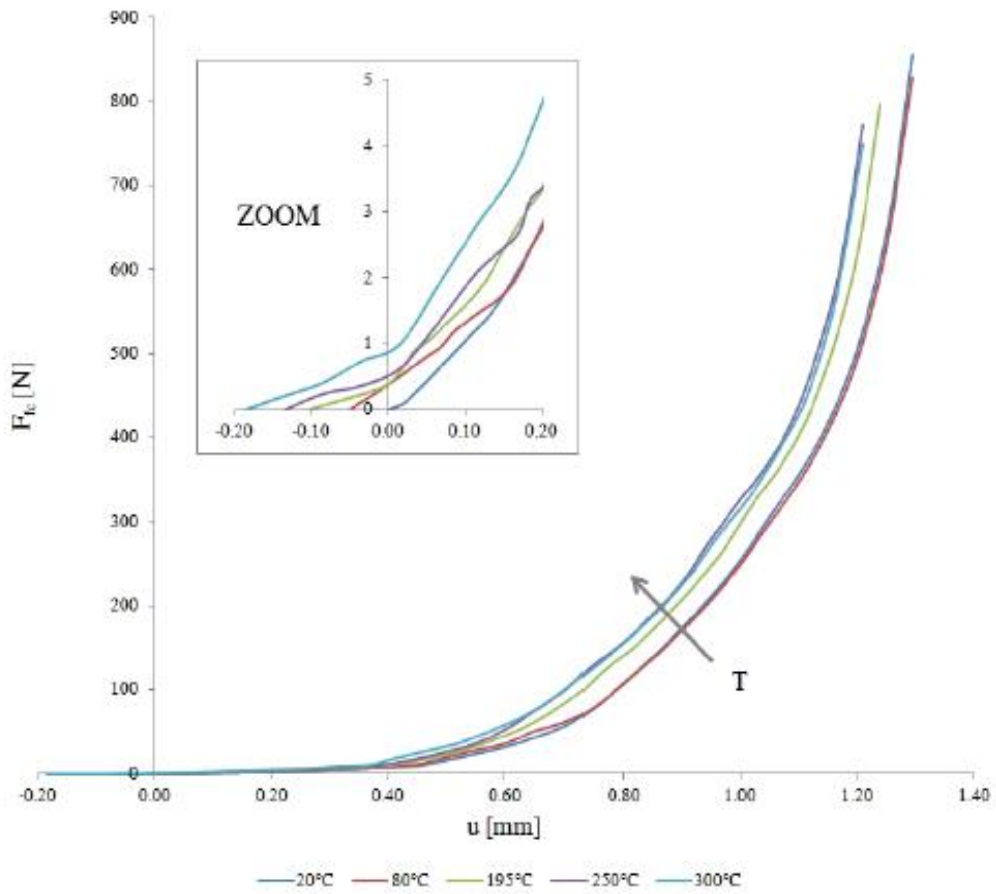
2.1. Sıcaklığın Metalik Disk Yayının Rijitliğine Etkileri Üzerine Çalışmalar

Capetti ve arkadaşları (2012) çalışmalarında motordan gelen torkun kavrama elemanları içerisinde yer alan ve sürtünme kuvveti ile güç aktarımını sağlayan volan, disk kompleksinde bulunan balata elemanları ve baskı kompleksinde bulunan baskı plakası arasında kavrama esnasında belirtilen elemanlar arasında meydana gelen sürtünmelerden kaynaklı ortam sıcaklığının artışının metalik disk yayının rijitliğine etkileri incelenmiştir.



Şekil 2.1. Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli (Capetti ve ark. 2012)

Capetti ve ark. (2012) kavrama elemanları arasında gerçekleştirilen tekrarlı kavramalar sonucunda disk kompleksinden yer alan balata sürtünme elemanlarının 300-350°C varan sıcaklıklara eriştiklerini belirtmişlerdir. Sıcaklık artışı ile birlikte malzeme elastisite modülü değerlerinde meydana gelen değişimleri farklı sıcaklıklara göre kategorize etmişlerdir. Oluşturdukları sonlu elemanları modeli üzerinden farklı sıcaklıklarda farklı elastisite modülü değerleri ile analizler gerçekleştirip elde ettikleri rijitlik eğrilerini yorumlamışlardır.

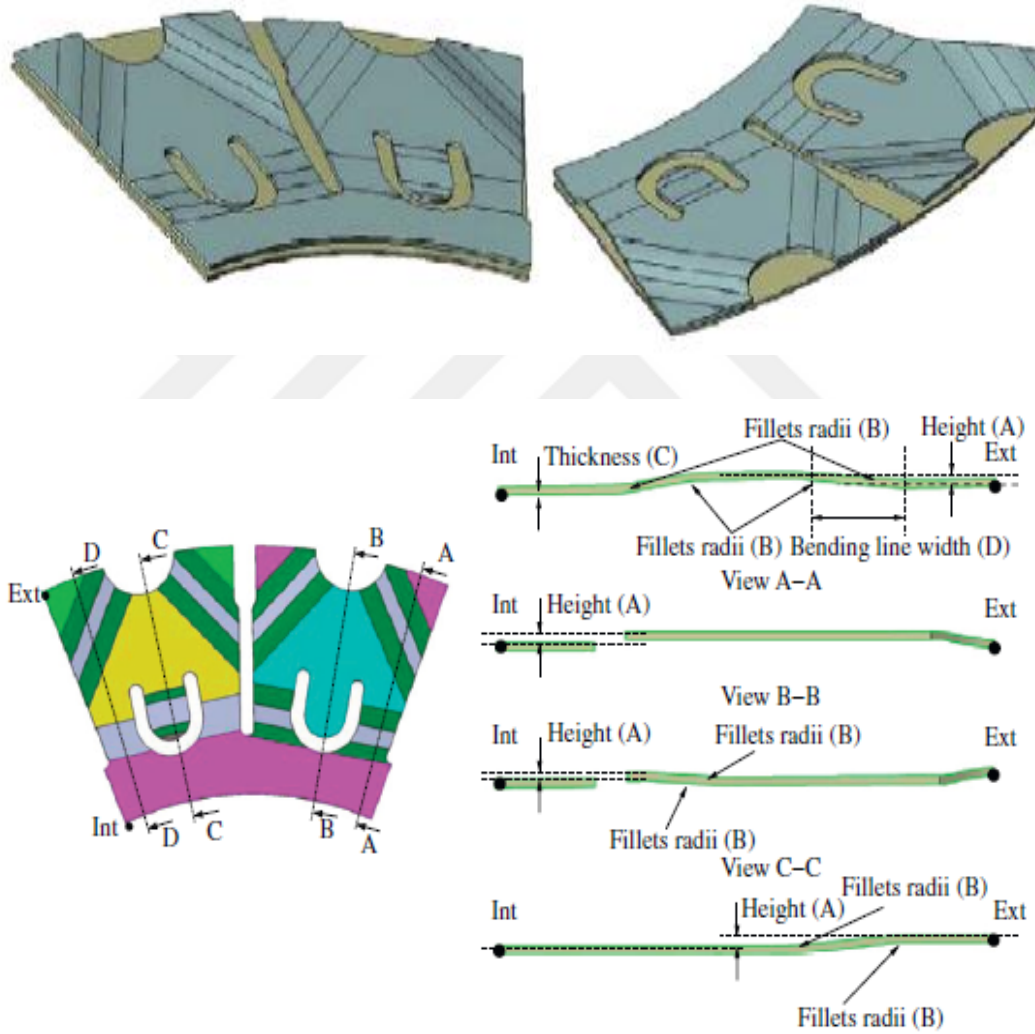


Şekil 2.2. Sıcaklığa bağlı olarak rijitlik eğrisi grafiği (Capetti ve ark. 2012)

Capetti ve ark. (2012) elde ettikleri veriler sonucunda kavrama esnasında sürtünmelerden kaynaklı meydana gelen sıcaklık artışı ile birlikte rijitlik eğrisinin de değiştiği ve azalma eğiliminde olduğu şeklinde yorumlamışlardır.

2.2.Geometrik Değişkenlerin Metalik Disk Yayı'nın Rijitliğine Etkileri Üzerine Çalışmalar

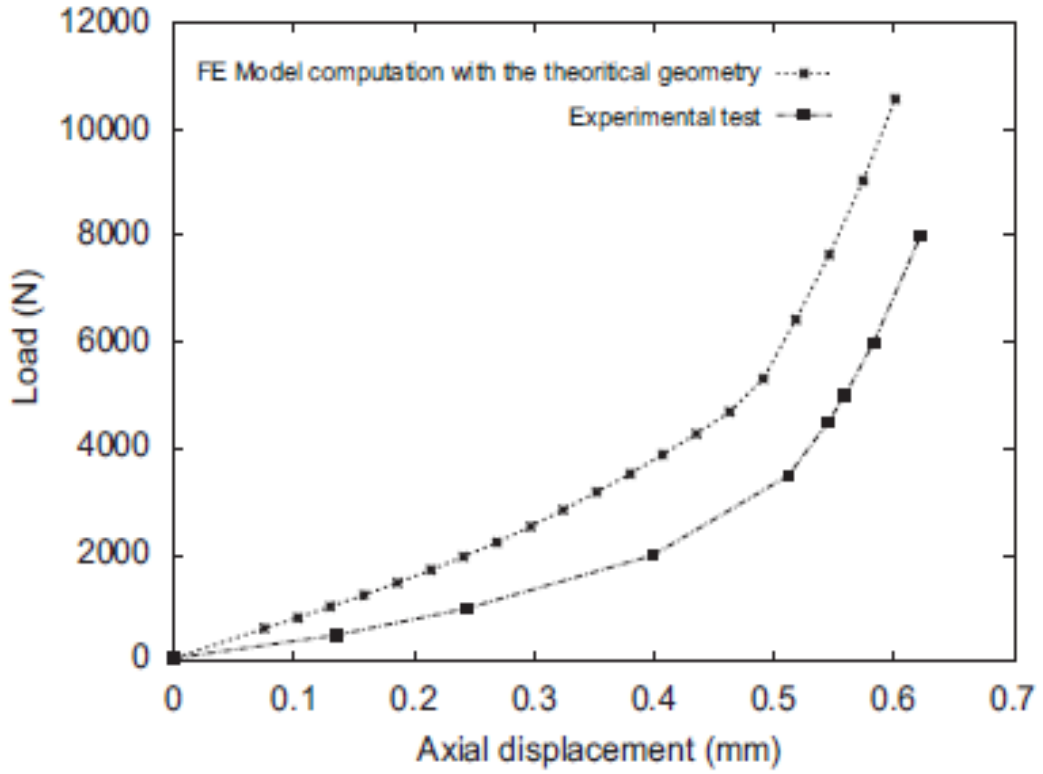
Sfarni ve ark. (2009) parametrik metalik disk modelinin sonlu elemanlar modeli üzerinde rijitlik eğrisini çıkararak değişkenlerin rijitliğe etkilerini deney tasarımı metodu ile belirlemeye çalışmışlardır.



Şekil 2.3. Metalik disk yayı parametrik modeli (Sfarni 2009)

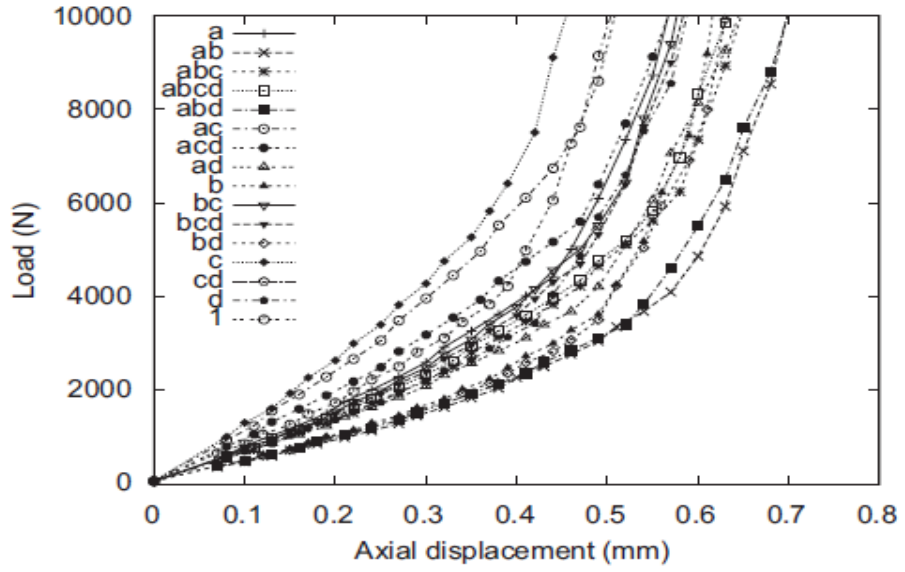
Oluşturdukları sonlu elemanlar modeliyle gerçekleştirdikleri analizleri fonksiyonel ölçüm sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar modeli rijitlik eğrisi sonuçları ve fonksiyonel ölçüm sonuçları arasında farkın simetri koşulları , temas değişkenleri ,

yakınsama değişkenleri ve sonu eleman sayılarındaki farklılıklardan dolayı kaynaklanabileceği şekilde yorumlamışlardır. Geometrik olarak değişkenleri belirtilen metalik disk yayının üretim kaynaklı olarak geometrik farklılıklar gösterebileceğini de belirtmişlerdir.



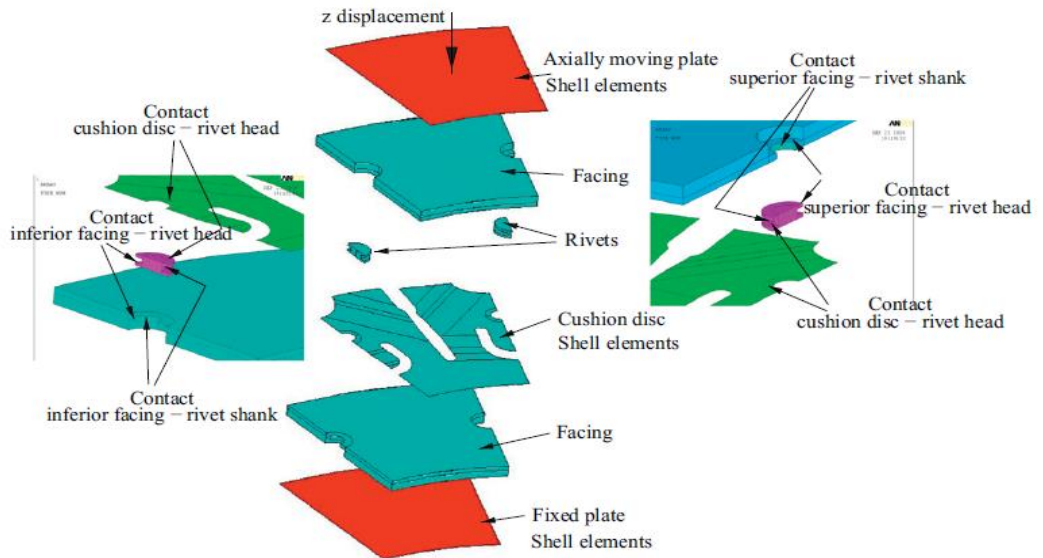
Şekil 2.4. Rijitlik eğrisi sonuçlarının karşılaştırılması (Sfarni 2009)

Sfarni ve ark. (2009) deney tasarım yönetimini kullanarak belirledikleri şekil değişkenlerine bağlı sonuç havuzu oluşturmuşlar ve metalik disk yayının rijitlik davranışını incelemişlerdir.



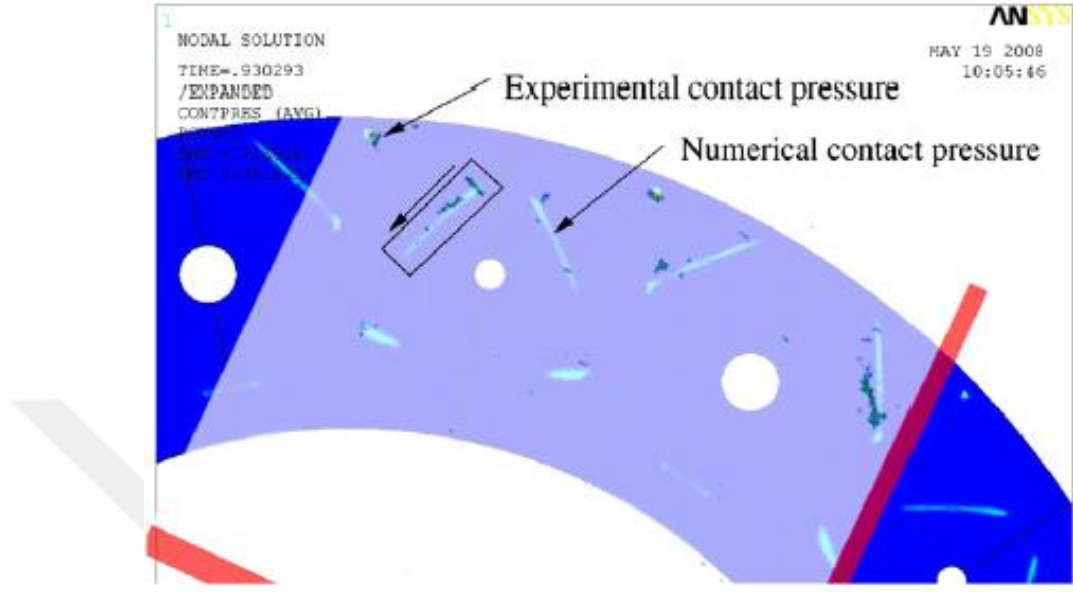
Şekil 2.5. Deneysel tasarıma bağlı rijitlik eğrisi sonuçları (Sfarni 2009)

Bu modelde diskin balatalara perçinler ile bağlantısı modellenmemiştir. Sfarni ve ark. (2011) perçin bağlantılarının da modellendiği çalışma da temas basıncının diskin üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 2.5. Perçinlemiş sonlu elemanlar modeli (Sfarni ve ark. 2011)

Sfarni ve ark. oluşturdukları perçinlemiş model ile metalik disk yayında oluşan temas basıncının test sonuçları ile sonlu elemanlar analizi sonuçlarını yorumlamışlardır.

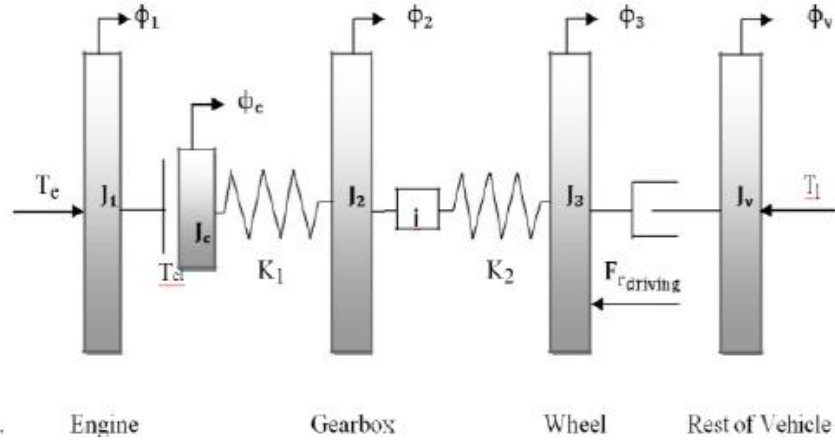


Şekil 2.6. Temas basıncının karşılaştırılması (Sfarni ve ark. 2011)

Temas basıncının hesaplanabilmesi için metalik disk sonlu elemanlar modelinin test sonuçları ile olan korelasyonu Sfarni ve ark. (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir. Debriyaj sisteminde kullanılan yayların tasarım kuralları Hagerodt ve ark. (2001) tarafından araştırılmıştır. Yayların kapladıkları yer, ağırlık, fiyat ve aktarma performansları karşılaştırılmıştır.

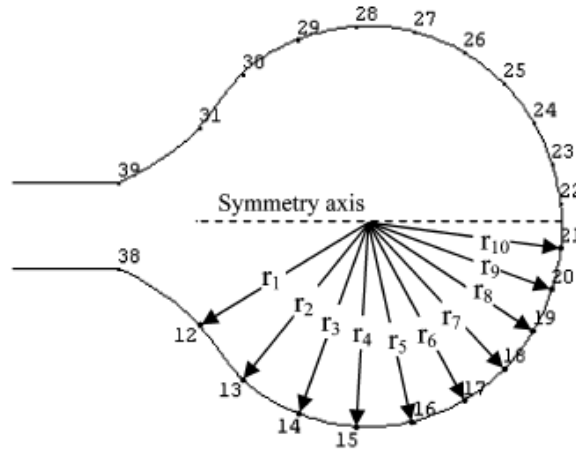
Metalik disk yayların sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi, temas basıncının hesaplanarak ürün ömrüne olan etkileri Sfarni ve ark. (2008) tarafından araştırılmıştır. Deney tasarımı yöntemi ile disk değişkenlerinin rijitliğe etkileri hassasiyet analizi ile incelenmiştir.

Chintala ve ark. (2013) tarafından debriyaj sisteminin matematiksel modeli kurulmuş ve dinamik davranışı analiz edilmiştir. Kavrama sisteminin optimizasyonu için hassasiyet analizi gerçekleştirilmiştir.



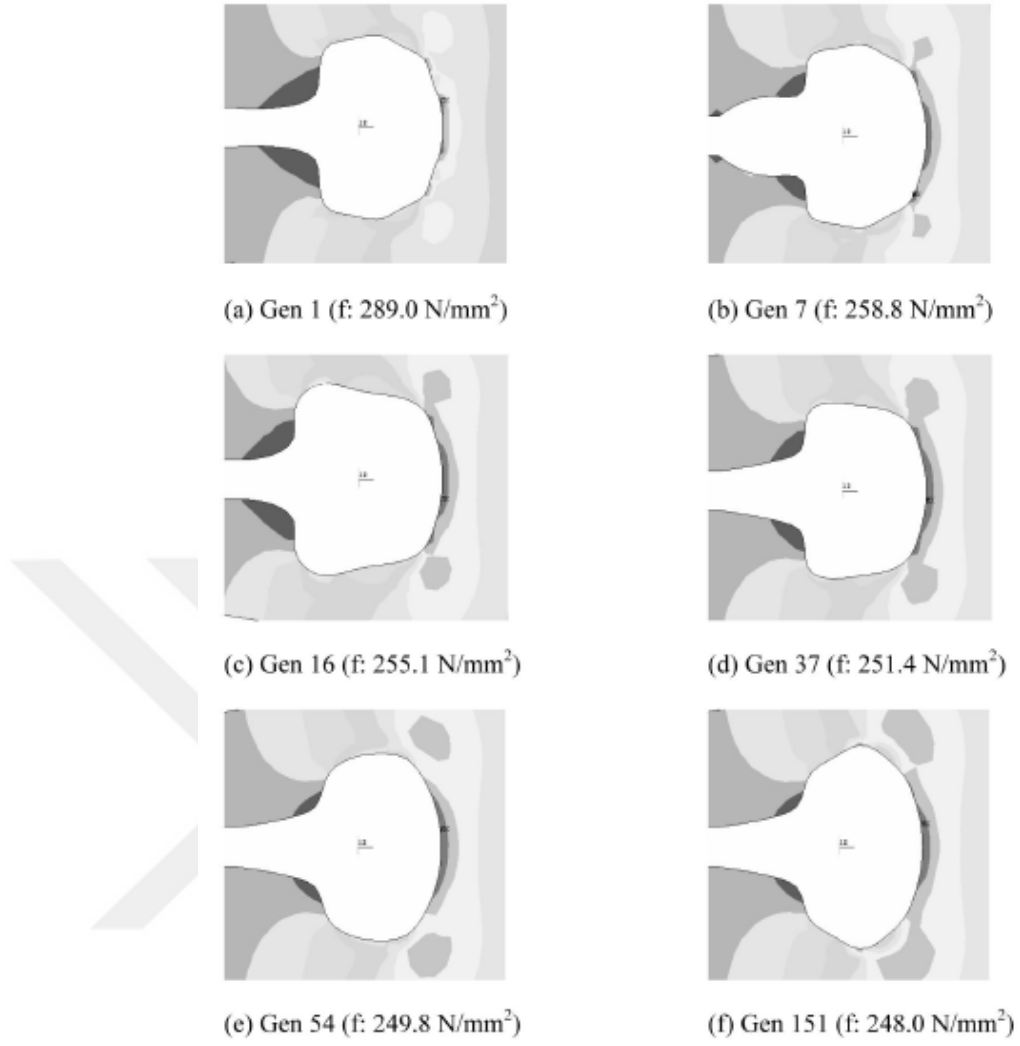
Şekil 2.7. Kavrama sistemi modeli (Chintala ve ark. 2013)

Kavrama sistemini oluşturan diyafram yayın yorulma ömrü açısından optimizasyonu Kaya (2006) tarafından gerçekleştirilmiş ve optimizasyon algoritması olarak genetik algoritma kullanılmıştır.



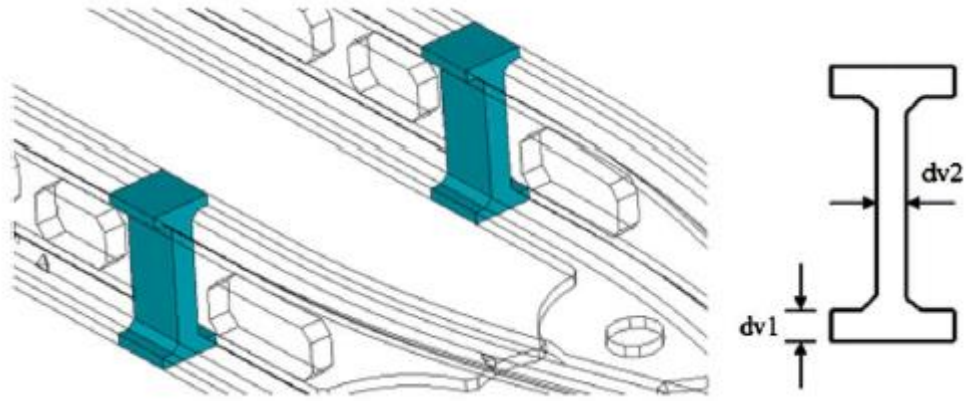
Şekil 2.8. Diyafram yayı parametrik modeli (Kaya 2006)

Kaya (2008) oluşturduğu parametrik diyafram yayı modelini genetik algoritma ile gerilme minimizasyonunu hedefleyerek değişik jenerasyonlardaki minimum gerilmeye sahip modelleri belirlemiştir.



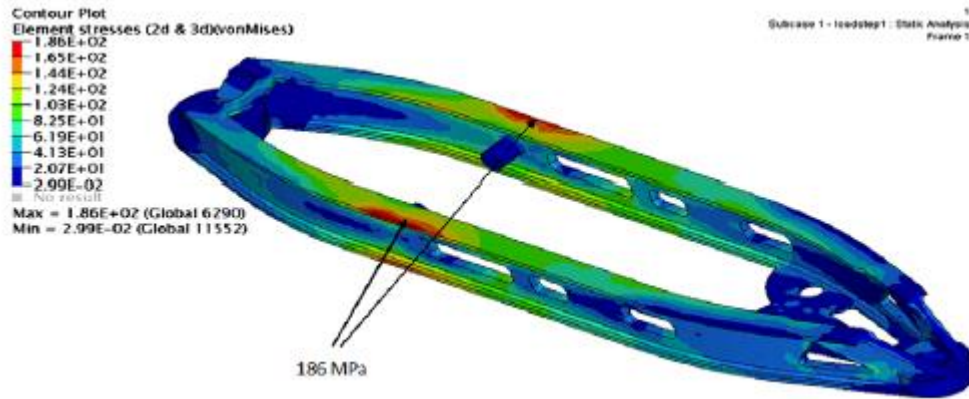
Şekil 2.9. Genetik algoritma ile belirlenen diyafram yayı modelleri (Kaya 2006)

Kaya ve ark. (2010) debriyaj çatalının topoloji optimizasyonu ile yeniden tasarımını gerçekleştirmiş ve kısıtları sağlayan ve en düşük ağırlık için şekil optimizasyonu kullanılmıştır. Debriyaj çatalının belirlenen şekil değişkenlerine göre parametrik modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.10. Debriyaj çatalı parametrik modeli (Kaya 2010)

Kaya ve ark. (2010) debriyaj çatalının şekil optimizasyonu çalışması ile ürün ağırlığını minimize etmeyi amaçlayarak dayanım şartlarını sağlayacak ürün tasarımını belirlemişlerdir.



Şekil 2.11. Optimum debriyaj çatalı geometrisi (Kaya 2010)

Literatür çalışmalarında debriyaj elemanlarından metalik diskin modellenmesi üzerinde bir araştırmacı grubunun çalışmaları mevcuttur. Yapılan çalışmalarda sonlu elemanlar modeli ile metalik diskin modellenmesi gerçekleştirilmiş ve temas basıncı modellenmiştir. Parametrik model ile yapılan çalışmalarda deney tasarımı yöntemi ile etkin değişkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda istenen rijitlik eğrisinin tutturulması için optimizasyon çalışması gerçekleştirilmemiştir. Sadece etkin şekil değişkenleri belirlenmiştir. Bu tez çalışmasının mevcut literatüre katkısı ise, mekanik

ürünlerden beklenen sonuç eğrisine sahip ürünlerin tasarımı için bir optimizasyon yaklaşımının geliştirilmesidir. Metalik disk yay üzerine uygulanacak bu yöntem, benzer beklentilerin olduğu diğer mekanik ürünler üzerine de uygulanabilir olduğu öngörülmektedir.

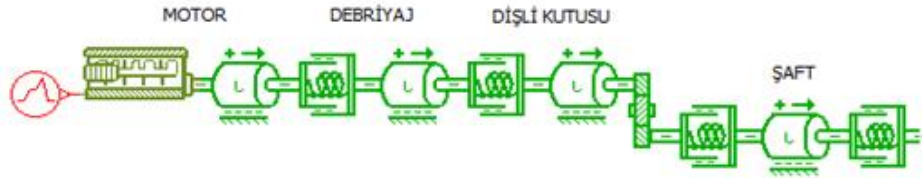
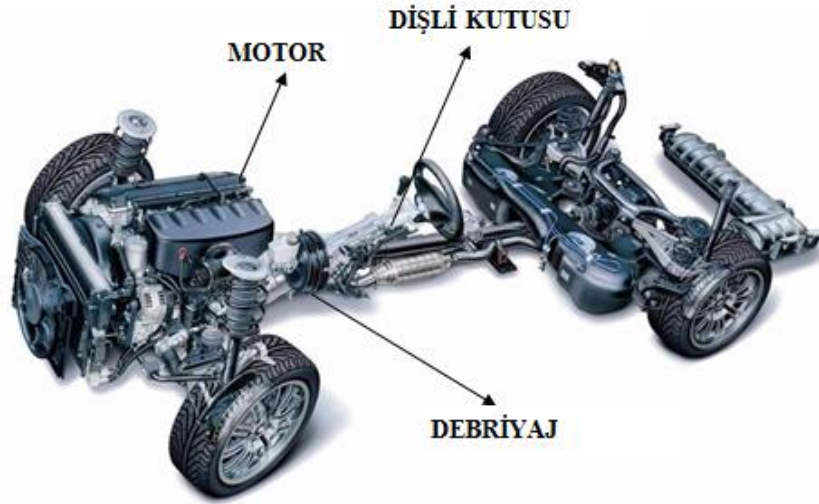


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında metalik disk yayının pedal konforuna etkisini inceleyebilmek amacıyla metalik disk yayının sonlu elemanlar analizi programında parametrik modeli oluşturulup bu modele aksenal yönde kuvvet uygulanarak modelin rijitlik eğrisi elde edilmiştir. Oluşturulan parametrik model ile uygun deney tasarım yöntemi seçilerek rijitlik eğrilerinden oluşan sonuç havuzu elde edilmiş ve sonuç havuzundan elde edilen veriler ile metalik disk yayının şekil optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelin gerilme değerlerini elde edebilmek adına optimum şekil değişkenleri ile oluşturulmuş modelin maksimum gerilme değeri, statik analiz modeli oluşturularak elde edilmiştir. Elde edilen maksimum gerilme değerinin çıktıları beraberinde optimum metalik disk yayı ömür analizi programında tekrarlı yüklemelere maruz bırakılarak ömür analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil optimizasyonu sonucunda elde edilen optimum şekil değişkenlerine göre prototip üretimi gerçekleştirilmiş metalik disk yaylarının fonksiyonel ölçümleri ile sonlu elemanlar analizi sonuçları karşılaştırılarak tez çalışması sonlandırılmıştır.

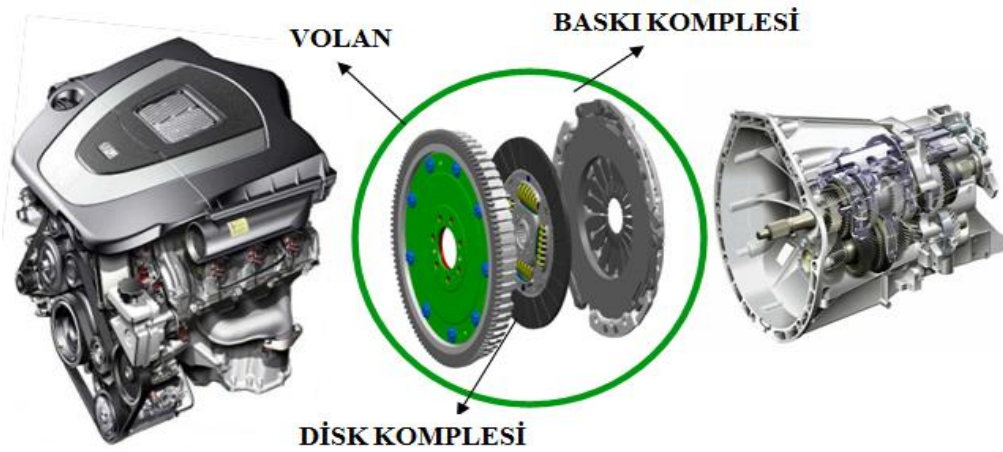
3.1. Manuel Kavramalı Araçlarda Güç Aktarım Sistemi

Manuel kavramalı araçlarda motorun ürettiği dönme momentinin vites kutusuna aktarılmasını sağlayan güç aktarım elemanı debriyaj sistemidir.



Şekil 3.1. Manuel kavrama araç güç aktarım sistemi

Debriyaj güç aktarım sistemi mekanik/hidrolik bağlantı sistemi haricinde üç bölümden meydana gelmektedir. Motor ile dişli kutusu arasında sırasıyla volan, disk kompleksi ve baskı kompleksi bulunmaktadır.

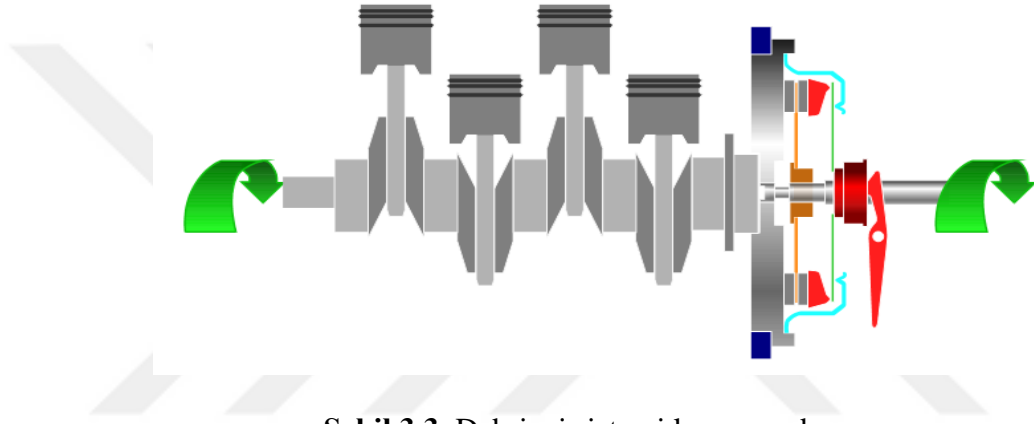


Şekil 3.2. Manuel kavrama araç güç aktarım sistemi

3.2. Debriyaj Sisteminde Tork İletimi

Disk kompleksi, volan ile baskı kompleksi arasında baskı plakasından uygulanan kuvvet ile sıkıştırılmaktadır. İki yüzey arasında sıkıştırılan disk kompleksi elemanı meydana gelen sürtünme kuvveti ile tork iletimini sağlamaktadır. Baskı kompleksinde yer alan ve baskı kuvvetini baskı plakasına ileten diyafram yayı, baskı plakasını aksel yönde hareket geçirerek motor ile dişli kutusu arasındaki güç aktarımını keser.

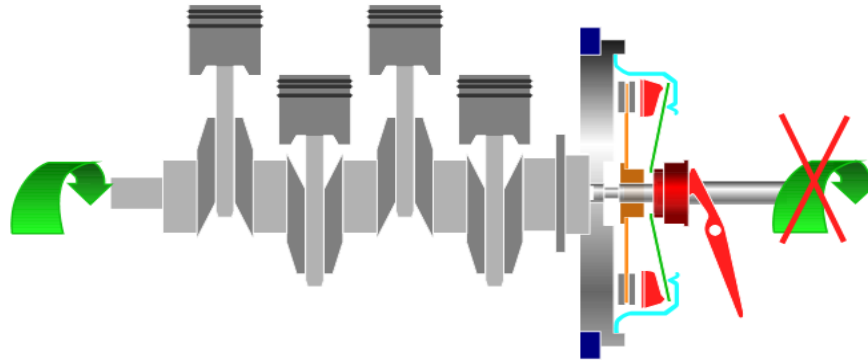
Kavrama durumu



Şekil 3.3. Debriyaj sistemi kavrama durumu

Araçta motordan gelen dönme momentinin debriyaj vasıtasıyla dişli kutusuna aktarıldığı durum kavrama durumu olarak adlandırılmaktadır.

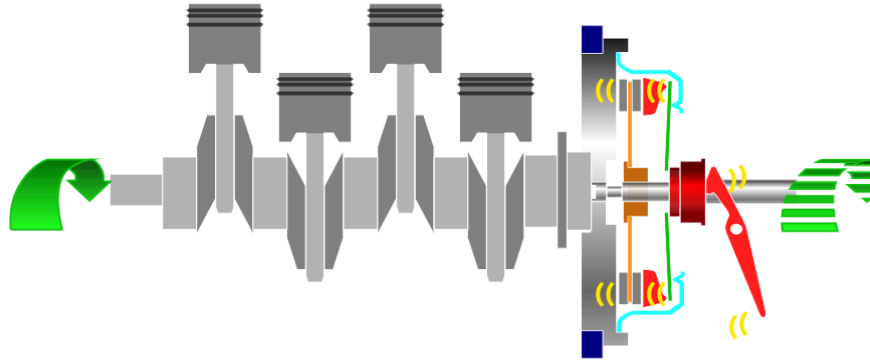
Ayırma durumu



Şekil 3.4. Debriyaj sistemi ayırma durumu

Araçta debriyaj pedalına basıldığı durumda diyafram yayının uyguladığı aksenal kuvvet ile baskı plakasını harekete geçirir ve güç aktarımı sonlanmış olur. Bu durum ayırma durumu olarak adlandırılmaktadır.

Kavrama anı



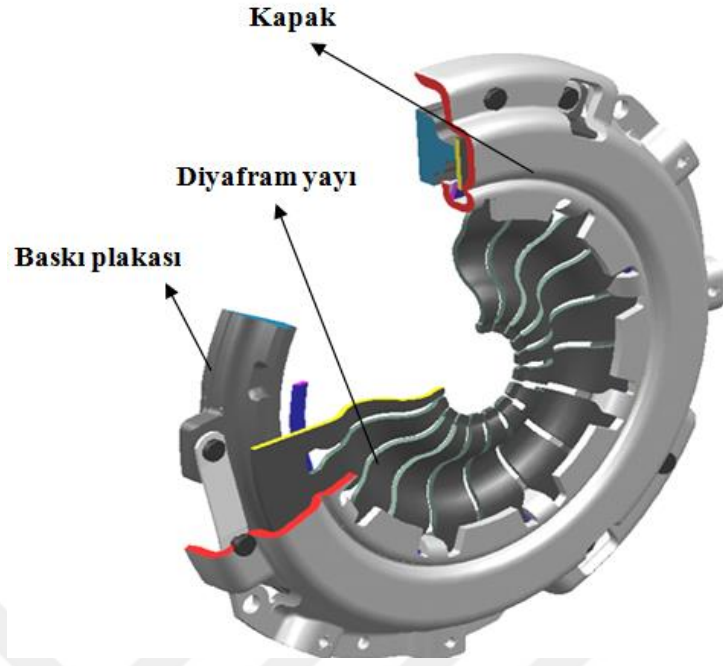
Şekil 3.5. Debriyaj sistemi kavrama anı

Araçta debriyaj pedalının üzerindeki kuvvetin kalkıp debriyaj sisteminin kavrama konumuna geçişinin başladığı durumu kavrama anı olarak adlandırılmaktadır. Bu andan itibaren motordan gelen dönme momenti debriyaj sistemi üzerinden dişli kutusuna aktarılmaya başlamaktadır.

3.3. Debriyaj Sistemi Baskı Kompleksi Elemanı

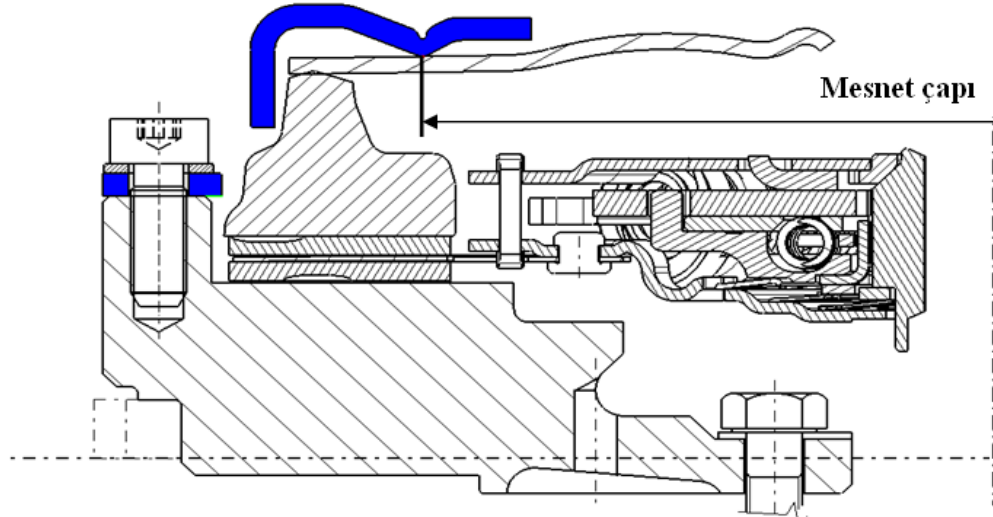
Baskı kompleksi, manuel kavramalı araçlarda motorun ürettiği dönme momentinin dişli kutusuna aktarılmasını sağlayan debriyaj sisteminde bulunan ana elemanlardır. Baskı kompleksi birden çok tipe sahip olması ve bu tiplere özel elemanlar bulundurmasına rağmen genel olarak kendi içerisinde üç ana elemandan oluşmaktadır. Belirtilen ana elemanlar aşağıdaki gibidir.

- 1)Kapak
- 2)Diyafram yayı
- 3)Baskı plakası



Şekil 3.6. Baskı kompleksi elemanları

Kapak elemanı, diyafram yayı ve baskı plakası elemanlarını içerisinde muhafaza edip diyafram yayı için mesnet çapı oluşturarak baskı yükünün istenilen değerlerde etkimesini sağlamaktadır.



Şekil 3.7. Baskı kompleksi kapak elemanı

Diyafram yayı, debriyaj sisteminde güç aktarımını sağlamak için gerekli olan baskı yükünü oluşturmaktadır. Diyafram yayından elde edilen baskı yükü, baskı plakasına aktarılarak, baskı plakasının aksel yönde hareket etmesini sağlamaktadır. Baskı plakasının aksel hareketi ile volan ve baskı plakası arasında kalan disk kompleksi sıkışmaya başlamaktadır. Disk kompleksinde yer alan balatalar ile baskı plakası ve volan arasında radyal yöndeki dönme hareketi sebebiyle oluşan sürtünme kuvveti aşılmaya başlandığında tüm sistem bir bütün olarak hareket etmeye başlamakta ve güç aktarımını gerçekleştirilmektedir.

Motorda üretilen torkun dişli kutusuna iletilmesini aşağıdaki denklemde belirtildiği şekilde formülize edebiliriz.

$$T = \int \int \mu \cdot \rho \cdot r^2 \, da \cdot dr = \mu \cdot \rho \int_0^{2\pi} \int_{R_i}^{R_e} r^2 \cdot dr \cdot d\alpha = \mu \cdot \rho \cdot \int_0^{2\pi} d\alpha \cdot \int_{R_i}^{R_e} r^2 \cdot dr$$

$$T = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot \rho \cdot (R_e^3 - R_i^3)$$

$$T = n \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot (R_e^3 - R_i^3)$$

$$R = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_e^3 - R_i^3}{R_e^2 - R_i^2}$$

$$\mathbf{T = n * P * \mu * R}$$

Denklemdede yer alan terimlerin anlamları aşağıdaki gibidir.

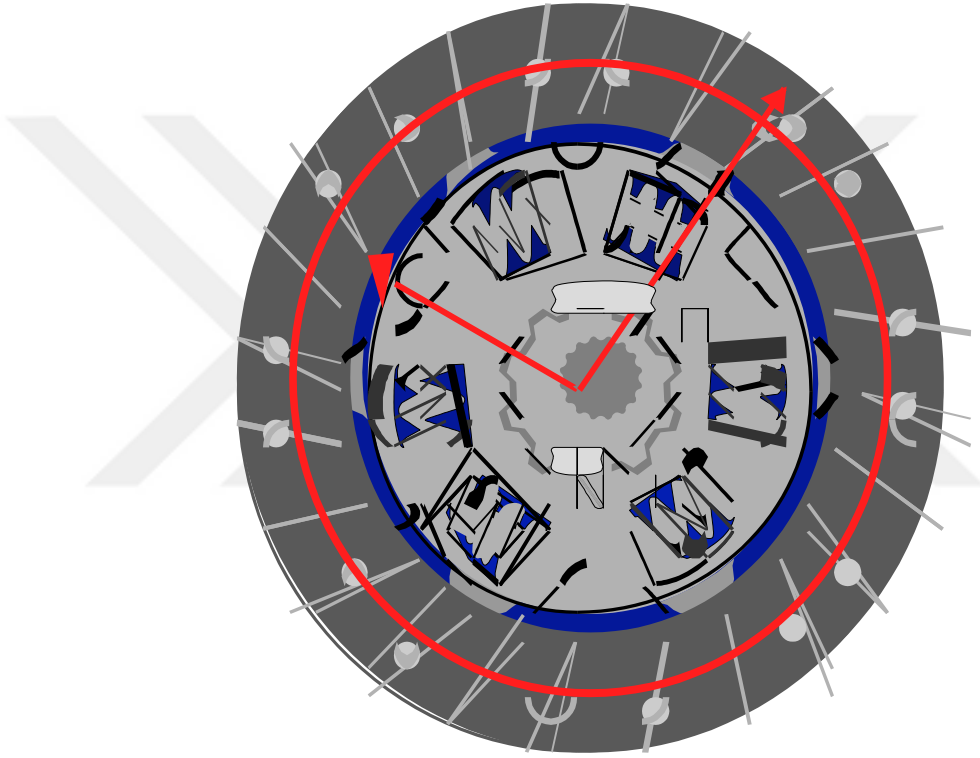
N = Sürtünme yüzey sayısı

T = İletilen Tork miktarı (Nm)

μ = Sürtünme katsayısı

P = Baskı kuvveti (N)

R = Tork iletiminin yapıldığı ortalama balata çapı (mm)



Şekil 3.8. Disk kompleşi ortalama tork iletim çapı

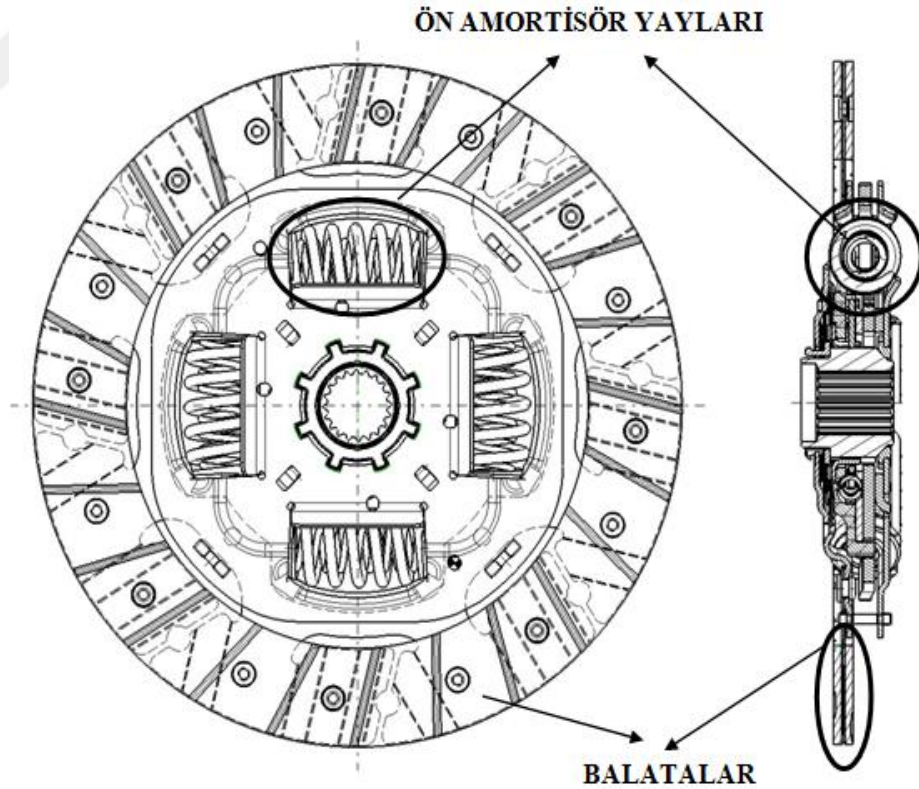
3.4. Debriyaj Sistemi Disk Kompleşi Elemanı

Disk kompleşi debriyaj sisteminde volan ve baskı kompleşi arasında yer almaktadır.

Disk kompleksinin başlıca görevleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Kavrama durumundayken motor torkunun tamamını iletmek.
2. Motorun çalışması esnasında oluşturduğu titreşimleri filtrelemek
3. Motor torkunu sönümleyerek iletmek

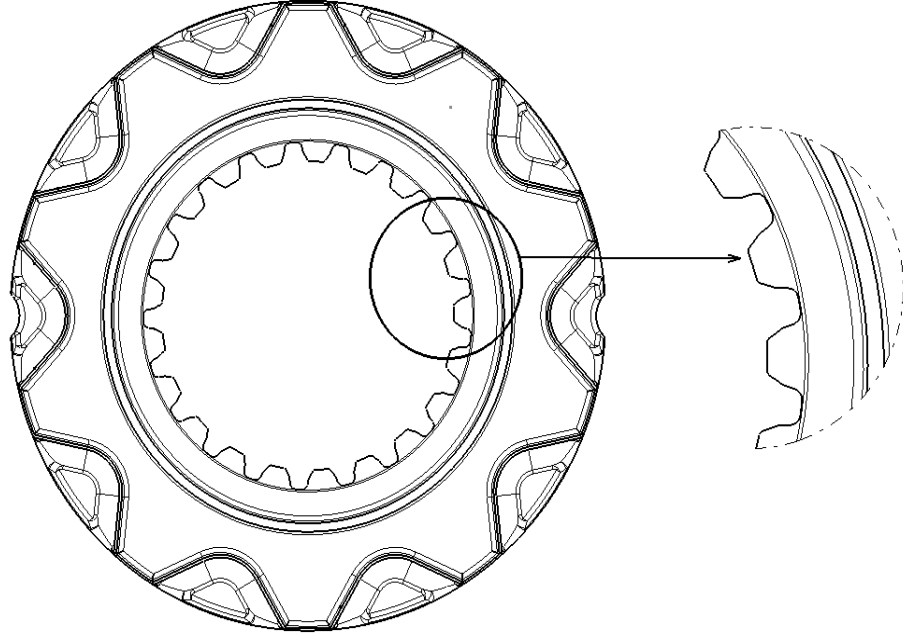
Balatalar diski oluşturan önemli parçalardandır ve araçtaki çalışma koşullarında motor torkunu iletmeye rolüne sahiptir. Balata kalitelerine göre sürtünme katsayıları ve sıcaklık altındaki dayanımları değişiklik gösterir. Disk kompleksi dış çapında yer alan balatalar sayesinde volan ve baskı kompleksi arasında sürtünme kuvveti etkisiyle tork iletimini sağlamaktadır. İçerisinde yer alan yaylar sayesinde motor kaynaklı titreşim düzensizlikleri yayların sıkışma hareketiyle absorbe edilmektedir. İlk kavrama ve vites değişimleri sırasında disk kompleksinde yer alan metalik disk yayı elemanı sayesinde tork iletimi konforlu şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.9. Disk kompleksi tork iletimi ve damper elemanları

Metalik disk yayının balataların arasında sıkışmasıyla sağlanan rijitlik fonksiyonu, debriyaj pedalının hareket mesafesi ile ayarlanmasına izin verir ve sürücünün hissedeceği konforsuzluğu önler. Uygunsuz rijitlik eğrisi değerleri düşük yüklerde titreşim ve vuruntuyu sürücüye yansıtır. Rijitlik eğrisinin şekli, hareket mesafesi ve direngenliği; aktarma organları, baskı ve bağlantı özelliklerine göre hesaplamalarla belirlenir ve araç testleri ile sabitlenir.

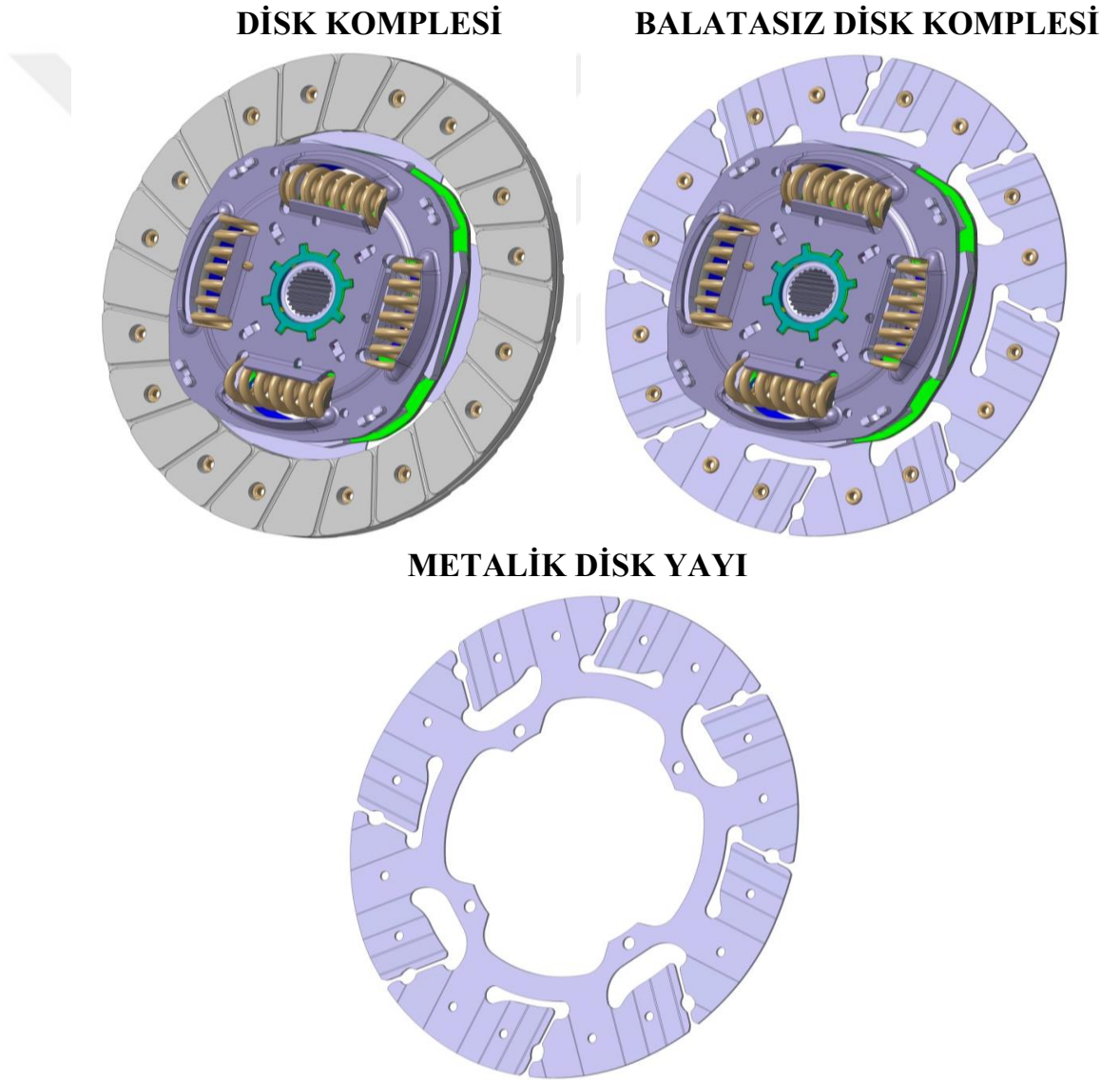
Tork iletiminin konforlu şekilde gerçekleşmesini sağlayan metalik disk yayı, volan ve baskı plakası için sürtünme yüzeyi oluşturulan balataların arasında bulunmaktadır. Metalik disk yayı, tork iletim çapı üzerinde bulunan delik boşaltmalar sayesinde balatalara perçinlenmektedir. Motorda üretilen tork birincil olarak balatalara iletilmektedir. Beraberinde disk kompleksinin merkezinde bulunan göbek elemanının iç spline eğrileri üzerinden priz direk miline aktarılmaktadır.



Şekil 3.10. Disk kompleksi göbek elemanı iç spline eğrileri

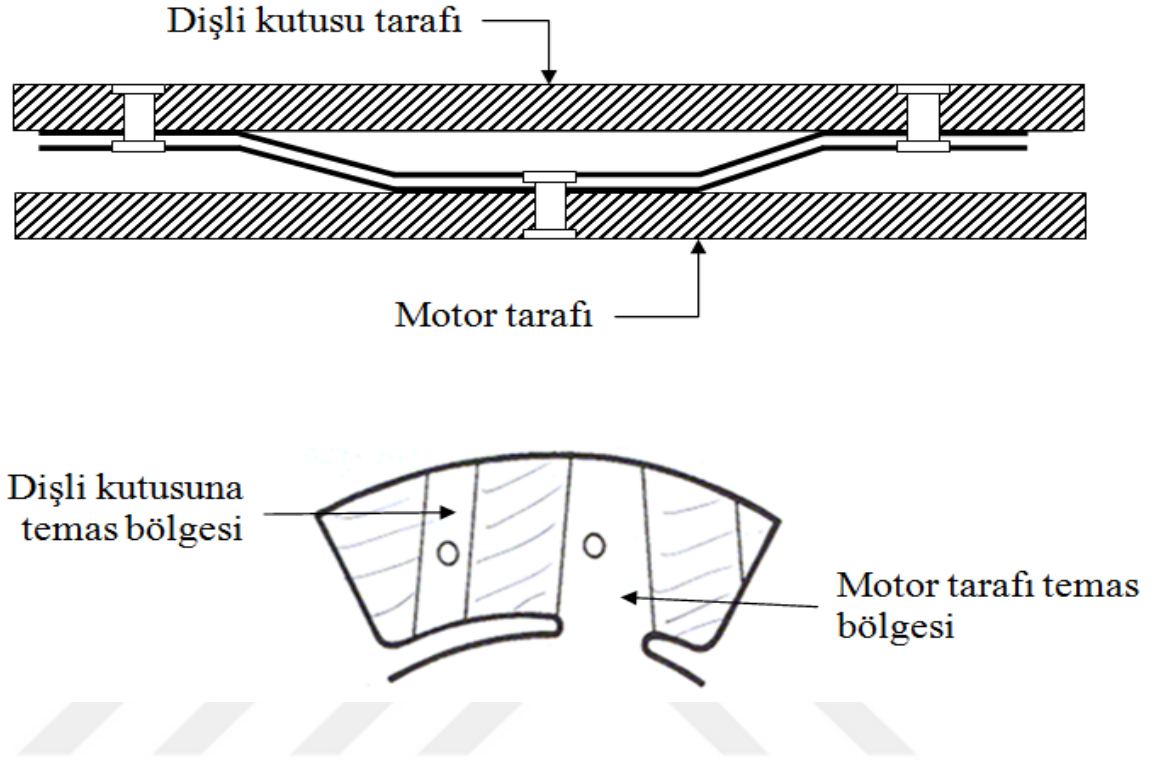
3.5. Disk Komplexi Metalik Disk Yayı Elemanı

Günümüz araçlarında yer alan güç aktarım sistemlerinde, motorda üretilen torkun iletilmesinin yanında tork iletiminin konforlu bir biçimde gerçekleşmesi önem arz etmektedir. Disk kompleksinde bulunan metalik disk yayı, formlu yapısı sayesinde aksel yüklemelere maruz kaldığında sıkışarak tork iletiminin daha yumuşak ve akıcı şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Konforu sağlamanın yanısıra baskı plakasından uygulanan baskı yükünün balata üzerine eşit şekilde dağılımını sağlamaktadır. Metalik disk yayı aşağıda belirtilmektedir.



Şekil 3.11. Metalik disk yayı elemanı

Metalik disk yayı alt ve üst balata olmak üzere iki taraftan balatalara perçin bağlantı elemanları ile sabitlenmektedir.



Şekil 3.12. Metalik disk yayı bağlantı şekli

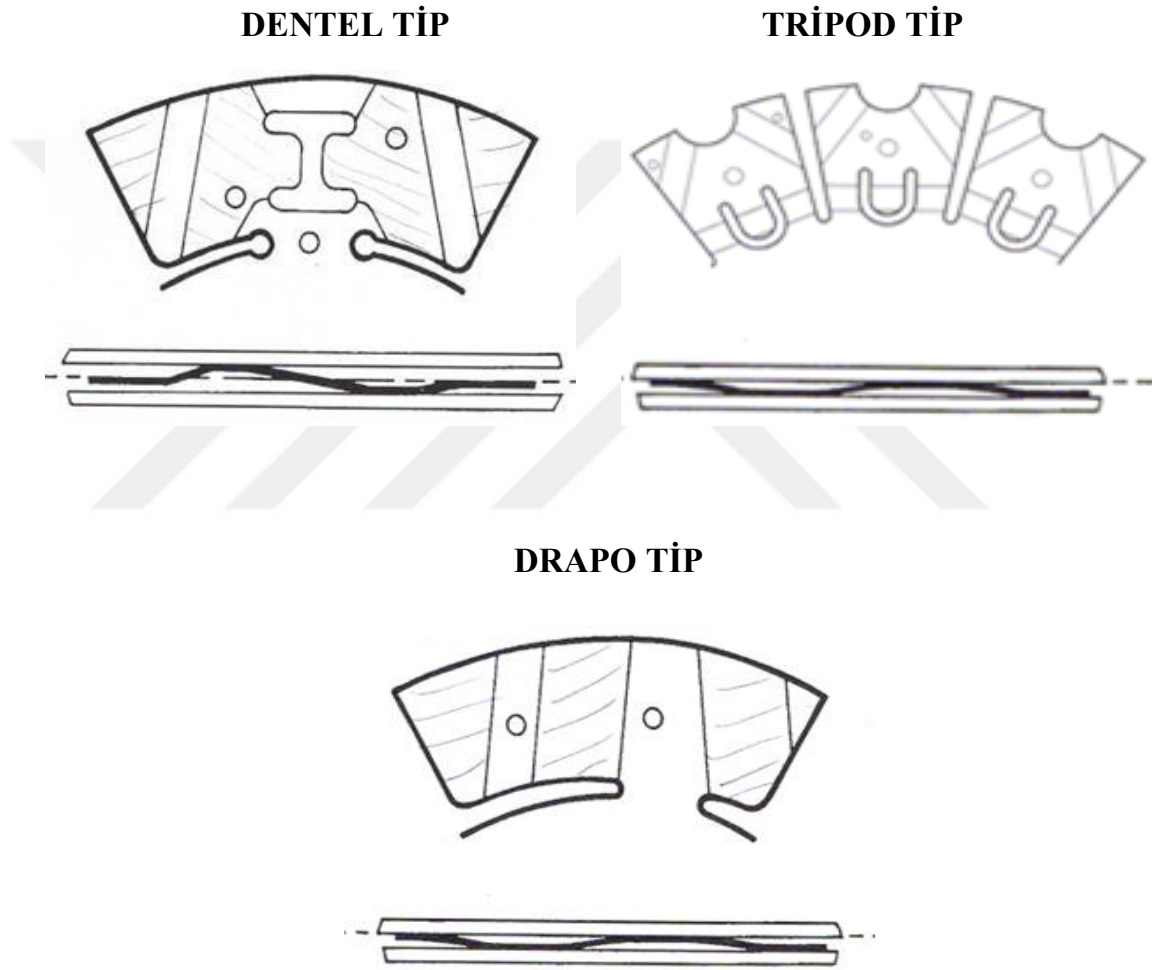
Motor tarafında ise motordan gelen dönme momentinin ilk iletiildiği eleman olan volana temas etmektedir. Volan ve baskı plakası arasında bulunan balata çiftini perçinler vasıtasıyla yekpara hale getiren metalik disk yayı dişli kutusu tarafından gelen baskı yüküyle sıkışmaktadır.

Metalik disk yaylarının şekil geometrileri, teknolojik gelişmeler ile birlikte farklılık göstermiştir. İlk olarak tasarlanan metalik disk yayı formlu yapıya sahip değildir. Formsuz yapıya sahip düz yüzeyli metalik disk elemanı balataları birleştirmek amacıyla tasarlanmıştır ve tork iletimi sırasında sürüş konforunu sağlama şartı aranmamıştır. Yıllar içerisinde gelişen teknoloji ve artan rekabet koşulları ile birlikte

tüketicinin konfor gereksinimi de önem kazanmış ve günümüzde kullanılmakta olan formlu yüzeye sahip metalik disk yaylarının şekil geometrileri tasarlanmıştır.

Metalik disk yayı elemanı üç ana şekil geometrisinden oluşmaktadır. Bu şekil geometrilerini aşağıdaki gibi belirtebiliriz.

- 1.Dentel tipi metalik disk yayı
- 2.Tripod tipi metalik disk yayı
- 3.Drapo tipi metalik disk yayı



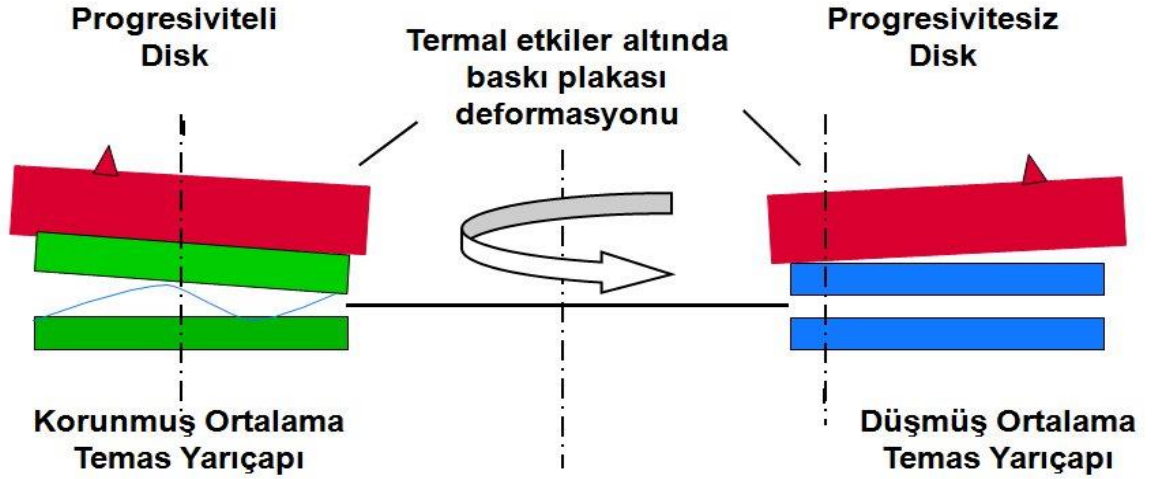
Şekil 3.13. Metalik disk yayı elemanı şekil geometrileri

Bu tezin merkezinde yer alan metalik disk yayının sahip olduğu formlu yapı sayesinde etkilediği önemli durumları aşağıdaki gibi belirtebiliriz.

1. Baskı yükü dağılımına etkisi

2. Sürüş konforuna etkisi

Manuel kavramalı araçlarda bulunan kuru kavrama debriyaj sistemlerinde tork iletimi gerçekleştiği sırada yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmaktadır. Tork iletimi yüksek enerji seviyelerinde gerçekleştiğinden dolayı, baskı plakası ısınmakta ve deforme olarak konveks bir şekle bürünmektedir. Yüksek sıcaklıklar sebebiyle oluşan deformasyon sonrası baskı plakası iç çapıyla tork iletime eğilimine girmektedir. Bu eğilim sonucunda ortalama tork iletim çapı balataların iç çapına yaklaştığından dolayı iletilen tork düşmektedir.

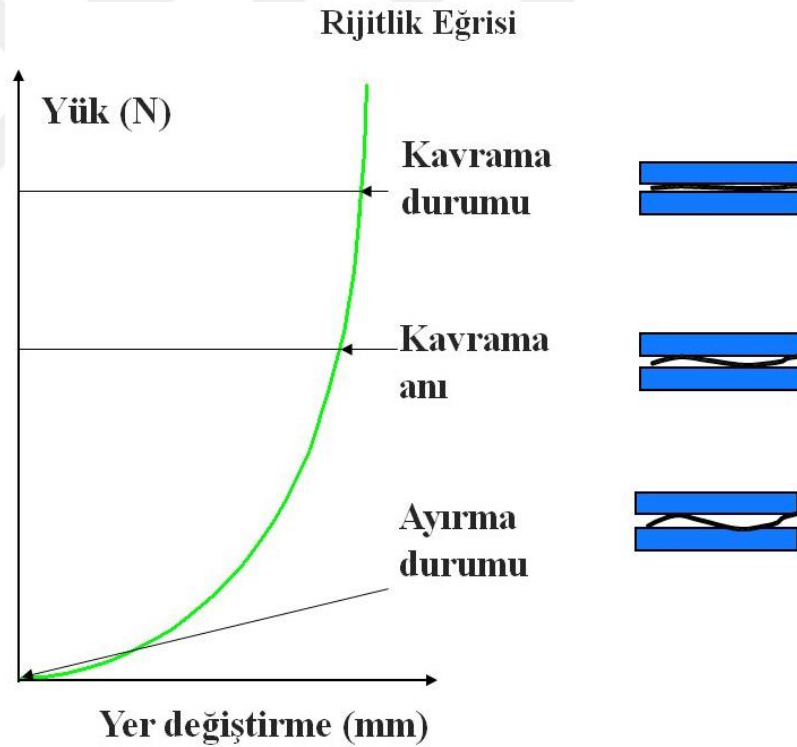


Şekil 3.14. Metalik disk yayı baskı yükü dağılımına etkisi

Formlu yapıya sahip olan metalik disk yayı elemanı torkda meydana gelen düşüşü önlemektedir. İç çaptan temasa başlayan baskı plakası, balatalara temas ettiğinde balatalar üzerinde dengesiz bir aşınma gerçekleşmektedir. Formlu yapıya sahip metalik disk yayı elemanı sayesinde sürtünme homojen biçimde gerçekleşmekte ve balata ömürleri dengesiz aşınmalar sebebiyle azalmamaktadır.

Metalik disk yayının diğerk etkidiği durum olan sürüş konforuna etkisi yukarıda belirtilen durumda olduğu gibi formlu bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Baskı plakasından aksnel yönde uygulanan baskı yükü balata yüzeyine etkimeye başladığı andan itibaren metalik disk yayının formlu yapısı sıkışmaya başlamaktadır. Metalik disk yayının balatalar arasında sıkışmasıyla sağlanan yastıklama fonksiyonu ile sürücünün hisseceği konforsuzluğu önler.

Uygunsuz rijitlik eğrisi değerleri, düşük yüklerde titreşim ve vuruntuyu sürücüye yansıtmaktadır. Maksimum baskı yükü altında sıkışma sonrasında metalik disk formunda kalan mesafe, baskı plakasının yükü altında oluşan termal deformasyonları telafi edebilecek ve oluşan basıncı balatalar üzerine eşit miktarda dağıtabilecek değerde olmalıdır.



Şekil 3.15. Metalik disk yayı rijitlik eğrisi

Metalik disk yayı, dişli kutusu tarafından etki eden baskı yükü eşliğinde aksnel yönde sıkışmaktadır. Sıkışan bölgenin yer değiştirme değeri ile baskı plakası tarafından uygulanan yük değerlerinden oluşan eğri metalik disk yayı rijitlik eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Rijitlik eğrisinin maksimum ve minimum limitler arasında kalması

istenmektedir. Rijitlik eğrisinin maksimum ve minimum limit değerleri araç pedal hesabı ile belirlenmektedir. Metalik disk yayı ile ilgili tezde yapılan çalışmalar optimizasyon kısmında belirtilmiştir.

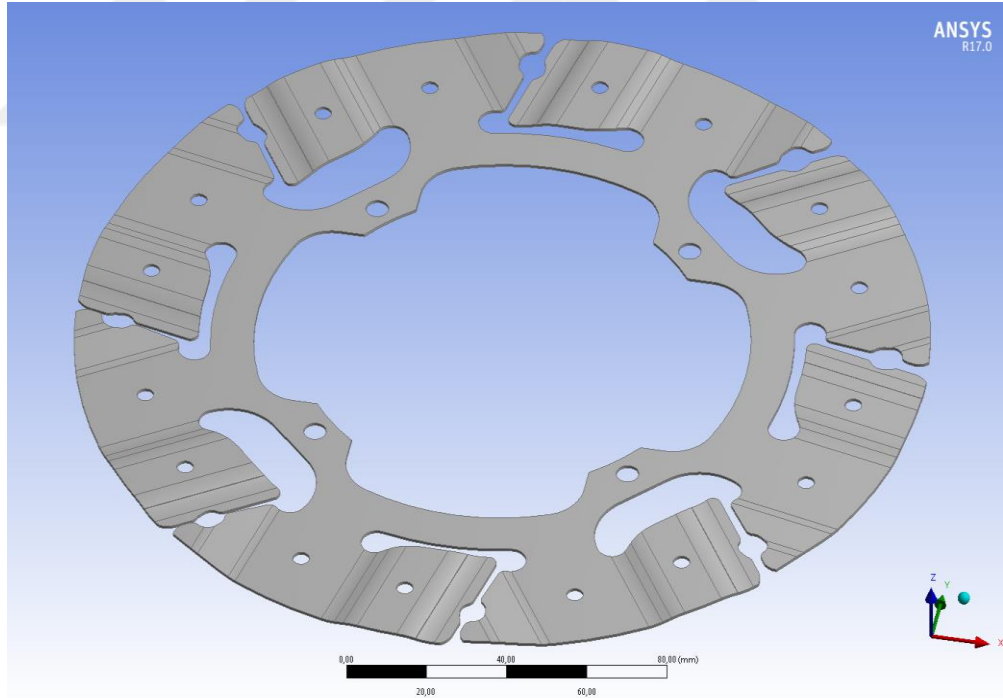


4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Metalik disk yayı elemanının aksenal yüklemelere maruz kalmasıyla ortaya çıkan yer değıştirme değęerlerinden ve uygulanan yüklerin değęerlerinden oluşan rijitlik eğrisi, yapılan hesaplamaların beraberinde hedeflediğimiz limitlerin içerisinde olması istenmektedir. Rijitlik eğrisinin belirtilen limitlerin içerisinde olmasının yanında belirttiğimiz hedef eğriye tam uyum sağlaması için metalik disk yayında rijitlik eğrisine etki edecek birden çok değışken bulunmaktadır.

4.1. Metalik Disk Yayı Sonlu Elemanlar Modeli

Metalik disk yayı şekil optimizasyonunda kullanılmak üzere parametrik metalik disk yayı modeli tasarımında Ansys sonlu elemanlar analizi programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi programında metalik disk yayının çevrimsel simetrik modeli oluşturulmuştur.

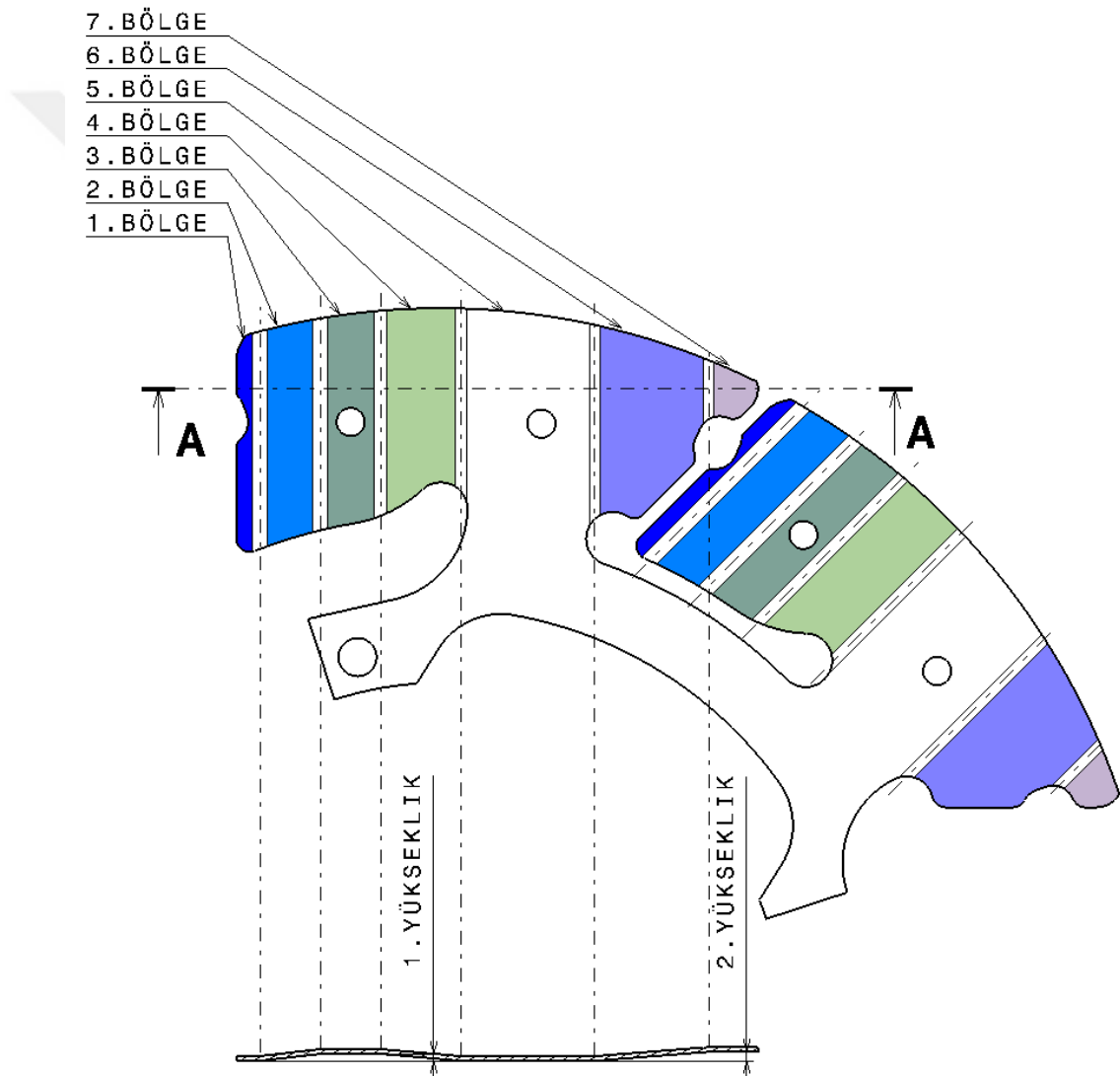


Şekil 4.1. Metalik disk yayı cad modeli

Sac malzemede bulunan kalınlık farklılıkları, fonksiyonel rijitlik eğrisi ölçümleri ile sonlu elemanlar analizi rijitlik eğrisi sonuçları arasındaki farkları oluşturan etkenlerden birisidir. Sac kalınlığının formundaki değişkenliklerin tasarıma yansıtılabilmesi imkanı bulunmadığından dolayı ortaya çıkan farklılıklar korelasyon yöntemleri ile giderilmiştir.

2. Metalik disk yayı formu yüzey ölçüleri

Metalik disk yayında parçanın rijitliğine doğrudan etki eden yedi adet yaylanma bölgesi bulunmaktadır.

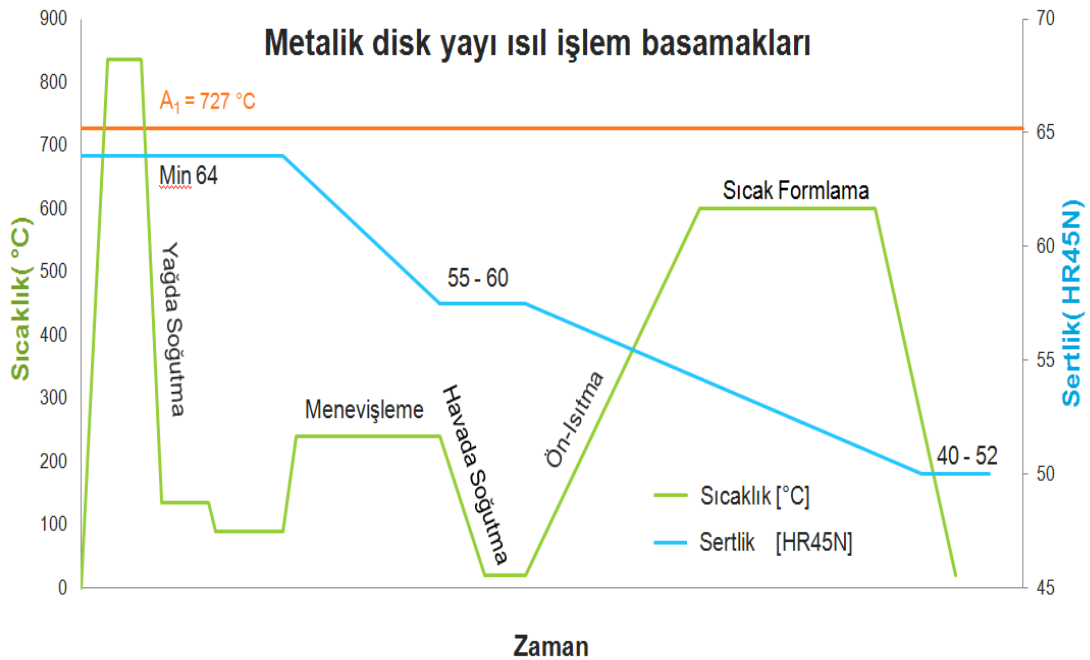


Şekil 4.3. Metalik disk yayı yaylanma bölgeleri

Metalik disk yayı için rijitlik eğrisi oluşturulmak istendiğinde, kullanılacak sac malzeme kalınlığı belirlenmiş ise yaylanma bölgelerinin boyutlarında ve form yükseklik değerlerinde yapılacak değişimler ile rijitlik eğrisinin karakteristiği belirlenmektedir.

Metalik disk yayı kesme kalıbında şekil geometrisinin kesimi yapıldıktan sonra ısıtılma işlemine tabi tutulmaktadır. Metalik disk yayı ısıtılma işlem basamakları aşağıdaki belirtildiği şekildedir;

1. Isıtılma
2. Yağda soğutma
3. Menevişleme
4. Havada soğutma
5. Ön ısıtılma
6. Sıcak formlama



Şekil 4.4. Metalik disk yayı ısıtılma işlem basamakları

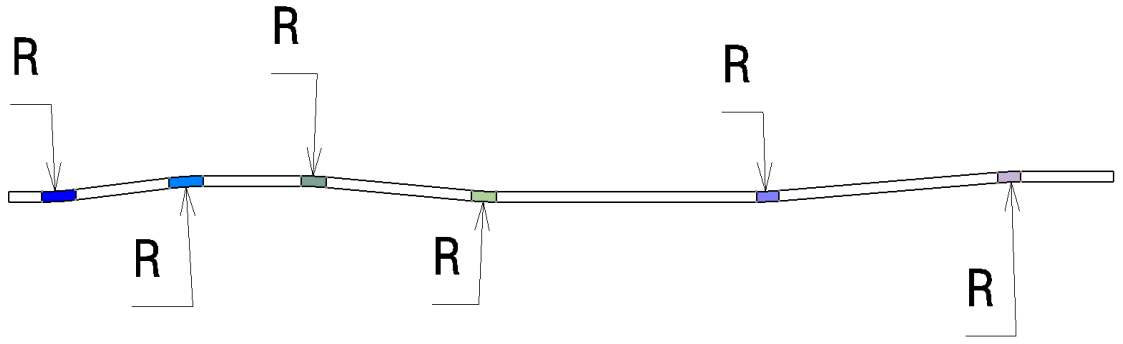
Isıl işlem ile 55-60 HR45N sertliğine getirilen metalik disk sıcak şekillendirme için sıcak şekillendirme kalıplarına yüklenmektedir. Sıcak form kalıbındaki yapılacak modifikasyonlar ile formlu bölgelerin boyutları istenen değerlere çekilmektedir. Isıl işlem ile 55-60 HR45N sertliğine getirilen metalik disk sıcak şekillendirme için sıcak şekillendirme kalıplarına yüklenmektedir. 580°C 'ye ısıtılmış kalıp içinde 80 saniye ön ısıtma yapılmakta, arkasından 80 saniye süresinde ise 20 ton pres basıncı altında maksimum on adetten oluşan paketler halinde metalik disk yaylarının sıcak şekillendirmesi yapılmaktadır. Şekillendirme sonrası malzemenin sertlik aralığı 40-52 HR45N olmaktadır.



Şekil 4.5. Metalik disk yayı sıcak şekillendirme

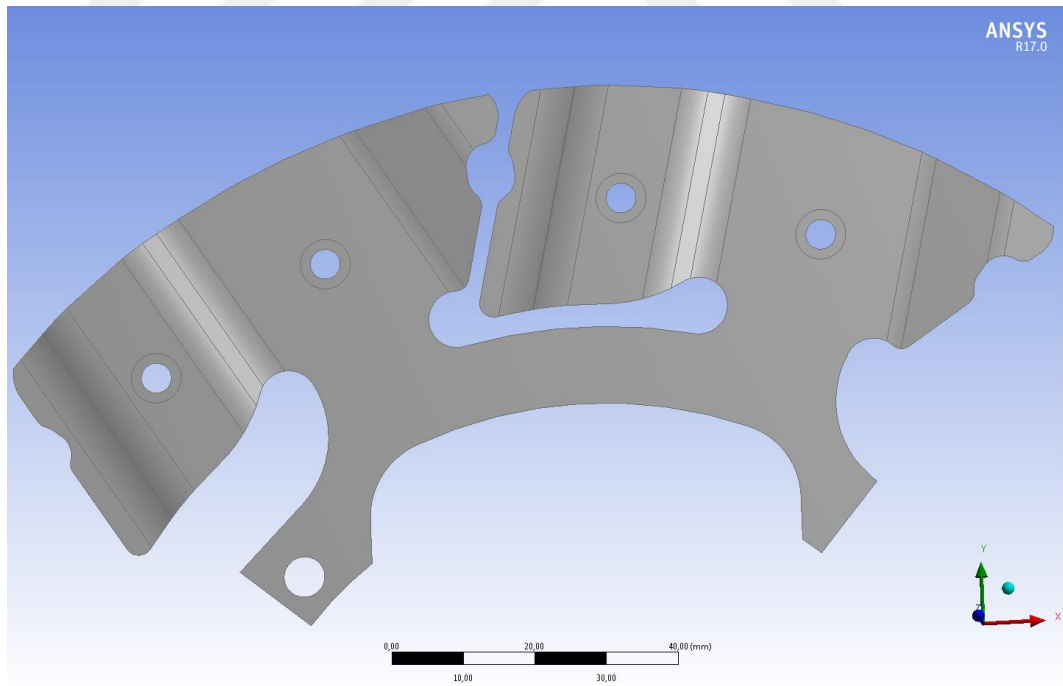
3.Radyus değerleri

Metalik disk yayında bulunan formlu yüzeyler arasındaki geçiş bölgeleri olan radyusların ölçü değerleri de rijitlik eğrisine etki etmektedir. Formlu bölgeler arasında bulunan radyus ölçü değerleri nominal değerler olarak sonlu elemanlar modelinde modellenmiştir. Sıcak formlanmış metalik disk yayı üzerindeki radyus ölçü değerleri üretimden kaynaklı sebeplerden dolayı nominal değerlerden sapma gösterebilmektedir. Metalik disk yayını oluşturan sac malzemenin kalınlığında meydana gelebilecek bölgesel farklılıklar gibi radyus değerlerindeki sapmalarda, sonlu elemanlar modeli üzerinden elde edilen rijitlik eğrisi ile fonksiyonel rijitlik eğrisi ölçüm sonuçları arasındaki farkın oluşumuna etki etmektedir.



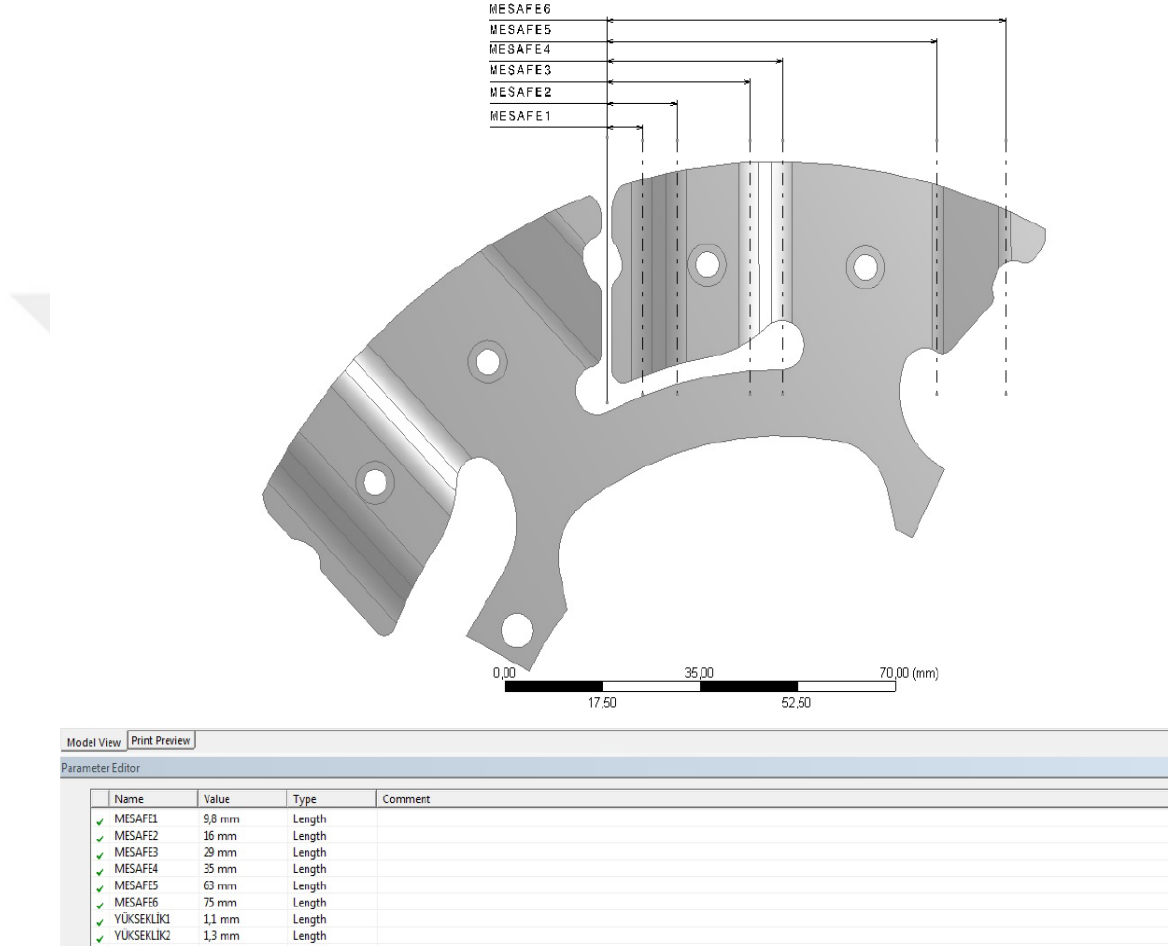
Şekil 4.6. Metalik disk yayı radyus değerleri

Metalik disk yayı, aynı geometriye sahip dört adet parçadan çevrimsel simetrik olarak modellenmiştir. Bu sebeple analiz yapılacak olan metalik disk yayı modelinin 1 / 4 simetrik bölgesinin analizi yapılmıştır. Simetrik bölgesi modellenen metalik disk yayının sonlu elemanlar analizinde çözümün daha kısa sürelerde sonuçlanması için geometrinin orta yüzeyi oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7. Metalik disk yayı cad modeli

Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli oluşturulurken şekil değişkenleri, formlu yüzey bölgeleri ve form yükseklikleri olmak üzere sekiz adet değişken belirlenmiştir. Form yüzey bölgelerinin sonlandığı noktalar belirli bir mesafeden ölçülendirilerek altı adet mesafe ölçüsü değişken olarak atanmıştır. Bu değişkenler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Metalik disk yayı şekil değişkenleri

4.2. Metalik Disk Yayı Malzeme Özellikleri

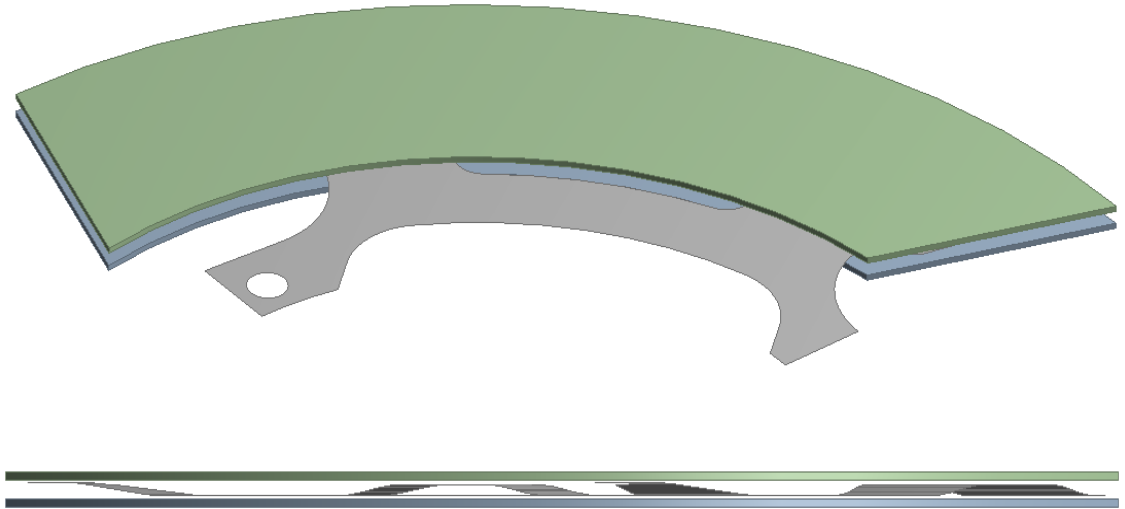
Metalik disk yayı, yay çeliği olan C67S veya C70 malzemeden üretilmektedir. Tez çalışmasında modellenen metalik disk yayının malzemesi C67S seçilmiştir. C67S malzemenin young modülü $E=215000$ Mpa ve Poisson oranı 0,33 alınarak Ansys sonlu elemanlar analizinde kullanılmaktadır.

| Outline of Schematic B2, C2: Engineering Data | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|--------|---|
| | A | B | C | D | E |
| 1 | Contents of Engineering Data | | | Source | Description |
| 2 | Material | | | | |
| 3 | C67S | | | | |
| 4 | Structural Steel | | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |

| Properties of Outline Row 3: C67S | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|------|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 1 | Property | Value | Unit | | |
| 2 | Isotropic Elasticity | | | | |
| 3 | Derive from | Young's Modulus... | | | |
| 4 | Young's Modulus | 2,15E+05 | MPa | | |
| 5 | Poisson's Ratio | 0,33 | | | |
| 6 | Bulk Modulus | 2,1078E+11 | Pa | | |
| 7 | Shear Modulus | 8,0827E+10 | Pa | | |

Şekil 4.9. Metalik disk yayı malzeme özellikleri

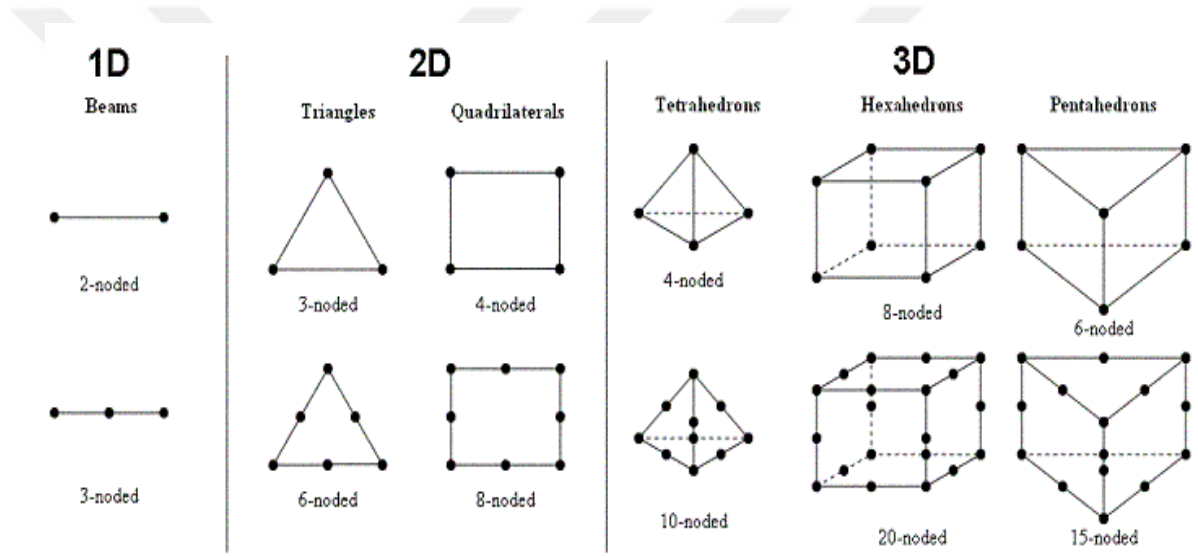
Metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli oluşturulurken, yayın iki tarafında bulunan balatalar 1 / 4 oranında çevrimsel simetrik olarak modellenmiştir. Balatalar malzeme özellikleri bakımından sonlu elemanlar analizinde rijit malzeme olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.10. Balata modeli

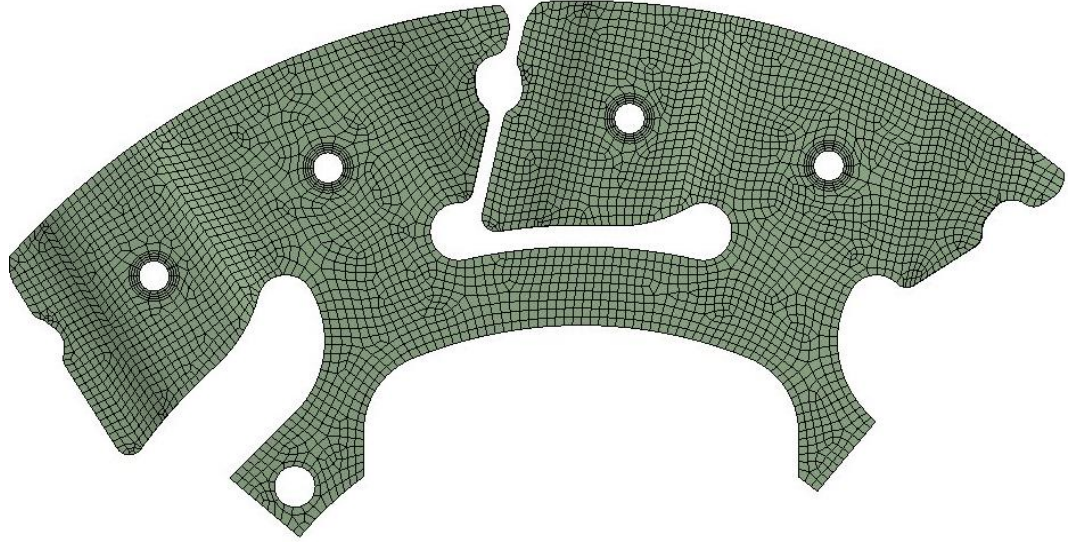
4.3. Metalik Disk Yayı Sonlu Elemanlar Özellikleri

Ansys sonlu elemanlar analizi programında oluşturulan geometrik modelin sonlu sayıda elemanlara bölünmesi amacıyla model üzerinde çözüm ağı oluşturulması işlemi sonlu elemanlar olarak adlandırılmaktadır. Model üzerinde oluşturulan sonlu elemanlar ile lineer olmayan diferansiyel denklemin çözümü gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan sonlu elemanlarda kullanılan eleman tipleri de sonlu elemanlar analizi sonuçlarına doğrudan etki etmektedir. Kullanılan eleman tipi ve boyutlarına bağlı olarak sonlu elemanlar analizinin çözümleme süreleri değişmektedir. Eleman tipleri analizi yapılacak çözümün 1 boyutlu, 2 boyutlu veya 3 boyutlu olmasına göre değişmektedir.



Şekil 4.11. Sonlu elemanlar tipleri

Bu tezde yer alan sonlu elemanlar analizi geometrisinin orta yüzeyi alınarak analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple iki boyutlu sonlu elemanlar tipine uygun olarak dörtgen tip sekiz düğüm noktalı eleman tipi kullanılmıştır. Seçilen sonlu eleman tipinin yanısıra eleman tiplerinin boyutları da analizi sonucunda önem arzettiğinden dolayı tez çalışması içerisinde farklı sonlu elemanlar boyutları için çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek, analiz süresini minimuma indirgerken birbirine yakınsayan değerleri elde etmemizi sağlayacak sonlu elemanlar boyutu tespit edilmiştir.

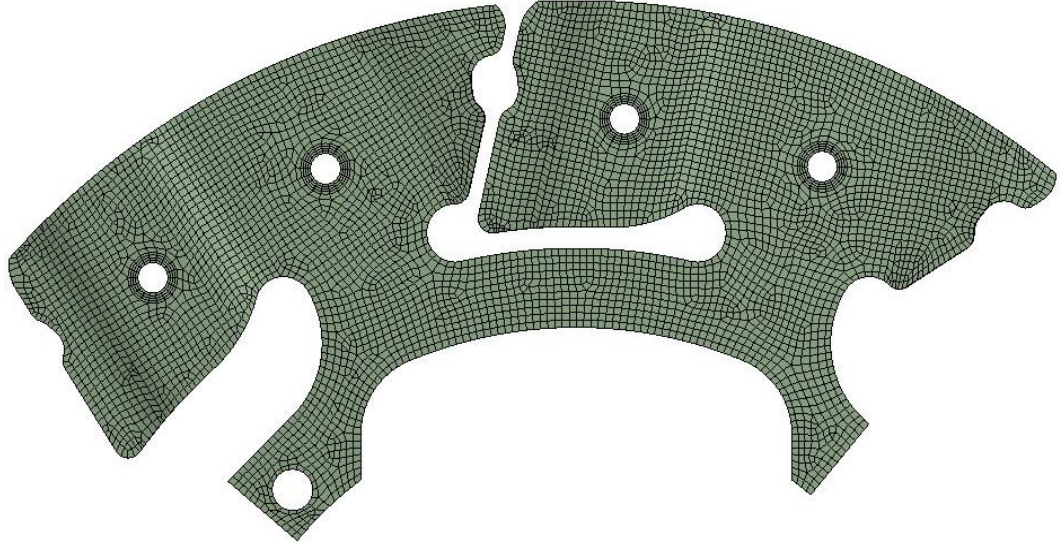


Şekil 4.12. Sonlu elemanlar boyutu “1.2” seçilen metalik disk yayı

Örnek bir metalik disk yayının sonlu elemanlar boyutuna bağlı olarak yük ve yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar 1.2 boyutunda seçildiğinde çıkan sonuçlar aşağıdaki çizelgede paylaşılmıştır.

Çizelge 4.1. Sonlu elemanlar boyutu “1.2”

| Sonlu elemanlar boyutu 1.2 | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Yük (N) | Yer değiştirme (mm) |
| 70 | 0 |
| 1000 | 0,260 |
| 2000 | 0,398 |
| 3000 | 0,516 |
| 4000 | 0,616 |
| 5000 | 0,703 |
| 6000 | 0,760 |



Şekil 4.13. Sonlu elemanlar boyutu “1” seçilen metalik disk yayı

Sonlu elemanlar boyutu 1 seçildiğinde çıkan sonuçlar aşağıdaki çizelgede paylaşılmıştır.

Çizelge 4.2. Sonlu elemanlar boyutu “1”

| Sonlu elemanlar boyutu 1 | |
|---------------------------------|----------------------------|
| Yük (N) | Yer değiştirme (mm) |
| 70 | 0 |
| 1000 | 0,261 |
| 2000 | 0,398 |
| 3000 | 0,517 |
| 4000 | 0,616 |
| 5000 | 0,702 |
| 6000 | 0,764 |



Şekil 4.14. Sonlu elemanlar boyutu “0.8” seçilen metalik disk yayı

Sonlu elemanlar boyutu 0.8 seçildiğinde çıkan sonuçlar aşağıdaki çizelgede paylaşılmıştır.

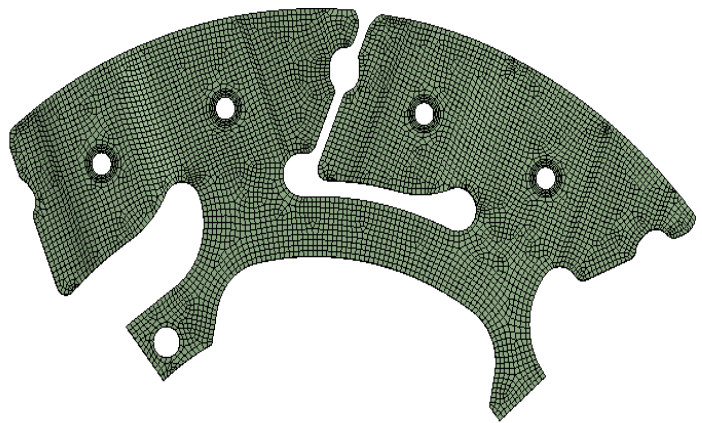
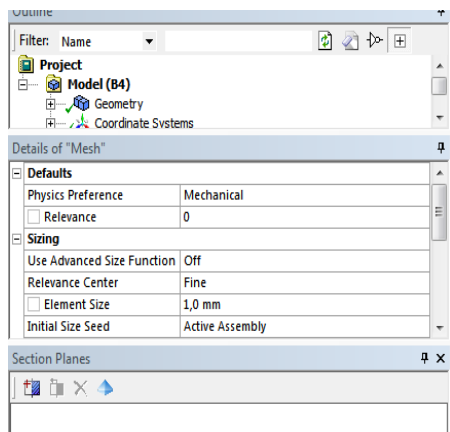
Çizelge 4.3. Sonlu elemanlar boyutu “0.8”

| Sonlu elemanlar boyutu 0.8 | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Yük (N) | Yer değiştirme (mm) |
| 70 | 0 |
| 1000 | 0,261 |
| 2000 | 0,397 |
| 3000 | 0,518 |
| 4000 | 0,620 |
| 5000 | 0,703 |
| 6000 | 0,761 |

Belirtilen sonlu elemanlar boyutuna bağı olarak elde edilen değerler paylaşılmıştır. Çizelge 4.3.4’de belirtildiği gibi sonlu elemanlar sayısını artırmanın sonlu elemanlar analizine katkısı bulunmamaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanılacak sonlu elemanlar boyutu “1” seçilerek sonlu elemanlar analizi çözüm süresi optimum seviyeye çekilmiştir.

Çizelge 4.4. Sonlu eleman sayısı yakınsama çalışması

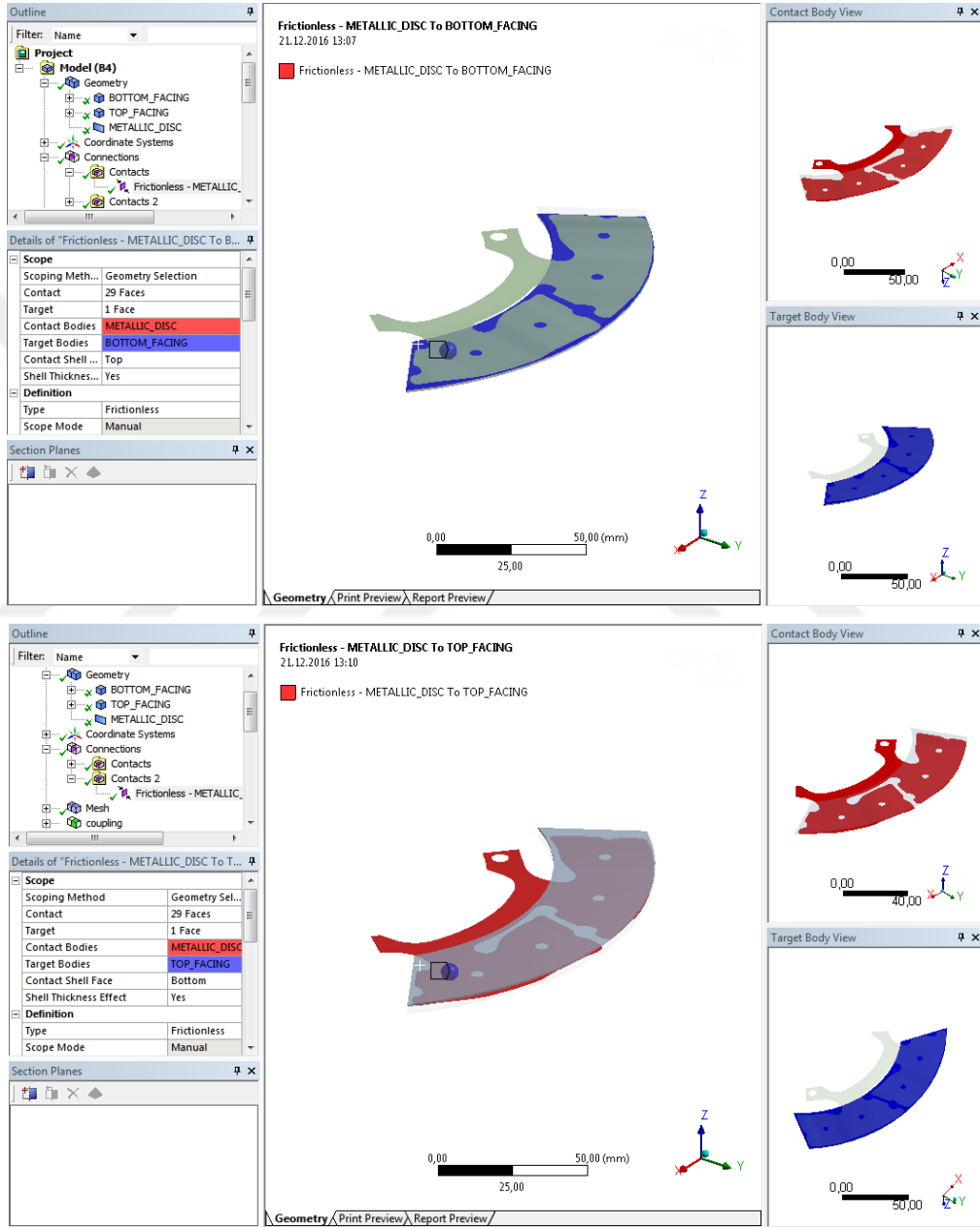
| Sonlu Eleman Sayısı Yakınsama Çalışması | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Sonlu Elemanlar 1.2 | Sonlu Elemanlar 1 | Sonlu Elemanlar 0.8 |
| Yük(N) | Yer değiştirme (mm) | Yer değiştirme (mm) | Yer değiştirme (mm) |
| 70 | 0 | 0 | 0 |
| 1000 | 0,260 | 0,261 | 0,261 |
| 2000 | 0,398 | 0,398 | 0,397 |
| 3000 | 0,516 | 0,517 | 0,518 |
| 4000 | 0,616 | 0,616 | 0,620 |
| 5000 | 0,703 | 0,702 | 0,703 |
| 6000 | 0,760 | 0,763 | 0,762 |
| Sonlu Elemanlar Sayısı | Sonlu Elemanlar 1.2 | Sonlu Elemanlar 1 | Sonlu Elemanlar 0.8 |
| | 11346 | 16114 | 24650 |



Şekil 4.15. Ansys sonlu elemanlar boyut özellikleri

4.4. Metalik Disk Yayı Temas Özellikleri

Metalik disk yayı elemanın iki balata arasında sıkışmasıyla beraber rijitlik eğrisi elde edilmektedir. Sonlu elemanlar modelinde bu iki balata rijit plakalar halinde modellenmiştir.

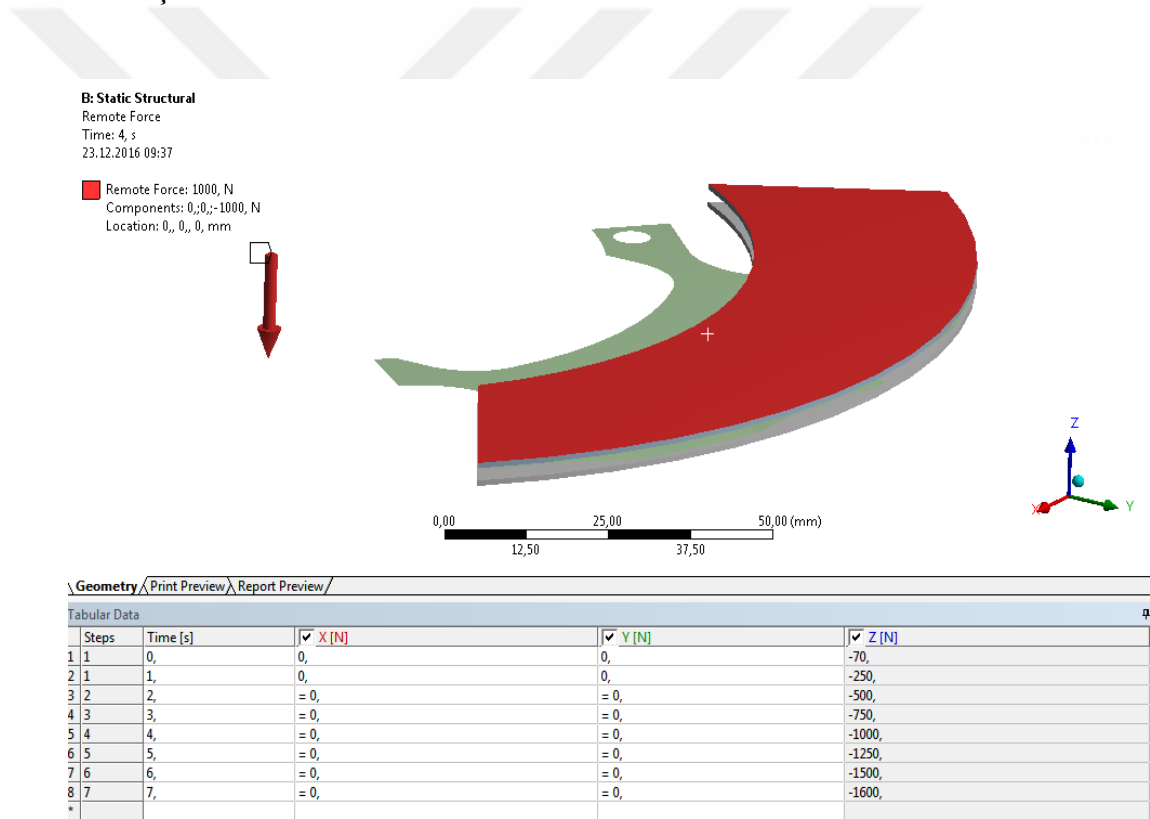


Şekil 4.16. Ansys sonlu elemanlar modeli temas özellikleri

Metalik disk yayı iki rijit plaka ile temas halde bulunmaktadır. Plakaların aksenal hareketiyle beraber metalik disk yayının alt ve üst yüzeyi plakalara temas etmeye başlamaktadır. Ansys sonlu elemanlar modelinde alt ve üst yüzeyler ile rijit yüzeylere sürtünmesiz temas tanımlanmıştır.

4.5. Metalik Disk Yayı Sınır Koşulları

Sonlu elemanlar analizinde istenilen geometrik modelin oluşturulmasının beraberinde tanımlanması gereken sınır koşullar önem arz etmektedir. Metalik disk yayının rijitlik eğrisi ölçümlerinde belirlenen test koşulları sonlu elemanlar analizi sınır koşullarına aktarılmıştır.

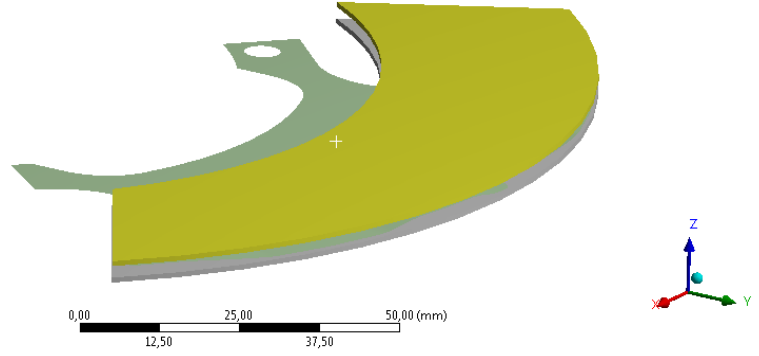


Şekil 4.17. Ansys sonlu elemanlar yükleme koşulları

Metalik disk yayı sonlu elemanlar modelinde tasarlanan üst rijit plaka metalik disk yayına z ekseninde kuvvet uygulamaktadır. Z ekseninde metalik disk yayına belirtilen değerlerde ara basamaklar halinde kuvvet uygulanarak yükleme koşulları simule edilmiştir.

B: Static Structural
Remote Displacement
Time: 4, s
25.12.2016 11:53

Remote Displacement
Components: 0,0,Free mm
Rotation: 0, 0, 0, *
Location: 0, 0, 0, mm



Geometry / Print Preview / Report Preview /

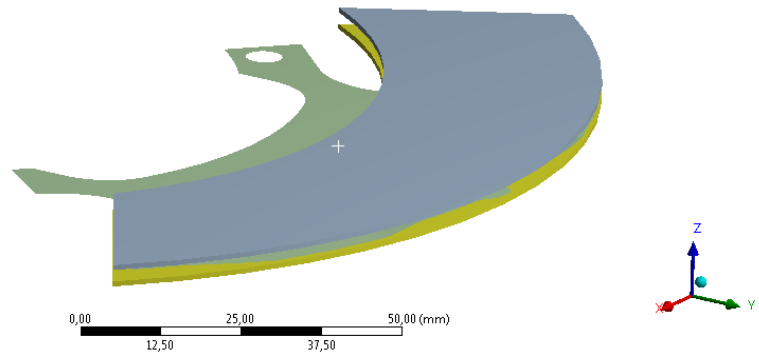
| Steps | Time [s] | X [mm] | Y [mm] | RX [°] | RY [°] | RZ [°] |
|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 4 | 3 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 5 | 4 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 6 | 5 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 7 | 6 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 8 | 7 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| * | | | | | | |

Şekil 4.18. Ansys sonlu elemanlar üst rijit plaka sınır koşulları

Sonlu elemanlar modelinde üst rijit plaka sadece z ekseninde hareket edebilmektedir. Diğer eksenlerde rotasyonel ve eksenel hareketleri engellenmiştir.

B: Static Structural
Remote Displacement 2
Time: 4, s
25.12.2016 11:57

Remote Displacement 2
Components: 0;0;0, mm
Rotation: 0, 0, 0, *
Location: 0, 0, 0, mm

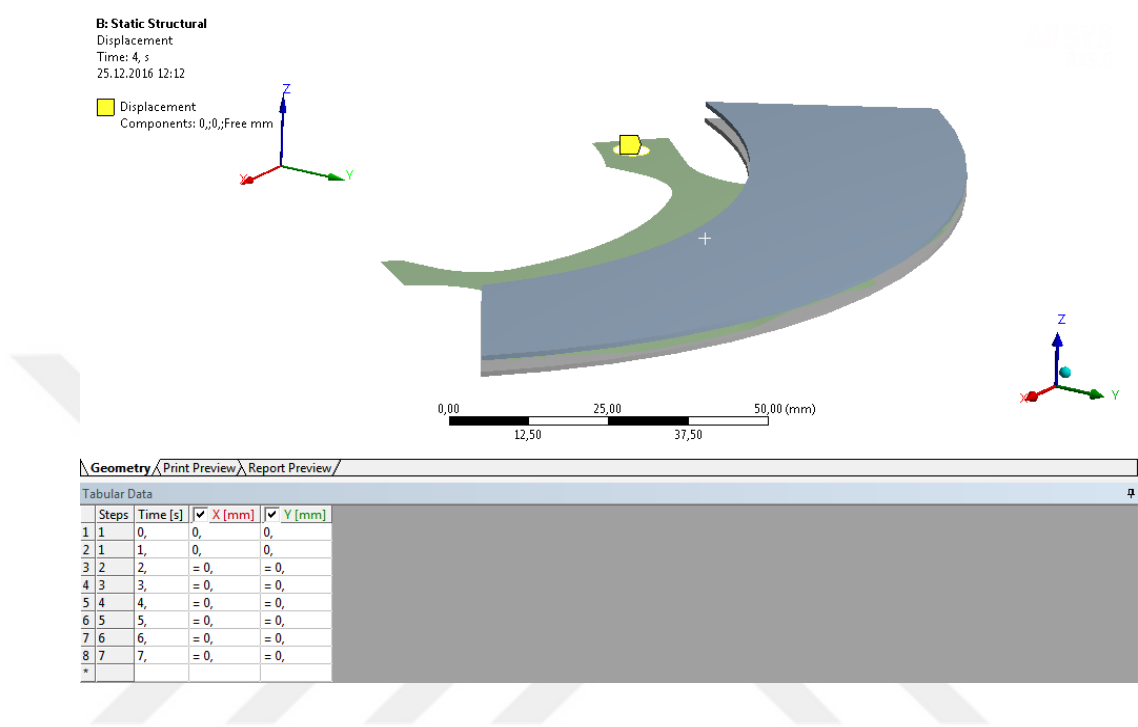


Geometry / Print Preview / Report Preview /

| Steps | Time [s] | X [mm] | Y [mm] | Z [mm] | RX [°] | RY [°] | RZ [°] |
|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 2 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 4 | 3 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 5 | 4 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 6 | 5 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 7 | 6 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| 8 | 7 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 | = 0 |
| * | | | | | | | |

Şekil 4.19. Ansys sonlu elemanlar alt rijit plaka sınır koşulları

Sonlu elemanlar modelinde bulunan alt rijit plaka, aksel ve rotasyonel olarak hareket etmemektedir. Alt rijit plakanın sabit olduğu ve üst rijit plakadan z ekseninde kuvvetin uygulandığı sınır koşulları tanımlanmıştır.



Şekil 4.20. Ansys sonlu elemanlar metalik disk yayı sınır koşulları

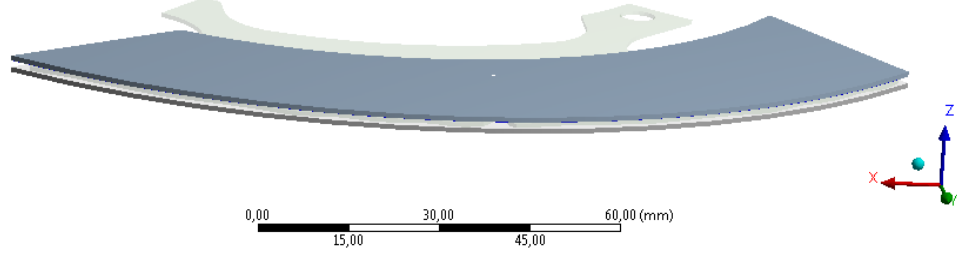
Sonlu elemanlar modelinde metalik disk yayı iç çapında bulunan perçin bağlantı deliğinden metalik disk yayının yalnızca z ekseninde aksel olarak hareketini gerçekleştirecek şekilde sınır koşulları tanımlanmıştır.

Metalik disk yayı modelinin rijitlik eğrisinin elde edilmesi için belirlenen sınır koşulları 1 / 4 oranında belirtilen modele uygulanmıştır. Belirtilen koşullar, çevrimsel simetrik şekilde Ansys sonlu elemanlar modelinde tanımlanarak modelin bir bütün halindeki sınır koşulları tanımlanmıştır.

Sonlu elemanlar modelinin çözüm kısmında, rijitlik eğrisini oluştururken kullandığımız yük ve yer değiştirme değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Uygulanan yüke bağlı olarak elde edilen yer değiştirme değerleri üst rijit plakanın aksel yönde katettiği mesafe olarak tanımlanmış ve metalik disk yayının sıkışma değerleri tespit edilmiştir.

B: Static Structural
TOP_FACING_DISPLACEMENT
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 7
27.12.2016 13:47

-0,80372 Max
-0,80372 Min



Geometry Print Preview Report Preview

Tabular Data

| Time [s] | Minimum [mm] | Maximum [mm] |
|-----------|--------------|--------------|
| 6 2, | -0,40603 | -0,40603 |
| 7 2,3333 | -0,44136 | -0,44136 |
| 8 2,6667 | -0,48109 | -0,48109 |
| 9 3, | -0,52077 | -0,52077 |
| 10 3,3333 | -0,5617 | -0,5617 |
| 11 3,6667 | -0,59961 | -0,59961 |
| 12 4, | -0,63077 | -0,63077 |
| 13 4,3333 | -0,65459 | -0,65459 |
| 14 4,6667 | -0,67894 | -0,67894 |
| 15 5, | -0,70702 | -0,70702 |
| 16 5,3333 | -0,73653 | -0,73653 |
| 17 5,6667 | -0,76503 | -0,76503 |
| 18 6, | -0,78581 | -0,78581 |
| 19 6,3333 | -0,79239 | -0,79239 |
| 20 6,6667 | -0,79827 | -0,79827 |
| 21 7, | -0,80372 | -0,80372 |

Şekil 4.21. Ansys sonlu elemanlar üst rijit plaka yer değiştirme sonuçları

Metalik disk yayı sonlu elemanlar modelinden elde ettiğimiz kuvvete bağlı yer değiştirme değerleri ile oluşturulan modelin rijitlik eğrisi elde edilmektedir.

4.6. Ki-Kare Yöntemi ile Rijitlik Eğrilerinin Uyum Değerinin Tespiti

Ki-Kare dağılımı ilk olarak 1900'lü yıllarda Pearson tarafından ortaya atılmıştır.(Aytaç 1999:317)

Ki-Kare ; aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal bölünmeli ana kütlelerden herbiri diğerinden bağımsız olarak seçilen n birimli bir örnelemeye ait değerlerin karelerinin toplamı demektir. (Aytaç 1998: 317-318)

Ki-Kare formülasyonu aşağıda belirtilmektedir.

X = Ki-Kare değeri

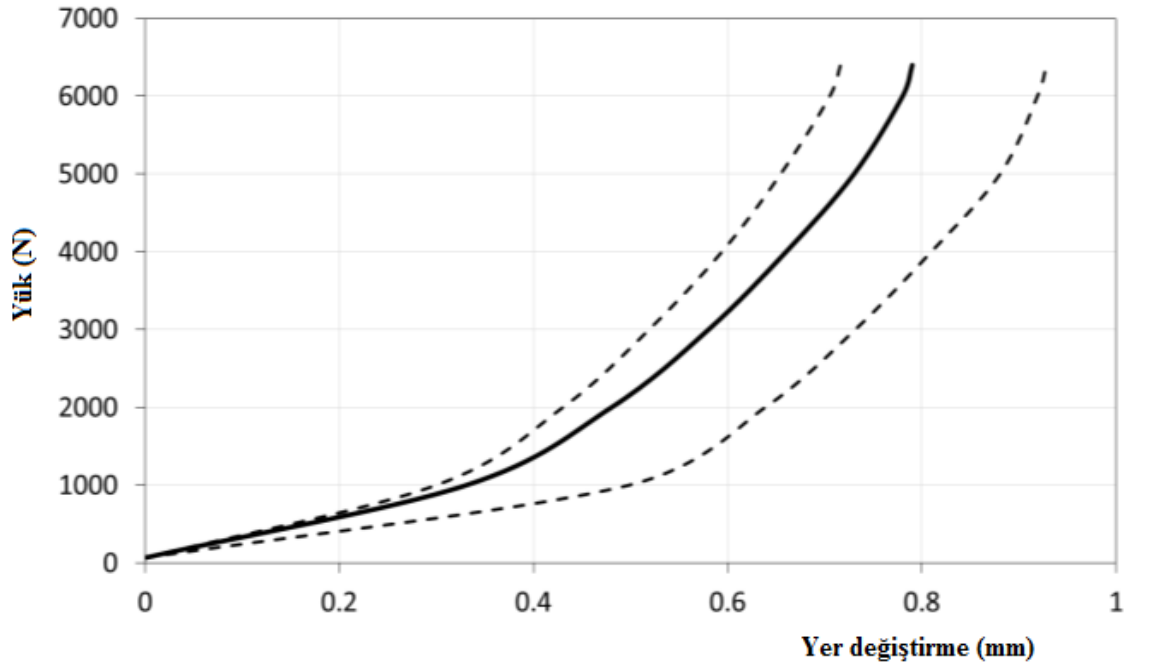
n = Dağılım sayısı

u_b = Beklenen yer değiştirme

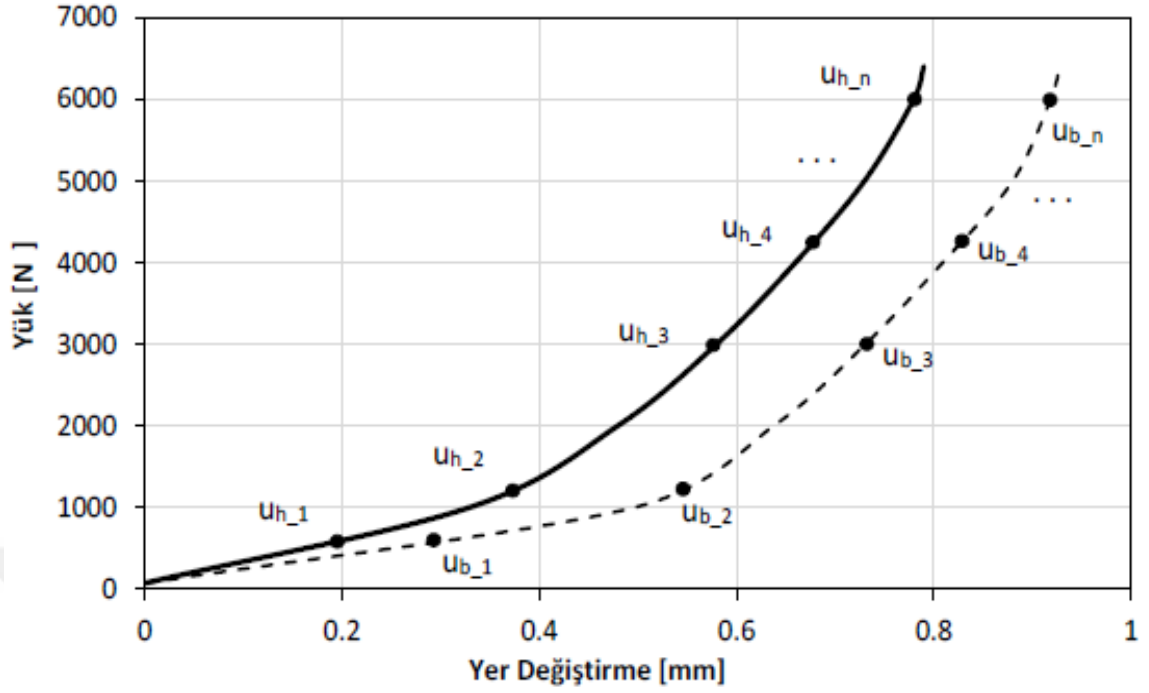
u_h = Hesaplanan yer değiştirme

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{(u_h - u_b)^2}{u_b}$$

Oluşturulan metalik disk yayı sonlu elemanlar modeli analizi çözülürken öncelikli olarak rijitlik eğrisi tespit edilmektedir.



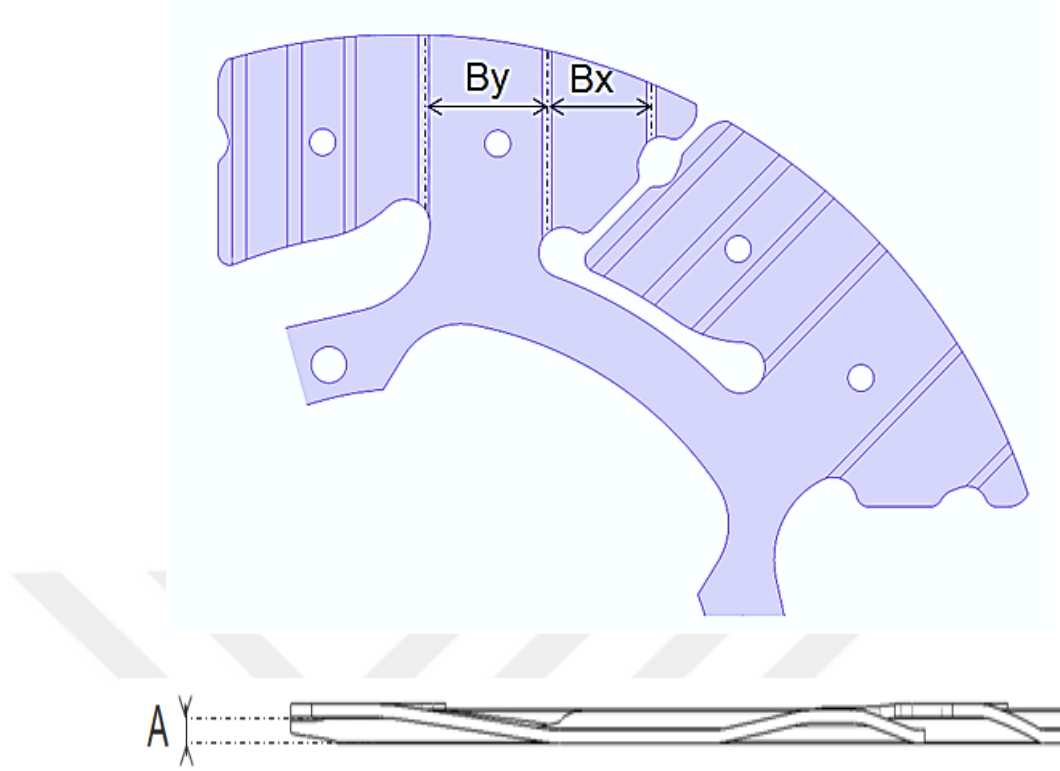
Şekil 4.22. Sonlu elemanlar analizinde hesaplanan rijitlik eğrisi



Şekil 4.23. Hesaplanan – beklenen rijitlik eğrisi grafiği

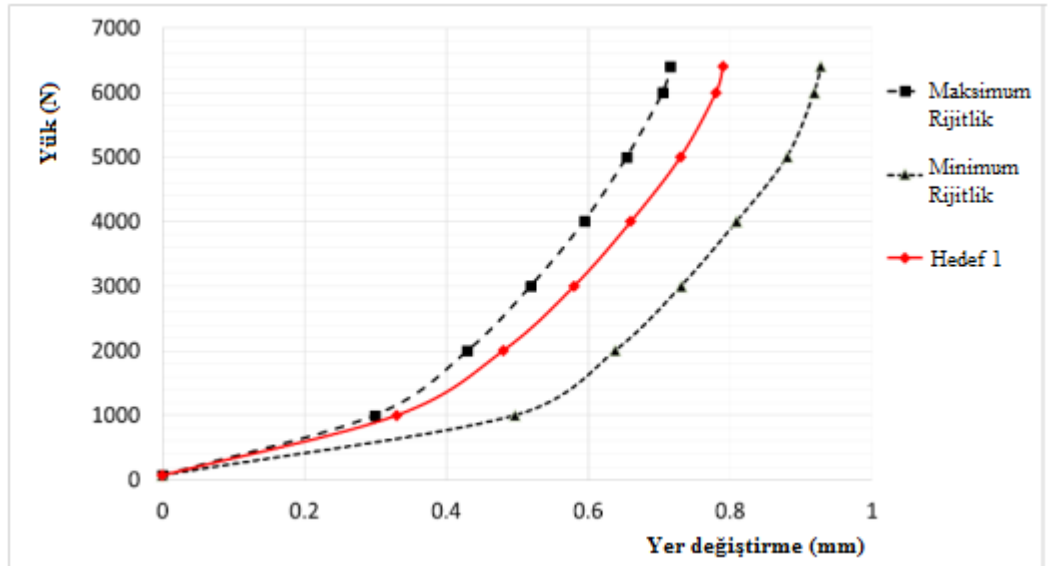
Belirtilen ki-kare formülasyonu ile birlikte rijitlik eğrisinin belirli yük değerlerindeki yer değiştirme değerleri tespit edilerek, bu değerlerin birbirine uyumu belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında rijitlik eğrisi üzerinde altı yük değerine denk gelen yer değiştirmeler tespit edilerek beklenen ve hesaplanan eğrilerin uyumu yorumlanmıştır.

Metalik disk yayı modelinde, yapılacak ilk optimizasyon çalışması için üç adet şekil değişkeni belirlenmiştir. Belirlenen şekil değişkenleri metalik disk yayının formu bölgelerinden ve form yüksekliğinden oluşmaktadır. Seçilen üç adet değişkenin her birisi için üç değer belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler ve bu değişkenlerin değerleri için “Full Factorial” deney tasarım yöntemi seçilmiştir. Seçilen deney tasarım yöntemi belirlenen değişkenler ve bu değişkenlerin farklı değerleri için oluşturulabilecek tüm kombinasyonları içermektedir. Kullanılan deney tasarımı değişken sayılarının ve değişken değerlerinin adetlerinin az olması sebebiyle seçilmiştir.

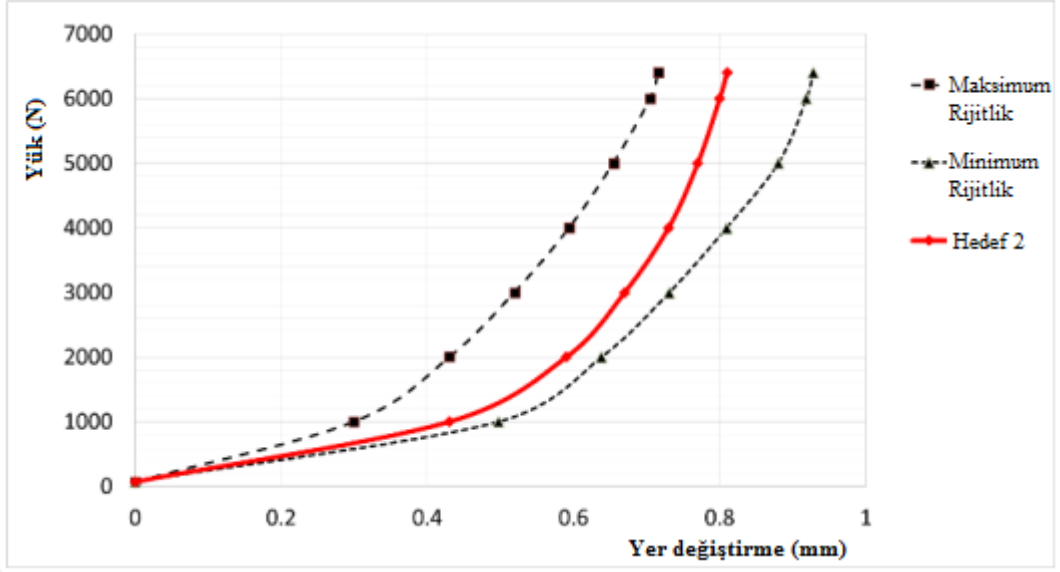


Şekil 4.24. Metalik disk yayı şekil değişkenleri

Metalik disk yayı için iki adet hedef rijitlik eğrisi belirlenmiştir. Belirlenen rijitlik eğrileri belirlenen maksimum ve minimum limitler arasında yer almaktadır.



Şekil 4.25. Metalik disk yayı birinci rijitlik eğri çalışması



Şekil 4.26. Metalik disk yayı ikinci rijitlik eğri çalışması

Metalik disk yayı için üç adet şekil değişkeni belirlendikten sonra belirlenen şekil değişkenlerinin ara değerleri tanımlanmıştır. Belirlenen limitler arasında değişkenlerin üç değeri için tüm olasılıkları içeren deney tasarım örneklemeleri belirlenmiştir.

$$1.0 \leq A \leq 1.2$$

$$8.3 \leq B_x \leq 10.3$$

$$22.2 \leq B_y \leq 24.2$$

Belirtilen metalik disk yayı şekil değişkenlerine göre yirmiyedi adet sonlu elemanlar modeli oluşturulup, rijitlik eğrisi için gerekli yer değiştirme değerleri tespit edilmiştir. Tespit edilen değerler ile hedef eğri değerleri arasındaki farklardan yola çıkılarak ki-kare değerleri tespit edilmiştir.

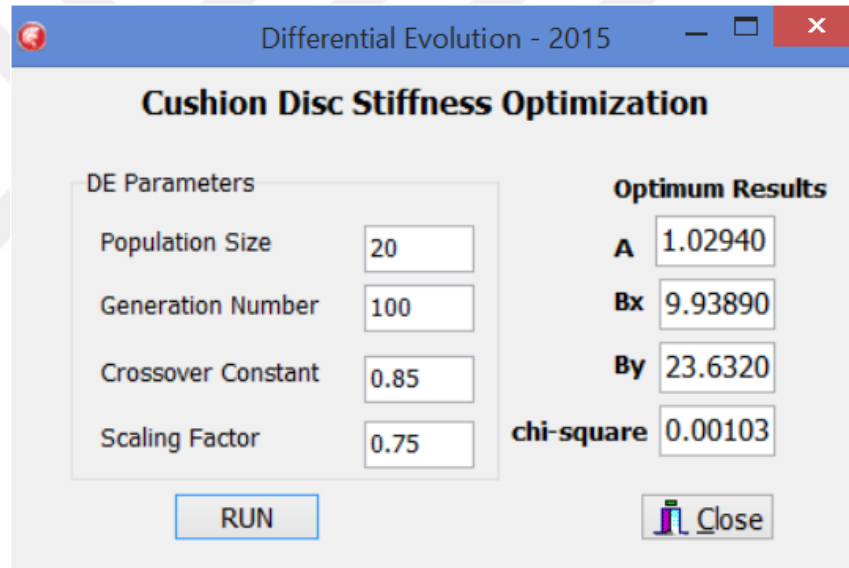
Çizelge 4.5. Birinci hedef eğri deney tasarım sonuçları

| Analiz # | A (mm) | Bx (mm) | By (mm) | Ki-kare |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 1 | 8.3 | 22.2 | 0.04293 |
| 2 | 1 | 9.3 | 22.2 | 0.02156 |
| 3 | 1 | 10.3 | 22.2 | 0.01068 |
| 4 | 1 | 8.3 | 23.2 | 0.03439 |
| 5 | 1 | 9.3 | 23.2 | 0.01709 |
| 6 | 1 | 10.3 | 23.2 | 0.00848 |
| 7 | 1 | 8.3 | 24.2 | 0.02853 |
| 8 | 1 | 9.3 | 24.2 | 0.01399 |
| 9 | 1 | 10.3 | 24.2 | 0.00724 |
| 10 | 1.1 | 8.3 | 22.2 | 0.01080 |
| 11 | 1.1 | 9.3 | 22.2 | 0.02367 |
| 12 | 1.1 | 10.3 | 22.2 | 0.04200 |
| 13 | 1.1 | 8.3 | 23.2 | 0.01454 |
| 14 | 1.1 | 9.3 | 23.2 | 0.02956 |
| 15 | 1.1 | 10.3 | 23.2 | 0.04946 |
| 16 | 1.1 | 8.3 | 24.2 | 0.01901 |
| 17 | 1.1 | 9.3 | 24.2 | 0.03610 |
| 18 | 1.1 | 10.3 | 24.2 | 0.05793 |
| 19 | 1.2 | 8.3 | 22.2 | 0.12386 |
| 20 | 1.2 | 9.3 | 22.2 | 0.18700 |
| 21 | 1.2 | 10.3 | 22.2 | 0.24964 |
| 22 | 1.2 | 8.3 | 23.2 | 0.14632 |
| 23 | 1.2 | 9.3 | 23.2 | 0.20743 |
| 24 | 1.2 | 10.3 | 23.2 | 0.26924 |
| 25 | 1.2 | 8.3 | 24.2 | 0.16565 |
| 26 | 1.2 | 9.3 | 24.2 | 0.22738 |
| 27 | 1.2 | 10.3 | 24.2 | 0.28931 |

Optimizasyon probleminin tanımlanması için hedef fonksiyonun tanımlanması gerekmektedir. Eğri uydurma metodu ile hedef fonksiyon belirlenmiştir. Deney tasarım sonuçlarına göre (x: A, y: Bx, z:By) belirtilen değişkenleri içeren üçüncü dereceden hedef fonksiyonu oluşturulmuştur.

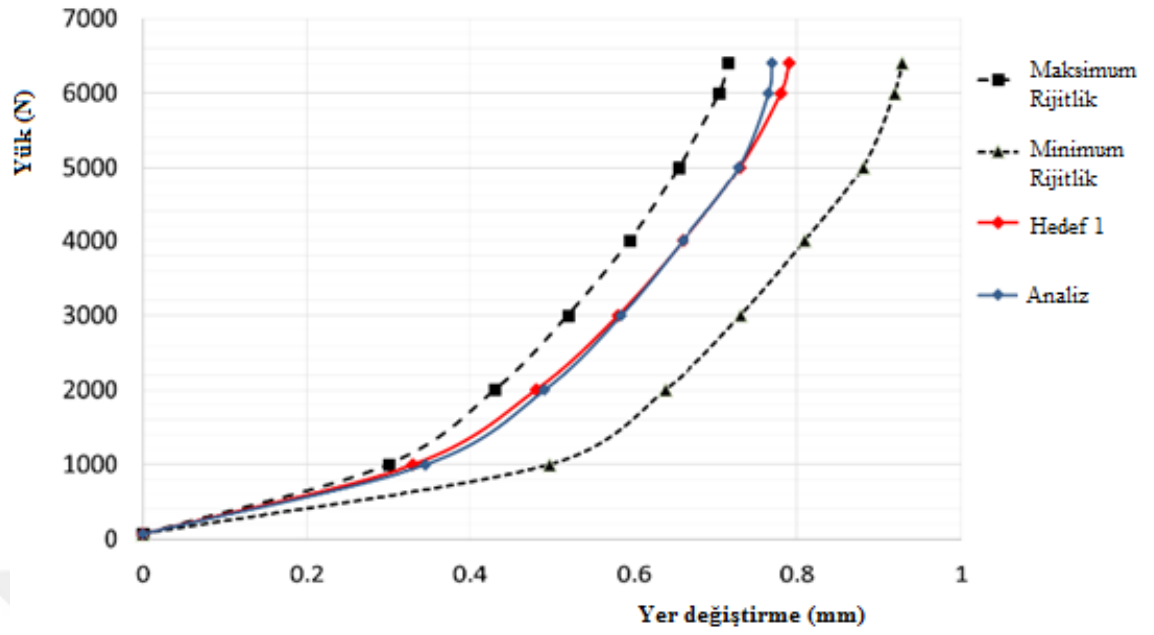
$$\text{Ki-kare fonksiyonu} = 5.684 - 3.339x - 4.264x^2 + 0.482x + 0.186y - 0.730xy + 0.690x^2y + 0.00204y^2 - 0.0221xy^2 + 0.00107y - 0.00416z + 0.01086xz + 0.1941x^2z - 0.00276yz - 0.000227y^2z - 0.00268z^2 - 0.00679xz^2 + 0.00018yz^2 + 0.000125z$$

Tanımlanan optimizasyon problemi yazılım tabanlı olarak geliştirilmiş diferansiyel gelişim algoritması ile optimize edilmiştir.



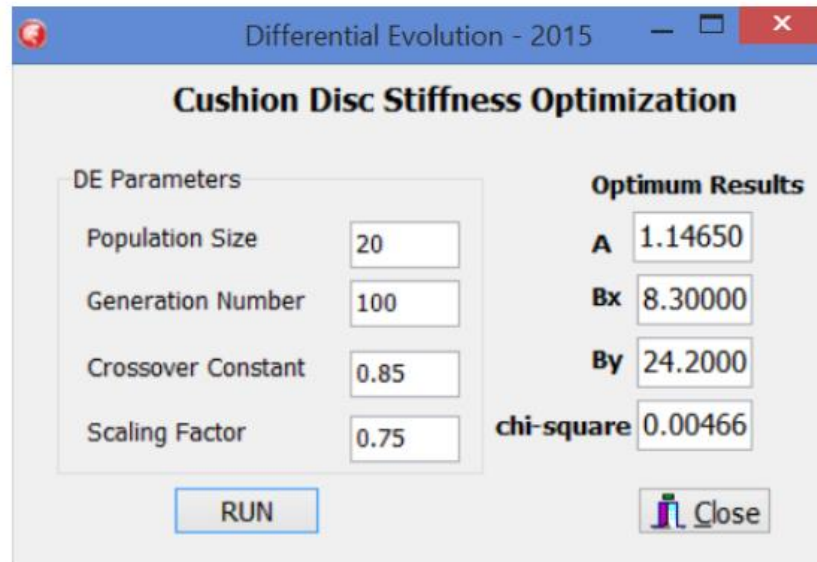
Şekil 4.27. DGA ile çözümlenmiş optimum birinci hedef eğri değişkenleri

Diferansiyel gelişim algoritması ile optimize edilmiş birinci durum fonksiyonundan elde edilen değişken değerleri(Şekil 4.6.6'da verilmiştir) kullanılarak sonlu elemanlar analizi modeli oluşturulmuş ve optimum rijitlik eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen rijitlik eğrisi ile hedeflenen eğri karşılaştırılmıştır.



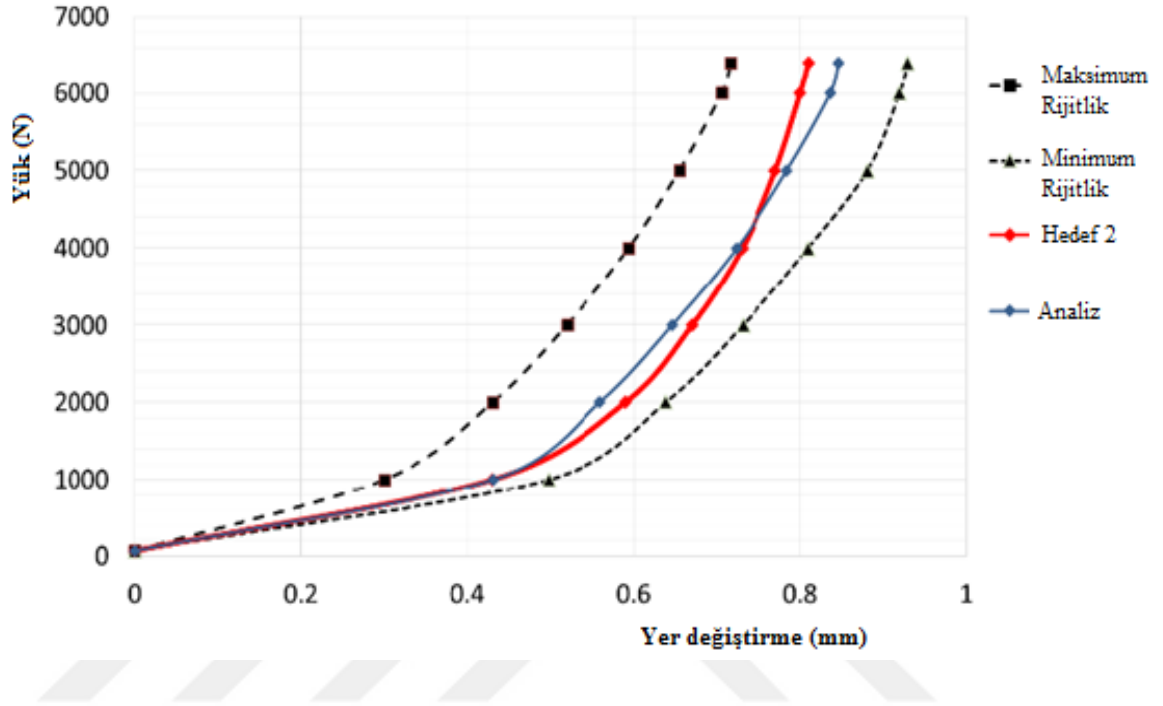
Şekil 4.28. Birinci durum optimum & hedeflenen eğri karşılaştırması

Deney tasarım sonuçları kullanılarak belirlenen ikinci hedef eğri için ki-kare değerleri belirlenip hedef fonksiyonu oluşturulmuştur. Oluşturulan hedef fonksiyonunun diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak optimum şekil değişkenleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. DGA ile çözümlenmiş optimum ikinci hedef eğri değişkenleri

Diferansiyel gelişim algoritması ile elde edilen optimum şekil değişkenleri(Şekil 4.6.8’de verilmiştir) kullanılarak oluşturulan sonlu elemanlar modelinden optimum rijitlik eğrisi elde edilmiştir.
























Şekil 4.30. İkinci durum optimum ve hedeflenen eğri karşılaştırması

Hedef rijitlik eğrileri ve optimum şekil değişkenleri ile elde edilen rijitlik eğrileri arasında uyum gözlemlenmektedir. Kullanılan üç adet değişken ile elde edilen rijitlik eğrileri değişken sayısının yetersizliğinden dolayı tüm noktalarda tam uyum göstermemektedir. Metalik disk yayında sekiz adet geometrik değişken bulunmaktadır. Bu değişkenlere farklı değerler atanarak rijitlik eğrisinin davranışı değiştirilmektedir. Bulunan sekiz adet değişken bir sonraki çalışmada sonlu elemanlar modelinde şekil değişkeni olarak tanımlanarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada ilk çalışmalarda olduğu gibi hedef bir rijitlik eğrisi tanımlanmıştır. Rijitlik eğrisinin optimum şekil değişkenleri ki-kare formülasyonunun minimizasyonu ile tespit edilmektedir.

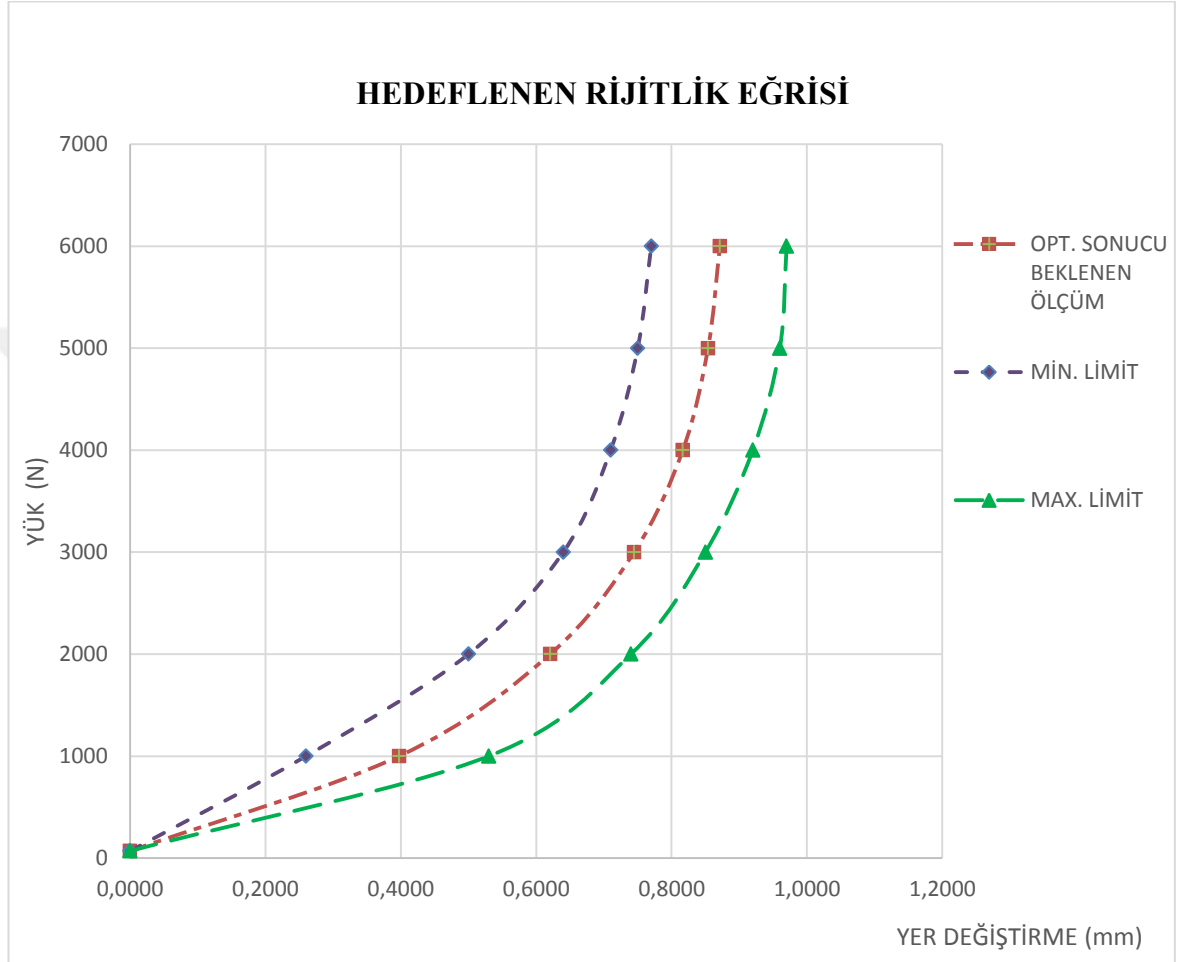
4.7. Ansys Optimizasyon Modülü ile Hedef Rijitlik Eğrisinin Tespiti

Ansys sonlu elemanlar analizi programında parametrik model oluşturulup şekil değişkenleri tanımlandıktan sonraki aşamada sonlu elemanlar analizi programında ki-kare formülasyonunun tanımlanması için hedef değişkenler belirtilmiştir. Hedef değişkenler ara değer olarak seçtiğimiz altı farklı yük değerinde optimizasyon sonucunda elde etmek istediğimiz yer değiştirme değerleridir. Hedef değişkenler ile sonlu elemanlar analizinin çözümünden elde edilen yer değiştirme değerlerinin formülasyona tanımlanmasıyla altı farklı yük değerindeki ki-kare değerleri elde edilmektedir.. Altı farklı ki-kare değerinin toplamıyla birlikte toplam ki-kare değeri tespit edilmektedir.

| | | |
|----|---|----------------|
| 23 |  P25 | 1000 N FEA |
| 24 |  P26 | 2000 N FEA |
| 25 |  P27 | 3000 N FEA |
| 26 |  P28 | 4000 N FEA |
| 27 |  P29 | 5000 N FEA |
| 28 |  P31 | 6000 N FEA |
| 29 |  P32 | 7000 N FEA |
| 30 |  P48 | MAKS. STRES |
| 31 |  P33 | 1000 N HEDEF |
| 32 |  P34 | 2000 N HEDEF |
| 33 |  P35 | 3000 N HEDEF |
| 34 |  P36 | 4000 N HEDEF |
| 35 |  P37 | 5000 N HEDEF |
| 36 |  P38 | 6000 N HEDEF |
| 37 |  P40 | 1000 N Kİ-KARE |
| 38 |  P41 | 2000 N Kİ-KARE |
| 39 |  P42 | 3000 N Kİ-KARE |
| 40 |  P43 | 4000 N Kİ-KARE |
| 41 |  P44 | 5000 N Kİ-KARE |
| 42 |  P45 | 6000 N Kİ-KARE |
| 43 |  P47 | TOPLAM Kİ-KARE |

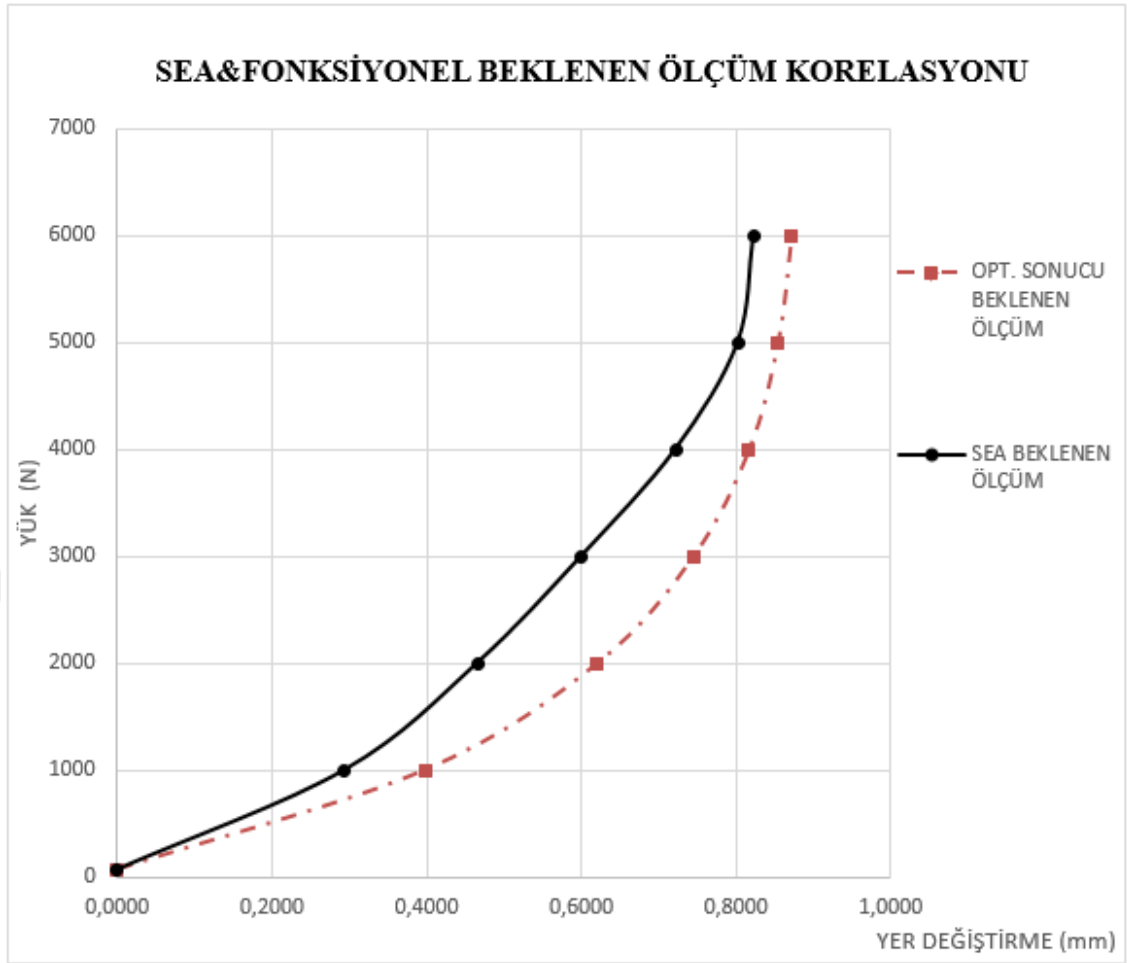
Şekil 4.31. Ansys sonlu elemanlar modeli ki-kare tanımlaması

Metalik disk yayı için oluşturulan parametrik sonlu elemanlar modeli için belirlenen hedef eğri yük-yer değiştirme değerleri bulunmaktadır. Hedef eğrinin yük – yer değiştirme değerleri yapılan pedal hesaplamaları ile belirlenmektedir. Bu değerlere göre ortaya çıkan değerler minimum ve maksimum limitler arasında yer almaktadır.



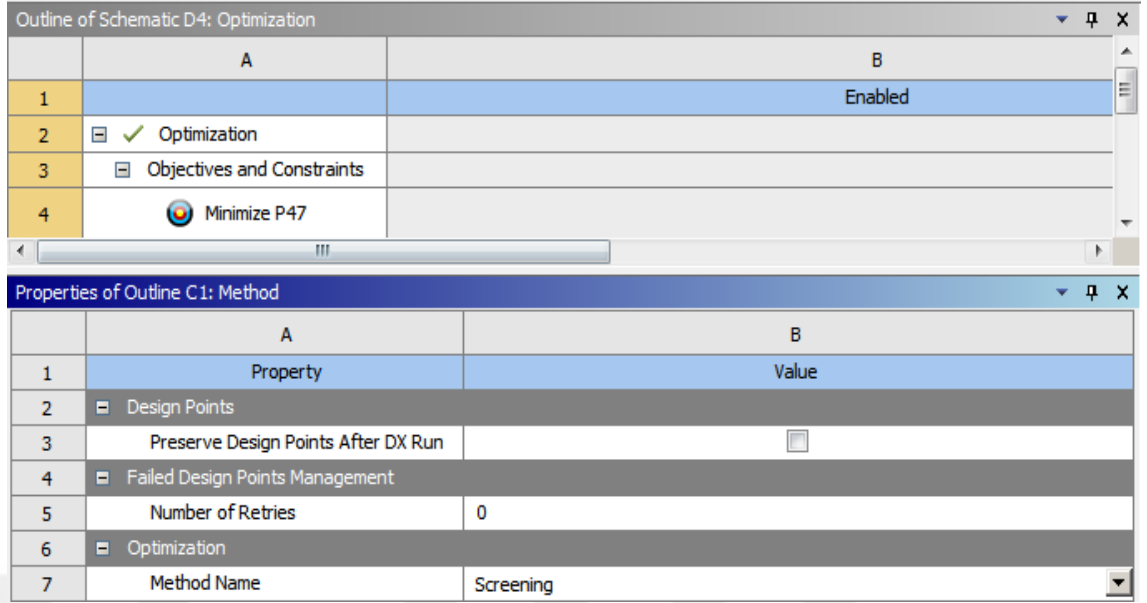
Şekil 4.32. Hedef rijitlik eğrisinin limitleri

Hedeflenen eğri maksimum ve minimum limitler arasında yer aldığı süre boyunca metalik disk yayı istenen fonksiyonelliği sağlamaktadır. Metalik disk yayı sonlu elemanlar analizi ile üretilen metalik disk yayının yük – yer değiştirme değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Değerler arası farklılıklar benzer çapta yer alan metalik disk yaylarının nümerik ve deneysel sonuçları arasındaki farklılıklara göre değerlendirilerek hedef nümerik rijitlik eğrisi belirlenmiştir.




Şekil 4.33. Sea ve fonksiyonel ölçüm korelasyonu

Beklenen sonlu elemanlar modeli yük – yer değiştirme değerleri ki-kare formülasyonuna hedef değerler olarak tanımlanmaktadır. Hedeflenen yük-yer değiştirme değerleri belirlenen metalik disk yayı şekil optimizasyonu için Ansys sonlu elemanlar programında yer alan optimizasyon modülü kullanılmıştır. Toplam ki kare değerinin minimizasyonu hedef olarak belirlenmiştir. Optimizasyon modülünde yer alan “Screening (Shifted Hammersley)” metodu kullanılarak metalik disk yayı şekil optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Shifted Hammersley optimizasyon metodu kullanılmakta olan örnekleme stratejilerinden birisidir. Ön tasarım çalışmaları için kullanılmaktadır.



Şekil 4.34. Ansys optimizasyon modülü screening metodu

| Candidate Points | |
|------------------|---|
| | Candidate Point 1 |
| 9 | P20 - YÜKSEKLİK1 (mm) 1,0827 |
| 10 | P15 - MESAFE4 (mm) 37,162 |
| 11 | P17 - MESAFE6 (mm) 73,6 |
| 12 | P14 - MESAFE3 (mm) 26,38 |
| 13 | P12 - MESAFE1 (mm) 9,6616 |
| 14 | P13 - MESAFE2 (mm) 16,27 |
| 15 | P16 - MESAFE5 (mm) 58,98 |
| 16 | P21 - YÜKSEKLİK2 (mm) 1,1825 |
| 17 | P47 - TOPLAM Kİ-KARE (mm)  6,5305E-07 |

Şekil 4.35. Ansys optimizasyon modülü ile belirlenen optimum şekil değişkenleri

Ansys optimizasyon modülünde belirtilen hedef yük-yer değiştirme değerlerinin minimizasyonu için oluşturulan optimizasyon çözümü sonrasında optimum şekil değişkenlerinin değerleri belirlenmiştir. Optimum şekil parametreleri ile oluşturulan sonlu elemanlar modelinden elde edilen değerler ile hedef eğri değerlerinden toplam ki kare değeri elde edilmiştir.

Elde edilen optimum şekil değişkenleri ile birlikte metalik disk yayının prototip üretim süreci başlamaktadır. Prototip metalik disk yayı üretiminde birincil işlem basamağı metalik disk yayının C67S sac malzemedan kesilmesidir. Metalik disk yayı kesme işleminden sonra ısıtım işlem fırınlarında istenilen sertlik değerlerine getirilmektedir. Isıtım işlem süreci sonrasında metalik disk yayının bir önceki dönemde optimizasyon sonucunda belirlenen şekil değişkenlerine göre form verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tezde belirlenen şekil değişkenlerine uygun metalik disk yayı üretimi gerçekleştirilmesi için sıcak formlama kalıbının optimum değişkenlere uygun şekilde işlenmesi gerekmektedir. İşlenmesi bitmiş sıcak form kalıbı preslere bağlanarak sıcak form verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Sıcak form verme işlemi sonrasında yapılan metalik disk yayının geometrik ölçümlere göre sıcak form kalıbının form dadasına uygunluğu belirlenmektedir. Sıcak form kalıbının uygun olmadığı durumlarda yeniden işlenerek uygun hale getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.36. Kesme işlemi gerçekleştirilmiş metalik disk yayı



Şekil 4.37. Isıl işlem sonrası ve sıcak formlanmış prototip metalik disk yayı

Prototip metalik disk yayı üretimi sonrasında, üretimi yapılan metalik disk yaylarının geometrik ölçümlerinin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 4.6. Prototip metalik disk yayları geometrik ortalama ölçüm sonuçları

| Değişken | Değer (mm) |
|-----------------|-------------------|
| MESAFE 1 | 9.49 |
| MESAFE 2 | 16.43 |
| MESAFE 3 | 26.95 |
| MESAFE 4 | 37.07 |
| MESAFE 5 | 58.78 |
| MESAFE 6 | 74.13 |
| YÜKSEKLİK 1 | 1.082 |
| YÜKSEKLİK 2 | 1.180 |

Çizelge 4.7. Prototip metalik disk yayı şekil değişkenlerinin karşılaştırılması

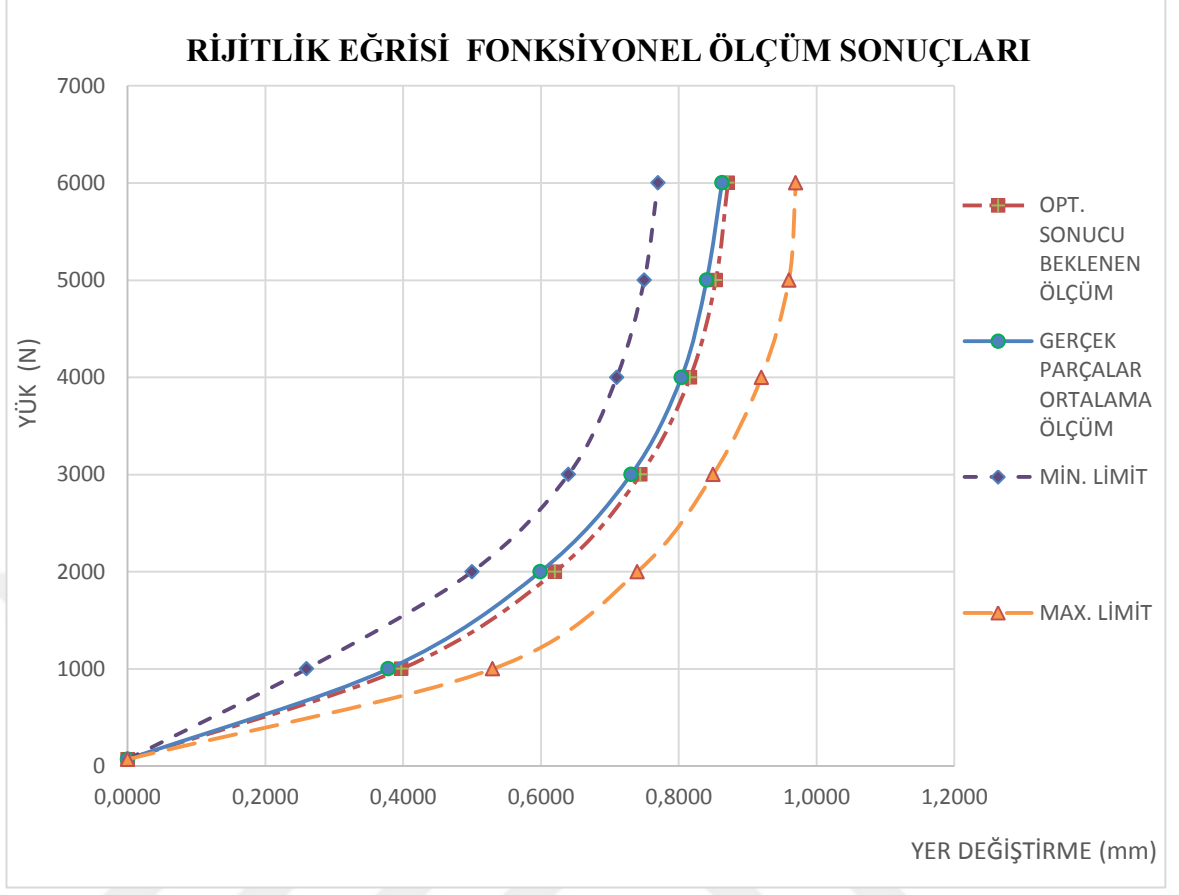
| Değişken | Gerçek parça değerleri (mm) | Optimizasyon değerleri (mm) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|
| MESAFE 1 | 9.49 | 9.66 |
| MESAFE 2 | 16.43 | 16.27 |
| MESAFE 3 | 26.95 | 26.38 |
| MESAFE 4 | 37.07 | 37.16 |
| MESAFE 5 | 58.78 | 58.98 |
| MESAFE 6 | 74.13 | 73.60 |
| YÜKSEKLİK 1 | 1.082 | 1.082 |
| YÜKSEKLİK 2 | 1.180 | 1.182 |

Prototip üretimi yapılan metalik disk yayları ile şekil optimizasyonu ile belirlenen yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Üretimi yapılan prototip metalik disk yaylarının fonksiyonel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel ölçümleri yapılan prototip disk yaylarının ortalaması alınarak hedef eğri değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan değerler arasında üretim kaynaklı farklılıklar bulunmaktadır.

Çizelge 4.8. Fonksiyonel ölçümler sonrası rijitlik eğrisi değerleri

| Yük Değeri(N) | Ortalama gerçek parça yer değiştirme (mm) | Hedeflenen yer değiştirme (mm) |
|----------------------|--|---------------------------------------|
| 70 | 0 | 0 |
| 1000 | 0.3785 | 0.3975 |
| 2000 | 0.5992 | 0.6206 |
| 3000 | 0.7308 | 0.7447 |
| 4000 | 0.8040 | 0.8166 |
| 5000 | 0.8405 | 0.8539 |
| 6000 | 0.8628 | 0.8715 |

Fonksiyonel ölçüm sonuçlarına göre hedeflenen eğri ile prototip üretimi yapılan metalik disk yaylarının ortalama fonksiyonel ölçüm değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir. Yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar arasında geometrik ve dolayısıyla fonksiyonel farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu farklılığın sebepleri olarak; üretimden gelen geometrik farklılıklar, malzeme değişkenliği ve ölçüm cihazından gelen kalibrasyon hataları olarak değerlendirilebilir. Fakat tüm bu etmenlerin sonucunda oluşan farklılık kabul edilen seviyelerdedir. Hedeflenen fonksiyonelliğin minimum ve maksimum aralığı, farklılık seviyesinin üzerinde yer almaktadır. Hedeflenen fonksiyonelliğin sağlanması için hedef eğrinin minimum ve maksimum eğriler arasında kalması önemlidir.



Şekil 4.38. Fonksiyonel ölçüm sonuçları

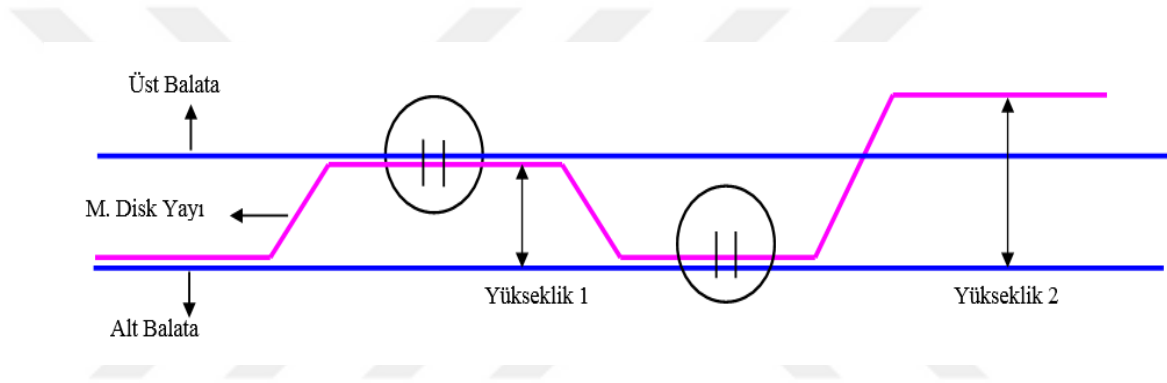
Çizelge 4.9. Fonksiyonel ölçümler sonrası ki-kare değerleri

| Yük (N) | Opt. sonucu beklenen ölçüm | Gerçek parçalar ort. ölçüm | Ki-kare değeri |
|---------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| 70 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 1000 | 0,3975 | 0,3785 | 0,00091 |
| 2000 | 0,6206 | 0,5992 | 0,00074 |
| 3000 | 0,7447 | 0,7308 | 0,00026 |
| 4000 | 0,8166 | 0,8040 | 0,00020 |
| 5000 | 0,8539 | 0,8405 | 0,00021 |
| 6000 | 0,8715 | 0,8628 | 0,00009 |
| | | Toplam ki-kare → | 0,00240 |

Fonksiyonel ölçüm sonuçlarına göre beklenen eğri ile prototip üretimi yapılan metalik disk yaylarının ortalama fonksiyonel ölçüm değerlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir.

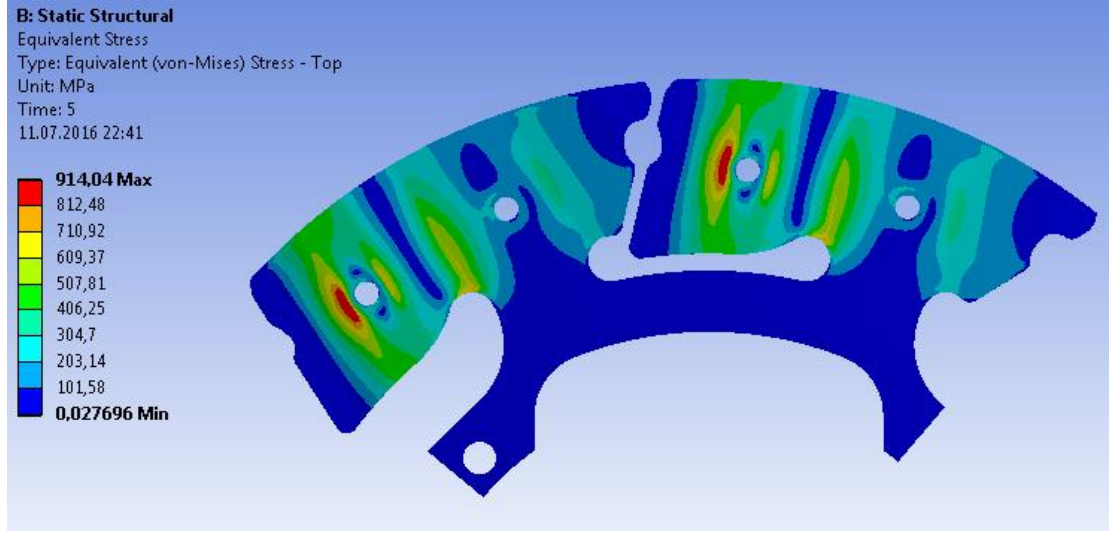
4.6. Metalik Disk Yayının Sonlu Elemanlar Analizi ile Gerilme Değerinin Tespiti ve Ömür Analizi

Ansys optimizasyon modülü ile tespit edilen optimum şekil değişkenleri kullanılarak metalik disk yayında meydana gelen maksimum gerilmenin hesaplandığı sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.



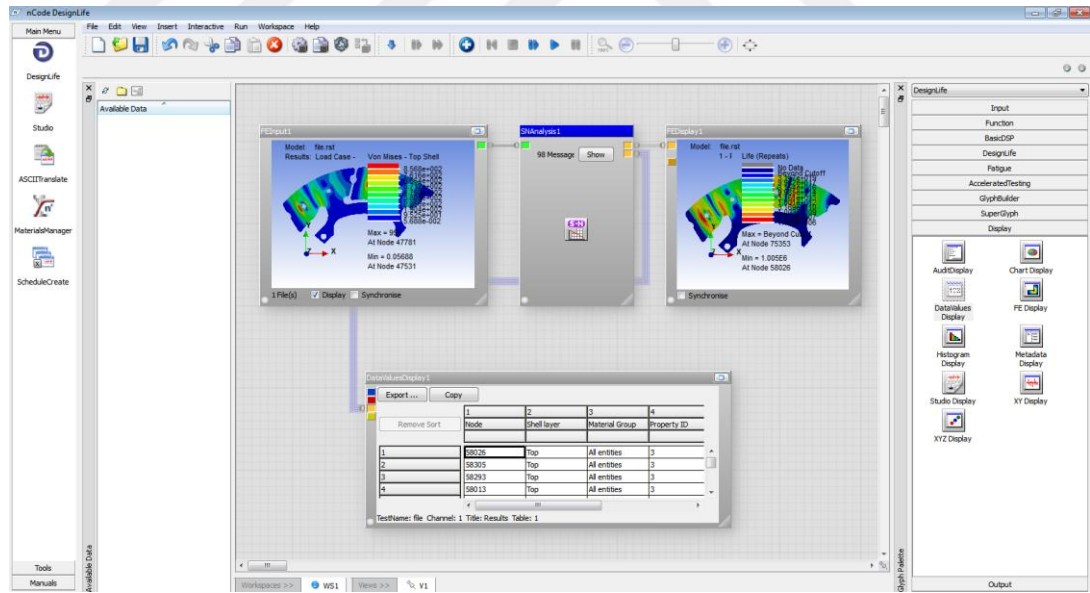
Şekil 4.39. Fonksiyonel ölçüm sonuçları

Oluşturulan bu model rijitlik eğrisinin elde edildiği sonlu elemanlar modelinden farklı olarak metalik disk yayının alt ve üst balatalara perçinlendiği durum simule edilmektedir. Modelin alt ve üst kısımlarında yer alan düz yüzeylerde bulunmakta olan perçin deliklerinden alt ve üst balatalara “Bonded” temas kullanılarak perçinleme işlemi simule edilmektedir. Balataların metalik disk yayına perçinlenmesi beraberinde metalik disk yayının en yüksek bölgesi (Yükseklik 2) perçinlenme bölgesine (Yükseklik 1) olan mesafe kadar aksenal yönde sıkışmaktadır. Meydana gelen sıkışma Ansys sonlu elemanlar modelinde metalik disk üst yayı ve üst balata arasında oluşturulan temas bölgesi ile tanımlanmaktadır. Oluşturulan perçinli model üzerinden gerilme analizi ile von-Mises mukayese gerilmeleri elde edilmektedir.



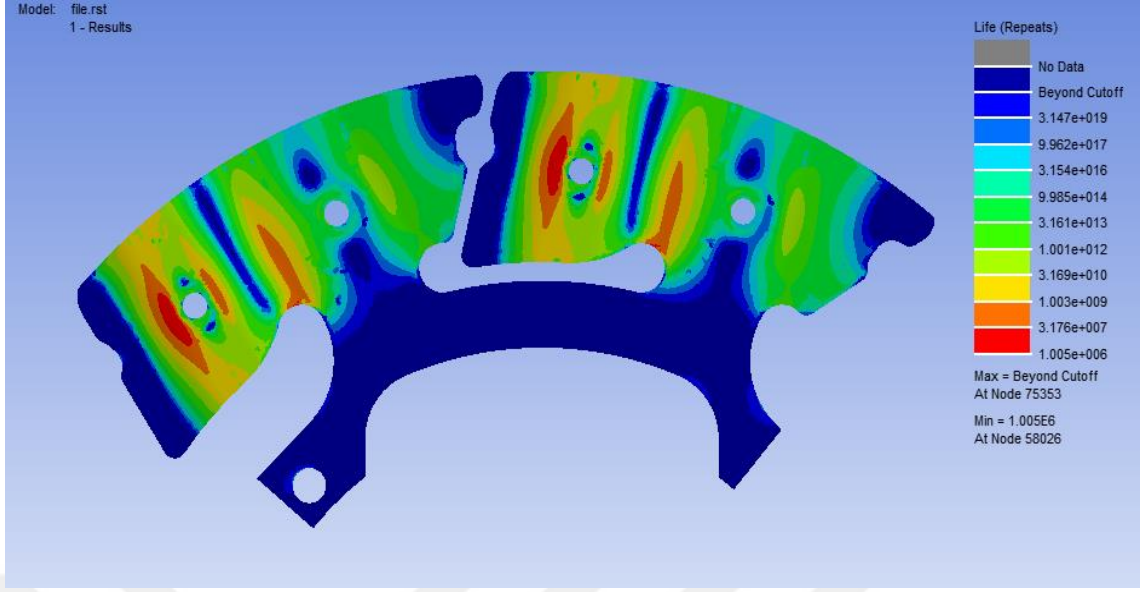
Şekil 4.40. Metalik disk yayı maksimum gerilme değeri

Metalik disk yayı nCode design life programında Ansys sonlu elemanlar analizinden elde edilen gerilme değerleri ile gerilme-ömür analizi gerçekleştirilerek metalik disk yayının ömrü tespit edilmektedir.



Şekil 4.41. Metalik disk yayı ömür analizi modeli

Ömür analizi programında tekrarlı eksenel yüklemelere maruz bırakılan metalik disk yayının yaklaşık bir milyon çevrime dayanabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 4.42. Metalik disk yayı ömür analizi sonucu

Metalik disk yayı şekil optimizasyonu üzerine yapılan tez çalışmasında belirtilen işlem basamakları gerçekleştirilerek hedef değerlere uyum sağlayan optimum geometri elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Metalik disk yayının şekil optimizasyonunun gerçekleştirildiği bu tez çalışmasında metalik disk yayı şekil değişkenlerinin rijitlik eğrisine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile metalik disk yayının optimum şekil değişkenleri belirlenmiştir. Belirlenen optimum şekil değişkenleri ile prototip metalik disk yayı üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında ortaya çıkan bilgiler ve edinilen deneyimlerin beraberinde farklı ürünler için uygulanabilecek yaklaşımlar elde edilmiştir. Tezde algoritmik bir optimizasyon yöntemin uygulanması ile ürünün konforunun ve ürün ömrünün saptanması sağlanmıştır. İzlenen yöntem farklı ürünlerde de uyarlanarak bir çok ilave çalışma yapılma potansiyeli mevcuttur.

Metalik disk yayının tasarımına ve sonlu elemanlar analizlerine harcanan süre, iterasyon sayısındaki artışa bağlı olarak artmaktadır. Tasarlanan ürün ile üretilen ürün arasındaki farklılıkları gidermek, hedeflenen fonksiyonelliği sağlayan bir ürün oluşturmak uzun sürelerle yayılan hesaplamaları ve tasarım çalışmalarını beraberinde getirmektedir. İlgili kısımlarda yapılan çalışmalar iş gücü ve maliyet kaybına yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında ilgili ürünün iterasyon sayısı minimuma çekilerek tasarım ve optimizasyon sürelerinde tasarrufa gidilmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aytaç, M., 1998.** Matematiksel İstatistik, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa
- Cappetti, N., M. Pisaturo, A. Senatore, 2012.** *Cushion spring sensitivity to the temperature rise in automotive dry clutch and effects on the frictional torque characteristic, Mechanical Testing and Diagnosis.*, 3, 28-38.
- Chintala, A., R.L. Narayana, C. Srivinas, 2013.** *Modeling, Simulation and Control of an Automotive Clutch System, International Journal of Engineering Research & Technology.*, 2(12), 3422-3427.
- Hagerodt A., F. Küçükay, D.H. Park, A. Heim, A. Rinsdorf.** Optimum Design of Return and Cushion Springs for Automatic Transmission Clutches., 2001, SAE World Congress, Michigan, USA.
- Kaya, N., 2006.** *Optimal design of an automotive diaphragm spring with high fatigue resistance, International Journal of Vehicle Design.*, 40 (1-3), 126.143.
- Kaya, N., İ. Karen, F. Öztürk, 2010.** *Re-design of a failed clutch fork using topology and shape optimisation by the response surface method , Materials & Design, vol. 31, no:6, pp. 3008-3014, 2010.*
- Sfarni, S., E. Bellenger, J. Fortin, M. Malley, 2009.** *Finite element analysis of automotive cushion discs, Thin-Walled Structures.* 47., 474–483.
- Sfarni, S., E. Bellenger, J. Fortin, M. Malley, 2011.** *Numerical and experimental study of automotive riveted clutch discs with contact pressure analysis for the prediction of facing wear, Finite Elements in Analysis and Design.*, 47, 129–141.
- Sfarni, S., E. Bellenger, J. Fortin, M. Malley, 2008.** Numerical modeling of automotive riveted clutch disc for contact pressure verification, 49th Scandinavian Conference on Simulation and Modeling., 7-8 October, Oslo, Sweden.
- Sfarni, S., E. Bellenger, J. Fortin, M. Malley, 2008.** Numerical and Experimental Analysis of an Clutch Disc, XXII. The International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM) Conference, 24-28 August., Adelaide, Australia.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Samet KARTAL
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA / 1989
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Erkek Anadolu Lisesi / 2008
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Fakültesi
: Makine Mühendisliği / 2012

Çalıştığı Kurumlar ve Yılı : Valeo Otomotiv San. A.Ş (2013–Devam Ediyor)

İletişim(e-posta) : sametkartal89@gmail.com