

**T.C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FREN DİSKİNİN FEA(SEA) ANALİZİ**

**YUSUF ÖNCEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL**

**İSTANBUL, 2020**

**T.C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FREN DİSKİNİN FEA(SEA) ANALİZİ**

**YUSUF ÖNCEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL**

**İSTANBUL, 2020**

Yusuf ÖNCEL tarafından hazırlanan “Fren Diskinin FEA(SEA) Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Bedri YÜKSEL  
Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Başkan :** Prof. Dr. Ramazan YAMAN  
Endüstri Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Üye :** Doç. Dr. Armağan Fatih KARAMANLI  
Mekatronik Mühendisliği, Bahçeşehir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: ...../...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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 çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir. Aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yusuf ÖNCEL  
...../...../2020

FREN DİSKİNİN FEA(SEA) ANALİZİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf ÖNCEL

İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
Mayıs 2020

ÖZET

Lastik tekerlekli araçlarda; hızın düşürülmesi, mevcut hızın kontrol edilmesi ya da aracın tamamen durdurulabilmesi amacı ile kullanılan fren sistemleri sürtünme esasına göre çalışan sistemlerdir. Aracın yavaşlatılması veya durdurulması sırasında aracın sahip olduğu kinetik enerji; balata-disk ve balata-kampana sistemlerindeki iki komponent arasında oluşan sürtünme sırasında ısı enerjisine dönüşür. Oluşan ısının bu elemanlardan uzaklaştırılarak çevreye atılması hem can güvenliği için hem de fren sisteminde kullanılan elemanların hasar görmemesi ve uzun ömürlü bir kullanım açısından oldukça önemlidir. Hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tez çalışmasında hafif ticari bir araçta bulunan disk fren sistemindeki disklerde oluşan ısı enerjisinin dağılımı, sıcaklığın yüzeydeki dağılımı ve diskin geometri ile kullanılan disk malzemesi özelliklerine göre ısı dağılımı ve disk yüzeyindeki frenleme sırasında meydana gelen sıcaklık değişimleri incelenecektir. Bunun için öncelikle literatür araştırması yapılmıştır. Daha sonrataşıtlardaki fren sistemlerinden bahsedilmiştir. Edinilen bu bilgiler doğrultusunda taşıt sisteminin dinamiği incelenmiştir. Tezin asıl konusu olan hafif ticari bir aracın fren diskinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi için ANSYS programı kullanılmış ve hedeflenen konularda sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar değerlendirilerek hangi disk geometrisinin ve materyalinin hangi durumlarda daha iyi olduğu yorumlanmıştır.

AnahtarKelimeler : Fren Diski, Sonlu Elemanlar Yöntemi, ANSYS, Isı Dağılımı,  
Malzeme, Disk Tasarımı  
SayfaAdedi : 75  
Danışman : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

ANALYSIS OF BRAKE DISC WITH FEA (SEA)  
(M. Sc. Thesis)

Yusuf ONCEL

ISTANBUL GELISIM UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES  
May 2020

ABSTRACT

In rubber wheeled vehicles, the brake systems; used to reduce speed, controlling the speed and completely stopping the vehicle operate on the basis of friction. Kinetic energy that the vehicle has during slowing down or stopping translates heat energy during friction between pad-disc or pad-campane. It is quite important to remove the heat generated between these elements and throwing it into the environment, both for safety of life and used to elements of brake systems not to be damaged and for a long-lasting using.

In the master thesis which I prepared, in a light commercial vehicle that has disc brake system, distribution of generated heat energy on disc, distribution of heat on surface and the change in these values according to the change in the geometry and material properties of the disk will be examined. For this, first of all literature researching was made. Then, the brake systems of vehicles were mentioned. With these information which is gained, dynamic of vehicle system was investigated. On the targeted subject, ANSYS was used for the analysis of the brake disc of a light commercial vehicle, which is the main subject of the thesis, with the finite element method and the results were obtained. Also, by evaluating these results which disc geometry and material are better interpreted in which situations.

KeyWords : Brake Disc, FEA, ANSYS, Heat Distribution, Material, Disc  
PageNumber : 75  
Supervisor : Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada emeği geçen, Prof. Dr. Bedri YÜKSEL, Öğr. Gör. Mahmut Nedim TANSU'ya ve sevgili eőim Psk. Merve ÖNCEL'e katkılarından dolayı teőekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÖZETİ .....	4
3. TAŞIT FREN SİSTEMLERİ .....	7
3.1. Genel Fren Sistemleri.....	8
3.1.1. Ana Fren Sistemleri (İşletme Fren Sistemleri).....	8
3.1.2. Tespit Frenleme Sistemleri(Park Frenleri) .....	8
3.1.3. Sürekli Fren Sistemleri(Yavaşlatıcılar) .....	9
3.2. Fren Çeşitleri .....	9
3.2.1. Mekanik Frenler .....	9
3.2.1.1. Tamburlu (Kampanalı) Frenler .....	9
3.2.1.2. Diskli Frenler .....	10
3.2.1.3. Konik Frenler .....	10
3.2.1.4. Pabuçlu Frenler .....	11
3.2.1.5. Banlı Frenler .....	11
3.2.2. Hidrolik Fren Sistemleri .....	12
3.2.3. Havalı Fren Sistemleri .....	14
3.2.4. Elektrikli Frenler.....	15
3.2.5. Diğer Fren Sistemleri.....	15
3.2.5.1. Elektromanyetik Frenler .....	15
3.2.5.2. Manyetik Frenler.....	16
3.2.5.3. Manyetik Tozlu Frenler .....	16
3.2.6. Yavaşlatıcı Fren Sistemleri.....	17
3.2.6.1. Hidrodinamik Frenler(Retarder) .....	17
3.2.6.2. Su Freni.....	18
3.3. Fren Kuvvet Sistemleri ve Elemanları .....	19
3.3.1. Tekerleğe Etki Eden Kuvvetler .....	20



3.4. Frenleme Durumunda Oluşan Kuvvetler .....	22
3.4.1. Statik Konumdaki Aks Yükleri .....	22
3.4.2. Dinamik Konumdaki Aks Yükleri.....	23
3.5. Frenleme İşi ve Gücü .....	24
3.5.1. Frenleme işi .....	24
3.5.2. Fren Gücü .....	25
3.6. Frenleme Yapan Bir Araçta Performansa Etki Eden Faktörler.....	25
3.7. Fren Sisteminin Zaman Aralığı ve Aşamaları.....	26
3.8. Taşıtlarda Kullanılan Fren Mekanizmaları ve Parçaları .....	26
3.8.1. Bir Taşıtın Fren Sisteminde Kullanılan Parçalar .....	26
3.8.2. Kampanalı Fren .....	27
3.8.2.1. Kampana Fren Sisteminde Kuvvet Analizi.....	28
3.8.3. Diskli Frenler.....	28
3.8.3.1. Disk Fren Çeşitleri .....	29
3.8.3.1.1. Normal Disk Fren .....	29
3.8.3.1.2. Delikli Disk Fren.....	29
3.8.3.1.3. Oluklu Disk Fren.....	30
3.8.3.2. Anti Blokaj Sistemi (ABS) .....	30
3.9. Fren Kaliperleri .....	31
3.9.1. Sabit Kaliperler.....	32
3.9.2. Yüzer Kaliperler .....	32
3.9.3. Full Kontak Kaliperler.....	32
3.10. Fren Disk Balatası İle Pabucu .....	33
3.11. Disk Frenlerle Kampanalı Frenlerin Karşılaştırılması .....	33
<b>4. DİSK FREN İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER .....</b>	<b>34</b>
4.1. İnce Karbon Grafit Katmanlı Dökme Demir.....	34
4.2. Karbon Oranı Fazla Olan Grafit Katmanlı Dökme Demir .....	34
4.3. Küresel Grafitli Dökme Demir.....	34
4.4. Dökme Çelik .....	35
4.5. Alüminyum ve Metal Alaşımli Karışım Çelikleri.....	35
4.6. Karma Malzemeli Diskler .....	35
4.7. Seramik Kaplamalı Fren Diski.....	36
<b>5. FREN SİSTEMİNİN DİNAMİĞİ.....</b>	<b>37</b>

5.1. Fren Enerjisi .....	37
5.2. Referans Frenleme Isısı ve Enerjisi.....	40
<b>6. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>41</b>
6.1. Kullanılan Disklerin Tasarımsal Özellikleri .....	41
6.2. Kullanılan Analiz Yöntemi .....	41
6.3. Sonlu Elemanlar Analizi Nedir? .....	42
<b>7. BİR FREN DİSKİNİN ANALİZİ .....</b>	<b>44</b>
7.1. Diskler Üzerinde Frenleme Sırasında Oluşacak Sıcaklığın Hesaplanması.....	44
7.1.1. Alüminyum Alaşımli Disklerde Ortaya Çıkan Maksimum Sıcaklık.....	45
7.1.2. Dökme Demirli Disklerde Ortaya Çıkan Maksimum Sıcaklık.....	46
7.2. Modelin Solidworks'te Oluşturulması .....	46
7.3. Disk Modelinin Analize Hazırlanması.....	47
7.4. Matematiksel Modelin Hazırlanması .....	50
7.4.1. Meshleme Yöntemi.....	50
7.4.2. Frenleme Yüzeyinin Modellenmesi.....	53
7.4.3. Frenleme Yüzeyi Seçimi Ve Sıcaklığın Girilmesi .....	54
7.4.4. Coefficient Faktörünün Girilmesi.....	55
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>56</b>
8.1 Analiz Sonuçları.....	56
8.1.1. $V_1$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanalsız Disk Fren .....	56
8.1.2. $V_1$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanallı Disk Fren .....	56
8.1.3. $V_1$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren .....	58
8.1.4. $V_1$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren .....	58
8.1.5. $V_2$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanalsız Disk Fren .....	60
8.1.6. $V_2$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanallı Disk Fren .....	61
8.1.7. $V_2$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren .....	62
8.1.8. $V_2$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren.....	63
8.1.9. $V_3$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanalsız Disk Fren.....	64
8.1.10. $V_3$ Hızında Alüminyum Alaşımli Hava Kanallı Disk Fren .....	65
8.1.11. $V_3$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren .....	66
8.1.12. $V_3$ Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren.....	67
8.2. Sonuçlar ve Öneriler.....	68
<b>9. KAYNAKLAR.....</b>	<b>70</b>
<b>10. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>74</b>

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Fren Diski .....	1
Şekil 3.1. Bir Otomobilde Kullanılan Hidrolik Fren Sisteminin Görünümü .....	7
Şekil 3.2. Tamburlu (Kampanalı) Fren Sisteminin Elemanları .....	10
Şekil 3.3. Konik Fren .....	11
Şekil 3.4. Pabuçlu Fren ve Kullanım Alanı .....	11
Şekil 3.5. Bantlı Fren Çeşitleri.....	12
Şekil 3.6. Hidrolik Fren Sisteminin Parçaları .....	13
Şekil 3.7. Havalı Fren Sisteminin Ana Elamanları .....	14
Şekil 3.8. Manyetik Frenler .....	16
Şekil 3.9. Manyetik Tozlu Frenler .....	17
Şekil 3.10. Hidrodinamik Frenler (Retarder).....	18
Şekil 3.11. Su Freni Çalışma Prensibi .....	19
Şekil 3.12. Tekerleğe Gelen Kuvvetler.....	20
Şekil 3.13. Kayma Oranına Bağlı Tutunma Katsayısı.....	21
Şekil 3.14. Bir Taşıta Etkiyen Statik Yükler.....	22
Şekil 3.15. Bir Taşıta Etkiyen Dinamik Yükler.....	23
Şekil 3.16. Fren Gücünün Zamana Bağlı Oranı.....	25
Şekil 3.17. Bir Frenleme Mekanizmasının Genel Yapısı .....	27
Şekil 3.18. Normal, Delikli ve Oluklu Diskler .....	30
Şekil 3.19. ABS Çalışma Şeması.....	31
Şekil 5.1 Fren Gücünün Sabit İvme Hâli İçin Zamana Bağlı Değişimi.....	39
Şekil 5.2. Frenlemede Sıcaklık-Zaman İlişkisi .....	40
Şekil 7.1. Karayolları Genel Müdürlüğü Durma ve İntikal Süreleri.....	45
Şekil 7.2. Hava Kanalsız Disk Modelinin Solidworks'te Oluşturulması.....	47
Şekil 7.3. Hava Kanallı Disk Modelinin Solidworks'te Oluşturulması.....	47
Şekil 7.4. ANSYS ve Termal Analiz Arayüzü .....	48
Şekil 7.5. ANSYS Analiz Kırılım Yapısı .....	49
Şekil 7.6. Malzeme Atama İşlemi.....	49
Şekil 7.7. Analiz Yapılacak Modelin Seçilmesi .....	50
Şekil 7.8. Analiz Modelinin Meshlenmesi.....	52
Şekil 7.9 Balata Modelinin Oluşturulması.....	53
Şekil 7.10 Balata Modeline Kalınlık Atama .....	54

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 7.11. Frenleme Yüzeyinin Seçilmesi .....	55
Şekil 8.1. $V_1$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı.....	56
Şekil 8.2. $V_1$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	57
Şekil 8.3. Alüminyum Alaşımli Hava Kanallı Disk Frende Isı Geçişleri .....	57
Şekil 8.4. $V_1$ Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	58
Şekil 8.5. $V_1$ Hızında Grafit DD Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	59
Şekil 8.6. Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Frende Isı Geçişleri .....	59
Şekil 8.7. $V_2$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	60
Şekil 8.8. $V_2$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	61
Şekil 8.9. $V_2$ Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı.....	62
Şekil 8.10. $V_2$ Hızında Grafit DD Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	63
Şekil 8.11. $V_3$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	64
Şekil 8.12. $V_3$ Hızında Al Alaşımli Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	65
Şekil 8.13. $V_3$ Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı.....	66
Şekil 8.14. $V_3$ Hızında Grafit DD Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı .....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

<b>Fro</b>	Dönme Direnci
<b>N</b>	Tekerleklere Gelen Tepki Kuvveti(N)
<b>G</b>	Tekerlere Etki Eden Ağırlık
<b>R</b>	Tekerleğin Yarıçapı
<b>V</b>	Araç Hızı(m/s)
<b>Fx</b>	Uygulanan Tahrik Kuvveti(N)

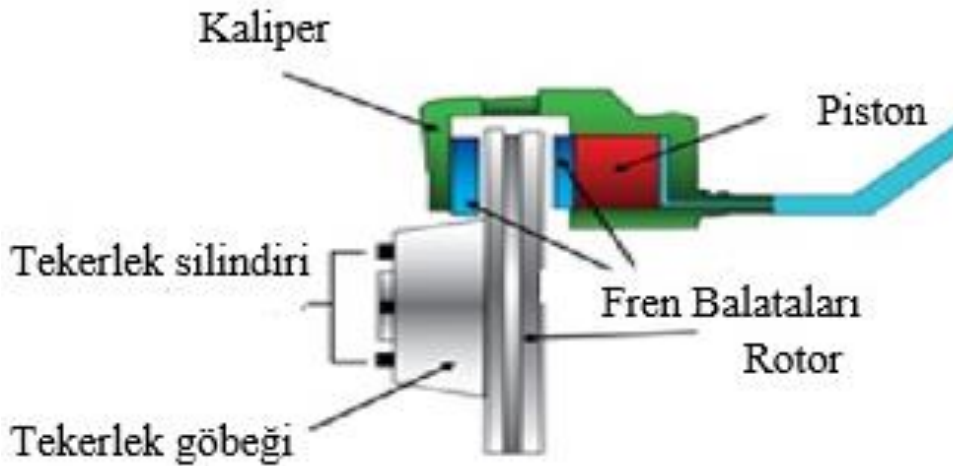
### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>CAE</b>	Bilgisayar Destekli Mühendislik
<b>ANSYS</b>	Analiz Sistemi
<b>CFD</b>	Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği

## 1. GİRİŞ

Bir taşıtın en önemli kısımlarından biri de frenleme sistemleridir. Bir taşıtta frenleme sistemi ne kadar kuvvetli ve etkin ise taşıt da o kadar güvenli ve emniyetlidir. Fren sistemi taşıtların durdurulması veya yavaşlatılmasını, yokuş aşağı inişlerde taşıtın hızının kontrol edilmesini sağlar. Hareketsiz taşıtın yol koşullarına göre sabit bir şekilde yerini koruması için de önemlidir. Taşıt üreticileri ve tasarımcıları bu nedenle araç fren sistemleri üzerinde çalışmalar yürüterek yeni ek sistem ve donanımlar geliştirmektedir. Frenleme işlemi başlangıçta, yalnızca taşıtı arzu edilen zamanda durdurmayı hedeflemiştir. Ancak günümüzde fren sistemlerinden beklenen performans, yalnızca durdurma beklentisinin çok daha ötesine taşınmıştır. Uzun zamandır ön fren sisteminde tercih edilen diskler, yeni nesil taşıtlarda arka kampanaların da yerini almaktadır. Üretilen modern taşıtların çoğunda diskli fren sistemleri tercih edilmektedir. Fren pedalına baskı uygulandığında fren sistemindeki hidrolik sıvının yerinin değişmesiyle, fren disklerine bir piston vasıtasıyla aktarıldığında taşıtların disklerinin üzerindeki sürtünme kuvvetinin etkileriyle yavaşlamaya başlar. Fren pedalına basılmasıyla etki eden güç, diske etki eder ve tekerleğin dönme hızını yavaşlatır. Sonuç olarak fren sistemleri taşıtın hareketiyle ortaya çıkan kinetik enerjiyi absorbe ederek ısı enerjisine dönüştürür. Bütün bu durumlar gerçekleşirken disk, balata sistemi tarafından yüksek oranda gerilimlerin etkisi altında kalmaktadır. Ayrıca frenleme işlemi yapılırken temasla oluşan yüksek ısının çabuk bir şekilde disklerden ve balatalardan dışarı atılması gerekmektedir.



Şekil 1.1. Fren Diski[1]

Bir frenleme olayı; sürtünme çiftinin diğer bir deyişle disk-ped ya da tambur-astar çiftinin aracı yavaşlatmak için gereken geciktirme torkunu oluşturmak amacıyla nispi kayma yönüne karşı sürtünme kuvvetleri üretmesi ile olmaktadır. Çok kısa süreler boyunca büyük miktarda kinetik enerji sürtünme yoluyla ısı enerjisine dönüşürken yüksek sıcaklıklar, pik sıcaklık gradyanları ve önemli termal gerilmeler oluşur. Bu nedenle temel frenin tüm parçaları; özellikle rotor ve balata, aşırı derecede zor olabilecek kombine termal ve mekanik yüklemelerden kaynaklanan sıcaklıklara ve gerilmelere dayanmalıdır. Mekanik yüklenme olmasına rağmen, örneğin fren rotorundaki kontak kuvvetleri ve dönme gerilmeleri kendi başlarına yüksek olabilir, en kritik fren tasarım parametreleri termal yüklerle ilgilidir. Ticari araçlar için disk ve kampanalı frenler genellikle standart boyutlara sahiptir ve dağıtılması gereken büyük miktarda ısı enerjisi nedeniyle diskler genellikle havalandırılır, yani hava ile temasta olan yüzey alanları artırılır. Frenlemenin neden olduğu sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi dağılmaz ise, yani fren bileşeni çok ısınır, aşağıda verilen bazı istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir:

- Rotor ve stator arasındaki sürtünme katsayısı azalır.
- Frenin tork çıkışını da etkileyebilecek aşırı termal bozulmalara neden olur.
- Metal rotor yüzeyinde yüksek termal gerilmeler, yüzeyde çatlamalara neden olur.
- Rotor malzemesinde mekanik mukavemet ve diğer özelliklerde azalmalar oluşur.
- Sürtünme malzemesindeki aşınmalar artar.
- Fren hidrolik tahrik silindirlerinde daha fazla sıvı buharlaşır.
- Lastik contaların bozulma riski artar.[2]

Son yıllarda frenlemeden dolayı enerji kaybı üzerine birçok çalışma yapılmaktadır:

Frenleme sırasında yayılma enerjisi, 1980 yılında T.P. Newcomb tarafından incelenen ısı enerjisi olarak fren bileşeni vasıtasıyla verilir[3].

K.Holmberg ve diğ. güç aktarma organlarındaki ve frendeki sürtünmeden kaynaklanan enerji dağılımını belirledi[4].

D. Maccherczak ve diğ. Makro ve mikro etkileri göz önünde bulundurarak, bir disk fren sisteminin iki bileşenine sıcaklık ve ısı dağılımı üzerinde çalışmıştır[5].

Longitudinal denge denklemi ve enerji denklemi oluşturulur, aynı zamanda toplam enerjideki frenleme nedeniyle yayılma enerjisinin yüzdesi, Wenliang Li at all, tarafından sürekli uzun inişlerde araç fren sıcaklığı artışı için analiz edilmiştir[6].

H.Kasem ve diğ. çeşitli yüksek enerjili stop-frenleme koşulları için fren diski yüzey sıcaklıkları ve disk distorsiyonu arasındaki ilişkilerin incelenmesine odaklanmıştır[7].

Bu çalışmanın diğerlerinden önemli olan ilk farkı, ölçümlerin Türkiye'de sık kullanılan iki standart yolda yapılan ve standart taşıtkullanılarak yapılması ve gerçek verilerden oluşturulduklarıdır[8]. Bu çalışmanın ikinci önemli farkı, fren diski sıcaklık sensörlerinin sıcaklık-zaman bölgesi grafiklerinden harcanan enerjinin hesaplaması için trapos yöntemine dayalı bir yazılımın geliştirilmesidir[9-10].

Bu çalışmanın üçüncü farkı, sıcaklık ve diğer sensörler verilerinin iki standart yol boyunca sürekli ölçüldüğü, diğer çalışmaların bazılarının ise sadece tek fren uygulayarak yüksek hızda yapıldığıdır[8-11-12].

Bu tezde yapacağımız çalışmada; frenleme durumunda ortaya çıkan gerilmelerin hafif ticari araçlarda da büyük oranda kullanılmakta olan disk frenler üzerinde oluşturduğu etkilere ve malzeme yapısındaki değişikliklerin, disk fren tasarımında yapılan değişikliklerin neleri etkilediği test edilecektir. Ayrıca ısı dağılımı ve buna bağlı sonuçlarda gözlemlenecektir. Bu işlem sırasında farklı tasarımlara sahip iki fren diski kullanılacak olup bu disk tasarımları hava kanalsız diskler ve boyuna hava kanallı diskler olarak adlandırılmıştır. Disk plakalarının üzerine etki eden gerilimler analiz edilirken ise ANSYS analiz programı kullanılarak sonlu elemanlar yönteminden faydalanılacaktır.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÖZETİ

Araçlarda, iş makineleri ve trenlerde frenleme sistemleri emniyet ve can güvenliği açısından birinci derecede önemli olduğundan, bu alanda çok sayıda çalışma yapılmış ve halâ yapılmaktadır. Frenleme sistemlerindeki gelişmeler incelendiğinde bu kanunun önemi ve halâdaha çok sayıda yeni çalışmanın yapıldığı görülecektir. Aşağıda bunlardan bazıları verilmiştir:

Kahya, Sugözü ve Çevik yaptıkları çalışmada, fren balatası üzerinde sıcak presleme basıncının balataların özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Balataların üretim sırasındaki sıcak presleme basınçlarını değiştirerek (100-125 ve 150 bar) presleme basınçlarının fren balatalarının, özgül aşınma, sertlik ve yoğunluk gibi özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında pin-on-disk tipi sürtünme test cihazı kullanan araştırmacılar, denemeleri sonucunda yaptıkları karşılaştırmalarla, üretimde kullanılan sıcak presleme basıncının frenleme performansında etkili olduğu belirlemişlerdir [13].

Bayrakçeken ve Düzgün bir çalışmasında, taşıtlarda fren verimi ve frenleme mesafesi analizinde matematiksel modellemenin öneminden bahsetmiş ve bu olayla fren mesafe tespitinin önemi vurgulanmıştır, durma süresi, fren mesafeleri ve reaksiyon süresi arasındaki matematiksel bağıntıları vermişlerdir. İlgililer frenleme öncesi taşıt hızı, ivme, reaksiyon süresince alınan yol ve toplam durma mesafelerini hesaplayarak çizelge halinde vermişlerdir. Ayrıca, çeşitli taşıt hızlarına ve fren verimlerine göre araçların durma durma mesafeleri çizelgeler halinde vermiş ve yol koşullarında dikkate alınarak karşılaştırılmıştır [14].

Timur çalışmasında, taşıtlardaki disk frenlerinde kullanılan balataların sıcaklık, basınç ve hız faktörleri altında sürtünmelerden dolayı meydana gelen aşınma direncini tespit etmiştir. 0-400 0Cve 0-1400 dev/dk etki altında basınç değerlerini ölçmüş ve sürtünme katsayısı değerleri elde etmiştir [15].

Erdem ve Altıparmak yaptıkları deneysel çalışmada, fren disk sıcaklığındaki artışın frenleme mesafesine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, deneysel testleri hafif ticari taşıt disklerinde, farklı disk sıcaklıklarında, değişik taşıt yüklerinde ve farklı taşıt hızlarında yapmışlardır. Yapılan çalışmada, fren pedalına uygulanan değişik kuvvetlerde, disk yüzey sıcaklığı arttıkça iki yüzey arasındaki sürtünme katsayısının azalmakta olduğunu ve test sonuçlarında fren sıcaklığındaki artışın frenleme mesafesine olumsuz yönde etkilediğini görmüşlerdir. Yapılan bir yol testinde; taşıtın 80 km/h hızla ve maksimum pedal kuvvetiyle hareket etmesi durumunda fren disk sıcaklığı 63°C iken taşıt

44,9 m'de dururken, disk sıcaklığı 298 °C yükseldiğinde durma mesafesinin %17,4 oranında artarak 52,71m yükseldiği belirlenmiştir [16].

Etemoğlu ve arkadaşları Comsol programında disk-balata sistemini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ani frenleme sonucunda oluşan yüksek sıcaklıkların disk-balata sisteminde oluşturduğu aşınmaları inceleyen araştırmacılar, bunun fren performansını da etkilediğini belirterek, disk fren sistemi Comsol programında üç boyutlu modelleme ve zamana bağlı nümerik simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Araç 80 km/h, 90 km/h ve 120 km/h hızlarında hareket ederken ani frenleme yapılarak, disk ve balata sistemleri incelenmiştir. Ayrıca; farklı disk malzemeleri dökme demir, paslanmaz çelik ve karbon-karbon kompoziti malzemeler kullanılarak çalışmalar tekrarlanmıştır. Farklı malzeme ve farklı hızlardaki disk ve balatalardaki sıcaklık değişimleri incelenerek karşılaştırılmıştır. İlgililer, ayrıca; disk-balata ikilisinde oluşan sıcaklık artışının sürtünme katsayısına etkisini ve fren sistemine yapacağı olumsuz etkileri de incelemişlerdir. Bunlara ilaveten araç ağırlığının maksimum sıcaklıklara etkisi de araştırılmış, aracın ağırlığı 1 ton azaltıldığında, sıcaklık değerlerinin %30 ile %39 arasında azaldığını belirlemişlerdir. Kullanılan malzemelere göre; en düşük sıcaklık değeri (119.81 °C) dökme demirde, en yüksek sıcaklığı değerini ise (323.52 °C) karbon-karbonda gözlemlemişlerdir[17].

Topuz ve arkadaşı yaptıkları çalışmada; 3 adet yerli ve yabancı fren disk balatalarını aşınma-sürtünme karakteristiklerini mekanik, kimyasal ve fiziksel anlamda incelemiştir.EDS, XRF, TG, DT(diferansiyel termal) analizlerini uygulamıştır[18].

Düzgün çalışmasında; otomotiv ve demiryolu taşıtlarında yaygın olarak kullanılan delikli tip geometrili soğutma kanallı fren disklerini, farklı mesafelere ve açılara göre termal analiz modülü altında incelemiş ve tasarımların değişimiyle %13 ile %54 oranlarında iyileştirmelere rastlamıştır[19].

Ghadimi bir çalışmada yüksek hızlı trenlerde frenleme işlemiyle disklerde ortaya deformasyonlar gözlenmiş bu nedenle doğru sıcaklığın bulunması öngörülmüştür. 3D model oluşturulmuş frenleme sıcaklığı ve disk kanatçığında sıcaklığın gecikmesi yapılan deneylerle iyileştiği görülmüştür [20].

Manjunath ve arkadaşı yaptıkları çalışmada, aşınmalara ve termal şoklara maruz kalan fren diskleri için yeni bir rotor tasarımı uygulamıştır. ANSYS programı ve Von Mises kriterleri baz alınarak tasarlanan disk için meshleme ve termal analiz testleri yapılmıştır. Bu durumlara göre uygun disk tasarımı elde edilmiştir [21].

Adomowicz ve arkadaşının yaptıkları bir çalışmada, 2 ve 3 boyutlu modelleme tekniği ile iki fren disk sisteminin sıcaklık dağılımı ve karşılaştırılmasını uygulamıştır. Isı akışı ve

yoğunluğunu ölçmüş ve yaptıkları test sonuçlarında görülen durumun 3 boyutlu modelden elde edilen frenleme sonrası sonuçların 2 boyutlu modele göre daha uyumlu olduğu izlenmiştir[22].

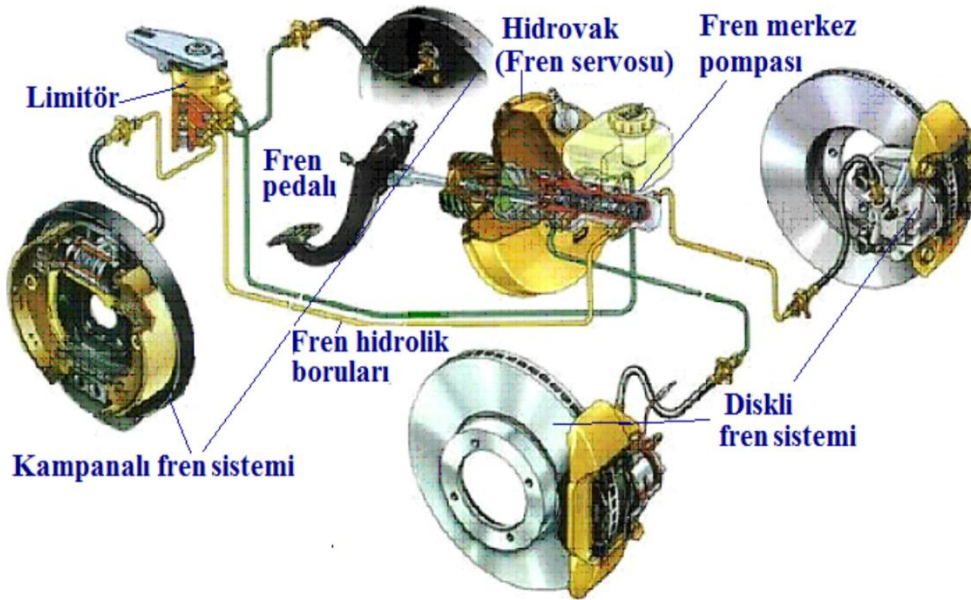
Xusheng ve arkadaşlarının bir çalışmasında 3 boyutlu termal bir kaplin modellemesinin frenleme esnasında sürtünmeye bağlı oluşan sürtünme kaynaklı ısı durumunu izlemiştir. Frenleme esnasında sıcaklık dağılımı ANSYS yazılımında izlenmiş ve malzemenin yorulma ve kırılma nedeni tartışılmıştır[23].

Koç ve arkadaşları ABAQUS programı ile modellenmiş farklı balata çeşitlerine 300 saniye boyunca frenleme işlemi yaparak meydana gelen sıcaklık dağılımlarını hesaplamıştır. Çıkan sonuçlarda en büyük sıcaklık değerleri balatanın diske temas ettiği yüzeylerde görülmüş ve balata merkezinden uzaklaştıkça dış kısımlarda daha fazla sıcaklıklar görülmüştür[24].

Jaenudin ve arkadaşları, araba kazalarında frenlerin önemli etkisinin olduğunu belirterek, konu üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Disk malzemelerini gri dökme demir ve paslanmaz çelik seçerek, bir model oluşturmuşlardır. Yaptıkları modelde, ısı akısını, 27.77 m/s (100 km/h) hızında hareket eden bir araç hızı için oluşturmuşlardır. Aracın kütlesini 500 kg, Başlangıç hızını 27.7 m/s (100 km/s) ve fren uygulaması sonundaki araç hızını 0 m/s almışlardır. Fren diski rotor çapı = 220 mm, her iki tarafta% 30 aks ağırlık dağılımı ( $\gamma$ ) = 0,3, kinetik enerji yüzdesi emilen disk (% 90)  $k = 0.9$ , sürtünme katsayısını  $\mu = 0.7$  olarak ve seçerek model oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada; Gri dökme demir malzeme için fren yapıldığında disk frenini yüzeyindeki sıcaklık 34.869 oC'den 88.026 oC'ye yükseldi, benzer şekildeki diğer çalışmada, havalandırılmalı disk fren uygulamasında, sıcaklık artışının 73.959 oC'ye yükseldiğini belirlemişlerdir. Paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş disklerde, frenleme sırasında sıcaklığın 34.529 oC'den 293.10 oC'ye yükseldiğini saptamışlardır. Havalandırılmalı disk frenlerinin uygulamalarında sıcaklığın 169 oC'ye ulaştığını açıklamışlardır[45].

### 3. TAŞIT FREN SİSTEMLERİ

Hareket halindeki taşıtları yavaşlatmak, hızını özellikle rampa inerken sabit tutmak veya duran aracı yerinde sabitlemek amacıyla çeşitli fren sistemleri kullanılmaktadır. Hareket halindeki taşıtın durabilmesi için fren kuvvetinin, motordangelen kuvvettendaha büyük olması gerektiği açıktır. Hareket halindeki aracın sahip olduğu kinetik enerji, bilindiği gibi kütlesi ve hızının karesinin çarpımıyla doğru orantılıdır ( $Ek = (mV^2)/2$ ). Burada görüldüğü gibi kinetik enerji, hızın karesi ile doğru orantılı olduğu için kütleden daha fazla önem arz etmektedir. Hızın önemi vurgulanırken kütle daha az önemlidir anlamı çıkmamalıdır. Çünkü enerji, taşıtın kütlesi ile de doğru orantılıdır ve bildiğimiz gibi aşırı yük nedeniyle oluşan güç azımsanmayacak miktardadır ve fren sistemi bu gücü yenemediği zaman çeşitli kazalar oluşmaktadır. Bu nedenle, araçlarda istiap haddinden fazla yük taşınması trafikte suç sayılmaktadır ve her aracın bir istiap haddi trafikte belirlenmiştir. Burada vurgulanmak istenen aracın hızının daha fazla ön plana çıkmasıdır. Fren mekanizmalarının belirtilen bu enerjiyi yenerek, aracı yavaşlatması ve durdurması gerekir. Bu nedenle fren gücünün motor gücünden ve oluşan kinetik enerji değerinden daha büyük olması gerekmektedir. Araçların çeşit ve kullanım alanlarına göre çok çeşitli fren sistemleri kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan ve bilinen bir otomobile ait fren sistemi ve aşağıda verilmektedir.



Şekil3.1. Bir Otomobilde Kullanılan Hidrolik Fren Sisteminin Görünümü [42]

Frenlemede önemli olan bir diğer kavram ise frenleme mesafesidir. Aracın durma mesafesinin de tamamen taşıtın hızına ve ağırlığına (yüküne) bağlı olduğunu dikkate almamız gerekmektedir. Buna ek olarak, frenleme mesafesinin daha sonra detaylı açıklanacağı gibi tekerleklerdeki sürtünmeye, aracın yüküne, yolun düz ve eğimli olmasına hatta eğiminin aşağı veya yukarı doğru olmasına bağlı olduğu da bilinmektedir.

Fren yapıldıktan sonra, disklerin ve balataların aşırı ısınması durumunda, disklerin ve balataların sürtünme katsayıları düşmekte ve balatalardaki aşınma miktarı artmaktadır. Buise aracın frenleme performansını azaltmaktadır. Fren disklerinde ve balatalarında sıcaklık 327 °C'nin üzerine çıktığında fren sistemleri işlevlerini kaybetmeye başlamaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin üretimi yapılmadan önce, çalışabilecekleri sıcaklık aralıkları, gerçeğe yakın düzeyde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, frenlemeden sonra oluşacak aşırı ısınmadan sonra ne kadar sürede bu elamanların soğuyacakları da incelenmelidir [45,46,47]. Aleksendric ve ark. [6] ise balata - fren diski ikilisi arasındaki sürtünme katsayılarının, disk sıcaklık değerinin 600 °C'yi geçmesi halinde büyük ölçüde azaldığını ve bundan dolayı fren sistemlerinin verimliliğinin azaldığını vurgulamaktadır [44,48].

Kuralay [43], araçlarda frenleme fonksiyonlarını yerine getirecek donanımların ayrı ayrı olabildiği gibi aynı sistemde birden fazla görevi de yerine getirebilir şekilde olduğunu ifade ederek, aşağıdaki gibi fren sistemlerini üç ana başlık altında toplamıştır.

### **3.1. Genel Fren Sistemleri**

#### **3.1.1. Ana Fren Sistemleri (İşletme Fren Sistemleri)**

Bu sistemler, araç hızını azaltmak veya tamamen durdurmak için kullanılırlar. Bu süre içerisinde araç izini değiştirmemelidir. Sistem devreye, sürücünün ayak vasıtasıyla kuvvet uygulaması ile aktif hâle gelir ve kademeli olarak tüm tekerleklerle kuvvet iletilir.

#### **3.1.2. Tespit Frenleme Sistemleri (Park Frenleri)**

Her türlü yol koşulunda (düz ya da rampa) hareketsiz aracın yani park edilen aracın harekete geçmesine engel olur. Rampada dahi aracın kendi kendine harekete geçmesine engel olur. Tespit fren sistemi ana fren sistemi devre dışı kaldığında yardımcı fren sistemi olarak da görev yapabilmektedir.

### 3.1.3. Sürekli Fren Sistemleri(Yavaşlatıcılar)

Uzun ve eğimin fazla olduğu rampa inişlerde taşıtın hızını belirli değerlerde tutmak, ana fren sisteminin yükünü azaltmak, aynı zamanda güvenliğini de sağlamak amacıyla kullanılan fren sistemleridir.

## 3.2. Fren Çeşitleri

Yukarıda kısaca tanımlanarak aktarılan genel fren sistemlerinin dışında, frenleme sistemleri çok değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Aşağıda ise dört alt başlık altında gruplara ayrılarak sınıflandırma yapılmıştır. Bu frenleme sistemleri ise frenin tasarımsal olarak farklılaştığı her birinin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajlarının bulunduğu sistemlerdir. Bu frenler aynı amaca farklı yöntemleri kullanarak ulaşırlar.

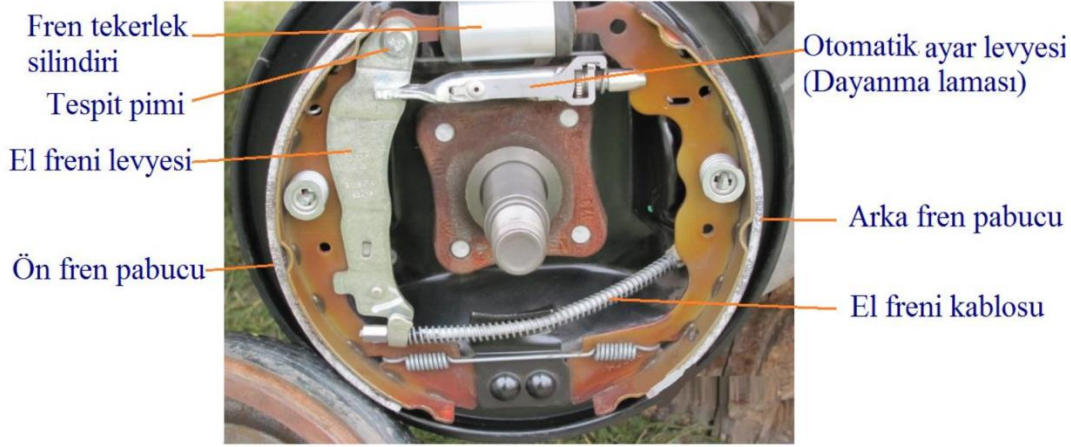
- Mekanik Frenler
- Hidrolik Frenler
- Havalı Frenler
- Elektrikli Frenler
- Diğer Frenler

### 3.2.1. Mekanik Frenler

Bu tür fren sistemleri, sürücünün ayak ile uyguladığı kuvvetin mekanik bağlantı elemanları ile tekerleklerle iletilmesi esasına göre çalışır. Özellikle el frenleri buna önemli bir örnek teşkil etmektedir. Çeşitli tipleri kısaca aşağıda verilmiştir[41].

#### 3.2.1.1. Tamburlu (Kampanalı) Frenler

Diğer adıyla kampanalı frenler olarak adlandırılan tamburlu frenler daha çok kamyonlarda, otobüslerde, bazı otomobillerin arka tekerleklerinde ve bazı motosikletlerde kullanılmaktadır. Tamburlu frenler, hareketsiz bir elemana montajı yapılmış olan iki fren pabucunun, dönen bir kampana iç yüzüne basınç (kuvvet) uygulayarak sürtünme oluşturması ve araç için istenen frenleme kuvvetini sağlama prensibine göre çalışır (Şekil 3.2).



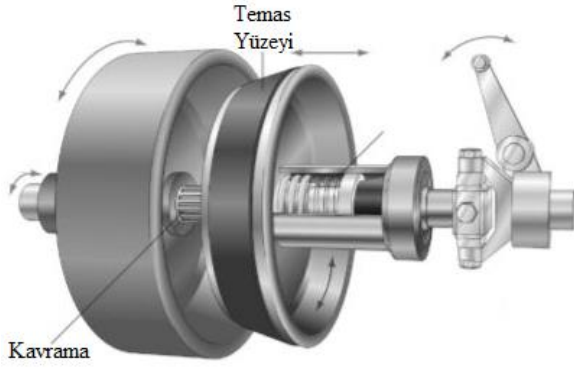
Şekil 3.2. Tamburlu (Kampanalı) Fren Sisteminin Elemanları

### 3.2.1.2. Diskli Frenler

Tez çalışmasına da konu olan disklere sahip olan mekanik fren sistemidir. En yaygın kullanılan fren sistemlerinden birisidir. Frenleme sırasında oluşan ısıyı çok iyi bir şekilde çevreye atan ve bu özelliğinden dolayıda çoğunlukla araçların ön tekerleklerinde kullanılan fren sistemleridir. Bu fren sistemleri, otoblokaj, yani; kilitlenme özelliklerine desahiptirler. Şekil 3.2’de fren sisteminin ana elemanları görülmektedir. Tezin daha sonraki aşamalarında disk ve balata sistemlerine daha geniş yer verileceğinden burada kısa tutulmuştur.

### 3.2.1.3. Konik Frenler

Kama etkisi sebebiyle bu tip frenler aynı büyüklükteki disk frenlere göre daha fazla frenleme momentine sahiptir. İstisnai olarak bazı yarış arabalarında yüksek performans gerektirdiği için kullanılsa da genellikle yıkama makineleri ve ekstraktör gibi iş makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konik kavramaların çalışma prensibine oldukça benzemektedir.



Şekil 3.3. Konik Fren

#### 3.2.1.4. Pabuçlu Frenler

Bu tip frenleri hız trenlerinde, genel amaçlı endüstriyel ekipmanlar ve pozisyonlama sistemlerde yaygın olarak görebiliriz. Aşağıda pabuçlu fren mekanizmasının kabaca şekli ve yaygın olarak tercih edildikleri alanlardan biri olan trenlerdeki kullanımı verilmektedir.



Şekil 3.4. Pabuçlu Fren ve Kullanım Alanı

#### 3.2.1.5. Bantlı Frenler

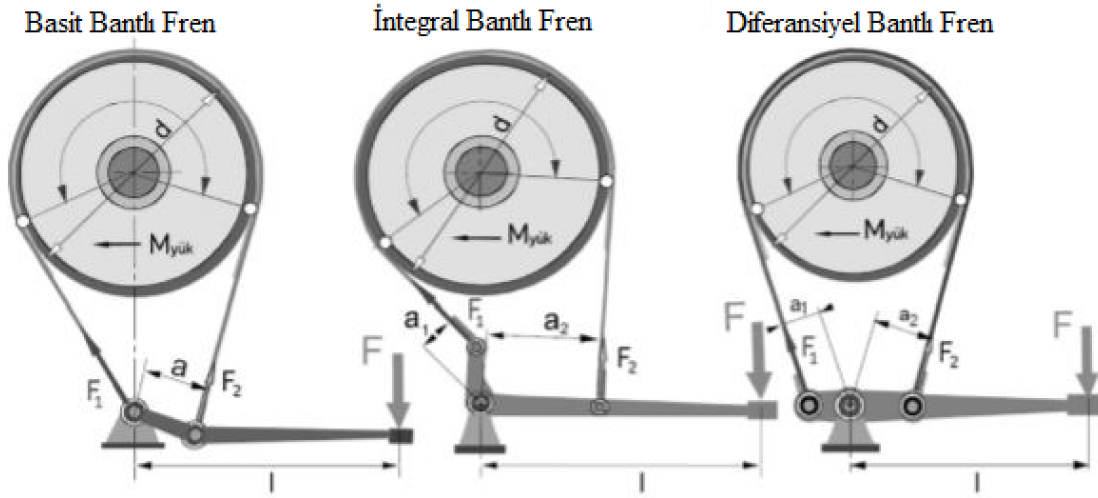
Tasarımsal olarak duran bir sisteme bağlı, bant formundaki metal üzerine, sürtünme malzemesi kaplanmış birelemanın, dönen tambura bir ön gerilme uygulaması sonucu frenleme işlevinin yerine getirildiği frenleme grubudur. Bu grup frenlerinin tasarımı oldukça basit olmasına rağmen yapıları kompakt ve sağlamdır. Ancak disk frenler kadar etkili değildirler. Zaman zaman bir miktar kaçırma ya da tam durduramama gibi durumlar oluşabilmektedir. Zincirli testerelerde, eğlence merkezlerinde kullanılan go-kart arabalarında, kaldırma amacıyla kullanılan makinelerde ve bazı bisiklet tasarımlarında



kullanılmaktadır. Çalışmaları sırasında ses çıkarmaları normal olarak karşılanabilir. Temel olarak bantlı frenleri 3 grupta toplayabiliriz. Bu tasarımlar tahrik manivelasının tasarımı ve mafsalsal noktalarının konumundaki farklılıklardan dolayı çeşitlilik göstermektedir. Bu gruplar;

- Basit Bantlı Fren
- İntegral Bantlı Fren
- Diferansiyel Bantlı Frenlerdir.

Bu tasarımların tamamında bir adet tambur, sürtünme malzemesi ile kaplanmış bir bant, tahrik manivelası ve kuvvet kaynağı mevcuttur. Aşağıda Şekil 3.6'de bu fren çeşitleri gösterilmektedir.

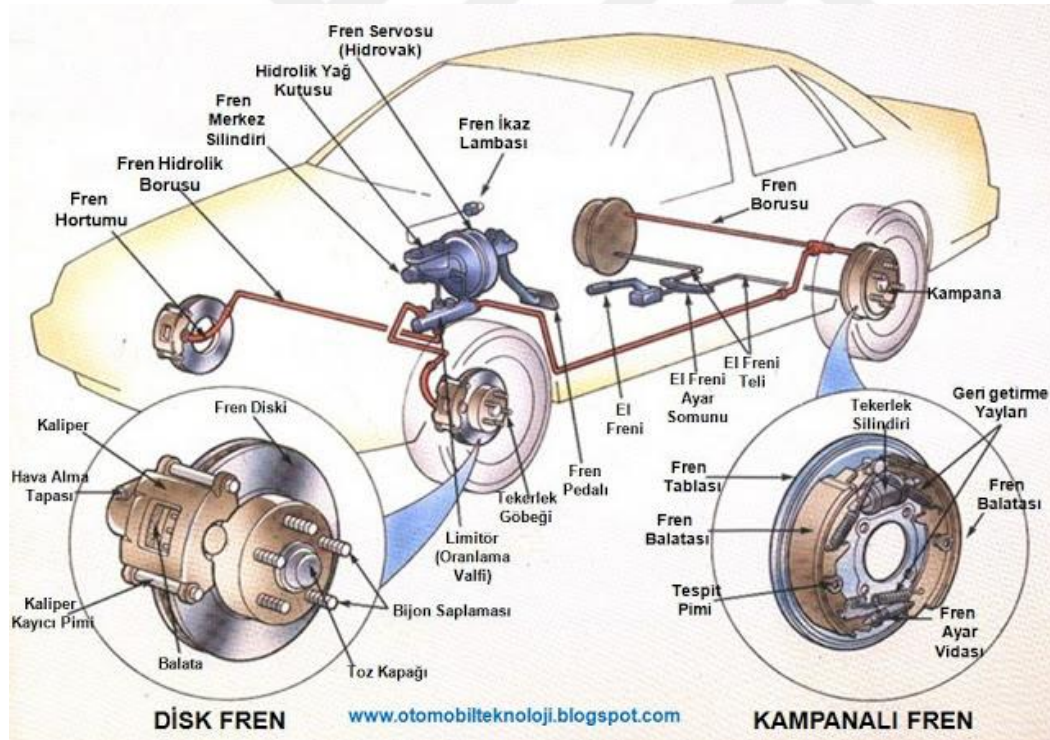


Şekil 3.5. Bantlı Fren Çeşitleri

### 3.2.2. Hidrolik Fren Sistemleri

Günümüzde; otomobil, otobüs ve kamyonlarda yaygın olarak kullanılan fren sistemlerinden birisidir. Hatta en yaygın olarak kullanılan sistem olarak değerlendirilebilir. Bu sistemlerde, kullanıcının ayağı ile çok küçük bir fren pedal kuvveti uygulanır. Ardından Pascal'ın kanunlarından biri olan akışkanların sıkıştırılmaz olması özelliğinden faydalanılıp fren hidroliği adı verilen bir akışkan kullanılarak çok daha büyük kuvvetler elde edilir. Hidrolik sistemler bu esasa göre çalışırlar. Taşıt fren pedalı, kaldıraç prensibine göre çalışır. Fren pedalına uygulanan küçük bir kuvvet, hidrolik boru ve hortumlar vasıtasıyla, tekerleklerde bulunan fren merkezine, aktararak, burada çok daha büyük bir kuvvete dönüştürülür. Pascal kanununa göre oluşan bu kuvvet, fren ana merkezi içerisindeki pistonlara iletilir. Fren sisteminde kullanılan basınca dayanıklı borular vasıtasıyla, her

tekerlek silindirlerine ulaşan basınç, kampanalı sistemlerde fren balatasını ve disk frenli sistemlerde fren disk balatasını harekete geçirerek, frenleme kuvvetinin oluşmasını sağlar. Örneğin diskli fren sistemlerinde, frene basıldığı zaman, piston hareket eder ve hidrolik sistem içerisindeki yağın basıncı ile kaliper adı verilen ve yine bu tezde değinilecek olan elemanlar kapanır (Şekil 3.6). Kaliperler kapandığı zaman, fren balataları ile tekerleklerde bulunan fren diskleri ile tekerlek diskleri birbirine yapışır. Bunun sonucunda araç yavaşlar ve durur. Hidrolik yağın eksilmesi, tamamen boşalması durumlarında, herhangi bir şekilde kampana içerisine veya balatalara sızarak sıvanması durumunda; örneğin uzun inişlerde sürekli fren yapılması sonucunda oluşan sıcaklık artışı veya herhangi bir nedenle fren balatalarının disk veya kampanaya hafif sürtünmesi durumlarında aşırı sıcaklık artışları meydana gelir ve bu nedenle taşıt fren sistemleri görevini yapamaz. Aşağıda güncel bir hidrolik fren sisteminin parçaları verilmiştir. Bu sistemde ön tekerlerde bulunan frenler diskli arka tekerlerde bulunan frenler kampanalı frendir.



Şekil 3.6. Hidrolik Fren Sisteminin Parçaları

Fren kuvveti oluşturmasında gerekli sürücü fren pedal kuvveti, otomobillerde yaklaşık 500 N, kamyonlarda yaklaşık 700 N'dur. Mekanik frenlerde mekanik olarak, hidrolik sistemlerde hidrolik çevirme oranları ile kuvvetlendirilmektedir

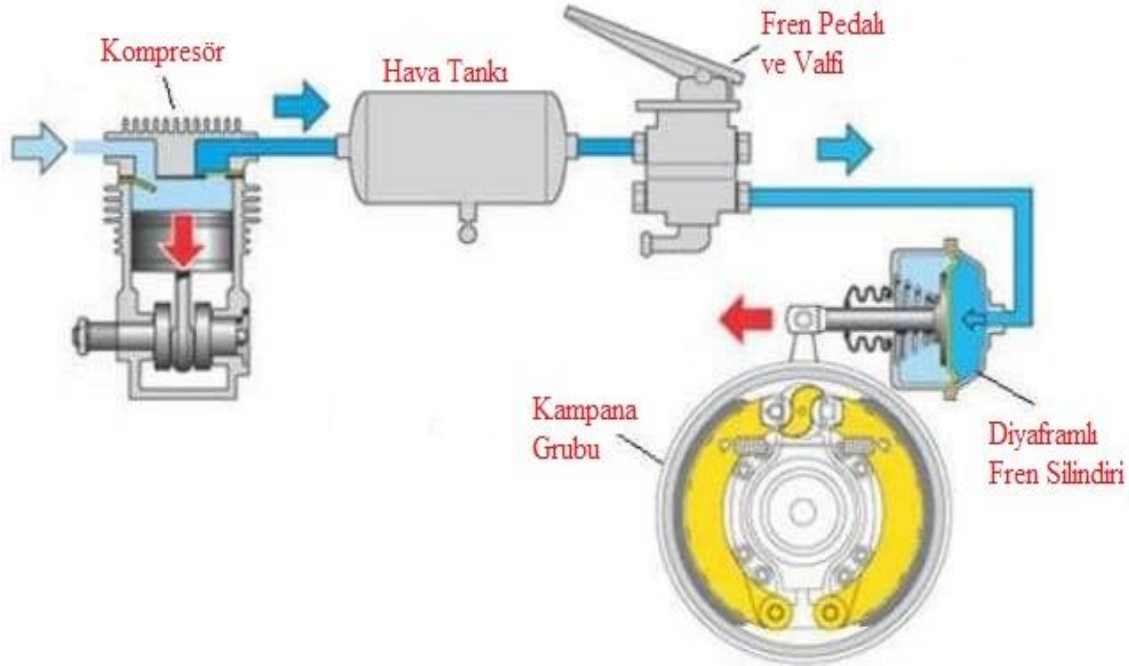
Bu sistemin en büyük avantajlarından bir tanesi ise kullanıcının ayağı ile uyguladığı küçük

bir kuvvet ile çok büyük derecede kuvvet elde ediliyor olmasıdır. Fren merkez pompasında etkin olan basınç, tekerlek silindirlerinin hepsine eşit miktarlarda aktarılır. Frenleme kuvvetini değiştiren bir diğer parametre ise tekerlek silindirlerinin çaplarıdır. Frenleme kuvveti tekerlek silindirinin çapına bağlı olarak doğru orantılı değişecektir. Eğer aracın ön tekerleklerinde frenleme kuvvetini fazla istiyorsak ön silindir normalinden daha büyük olmalıdır.

### 3.2.3. Havalı Fren Sistemleri

Günümüzde büyük tonajlı ve yüksek-ağır hizmet tipi taşıtların, daha yaygın adıyla ağır vasıtaların sayılarının artması, bu taşıtların yaygın olarak kullanılması, uzun mesafeli yollarda veya sürekli kullanılması ile bu taşıtlarda yüksek kapasiteli frenlere olan ihtiyaç doğmuştur. Böylece yeni fren sistemlerinin tasarlanması ve üretilmesi gündeme gelmiştir. Bu alanda kullanılan en önemli ve yaygın fren sistemlerinden birisi de havalı fren sistemleridir.

Büyük kapasitede yükleri taşıyan, büyük tekerlekli taşıtlarda çok yaygın kullanılan havalı frenler; az bir pedal kuvvetiyle, en iyi, yüksek kuvvet uygulamalı frenlemeyi sağlamak üzere tasarlanmışlardır. Sistemin ana elamanları aşağıda Şekil 3.7'de verilmektedir:



Şekil 3.7. Havalı Fren Sisteminin Ana Elamanları

Sistemde bulunan bir kompresör aracılığı ile basınçlı hava üretilmektedir ve fren sistemine

basılmaktadır. Fren pedalına her basıldığında sistemdeki hava boşalmakta ve fren sistemi devreye girmektedir. Hidrolik sistemlerde herhangi bir nedenle yağ sızıntısı olduğunda veya sistemde hidrolik yağ kalmadığında fren sisteminin çalışması mümkün değilken, havalı fren sistemlerinde hava sistemden boşaldığında, fren sistemi devreye girerek taşıtı durdurur. Fren sisteminde hava bulunmadığında sistem kendisini kilitler. Bu nedenle böyle bir durum oluştuğunda taşıtı hareket ettirmek mümkün olmaz.

### **3.2.4. Elektrikli Frenler**

Bu fren tasarımında ise fren pedalı bir tel aracılığı ile aracın elektronik beynine bağlanır. Pedalın görevi diğer sistemlerde olduğu gibi yine aynıdır. Ancak bu sefer fren pedalına basış hızı ve tekrar sayısına göre, sistem ne kadar acil bir fren ihtiyacımız olduğunu anlayabilmektedir. Elektronik fren beyni bu bilgi ve diğer araç bilgilerini birleştirerek her teker için gerekli olan fren kuvvetini hesaplayabilmektedir. Elektrikli frenlerde gerekli fren basıncı, merkezi hidrolik ünitesinde oluşturulmaktadır. Eğer elektrik sisteminde herhangi bir olumsuzluk ortaya çıkarsa, direkt olarak ikinci bir sistem yani yedek hidrolik fren ünitesi devreye girmektedir. Böylelikle çıkabilecek herhangi bir olumsuzluğun önüne geçilmektedir.

### **3.2.5. Diğer Fren Sistemleri**

Günümüzde maliyetleri fazla olmasına karşılık kullanımları yaygınlaşan ve sahip oldukları teknoloji ile başarılı ve etkili olan bazı fren sistemleri vardır.

- Elektromanyetik Frenler
- Manyetik Frenler
- Manyetik Tozlu Frenler

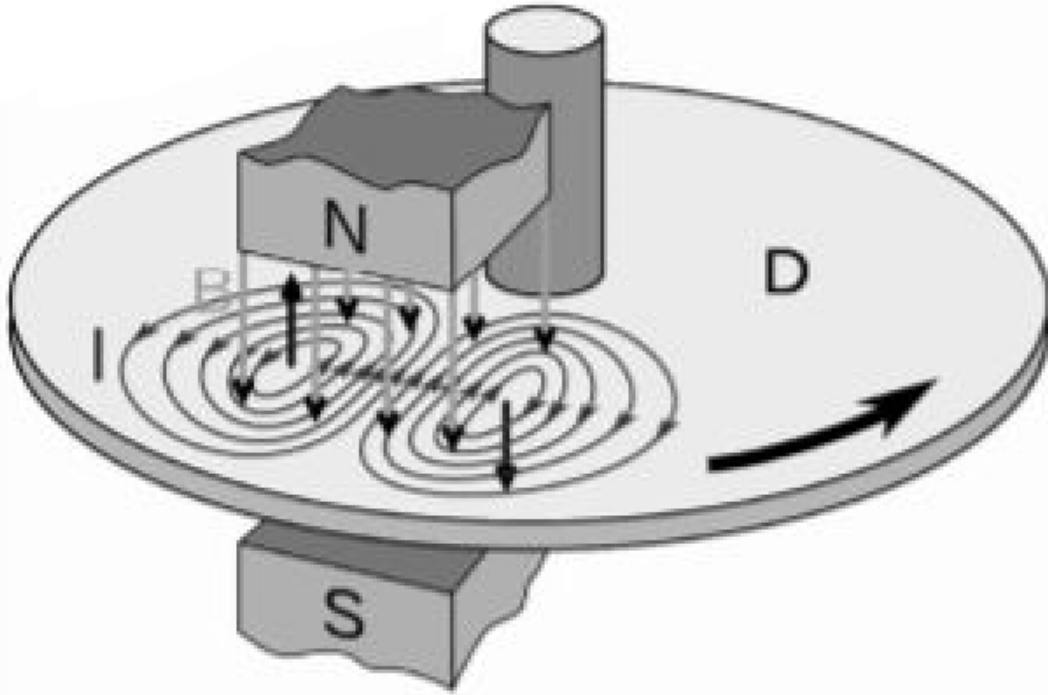
#### **3.2.5.1. Elektromanyetik Frenler**

Tasarımsal olarak hemen hemen elektromanyetik kumandalı sürtünmeli kavramalar ile aynıdır. Yarı sabit sisteme bağlıdır. Yukarıda da bahsedildiği gibi pahalı bir çözüm olmasına rağmen bazı sistemlerde tercih edilirler. Frenleme momenti, dönme hızının bir fonksiyonudur. Moment kontrolü gereken pek çok uygulamada bu tip frenler kullanılır. Metal elemanlar arasındaki boşluk oldukça önemli bir faktördür. Sistemde dolaşan akım

arttıkça frenleme momenti de artar.

### 3.2.5.2. Manyetik Frenler

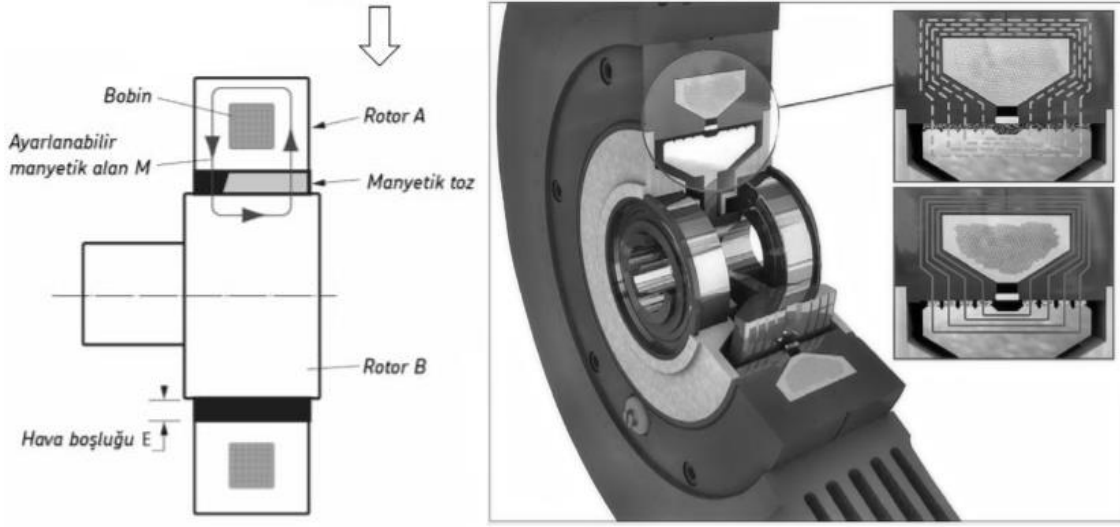
Bu fren sisteminde teker ile eş eksenli disk mevcuttur. Bu disk aynı zamanda bir manyetik alan içerisinde döner. Diskin dönmesi sırasında sistemde bulunan magnetlerin etrafında akım oluşur ve disk harekete ters yönde bir kuvvete maruz kalır. Aşağıda bu fren sistemine ait görüntü bulunmaktadır. Burada manyetik akı N'den S'ye doğrudur. Bu manyetik akı diskın dönmesi ile birlikte değişmektedir.



Şekil 3.8. Manyetik Frenler

### 3.2.5.3. Manyetik Tozlu Frenler

Çalışma prensibi olarak manyetik tozlu kavrama ile aynıdır. Sadece göbeklerden biri sisteme bağlanmıştır. Manyetik tozlu kavramanın prensip şeması aşağıda verilmektedir. Burada A rotoru sabit sisteme bağlıdır.



Şekil 3.9. Manyetik Tozlu Frenler

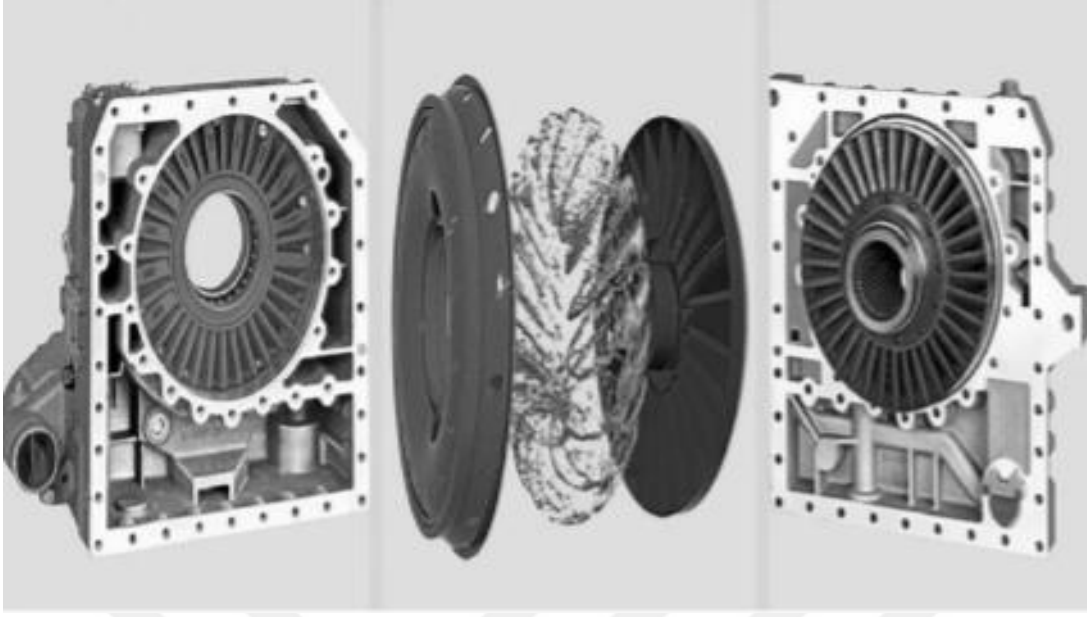
Bu tip fren ve kavramalarda, elektronik voltaj kontrolü yardımıyla istenilen torklara kademesiz olarak geçiş yapılabilmektedir. Mekanik sürtünmeler oldukça azdır ve bu nedenle uzun ömürlüdürler. Ayrıca bakım gerektirmezler.

### 3.2.6. Yavaşlatıcı Fren Sistemleri

Bazı fren sistemlerinde asıl amaç durdurmak değildir. Bu fren sistemlerinde asıl amaç hızı azaltmak ve bu yolla kontrol altında tutmaktır. Genellikle ağır tonajlı araçlarda; otobüs, kamyon, askeri araçlarda kullanılmaktadır.

#### 3.2.6.1. Hidrodinamik Frenler(Retarder)

Yavaşlatıcılar, yüksek hızda dönmekte olan bir sistemin hızını gerektiğinde düşürmek için kullanılan elemanlardır. Aşınmanın olmadığı fren işlevi yapar. Bir tarafı sabit bir yere bağlanmış olan, yani dönmeyen bir kavrama gibi davranır. Gerektiğinde içine bir kontrol sistemi tarafından yağ verilir ve bir yavaşlatma momenti ortaya çıkar. Yavaşlatıcı büyük boyutlu taşıtlarda kullanıldığı gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda da kullanılır. Aşağıda retardera ait bir görüntü verilmektedir. Retarderda fren momenti, sistem içerisine basılan yağın miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle sistemde bir kademelendirmeye ihtiyaç vardır.



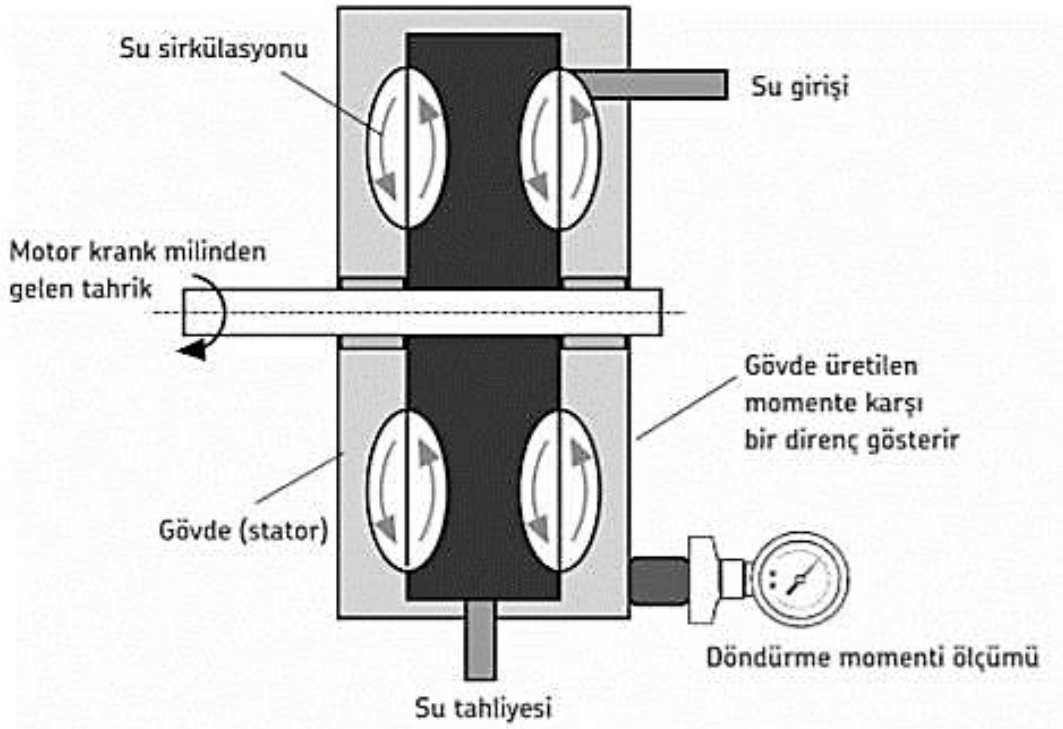
Şekil 3.10. Hidrodinamik Frenler (Retarder)

### 3.2.6.2. Su Freni

Genellikle güç ölçümü için kurulan test sistemlerinde yük momenti oluşturmak ve bu yolla gücü ölçmek amacıyla kullanılır. Çalışma prensibi hidrodinamik yavaşlatıcılar ile birebir aynıdır.

Bağlı olduğu motor krank milinden tahrik momenti gelir. Bu çıkışa bir pompa bağlıdır ve sisteme su basılır. Dolayısıyla motorun ürettiği momentre bir direnç meydana gelir. Su çıkışına ölçüm sistemi bağlıdır. Bu durum aşağıda Şekil 3.11’de şematize edilmektedir.





Şekil 3.11. Su Freni Çalışma Prensibi

### 3.3. Fren Kuvvet Sistemleri ve Elemanları

Frenleme, aracın kinetik enerjisini ısı enerjisine çevirerek aracın hareketini durdurma veya aracın hareketini yavaşlatma için kullanılmaktadır. Frenleme işlemi hareket eden taşıtta ve hareketsiz taşıtta değişken görevler üstlenmektedir. Frenleme, hareket halindeki araçta, aracın durdurulması ve yavaşlatılması sorumluluğunu üstlenmektedir. Ayrıca frenleme, araçların yokuş aşağı hareket ederken yada düz yolda ilerlerken ulaştığı hızı koruyarak hareketin kontrollü bir şekilde devamlılığını sağlar. Hareketsiz araçlarda ise mevcut konumunu muhafaza etmek ve aracın emniyetli şekilde park edebilmesi için kullanılırlar.

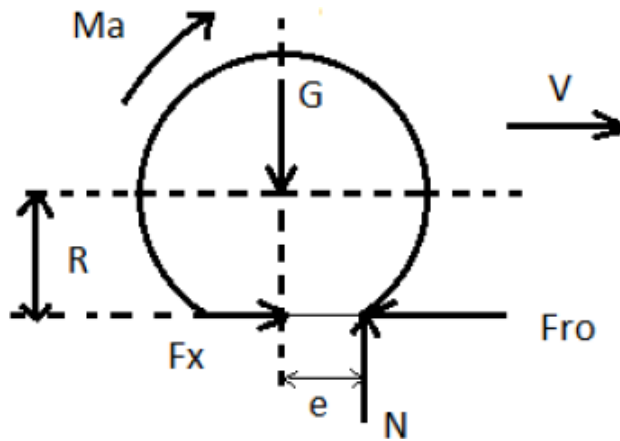
Disk frenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü güçlü ve modüle edilmiş yani düzenli bir frenlemeye izin verirler. Bugün ABS olarak mekatronik sistemler ile birleştirilmişlerdir [25,26]. Hareket sırasında araca kinetik enerji yüklenir. Frenler, taşıtın sahip olduğu bu kinetik enerjinin dönüştüğü ısıyı yayarak bu enerjiyi azaltma veya yok etmeyi amaçladınır. Zorlu bir frenleme sırasında 400°-500°C sıcaklık elde edildiğinden, malzemelerin bu yüksek mekanik ve ısıl gerilmeleri karşılamaları gerekir. Disk fren ve balataların yüksek bir termal iletkenliğe, yüksek bir hacim-yüzey oranına, yüksek bir mekanik dirence ve aşınmaya sahip olmaları gerekir. Disk, atalet kuvvetlerini ve dengelenmemiş kütle



azaltmak için sınırlı bir kütleye sahip olmalıdır; dahası, pabuçlarla temasın düzgün kalmasını sağlamak için fren bölgesinin yüksek zorlamalara dayanabiliyor olması gerekir[27,28]. Daha yakın zamanlarda problem vardı. Şöyle ki; sonlu elemanlar metodu ile ilk önce aksenal simetrik bir şekilde, bütün bir alanın ardından [29- 32] işlem görmekteydi. Diskteki termal ısı akışı ve gerilmenin daha doğru bir açıklamasını elde etmek için ve mekanik talepleri karşılamak için yapılırdı. Disk frenlerindeki problem ise şudur: Romiti teorisini kullanarak karma bir şekilde veri alınması tartışılmaktadır[33-36]. Genelde disk kontağını Reye hipotezi uygulanarak elde ediliyor. Ayrıca bir termo - mekanik analiz, yataklar ve basınç silindirlere [37,38] ile yapılmaktadır ve bazı yapısal parametrelerin değişkenliği hesaba katılarak yapılmaktadır [39].

### 3.3.1. Tekerleğe Etki Eden Kuvvetler

Belli hızlarda seyreden bir aracın sahip olduğu kinetik enerji, frenleme sırasında tekerleklerden fren disk ve balatalarına aktarılır. Bu nedenle tekerleklere etki eden kuvvetlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu kuvvetlerin bilinmesi hem güvenli seyir ve güvenli durma eylemleri için önemlidir hem de taşıt diskinde oluşan gerilme ve ısı dağılımlarına ulaşarak analiz edebilmek amacıyla gerekli olabilir. Araçlarda tekerlek ve yer arasındaki kuvvetler Şekil 3.12’de gösterilmektedir:



Şekil3.12. Tekerleğe Gelen Kuvvetler

$F_{ro}$ :DönmeDirenci(N)

$N$ :Tekerleklere Gelen Tepki Kuvveti(N)

$G$ :Tekerlere Etki EdenAğırlık(N)

$R$ :Tekerleğin Yarıçapı(m)

$V$ :AraçHızı(m/s)

$F_x$ : Uygulanan Tahrik Kuvveti(N)

$e$ :Tekerlekteki Basınç Merkeziyle Geometrik Merkez Arasındaki Fark (m)

$f_r$ : Yuvarlanma Direnci Katsayısı

$M_a$ : Tahrik Momenti (Nm)

Tekerleğe gelen kuvvetlerden kısaca bahsedecek olursak dönme direnci, harekete ters yönde ve hareketin ilk aşamalarında ortaya çıkar. Ayrıca tekerleğin kendi ağırlığı da bu konuda etkilidir. Bu kuvvet ve dirençler tekerleğin özelliklerine göre değişmekte olup bir katsayı ile çarpına dönüşür. Tahrik momenti aracın motoruna transmisyonuna oradan da tekerlere aktardığı momenttir. Tahrik kuvveti ve teker yarıçapına bağlıdır.

**Taşıtın Gideceği Yöndeki Tutunma Kuvveti:**

$V_a$ =Aracın Hızı

$V_t$ =Tekerleğin Hızı

$F_{tut} = F_t \cdot \mu_{tut}$

$F_t$ : Tahrik Kuvveti (N)

$F_{tut}$ : Tutunma Kuvveti (N)

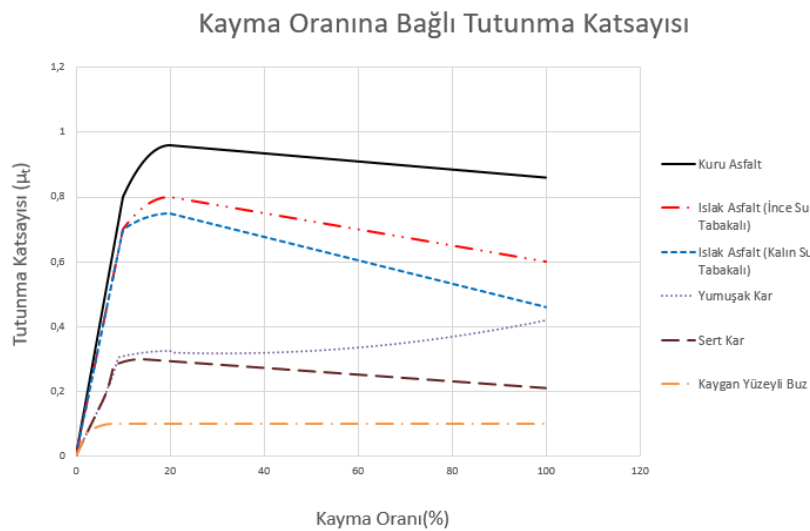
$\mu_{tut}$ : Tutunma Katsayısı

$\mu_{tut}$ : Zemin şartlarına göre değişiklik gösterebilen bir değerdir.

Kayma Oranı =  $(V_a - V_t) / V_t$

Zemin şartları aracın kayma oranını değiştirebilmektedir. Tutunma katsayısının hava şartlarına göre değişimini içeren grafik aşağıda Şekil 3.13'teki gibidir

Bu grafikte de görüldüğü gibi zemin şartlarının ıslak olmayan yol, ıslak yol, kar ve buzlu yüzey durumlarında direnç karşılama katsayısının kayma orantısına bağlı etkisi incelenmiştir. Kaygan yüzeye sahip buzlu katmanlarda direnç karşılama katsayısı 0,1 dolaylarına kadar düşmektedir. Bu sırada fren yapma işi taşıtın kontrolünü büyük oranda olanaksız duruma getirmektedir.



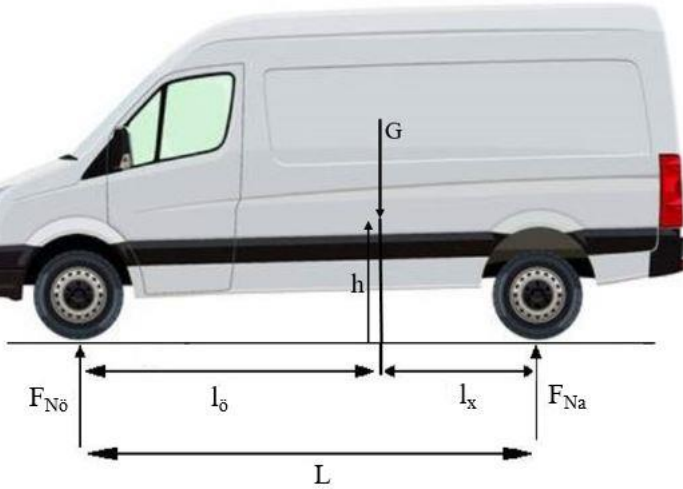
Şekil3.13. Kayma Oranına Bağlı Tutunma Katsayısı

### 3.4. Frenleme Durumunda Oluşan Kuvvetler

Aracın hareketli ve hareketsiz olma durumuna göre statik ve dinamik konumlarına göre incelenecektir. Araç dururken ön ve arka tekerlere gelen yük için tek parametre ağırlık merkezidir. Ancak araç harekete başladığında ön ve arka tekerlere gelen yükler ivme ile orantılı olarak değişmektedir. Bir teker üzerindeki yük frenleme performansını ve süresini doğrudan etkiler. Bu nedenle tezde, bu konuya değinilmesi uygun görülmüştür.

#### 3.4.1. Statik Konumdaki Aks Yükleri

Duran bir taşıtta yada aynı hızla hareket halindeki bir taşıta etki eden kuvvetlerdendir. Ön ve arka aksların etki altındaki kuvvet, yük ayrışma durumuna göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.14. Bir Taşıta Etkiyen Statik Yükler

$\psi$ : Statik Konumdaki Aks Yükü Dağılımının Oranı

$$\psi = F_{Na}/G \quad 1 - \psi = F_{Nö}/G$$

Ön Aksın Momenti Alındığında;

$$G \cdot l_ö = F_{Na} \cdot L \cdot l_ö = F_{Na} L / G \cdot l_ö = \psi \cdot L$$

Arka Aksın Momenti Alındığında;

$$G \cdot l_a = F_{Nö} \cdot L \quad l_a = F_{Nö} L / G \quad l_a = (1 - \psi) \cdot L$$

$F_{Nö}$ : Statik Durumdaki Ön Dingil Yükü

$F_{Na}$ : Statik Durumdaki Arka Dingil Yükü

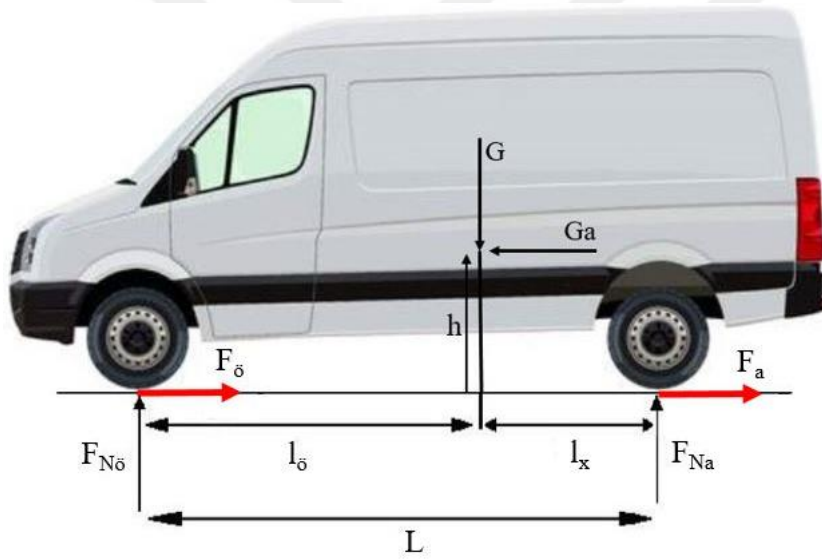
$L$ : Ön ve Arka Dingilin Arasında Kalan Mesafe

$l_0$ : Ağırlık Merkezi ve Ön Aks Arasında Kalan Mesafe

$l_a$ : Ağırlık Merkezi ve Arka Aks Arasında Kalan Mesafe

### 3.4.2. Dinamik Konumdaki Aks Yükleri

Fren kuvveti etki ettiğinde araçta frenlemeyle ortaya çıkan sürtünme kuvvetinin, fren sisteminde ortaya çıkan fren torku, teker ve zemin arasında, tekerleğin çevresinde oluşan direnç ile karşılanır. Frenlemenin etkisiyle arka ve ön tekerleklerde oluşan fren sistemi kuvvetleri ve yavaşlamayla beraber  $G_a$  kuvvetlerinin ön aksa etkisi oluşmaktadır. Burada kuvvetlerin arka tekerleğin değme yerine göre burulma kuvvetlerinin denge durumundan, ön akstaki hareketli normal kuvvetler bulunmaktadır. Ön tekerlere göre moment alındığında ise arka akstaki dinamik normal kuvvet bulunur.



Şekil 3.15. Bir Taşıta Etkiyen Dinamik Yükler

#### Ön Aks Dinamik Yükü ( $F_{N0\text{din}}$ )

$$F_{N0}.L - G.l_a - G.a.h = 0$$

$$F_{N0}.L = G.l_a + G.a.h$$

$$F_{N0\text{din}} = G.l_a/L + G.a.h/L \quad l_a = (1-\psi).L$$

$$F_{N0\text{din}} = G. (1-\psi) + G.a.x$$

$$F_{N0\text{din}} = G. [ (1-\psi) - a.x ]$$

#### Arka Akstaki Dinamik Yük ( $F_{Na\text{din}}$ )

$$\text{Ön Tekerleğe Göre Moment Alındığında; } G.l_0 - G.a.h - F_{Na}.L = 0$$

$$F_{Na}.L = G.l_0 - G.a.h$$

$$F_{Na\text{din}} = G.l_0.L - G.a.h.L$$

$l_0 = \psi \cdot L$  yazılırsa;

$$F_{Nadin} = G \cdot \psi \cdot L / L - G \cdot a \cdot h / L$$

$$F_{Nadin} = G \cdot \psi - G \cdot a \cdot x$$

$$F_{Nadin} = G \cdot [\psi - a \cdot x]$$

**a:** Yavaşlama İvmesi

$$x = h / L$$

**h:** Araçtaki Ağırlık Merkezinin Yerden Yüksekliği

$$F_f = F_{din} \cdot M_{tut}$$

### **Ön Akstaki Dinamik Frenleme Kuvveti**

$$F_{\bar{o}} = (1 - \psi - x \cdot a) \cdot G \cdot \mu_{\bar{o}tut}$$

### **Arka Akstaki Dinamik Frenleme Kuvveti**

$$F_a = (\psi - x \cdot a) \cdot G \cdot \mu_{atut}$$

**L:** Ön ile Arka Aks Arasında Kalan Mesafe

**$\mu_{\bar{o}tut}$ :** Ön Tekerleklerdeki Tutunma Katsayısı

**$\mu_{atut}$ :** Arka Tekerleklerdeki Tutunma Katsayısı

## **3.5. Frenleme İşi ve Gücü**

Bir fren pedalı üzerinden gerçekleştirilen basınç, tekerleklere gönderilir. Frenin gücü, istenilen frenin basıncını, gerekli denklemlerde hesaplamaların ardından bulunur.

### **3.5.1. Frenleme İşi**

$$N_t = N_y + N_h + N_e + N_i$$

**Yuvarlanma Direnci;**  $N_y = G \cdot f_r \cdot V$

**G:** Araç Ağırlığı (N)

**V:** Araç Hızı (m/s)

### **Hava Direnci**

$$N_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot A \cdot V^2$$

**$\rho$ :** Havadaki Özgün Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

**C:** Aerodinamik Direnç Katsayısı

**A:** İzdüşüm Alanı (m<sup>2</sup>)

### **Yokus Direnci**

$$N_e = G \cdot \tan(\alpha) \cdot V$$

**$\tan(\alpha)$**  : Yokuşun Eğimindeki İvmelenme Direnci

$$N_i = G \cdot \lambda_{\max} \cdot g \cdot V$$

**$\lambda_{\max}$**  :Döner Kütle Faktörü

**g**:Yerçekimi İvmesi ( $m/s^2$ )

$$N_t = N_f + N_m/k$$

**$N_t$** :Toplam Tekerlek Kuvveti (N)

**$N_m$** :MotorMomenti (N)

**$N_f$** : Fren Kuvveti(N)

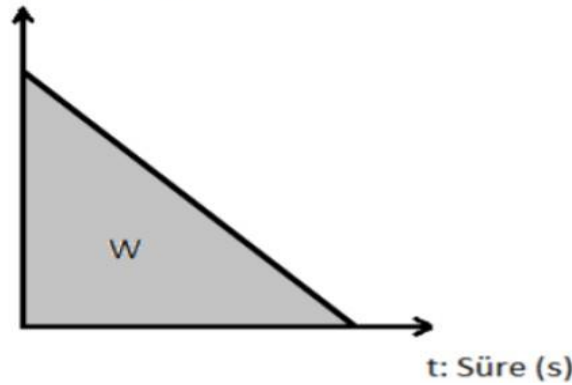
**k**:GüçAktarmaOrganlarındakiVerim

**FrenGücü**:  $N_f = -N_m/k + (f_r + \tan(\alpha) + \lambda \cdot a/g)G \cdot V + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot A \cdot V^3$

### **3.5.2. Fren Gücü**

Fren sistemi araçtaki hareket enerjisini sürtünme yolu ile ısı enerjisine dönüştürerek taşıtın durmasına yada hızının azalmasına neden olur.

**$N_t$ : Fren Gücü (kW)**



Şekil3.16. Fren Gücünün Zamana Bağlı Oranı

Frenleme işi, frenleme gücünün zamana göre integralinden hesaplanmaktadır:

$$W = \int_0^t N_f \cdot dt$$

### **3.6. Frenleme Yapan Bir Araçta Performansa Etki Eden Faktörler**

Frenleme performansı, taşıtın kısa mesafelerde durabilmesi, etkin bir fren sistemi olduğu

anlamına gelmektedir. Frenlemenin iyi olması sürücüye, frenleme mekanizmasının tasarımına, frenleme mekanizmasının durumuna ve dış etkenlere bağlıdır.

Frenleme sistemine etkileyen etmenler şöyle sıralanmaktadır:

- 1-Frenleme süresi,
- 2-Frenleme ile eşgüdümlü hareket eden parçalardaki son durum,
- 3-Fren sistemindeki düzenlemelerin yapılması,
- 4-Yer ile lastiklerin arasındaki sürtünme katsayısı.

### 3.7. Fren Sisteminin Zaman Aralığı ve Aşamaları

**Tepki Aşaması:**Sürücü fren zamanını algılaması, tepki vermesi ve gaz pedalından fren pedalına basana kadar geçen zaman aralığıdır.

**Pedal Gücünü Artırma İşlemi:**Frene basıldıktan sonra en yüksek fren gücüne dönüşme zamanıdır.

**Tepki Süresi:**Mekanik boşlukların sürtünme elemanları arasında geçtiği zamandır.

**Basınç Yükseltme Süresi:**Frendeki basıncın arttığı ve maksimum basıncın ulaştığı zamandır.

**Frenlemede Geçen Toplam Zaman:**Frenlemenin en yüksek ivmesine ulaştıktan sonra taşıtın durmasına kadar geçen zamandır. Bu aralıkta sabit ivme mevcuttur.

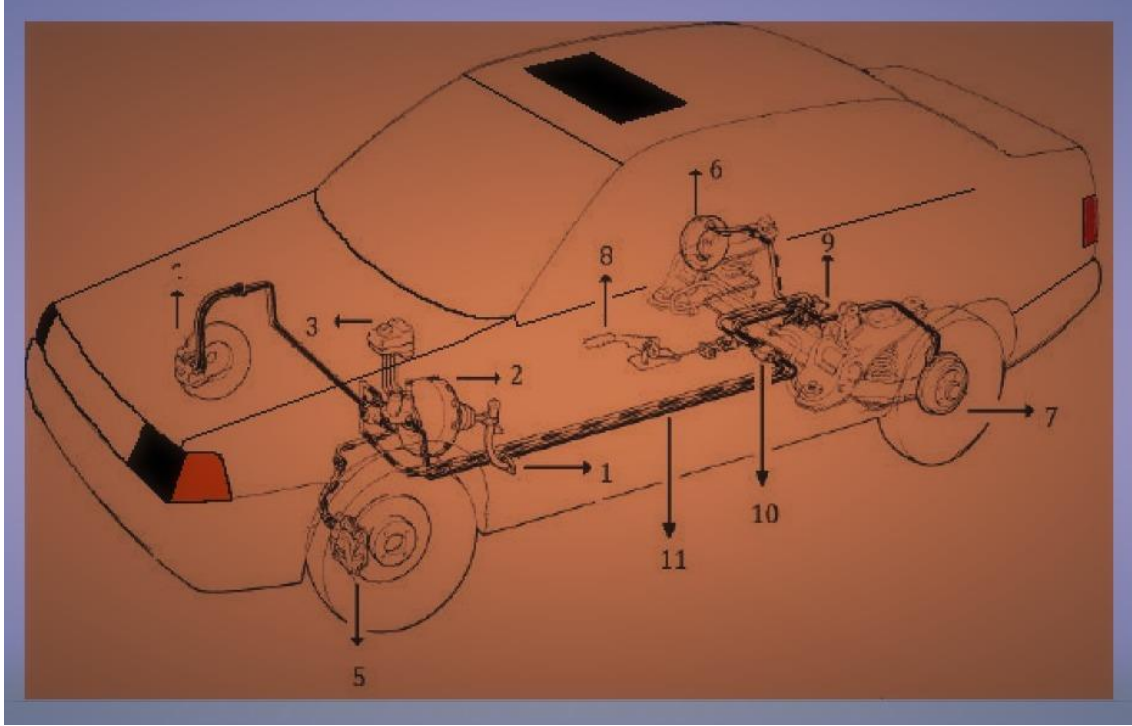
### 3.8. Taşıtlarda Kullanılan Fren Mekanizmaları ve Parçaları

Araç frenlemesinde kullanılan model sürtünmeli lastik frenleridir.Böyle olan frenleme sistemlerinde doğrudan tekerlek üzerine monte edilen fren mekanizmaları kullanılır. Daha öncesinde de bahsettiğimiz gibi frenleme eylemi sürtünme yoluyla yapılmaktadır. Bu sürtünme için gerekli kuvvet günümüz taşıtlarında kampanalı fren ve disk fren mekanizmaları ile sağlanmaktadır. Aşağıda ön iki tekerinde disk fren kullanılan, arka iki tekerinde kampanalı fren mekanizması kullanılan bir aracın frenleme sistemindeki parçalar verilmektedir.

#### 3.8.1. Bir Taşıtın Fren Sisteminde Kullanılan Parçalar

- 1.FrenPedalı
2. Fren Merkezi ve ServoFren
- 3.HidrolikSıvı Deposu
4. Sağ Öndeki Fren Diski

- |                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 5. Sol Öndeki Fren Diski   | 6. Sağ Arkadaki Kampana  |
| 7. Sol Arkadaki Kampana    | 8. El Freni (Park Freni) |
| 9. Fren Regülatörü         | 10. Yönlendirici         |
| 11. Hidrolik Sıvı Boruları |                          |



Şekil 3.17. Bir Frenleme Mekanizmasının Genel Yapısı

### 3.8.2. Kampanalı Fren

Kampana fren sistemi yaygın olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Günümüzde de özellikle elektronik sistemlerin araçlara entegre edilmesi ile birlikte kullanımı aşama aşama azalmaktadır. Frenleme; pedaldan gelen mekanik kuvvetin hidrolik pistonlara aktarılmasıyla, pistonun balataya karşı uyguladığı kuvvet ve kampananın üzerine gelen kuvvet ile sağlanmaktadır. Bu kuvvet ile teker durdurulur, yavaşlatılır ya da hızı kontrol edilir. Fren süreci sona erdiğinde gerilmiş olan yayların gevşemesiyle balata kampananın yüzeyine değmeden eski konumuna geri dönmektedir.

Kampananın üzerinde, frenleme anında oluşan aşınmalar ile zamanla balatanın yüzeyinde kalınlık kaybı oluşur. Burada oluşan aralık farkını ortadan kaldırmak için mekanizmanın içinde bulunan ayar kısmında bulunan dişli çevrilerek, oluşan yükseklik farkları ayarlanabilmektedir.



### 3.8.2.1. KampanaFren Sisteminde Kuvvet Analizi

Fren sistemindeki frenleme torku ile tekerlek torkunun denklemleri eşitlenir. Doğru bir frenleme için tekerlek torku fren torkuna eşit olmalıdır. Teker torku fren torkundan büyük olduğunda frenleme süresi oldukça uzar. Frenleme torku ya teker torkundan büyük ya da teker torkuna eşit olmalıdır. Böylece doğru ve güvenli bir frenleme sağlanmış olacaktır. Aşağıda bu konuyla alakalı Fren-Teker Tork Denklemi verilmektedir:

$$T_f = T_{tek}$$

$$\mu \cdot N_{kb} \cdot R_K = \mu_{tut} \cdot G \cdot R$$

**T<sub>f</sub>** :FrenTorku

**T<sub>tek</sub>**: TekerlekTorku

**N<sub>kb</sub>**: Kampana-Balata Arasındaki Sürtünme Kuvveti

**G**: Taşıt Ağırlığı

**R**: Lastik Yarıçapı

**R<sub>K</sub>**: Kampanın Yarıçapı

**μ<sub>tut</sub>**: Zemin ile yol arasındaki tutunma katsayısı

### 3.8.3. Diskli Frenler

Fren diskleri, bağlantı elemanları ile tekerlek merkezine sabitlenerek hareket ederler. Aracın yavaşlaması ya da hareketsiz hâle gelmesi sırasında, balatalar fren diskini sıkıştırır. Bu sıkıştırma diskin hareket hızını ve buna bağlı olarak tekerleğin hareket hızını azaltarak yavaşlatılmasını, durdurulmasını ya da hızının kontrol altına alınmasını sağlamaktadır.

Frenleme anında lastiğin ve lastiğe bağlı bulunan diskteki kinetik enerji, balataların birbirine temasıyla enerjiye dönüşür. Fren diski ortaya çıkan bu ısının zarar veremeyeceği sıcaklığa dayanıklı malzemedan imal edilir. Fren diskleri, frenleme yapıldığı anlarda etkili biçimde soğutma olayına ve aynı zamanda ısı artışına da maruz bırakılır.

Fren diskleri, balata ile birlikte çalışırlar. Bundan dolayı fren disklerinin ön ve arka yüzeyleri pürüzsüz şekilde imal edilmektedir. Bu pürüzsüzlük hem frenlemenin kalitesini arttırır hem de balatanın ömrünü uzatır. Bu nedenle senkronize şekilde hareket eden bu yüzeylerin rijit olacak şekilde imal edilmesi gerekmektedir. Bu diskler düzgün şekilde imal edilmez ise kötü bir frenleme performansı sergiler. Fren diski, değişik geometrik şekillerde

imal edilir ve frenleme anında oluşan ısıyı hava ile temas ederek ortam dışına iletir. Yüksek derecelerdeki sıcaklıklarda yapılan frenleme, diskte deformasyonlara sebep olacak şekilde sonuç doğurabilir. Ancak aynı araçta bulunan balatanın ve diskin değişme ya da bakım süreleri kıyaslandığında fren diskinin bakım süresi çok daha uzundur.

### **3.8.3.1. Disk Fren Çeşitleri**

Otoblokaj(kilitlenme) durumunun oluşmaması, elektronik sistemlerin kolay entegrasyonu(ABS, ESP, ASR vb.), oluşan frenleme ısısının dağılımındaki başarı ve güvenilir sürüş gibi birçok nedenden ötürü günümüz otomobillerinde disk fren kullanımının oldukça yaygın olduğu tezin bu bölümünde daha önceki aşamalarda belirtilmişti. Ayrıca, disk üzerinde yapılacak olan termal analizlerde normal(hava kanalsız) disk fren ve delikli(hava kanallı) fren diskleri kullanılacağı için tezin bu aşamasında ise disk fren çeşitlerinin anlatılmasının doğru olacağı düşünülmüştür. Kısa bir tanımlama ve kıyaslama ile tasarımsal olarak farklılık gösteren fren disklerinin çeşitlerine değinilmektedir.

#### **3.8.3.1.1.Normal Disk Fren**

Standart otomobillerde en yaygın olarak kullanılan tasarımıdır. Maliyet olarak bakıldığında daha ucuzdur. Üretim tekniği olarak incelendiğinde dökümden çıkan diskin frenleme yüzeyi istenen toleransta pürüzsüz olacak şekilde işlenir. Uçlarda ya da agresif bir sürüşün olmadığı koşullarda kullanıldığında yeterli performansı vermektedir. Sürüş tipi ve koşulları olumsuz yönde değiştiğinde bazı konularda yetersiz kalabilmektedir. Bu durumlarda delikli ve oluklu disk fren çeşitleri tercih edilmektedir.

#### **3.8.3.1.2. Delikli Disk Fren**

Isıyı dağıtma konusunda çok daha başarılı olduğu için yüksek hızlara çıkan, sert frenleme yapan ya da yapması beklenen; örneğin spor araçlarda kullanılır. Delikli disk frenlerde sürtünme yüzeyi daha fazladır. Bu da durma sürtünme kuvvetinin artmasını sağlamakta ve durma mesafesini kısaltmaktadır. Ayrıca delikler balata yüzeyini traşladığı için her frenlemede yeni bir balata yüzeyi ile frenleme sağlanmaktadır. Ayrıca frenleme sırasında ve sonrasında oluşan gazların tahliyesinin sağlanması ile frenlemenin kalitesini bir kademe

daha arttırmaktadır. Delikli disk frenlerin tercih edilme nedenlerinden birisi de disk üzerinde bulunan deliklerin zamanla sportif bir görüntü ile özdeşleşmiş olmasıdır. Dolayısıyla otomobillerinin daha sportif bir görüntüye sahip olmasını isteyen kullanıcılar tarafından da tercih edilmektedir.

### 3.8.3.1.3. Oluklu Disk Fren

Termal ve frenleme kalitesi anlamında delikli fren diskleri ile benzer özellikleri gösterir. Aynı şekilde aşırı uç-agresif kullanıma sahip araçlarda, kütlesi fazla olan araçlarda, spor ve lüks araçlarda kullanılan bir çözümdür. Oluklu disk, mekanik direnç anlamında delikli diskler ile kıyaslandığında daha yüksek bir mekanik dirence sahiptir. Oluklu disk fren yağmur, toz, çamur gibi frenlemenin kalitesini ve performansını düşüren şeylerin tahliyesini sağlar. Ayrıca bu maddelerin kesintisiz olarak disk yüzeyinde bulunmasını engellediği için frenleme performansını olumlu yönde etkiler. Ancak hem delikli hem de oluklu disk frenler maliyet olarak normal bir disk frenden çok daha pahalıdır. Disk çeşitlerinin en uç noktası ise hem delik hem de olukları bir diskte bulunduran özel tasarımlardır. Aşağıda Şekil. 3.18’de normal, delikli ve oluklu disk frenler verilmektedir.



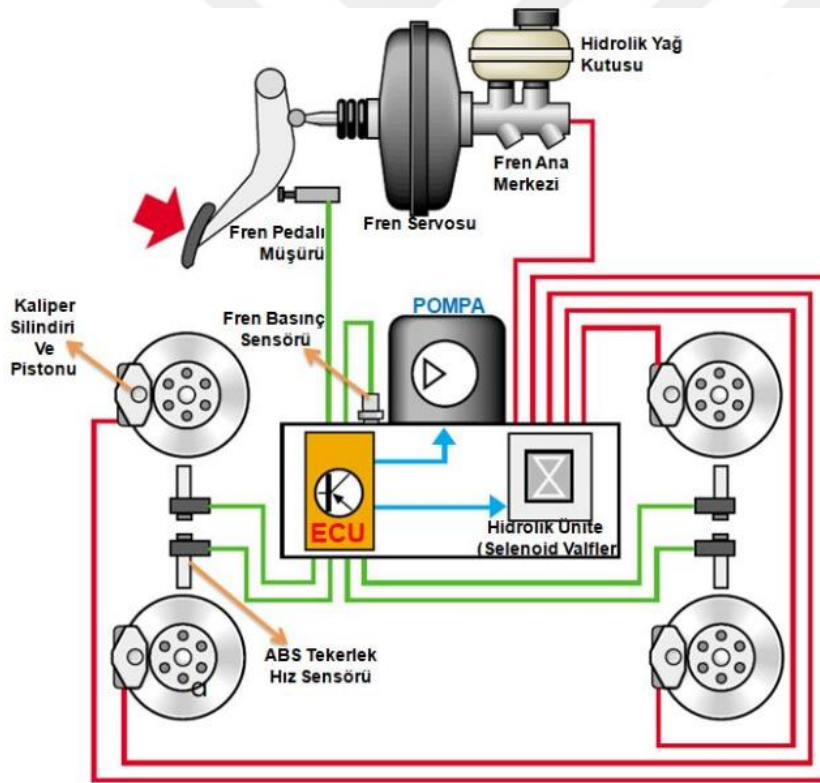
Şekil 3.18. Normal, Delikli ve Oluklu Diskler

### 3.8.3.2. Anti Blokaj Sistemi (ABS)

Disk frenin kullanımını yaygın kılan nedenlerin başlarında güvenli sürüş sistemlerinin kolaylıkla disk frene uygulanabiliyor olması gelmektedir. ABS bu sistemlerin başında gelmektedir. İcadı 1936 yılına kadar uzanan ABS otomobillerin manevra yeteneklerini korurken durma yeteneklerini de sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. ABS olmayan bir araçta sürücü frene sert bir şekilde bastığı anda araç tekerleri dönmeyi bırakır ve kilitlenir. Bu durumda frenleme bitene ve araç durana kadar aracın hakimiyeti sürücü de olmaz.

Araca yön vermek, manevra yapmak mümkün olmaz. Bu esnada frenleme sonuna kadar araç, frenleme başındaki istikametini korur. Ancak ABS olan bir araçta sürücü frene ani bir şekilde ve sert bastığında tekerler kilitlemez. Sistem, tekerleğin dönüş hızını algılar ve kilitlemeyi önleyecek doğrultuda frenleme sağlar. Böylece aracın kontrolü, frenleme başlangıç anından sonuna kadar sürücüde olur ve sürücü manevra ve aracı kontrol fırsatı bulur. Yol ile teker arasındaki sürtünme katsayısı azaldıkça tekerlerin kilitleme eğilimi artacağı için bu sistem en çok yağışlı, özellikle karlı havalarda aracın güvenli sürüşü için önemlidir.

Kısaca sistemin çalışma prensibini anlatmak gerekirse ABS, araçta bulunan 4 tekerin fren basınçlarını tek tek ölçer ve bu basınçları elektronik kontrol ünitesi sayesinde düzenler. Bu sayede frenler saniyenin 18'de 1'i sürede açılır ve kapanır. İşte bu sayede fren tekerleri hiçbir zaman kilitlemez ve sürücüye direksiyonu kullanma imkanı verilir. Aşağıda ABS sisteminin çalışma şeması verilmektedir.



Şekil 3.19. ABS Çalışma Şeması

### 3.9. Fren Kaliperleri

Fren kaliperi diske temas eden balatanın üzerine bulunan taşıyıcı elemandır. Kaliperler bağlantı elemanları ile diskin taşıyıcı noktalarına bağlanmıştır. Fren yapıldığı anlarda

hareket eden kütlenin dönme kuvvetinden dolayı düzensiz dönme kuvveti ortaya çıkar. Fren kaliperleri bu düzensiz dönme hareketlerini diskin bağlandığı dingil başına aktarmaktadır.

Kaliperlerin üzerinde frenlemenin elemanları olan hidrolik silindir ve pistonunda bulunmaktadır. Pistonun bir tarafına gelen kuvvet karşı yüzeydeki balataya aktarılmaktadır. Balatalar disklere temas ederek aşınma oluşmaktadır. Bu temas süresi arttıkça balata ile disk arasındaki yükseklik diğer bir deyişle mesafe aşınmadan dolayı artmaktadır. Bu durumda araçta pedala basma mesafesi zamanla artmaktadır. Oluşan bu boşluk bir fren elemanı olan keçelerle ortadan kaldırılmaktadır. Aynı zamanda bu boşluğu almak için kullanılan keçe silindir boşluğundaki hidrolik sıvısının kaçmasını da önlemektedir. Bunun dışındaki tiplerde ise, aşınmadan dolayı oluşan boşluğu tolere edebilmek için ayar mekanizmasını devreye sokmak gerekir. Kaliperler üç çeşitten oluşur:

### **3.9.1.Sabit Kaliperler**

Fren kuvveti balatanın piston etkisiyle diskin yüzey alanına itilmesiyle ortaya çıkar. Bu tip kaliperler 2 tane pistonu sahiptir. Kaliperler disk ile jant arasında bulunduğu için, dış ortamdaki havanın kaliper üzerinde etkili olması ve sıcaklığı düşürmesi mümkün değildir. Bundan dolayı 21.yüzyılda bu kaliperler tercih edilmemektedir.

### **3.9.2.Yüzer Kaliperler**

Bu tip kaliperlerde pistonlar diskin tek tarafına monte edilir. Frenleme anında oluşan hidrolik basınç kuvveti pistonu hareket ettirerek balatanın disk yüzeyine doğru hareketini sağlar. Fren hidroliğinin içinde bulunduğu alanda sürtünmeden dolayı ortaya çıkabilecek ısı, hareket ederken gelen hava ile oluşan ısı transferi sayesinde düşürülmektedir. Yapılan bu ısı düşürme olayı aynı zamanda hidroliğin sıcaklıktan dolayı buhar olup uçmasını da önler.

### **3.9.3.Full Kontak Kaliperler**

Bu kaliperler yüksek verimle soğumayı gerçekleştirmek için dizayn edilmiştir. Bu kaliper modelinde disk ve balataların yüzeyinde hava kanalları mevcuttur. Full kontak kaliper,örümcek,soğutucu kanatlı balatalar,kayan disk ve iç balata soğutucu kanatları

olmak üzere 4 bölümden oluşur. Bu neticeyle ısının dışarı atılması için alan büyütülerek dışarı daha fazla ısı atılmaktadır. Fren sistemi üzerinde ısının negatif etkileri de bu yüzden azaltılmış olur.

### **3.10.Fren Disk Balatası İle Pabucu**

Pabuç kaliperde yan yüzeylere yaslanan metallerin destek plakasına bağlantılıdır.Balatalar ise pabuçlara yapıştırılarak bağlantı kurulmuştur.Pabuçlar balatalar üzerinde iki adet pim üzerine tutturulmuş sac plakasıyla desteklenmiştir.Disk fren sistemindeki balatalar kampanalı fren sistemine kıyasla daha az yüzeye sahip olduğu için daha büyük kuvvetlerin etkisi altında bulunmaktadır. Bu nedenle fren diski sistemindeki balatalar kampanalı sisteme kıyasla daha fazla sürtünme katsayısına neden olarak üretilirler.

### **3.11.Disk Frenlerle Kampanalı Frenlerin Karşılaştırılması**

- Kampanalı fren sisteminde ısınma işleminden dolayı sürtünme kayıpları daha büyüktür. Frenleme esnasında disk fren sistemleri hava ile etki ettiği için kısa bir sürede soğuma işlemi gerçekleşmektedir. Bazı disk fren sistemlerinde diskin üzerine hava kanalları açılarak ısı birim zamanda daha fazla ve daha hızlı dışarı atılırken, kampanada ise böyle bir durum söz konusu değildir.
- Disk frenler sistemlerinde diskin sıcaklığı yükseldikten sonra genişleşip otomatik düzenleyici mekanizmasına yardımcı olabilmektedir.
- Disk fren sistemlerine bakım yapmak basit ve işlem süresi ise kampanalı fren sistemlerine göre daha uzundur.
- Disk frenler oldukça büyük frenleme kuvvetlerine sahiptir. Balatalar ise iki yüzeyden diske baskı kurduğu için daha fazla bir frenleme kuvvetine sahip olmaktadır.
- Kampanalı fren sistemlerinde eleman sayısı disk fren sistemlerine göre daha fazla olmaktadır.
- Kampanalı fren sistemlerinde ayar mekanizmaları mekanik bir şekilde yapılırken diskli sistemlerde ise otomatik bir şekilde yapılmaktadır.

Bu ve benzeri nedenlerden dolayı günümüzde disk fren sistemleri hem ön hem de arka tekerlerde kullanılmaya başlanmıştır.

## **4. DİSK FREN İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER**

### **4.1. İnce Karbon Grafit Katmanlı Dökme Demir**

Eğer karbon, katılaşıırken diğer bir deyişle soğurken bir grafit yapısı ortaya çıkarıyorsa bu tür dökme demirler grafit katmanlı dökme demir adını alır. Oksijen ve kükürt bir miktar daha fazladır. Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı çekilme boşluğu yok denecek kadar azdır. İnce karbon grafit katmanlı dökme demirler, yorulma ömrünün fazla olması, çalışma anında düşük ses çıkarması, düşük salınım hareketi yapması ve korozyona dayanıklı olması nedeniyle tercih edilebilir. Dökme demir disklerin çeşitleri şunlardır; titanyum karışımı, kompakt grafitli, karbon oranı fazla olan demir ve gri dökme demir kullanılır.

### **4.2. Karbon Oranı Fazla Olan Grafit Katmanlı Dökme Demir**

İnce karbonlu grafit katmanlı demir ile benzer özelliklerdedir. Karbon oranının artmasından dolayı sertlik ve mukavemet değerleri oldukça fazladır. Yapıdaki karbon değeri %0.5 ile %2 arasındadır. Sert olmasından dolayı diskte veya diğer yapılarda enerji sönümleme kabiliyeti olumsuz etkilenebilir. Ancak taşıtlarda termik iletkenliği yüksek olan karbon sayısı fazla olan ve grafit katmanlı dökme demir fren diskleri kullanılır.

### **4.3. Küresel Grafitli Dökme Demir**

Adından da anlaşılacağı gibi, bu yapıda karbonun küresel şekle sahip grafit topları halinde ortaya çıktığını görüyoruz. Grafitin lamel değil de küresel bir yapı haline ayrışabilmesi için, sıvı içinde bulunan oksijen ve kükürtün belli bir seviyenin altına düşürülmesi gerekiyor. Bu nedenle küresel grafitli dökme demir üretirken, sıvı metali oksijen ve kükürtle çok hızlı tepkimeye girebilen magnezyumla işleminden geçirdikten sonra döküm işlemi gerçekleştirilir.

#### 4.4. Dökme Çelik

Ağır kütleli taşıtların fren sistemleri normal ya da binek olarak adlandırılan taşıtlardan çok daha fazla ısı etkisine maruz kalır. Bundan dolayı araçlardaki diskler sıcaklıktan dolayı oluşan deformasyonlara karşı daha dayanıklı olmalıdır. Bu nedenlerden dolayı ağır taşıtlarda dökme çelik tercih edilir. Dökme çelik, döküm yöntemi ile şekli daha önceden belirlenmiş bir kalıba döküldükten sonra yalnızca işleme tezgahına bağlanarak, talaşlı işleme yöntemleriyle asıl şekline ulaştırılır. Dökme çelik parçalara genellikle ısıl işlem uygulanır. Böylece tane küçültülür. İstenen diğer karakteristik özelliklere ulaştırılır. Dökme çelik; kır dökme demir ve temper dökme demirin özelliklerinin yetmediği, çalışması sırasında 400-600 °C sıcaklıklara çıkılan uygulamalarda kullanılırlar. Bu anlamda fren disklerinde neden kullanıldıklarını da daha iyi anlamış oluyoruz. Fren diski imalatında kullanılmalarının bir diğer nedeni ise tekrarlı yüklere dayanımlarıdır.

#### 4.5. Alüminyum ve Metal Alaşımli Karışım Çelikleri

Bu karışım diğer demirlerden yaklaşık 2-3 katı daha fazla maliyetlidir. Taşıtlarda toplam yükü hafifleterek verimi önemli ölçüde arttırabiliriz. Al ve diğer metal alaşımli diskler, yüksek ısı iletimi açısından diğer disklere göre daha avantajlıdır. Al-Metal alaşımı aşınmaya karşı oldukça dirençlidir. Bu yüzden günümüzde disk imalatında fazlasıyla tercih edilmektedir. Örneğin; %1.5 silisyum, %25-29 krom ve %16 nikel içeren bir alaşımli çelik 1100 °C'lere kadar dayanıklı olur. Alüminyum ise hem çok hafiftir hem de korozyona karşı oldukça dirençlidir. Bu anlamda değerlendirildiğinde en ufak ağırlığın bile otomobil üretimindeki önemini göz önünde bulundurursak alüminyumun önemini daha iyi anlamış oluruz. Alaşımli bir malzeme yaklaşık olarak 1300 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımına sahip iken alaşımli bir çelik yalnızca 700 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımına sahip olabilmektedir. Alaşım oranında Mangan miktarını arttırınca tekrarlı yüklere çok daha fazla dayanabilen bir malzeme elde edilmiş olmaktadır. Örneğin; %1.2 C, %12 Mn ve %1.4 Cr bileşiminde üstün aşınma dayanımı ortaya çıkmaktadır. Bu dayanım krom karbürlerden gelmektedir. Mn miktarı ise sürtünmeli ve tekrarlı yüklerin olduğu konularda dayanımı oldukça arttırmaktadır.

#### 4.6. Karma Malzemeli Diskler

Bazı disk frenlerde her katman ya da her bölge farklı elementlerden oluşabilir. Diskin



merkezde kalan bölümü Al, fren diskinin yüzeyi dökme demir kullanılarak imal edilmiştir. İmalatın bu şekilde yapılmasının amacı yüksek derecede ısı transferi yapmaktır.

#### **4.7. Seramik Kaplamalı Fren Diski**

Bu disk günümüzde yüksek hızlara ulaşması için tasarlanan taşıtlarda ve performans beklenen taşıtlara uyarlanmıştır. Yapısında fiber bulunan seramik diskler yüksek performanslıdır. Seramik kaplı diskler yapısı gereği oldukça hafiftir. Diğer disklerden yüzde 40 daha hafiftir. Bu yüzden aracında toplam ağırlığını düşürmektedir. Seramik disk, 1450°C sıcaklığa kadar dayanım gösterebilmektedir. Bu sebepten dolayı bu frenleme sisteminde oluşabilecek yüksek sıcaklığı çok daha fazla dayanım gösterebilmektedir. Bu ve benzeri nedenlerden ötürü seramik diskin ömrü diğer disklere göre oldukça fazladır. Ayrıca seramik dolgunun yapısı gereği korozyona ve paslanmaya da engel olmaktadır.

## 5. FREN SİSTEMİNİN DİNAMIĞI

Fren diskinin termal analizine geçmeden önce frenleme enerjisine ve bu frenleme enerjisinin ısıya dönüşümüne yer verilecektir. Örneğin, sabit bir hızla seyredirken diskler üzerine uygulanan frenleme kuvveti, kabul edilebilir kuvvette olduğunda motorun kompresyon burulma kuvveti kullanılarak elde edilir. Bununla birlikte ağır taşıtlarda egsoz freni gibi yavaşlatıcıların kullanılmasıyla da benzer frenleme görevi yerine getirilir. Fakat bu yöntemle elde edilen hızı azaltan kuvvetlerin yetersiz olduğu anlarda disk fren ya da kampanalı fren (tasarıma ve teknolojiye göre değişir) tam anlamıyla kullanılır. Kinetik enerjinin ısıya enerjisine çevrilmesi bu bölümde ele alınacak ve bu verilerden yorumlama ve sonuç çıkarma anlamında ANSYS'te yapılacak analizlerde faydalanılacaktır.

Daha fazla frenleme ivmesi ya daha hareketsiz kalmak amacıyla oluşturulmak istenen frenleme kuvvetlerinde; motor kompresyon kuvveti, egsoz freni gibi yavaşlatıcılar yetersiz kalabilmektedir. Bunun sonucunda kullanıcı tarafından kontrol edilen taşıtın tüm tekerleklerine temas eden fren mekanizmaları kullanılmaktadır. Buradaki frenleme, aracın hareket enerjisinin fren enerjisine ve ardından ısı enerjisine dönüşmesini sağlar. Bir disk frende ısının bir miktarı havaya salınırken büyük bir miktarı disk ve temas ettiği yüzeylere aktarılır. Aşağıda bu konu ile alakalı tüm formüller ve dönüşüm denklemleri verilmektedir.

**Egsoz Freni:** Sağlıklı bir motor; yeteri kadar oksijence zengin havayı şartlandırarak piston içine alır, yanma olayını gerçekleştirir ve egsoz vasıtasıyla dışarı atar. Eğer egsoz ile yanma sonucu ortaya çıkan gazlar dışarı atılamaz ve bu kısa bir süre devam ederse motor durur. İşte frenlemenin bir diğer yöntemi olarak da bu mekanizma kullanılır. Egsoz manifoldunda bulunan kısma valfi ile yanma gazlarının tamamen dışarı atımı engellenir. Böylece egsoz gazları ile pistonlarda ters basınç oluşturularak aracın durması veya yavaşlaması sağlanır.[40]

### 5.1. Fren Enerjisi

Aracın hareketlenmesi için gerekli olan araç lastiğ tahrik gücü aşağıda verilmektedir:

$$P_t = F_{R,\varphi} + F_L \cdot \varphi + F_{St} \cdot \varphi + F_B \cdot \varphi$$

$$P_t = \left( f_R + \rho + \frac{\lambda \cdot \ddot{x}}{g} \right) \cdot G \cdot \varphi + c_v \cdot A \frac{\rho}{2} \cdot \varphi^3$$

Motordan elde edilen frenleme gücü gereken frenlemeyi sağlayamıyor ise arta kalan güç(P), sürtünmeli frenler ile kazanılacaktır. Toplam güç ve sürtünmeli frenlerden elde edilecek güç aşağıdaki formüllerde verilmektedir:

$$P_T = P + \frac{P_M}{\eta_k}$$

$$P = -\frac{P_M}{\eta_k} + \left( f_R + p + \frac{\lambda \cdot \ddot{x}}{g} \right) \cdot G \cdot v + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} v^3$$

Yukarıdaki ifadede motordaki frenleme gücü negatif olduğundan, frenleme ivmesinin ve frenin etki edebileceği fren gücünün de negatif bulunmasına dikkat edilmesi gerekir. Aşağıdaki örnekte frenleme hesabı yapılarak konunun anlaşılması hedeflenmiştir:

➤ Yukarıdan aşağıya doğru inen ( $p < 0$ ), 22 ton ağırlığındaki motor freni kullanmayan bir aracın ( $P_M = 0$ ) aynı hızla hareket edebilmesi ( $x = 0$ ) için frenlerinin üretmesi gereken gücü ve harcadığı enerjiyi bulalım:

$$P = (f_R + p) \cdot G \cdot v$$

Yukarıdan aşağıya doğru %7 eğimli ( $p = -0,07$ ) ve 6000m uzunlukta olduğunu kabul edelim. Bu uzunluk ortalama bir uzunluktur. Sabit hız  $v = 30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$  olsun. Dönme direnci katsayısı  $f_R = 0.01$ ; yerçekimi ivmesi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  kabul edilsin.

$$P = (0.017 - 0.077) \cdot 2200 \cdot 100 \cdot 8.33 = -110 \text{ kw}$$

Harcanan iş ise,

$$W = \int P \cdot dt \text{ ile bulunur.}$$

Bu örnekte hızı sabit aldığımızdan fren gücünü de sabit alırız. Dolayısıyla  $W = P \cdot T$  ile bulunabilir. Geçen süre  $T = L / v = 600 / 0,833 = 12 \text{ dak}$  olarak bulunur.  $W = -110 \cdot 12 = -1320 \text{ kJ}$  ki bulunur.

➤ Bu örnekte ise benzer aracın düz yolda ( $p = 0$ ) frenleme yaparak hareketsiz kalma olayını bakalım ( $x < 0$ ). Yine motor frenini ve rüzgâr karşı direncini yok sayalım.

$$P = \left( f_R + \frac{\lambda \cdot \ddot{x}}{g} \right) \cdot G \cdot v$$

Başlangıç hızı  $V_0 = 60 \text{ km/h} = 16,7 \text{ m/s}$  ve frenleme ivmesi  $x = -5 \text{ m/s}^2 = \text{sabit}$  kabul edelim. Dönen kütlelerin ivmeye olan etkisini de yok sayalım. Hıza bağlı olarak fren gücü P lineer olarak sıfıra düşecektir. Frenleme hareketini iki farklı şekilde bulabiliriz:

Fakat bu çok büyük güç  $T = v / -x = 16,7 / 5 = 3.33 \text{ s}$  de sıfıra inmektedir. Bu düşüş lineer olduğundan, fren işi güç-zaman doğrusunun altındaki alandan  $W = P_0 \cdot T / 2 = -110 \cdot 3.33 / 2 = -184.5 \text{ kJ}$  olarak hesaplanabilir.

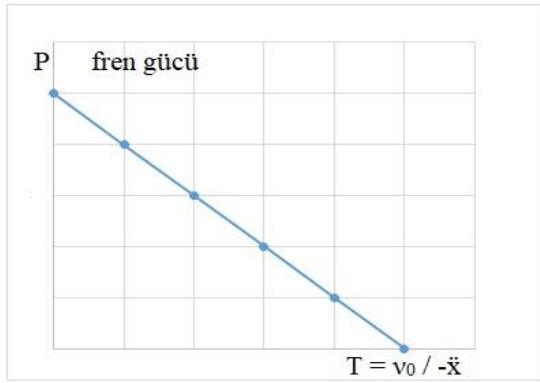
İş entegralin çözümüyle de hesaplayabiliriz:

$$W = \int_0^{\tau} \left( f_R + \frac{\lambda}{g} \frac{dv}{dt} \right) \cdot G v dt = f_R \cdot G \int_0^{\tau} v \cdot dt + G \frac{\lambda}{g} \int_{v_0}^0 v dv$$

$$W = G \left( f_R v_{ort} T + \frac{\lambda}{g} \left( -\frac{v_0^2}{2} \right) \right)$$

$$W = 22000 \cdot 10 \cdot (0,01 \cdot 16,7 \cdot 3,33 / 2 - (16,7)^2 / 2 \cdot 10) = -2997 \text{ kJ}$$

Bu iki örnek kıyaslandığında sabit hızla aşağı yönde taşıt hareketinde fren gücünün küçük fakat frenleme işinin oldukça yüksek olduğu, frenlemenin durdurma etkisinde frenleme gücünün yüksek fakat süresinin az olmasından dolayı harcanan işin küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 5.1 Fren Gücünün Sabit İvme Hâli İçin Zamana Bağlı Değişimi

Zamana bağlı olarak Şekil 5.1'de gösterilen. P frenleme gücü sebebiyle birim zamanda ortaya çıkan işin bir kısmı depolanmaktadır ( $Q_{depo}$ ). Kalan kısmı ise konveksiyonla dışarıya gönderilmektedir ( $Q_{konveksiyon}$ ). Burada ışıma ile atılan ısı yok sayılabilecek seviyededir. İşlemleri kolaylaştırmak üzere frenin homojen biçimde 0 sıcaklığına ısındığı varsayılırsa;

$$P = \dot{Q}_d + \dot{Q}_k$$

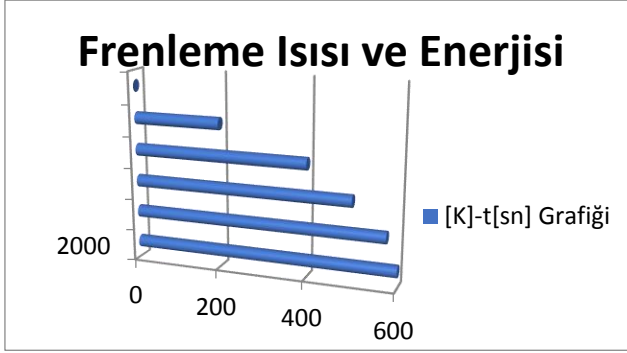
$$P = c \cdot G_F \cdot \dot{\theta} + \alpha \cdot A_F \cdot (\theta - \theta_0)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu bağlantıda c özgül ısı kapasitesi, GF fren diski (yada kampanası) ağırlığı, a ısı iletim katsayısı,  $A_F$  ısı veren yüzey,  $\theta_0$  ise ortam sıcaklığıdır.

Çözümü;

$$\theta - \theta_0 = \frac{P}{\alpha \cdot A_F} \cdot \left( 1 - \exp \left( -\frac{\alpha A_F}{c G_F} \cdot t \right) \right)$$

## 5.2. Referans Frenleme Isısı ve Enerjisi



Şekil 5.2.Frenlemede Sıcaklık-Zaman İlişkisi

Frenleme ile aracın temelde sahip olduğu kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi sağlanmaktadır. Bu kinetik enerji:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

formülüyle hesaplanmaktadır.

## 6. MATERYAL VE METOD

### 6.1. Kullanılan Disklerin Tasarımsal Özellikleri

Bu çalışmada hafif ticari bir aracın fren diski ele alınmıştır. Disk çapı 288 mm olarak seçilmiştir. Bu ölçü hafif ticari araçlarda kullanılan fren diskleri araştırılarak belirlenmiş olup ortalama bir hafif ticari taşıtın disk fren mekanizmasındaki disk frenin çapıdır. Ayrıca kullanılacak olan disklerin diğer özellikleri aşağıda verilmektedir:

Fren Disk Çapı: 288 mm

Disk Kalınlığı: 35mm

Delik(Hava Kanalı) Çapı: 6 mm.

Yukarıda verilen bu tasarımsal özellikler doğrultusunda disk Solidworks programı kullanılarak 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Birinci disk hava kanalsız ve ikinci disk ise yalnızca hava kanalları yani delikler açılarak tasarlanmıştır. Bu disklere ait tasarımsal ve malzeme türünden kaynaklı olarak farklılık gösteren kütleler aşağıda verilmektedir.

Delikli(Hava Kanallı) Alüminyum Diskin Kütlesi: 4,507 kg

Deliksiz(Hava Kanalsız) Alüminyum Diskin Kütlesi: 4,781 kg

Delikli(Hava Kanallı) DD Diskin Kütlesi: 12,773kg

Deliksiz(Hava Kanalsız) DD Diskin Kütlesi: 13,550 kg

### 6.2. Kullanılan Analiz Yöntemi

Ölçüleri bilinen ve Solidworks ortamında tasarlanan diskler ANSYS programına aktarılmıştır. ANSYS; sonlu elemanlar analizi kullanılarak bilgisayar destekli olarak analiz yapılmasını sağlayan bir mühendislik programıdır. 6.3'te sonlu elemanlar analizinden bahsedilecektir.

ANSYS ortamına aktarılan diskler; frenlemeye başlangıç hızı, disk imalatında kullanılan malzeme özelliklerigibi parametreler girilerek farklılaştırılmıştır. Öncelikle disklere sırasıyla alüminyum alaşımı ve dökme demir(grafitli) malzemeleri atanmıştır. Bu malzemeler sırasıyla ve ayrı ayrı test edilecektir. Böylece 4 farklı disk elde edilmiştir. Bir sonraki bölümde detaylar verilecektir. Ayrıca belirtildiği gibi farklı hızlar ve bu hızlarda frenleme başladığında oluşacak ya da oluşması gereken kuvvetler hesaplanmıştır. Bu kuvvetler analiz sırasında gereklidir. Ardından meshleme (sonlu elemanlara bölme) işlemi

yapılmıştır. Sonrasında ise aşağıda bahsedilecek olan işlemler birer birer uygulanarak diskler termal analiz yapılmıştır. Bu sonuçlara doğruluk açısından veri analizi tayin edilmiştir. Disklerde deneme yanılma yapılarak optimum delik çapı ve sayısı tespit edilmiş ve ANSYS programında yine aynı adımlar izlenerek test edilmiştir. Sonra disk tasarımında değişiklikler yapılarak kendi tasarımımız ile ilgili kıyaslama yapılmıştır. ANSYS analizi sonucu test edilen diskin uzama miktarı Strain-Gage yöntemiyle ölçülmüştür. Uzama miktarına göre delik sayısı, disk boyutları değiştirilmiş ve ANSYS programında analiz edilmiştir.

Literatürde bizim çalışma yöntemimize benzer olarak Erdem ve Altıparmak'ın çalışmasında, disk frenlerinde frenleme sonucu hız ve sıcaklığın orantılı olduğunu tespit etmiştir. 80 km/h hızla hareket eden bir taşıtta durma sonu sıcaklığın 298 C<sup>0</sup> olduğu tespit edilmiştir. Bizim çalışmamızda da aynı hızla giden bir taşıtta frenleme sonu sıcaklığı 327 C<sup>0</sup> bulunarak çalışmamıza yakın sonuçlar elde edilmiş ve doğruluğu kıyaslanmıştır.

### **6.3. Sonlu Elemanlar Analizi Nedir?**

Daha iyi ürünler geliştirebilmek için günümüzde kullanılan yöntemlerin başında sonlu elemanlar analizi ya da diğer adıyla sonlu elemanlar yöntemi gelmektedir. Bu yöntem sayesinde deneme yanılma yöntemi ya da çok pahalı test düzeneklerinin kullanımı yerine bilgisayar ortamında analiz yapılarak hem güvenli hem de düşük maliyet ile doğru sonuçlara ulaşılmaktadır.

Katı veya akışkan bir maddenin davranışı, termal yayılım ya da dalga yayılımı gibi fiziksel olguların detaylı olarak algılanabilmesi için ve nicelleştirerek analiz edilebilmesi için matematiğin kullanılabilmesi gereklidir. Kısmi diferansiyel denklemler kullanarak bu fiziksel olguların ve ısı transferi ya da gerilme türü gibi davranışların tamamı nicelleştirilebilir. Bu analiz yöntemi iletme olarak sistem, parça ya da ürün; parçalara ayrılır. Bir nesneyi parçalara ayırmadaki temel mantık, karmaşık bir nesnenin çok küçük bir parçasının davranışını hesaplayarak nesnenin tümüne ait davranışa ulaşmaktır.

Sonlu elemanlar analizi ile yapısal analiz, termal analiz, akışkanlar mekaniği CFD (ComputationalFluidDynamics), zemin mekaniği, uçak mühendisliği nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektrik, elektronik, elektromanyetik alanlar ve daha pek çok düşünülebilen mühendislik ve fizik problemlerinin çözümü için bu analiz yöntemleri bir araç olarak kullanılabilir.

SEA yöntemi kullanılan sektörlerden bazıları aşağıda verilmektedir:

- Havacılık
- Otomotiv
- Biyomedikal
- Köprüler ve Yapılar





## 7. BİR FREN DİSKİNİN ANALİZİ

Fren diskinde frenleme sonucunda dönüşen enerjinin büyük bir kısmı disk yüzeyinde ısı olarak ortaya çıkacaktır. Ancak bu tezde yapılacak analizlerde tüm kinetik enerjinin fren disklerinde ısıya dönüştüğü varsayılacaktır. Bunun nedenlerinden birisi de tezin asıl amacının frenleme sırasında ortaya çıkan ısı enerjisinin malzeme çeşidi ve diskin tasarımının değişimine göre davranışlarını öğrenmektir. Diğer bir nedeni ise frenlemede kinetik enerjinin oldukça büyük bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesidir. Diğer kayıp enerjiler bu nedenle ihmal edilmiştir. Analizlerde kullanılacak sıcaklık değerleri aşağıda verilen hesaplamalar ile elde edilmiştir:

### 7.1. Diskler Üzerinde Frenleme Sırasında Oluşacak Sıcaklığın Hesaplanması

Frenleme başlangıcında diğer bir deyişle ayağın gazdan çekilip frene basıldığı ilk anda aracın sahip olduğu toplam enerji o andaki hızın karesine bağlı olan kinetik enerjidir. Ayrıca aracın bu aşamada tamamen durduğu varsayılacaktır.

$$E_T = E_K$$

$$E_T = \frac{1}{2} mV^2$$

$$E_T = E_K - E_Q = 0$$

$$E_K = E_Q$$

$$\frac{1}{2} mV^2 = mc\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{V^2}{2c}$$

$E_T$ =Toplam Enerji

$E_K$ =Kinetik Enerji

$E_Q$ =Isıya Dönüşen Toplam Enerji

$V$ =Frenleme Başlangıç Anındaki Hız

$m$ =Araç Kütlesi

$m$ =Eşitsizliğin her iki tarafında olmasından dolayı etkisiz parametredir.

$c$ =Özgü Isı

$\Delta T$ =Sıcaklık Değişimi

EĞİMSİZ VE KURU ASFALT YOLDA ARAÇLARIN DURMA MESAFELERİNE GÖRE DURMA MESAFELERİ (f=60)					
Araç Hızı		Reaksiyon Mesafesi	Fren Mesafesi	Durma Mesafesi	Fren Zamanı
km/saat	m/sn	metre	metre	metre	saniye
10	2,77	2,1	0,7	2,8	0,47
15	4,18	3,1	1,5	4,6	0,7
20	5,55	4,2	2,6	6,8	0,94
25	6,94	5,2	4,1	9,3	1,18
30	8,33	6,2	5,9	12,1	1,41
35	9,72	7,3	8	15,3	1,65
40	11,11	8,3	10,5	18,8	1,88
45	12,5	9,4	13,2	22,6	2,12
50	13,88	10,4	16,4	26,8	2,35
55	15,27	11,5	19,8	31,3	2,59
60	16,66	12,5	23,6	36,1	2,83
65	18,05	13,5	27,7	41,2	3,06
70	19,44	14,6	32,1	46,7	3,3
75	20,83	15,6	36,9	52,5	3,53
80	22,22	16,7	41,9	58,6	3,77
85	23,61	17,7	47,4	65,1	4,01
90	25	18,8	53,1	71,9	4,24
95	26,38	19,8	59,1	78,9	4,48
100	27,77	20,8	65,5	86,3	4,71
105	29,16	21,9	72,2	94,1	4,95
110	30,55	22,9	79,3	102,2	5,19
115	31,94	24	86,7	110,6	5,42
120	33,33	25	94,4	119,4	5,66

Şekil 7.1. Karayolları Genel Müdürlüğü Durma ve İntikal Süreleri [43]

$$V_1 = 40 \text{ km/saat} = 11,11 \text{ m/sn}$$

$$V_2 = 90 \text{ km/saat} = 25 \text{ m/sn}$$

$$V_3 = 120 \text{ km/saat} = 33,33 \text{ m/sn}$$

Araçın frenlemeye başlangıç hızları 40 km/saat, 90 km/saat ve 120 km/saat olarak belirlenmiştir. Bu hızlar m/sn cinsine çevrilmiştir ve aşağıda fren disklerinde oluşan sıcaklık farkı elde hesaplanırken kullanılmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sitesinden alınan durmaya başlangıç hızları tablosu ise yukarıda verilmektedir.

### 7.1.1. Alüminyum Alaşımli Disklerde Ortaya Çıkan Maksimum Sıcaklık

$$c_{al} = 0,95$$

$$c_{al} = 0,95$$

$$c_{al} = 0,95$$

$$\Delta T = V_1^2 / 2c_{al} = (11,11)^2 / 2 \times 0,95 \quad \Delta T = V_2^2 / 2c_{al} = (25)^2 / 2 \times 0,95 \quad \Delta T = V_3^2 / 2c_{al} = (33,33)^2 / 2 \times 0,95$$

$$\Delta T_1 = 65^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_2 = 329^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_3 = 585^\circ \text{C}$$

$$T_{T1}=T_O+\Delta T_1$$

$$T_{T2}=T_O+\Delta T_2$$

$$T_{T3}=T_O+\Delta T_3$$

$$T_{T1}=25+65=90^{\circ}\text{C}$$

$$T_{T2}=25+329=354^{\circ}\text{C}$$

$$T_{T3}=25+585=610^{\circ}\text{C}$$

**T<sub>T</sub>**:Toplam Sıcaklık °C

### 7.1.2. Dökme Demirli Disklerde Ortaya Çıkan Maksimum Sıcaklık

$$c_{dd}=0.5$$

$$c_{dd}=0,5$$

$$c_{dd}=0,5$$

$$\Delta T=V_1^2/2c_{dd}=(11,11)^2/2 \times 0,5 \quad \Delta T=V_2^2/2c_{dd}=(25)^2/2 \times 0,5 \quad \Delta T=V_3^2/2c_{dd}=(33,33)^2/2 \times 0,5$$

$$\Delta T_1=123,4^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2=625^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2=1111^{\circ}\text{C}$$

$$T_{T1}=T_O+\Delta T_1$$

$$T_{T2}=T_O+\Delta T_2$$

$$T_{T3}=T_O+\Delta T_3$$

$$T_{T1}=25+123,4=148,4^{\circ}\text{C}$$

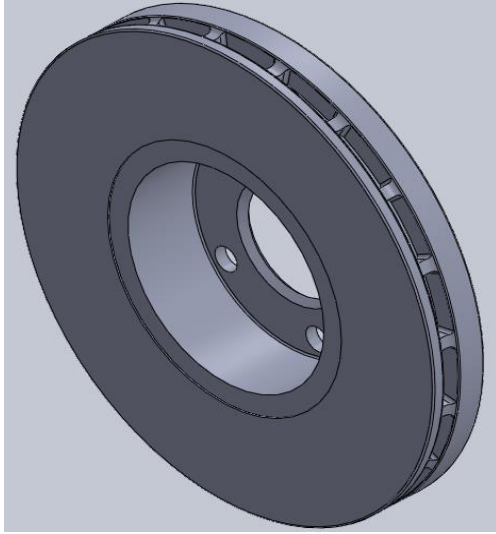
$$T_{T2}=25+625=650^{\circ}\text{C}$$

$$T_{T3}=25+1111=1136^{\circ}\text{C}$$

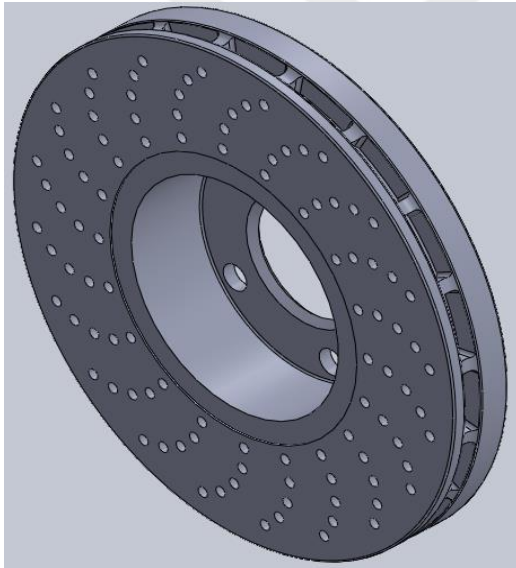
ANSYS programında yapacağımız analizlerde santigrat cinsinden olan sıcaklıklar kullanılacaktır. Ayrıca burada dikkat edilmesi gereken diğer bir etmen ise malzemenin özgül ısısı yani bir derece sıcaklık değişimi için gereken değişkendir. Görüldüğü gibi alüminyum alaşımlı malzeme daha zor ısınmaktadır. Aşağıda, yani analizin ilerleyen bölümlerinde ise alüminyum alaşımlı malzemenin ısıyı dağıtma konusundaki davranışı gözlemlenecektir. Bunun için öncelikle disk modelleri tasarlanmıştır.

### 7.2. Modelin Solidworks'te Oluşturulması

Modellerimiz, bir hafif ticari aracın fren sisteminde kullanılan fren disklerinin ölçüleri referans alınarak çizilmiştir. Analizde ise tasarımsal olarak tek değişen özelliğimiz hava kanalları olacağı için bu aşamada yalnızca çap ve disk kalınlığı verileri paylaşılacaktır. Disk 288 mm çapında ve 35 mm kalınlığında olacak şekilde tasarlanmıştır. Burada Solidworks tasarım programı kullanılmıştır. Oluşturulan cad modellerinin ANSYS programına aktarabilmek ve analizlerimizde kullanabilmek için ise step formatına çevrilmesi gerekmektedir. (Bir cad dosyasını analiz programlarında kullanabilmek için step ya da igs uzantılı dosyaya çevirmek gerekmektedir.) ANSYS programına aktardığımız parçayı steady-state thermal arayüzünü kullanarak analiz edeceğiz. Tasarlanan hava kanallı ve hava kanalsız modeller aşağıda verilmektedir:



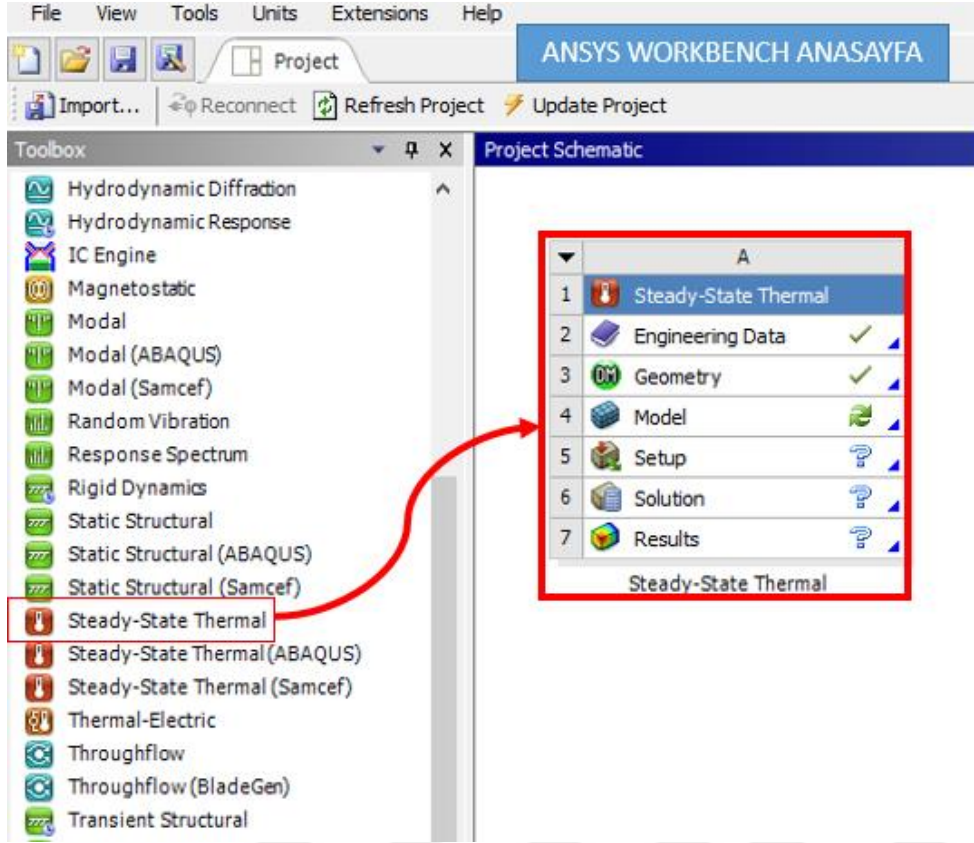
Şekil7.2.Hava Kanalsız Disk Modelinin Solidworks'te Oluşturulması



Şekil7.3. Hava Kanallı Disk Modelinin Solidworks'te Oluşturulması

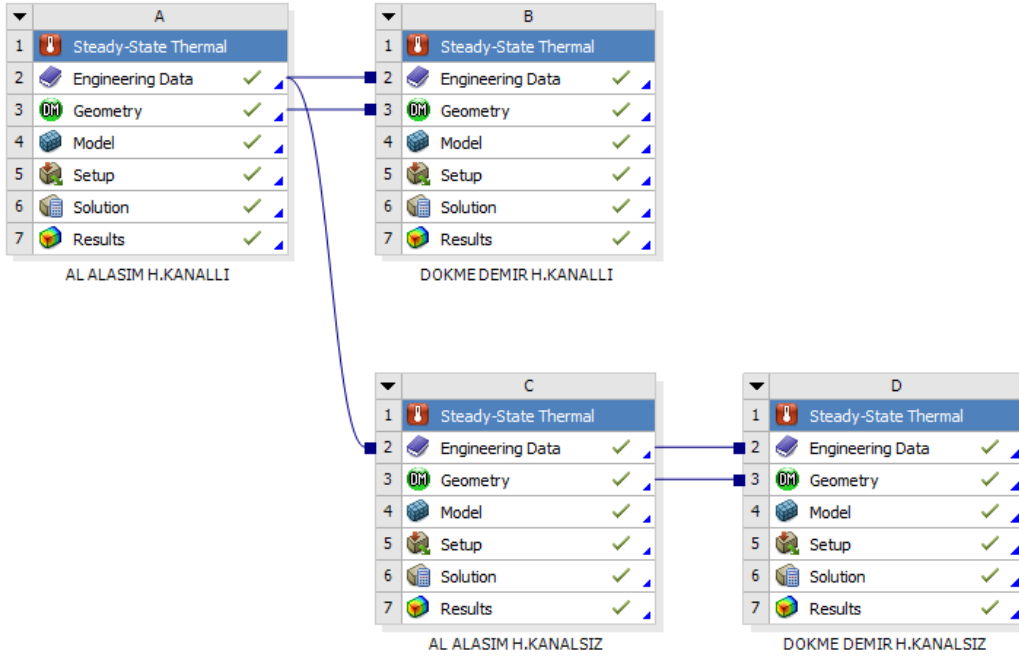
### 7.3. Disk Modelinin Analize Hazırlanması

Modelimiz yukarıda da belirtildiği gibi Solidworks'te hazırlandı ve ANSYS programında analiz edebilmek için uzantısı STP uzantısına çevrildi. Ardından ANSYS programında modelimiz hazırlanmaya başlanacaktır. Aşağıda ANSYS programı anasayfası ve kullanacağımız termal analiz arayüzü verilmiştir:



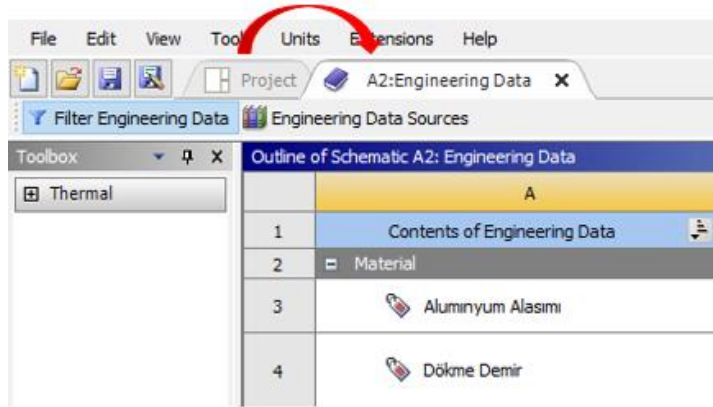
Şekil7.4. ANSYS ve Termal Analiz Arayüzü

Bu aşamada yukarıdaki görselin sağında görünen işlem basamaklarında, işlem basamağının yanında tik görünüyorsa o işlem basamağı tanımlı ve tamamlanmış demektir. Soru işareti varsa henüz işlem yapılmamış ve döngü işareti varsa üzerinde çalışılıyor demektir. Bu aşamada gösterilmesi gereken bir diğer ANSYS programına ait detay da analiz ağacının görüntüsüdür. Toplam 4 adet analiz yapılacağı(Hava kanallı-AI, Hava kanallı-DD, Hava kanalsız-AI, Hava kanalsız-DD) için her birine tüm değişkenleri tekrar girmemek için analizlerin ilişkili kısımlarını birbirine bağladık. Şekil 7.5’de analizlere ait kırılım ağacı verilmektedir.

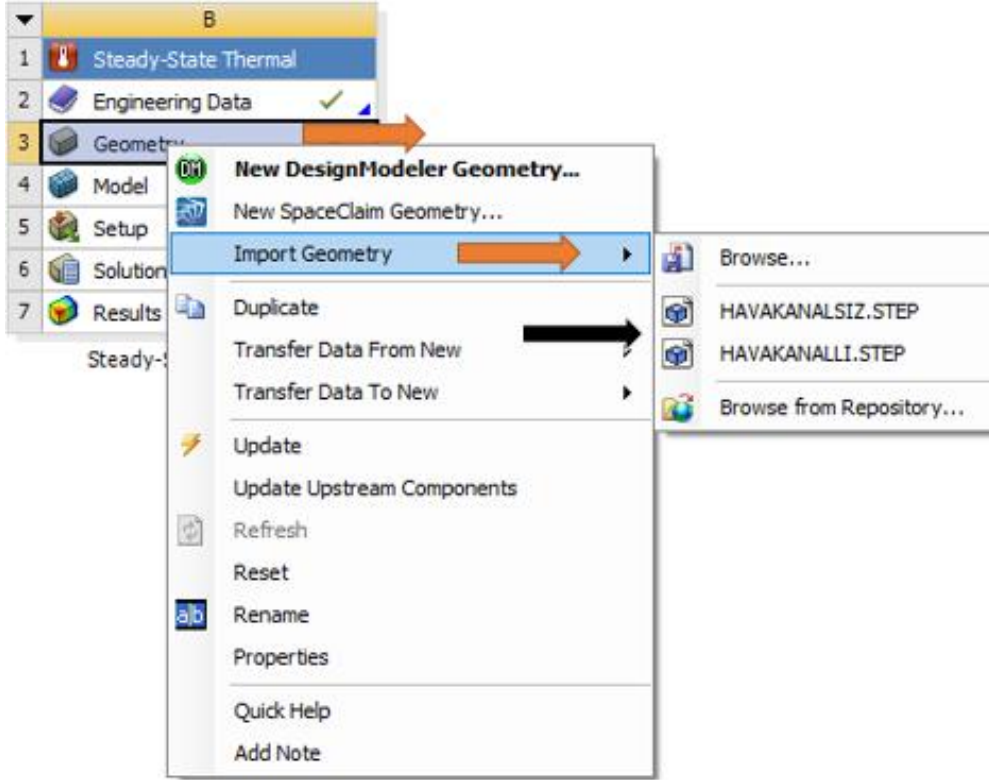


Şekil7.5. ANSYS Analiz Kırılım Yapısı

Malzeme atama ve modelin aktarılması işlemleri aşağıda verilmektedir:



Şekil7.6.Malzeme Atama İşlemi



Şekil7.7.Analiz Yapılacak ModelinSeçilmesi

## 7.4. Matematiksel Modelin Hazırlanması

### 7.4.1. MeshlemeYöntemi

Meshleme işlemi, bütün olan maddesel olguyu parçalara ayırarak yeniden tanımlama işlemidir. Meshleme işleminde amaç bir diferansiyel denklemin çözülmesini hızlandırmaktır. Bu nedenden dolayı sonlu elemanlar yöntemi ile ulaşılabilecek neticelerin yaklaşım gerçekçiliği, ağ içinde kullanılabilen elemanın cinsine ve elemanın sayılarına bağlı olmaktadır. Bu durumlara örnek göstermek gerekirse, çarpışma incelemesinde kullanılan bir yüzeyin, aynı analizle kullanılmasına rağmen değişik mesh çeşitleri ve ebatlarındaki yansımaları gösterilebilir.

Değişik eleman çeşitleri ve ebatları, analiz raporlarını değiştirmemektedir. Quadrilateral ve hexahedral şeklindeki parçaların üçgen ve tetrahedral yapı elemanlarına kıyasla daha yüksek bir problem çözme performansının olduğu bilinmektedir(Benzer serbestlik derecesi durumunda). Bunun dışında hexahedral şekilli parçaların kullanılmasıyla parça sayısı ciddi bir oranda düşebilir. Buradaki düşüş sonucunda analiz süresi düşecektir. Bu işlemlere ek olarak lineer olmayan sistemler için ve elemanların dizilişinin fiziksel anlamda önemli

olduğu durumlarda hexahedral ve quadrilateral şekilli elemanların kullanımı daha gerçekçi olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çalışmada quadrilateral ve hexahedral parçalar tercih edilmiştir. Aslında çarpışma analizlerinde hexahedral ve quadrilateral elemanların kullanmasının gerekliliğinin yanında aslındagerekli olan elemanların model üstündeki dizilişleridir. Böylelikle sonuçlar arasındaki fark da gözlenebilmektedir. Fazla miktarda uygulama mesh üretimi için aşağıdan yukarıya doğru bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda ilk başta noktalar meshlenir, sonra ise sırasıyla eğriler, yüzeyler ve son durumda hacimler meshlenir. Bu uygulamada sonraki mesh üretme işlemi girdi olarak önceki mesh üretme işlemi baz alır. Örneğin ilk başta düğümler geometrideki tüm noktalara yerleştirilir. Bu düğümler sonra geometrik eğriler boyunca dağıtılmaktadır. Eğri meshleme işleminin neticesinde yüzeysel mesh üretme algoritması için girdi yapılır. Burada eğriler şeması kapalı yüzey şemalarını tanımlar. Bu, yüzeyi daha düzgün şekilli üçgenlere veya quadrilateral elemanlara çevirmek için mesh üretme durumunun diğer bir basamağıdır. Son durumda, eğer geometrik tanım aralığı olarak hacimsel bir model gerekiyorsa, kapalı bir hacmi örnekleyen meshlenmiş bir alanlar şeması, tetrahedra, hexahedra veya karışık elemanların otomatik olarak yapılması için hacimsel mesh üretici algoritmaya girdi olarak verilebilmektedir. Modele mesh üretirken, yakınsamanın fazla olabilmesi ve analizin sonuçlarının doğru olabilmesi için ek olarak aşağıdaki durumların dikkate alınması gerekmektedir:

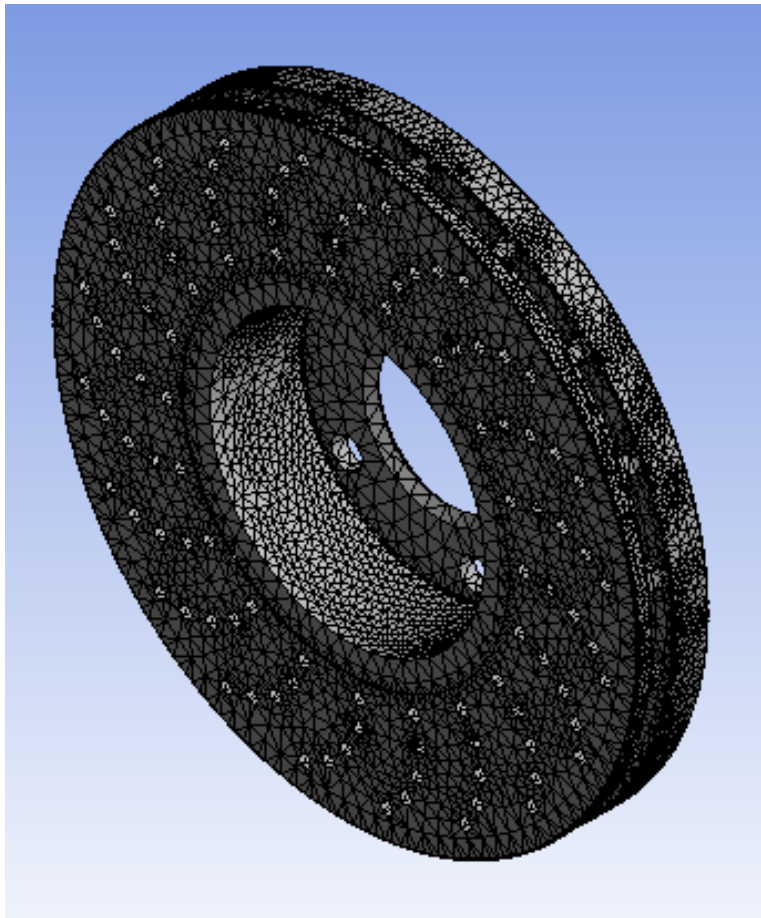
1. Meshleme işleminin lineer dağılımı,
2. Eğrisel alanlarda elemanın özenle seçilmesi,
3. Yapının durumuna göre simetrisinden faydalanılması.

Meshleme fren diskinin tamamına yapılmış ve frenleme yüzeyi gözetilerek yapılmıştır. Bilgisayarımızın performansı ve donanımsal özellikleri meshlemede ve matematiksel problemi çözmeye doğrudan etkilidir. Bu nedenle normal standartlarda bir meshleme yapılmıştır. Ayrıca yukarıda da belirtildiği gibi farklı meshleme yöntemleri analiz sonuçlarını olumsuz etkilememektedir. Ancak yine de analizi yapılacak disklerin tüm kombinasyonlarında aynı meshleme adımları uygulanmış ve işlemler yapılmıştır. Meshlemenin sonucunda fren disk modeli ortalama olarak 190000 ile 300000 arasında node ve 114500 ile 116000 civarında elemente ayrılmıştır. Burada node, düğüm sayısını; element ise bölünen parça sayısını vermektedir. Bu sayılar arttıkça ve meshleme teknikleri geliştirildikçe analiz sonuçları doğruya o kadar yaklaşır. Ancak bilgisayar çözüme ulaşmak için bir o kadar zaman harcar.

Şekil 7.8'de analiz modelinin meshlenmesi sonrasında ait görüntü ve meshleme detayları



verilmektedir:



#### Details of "Mesh"

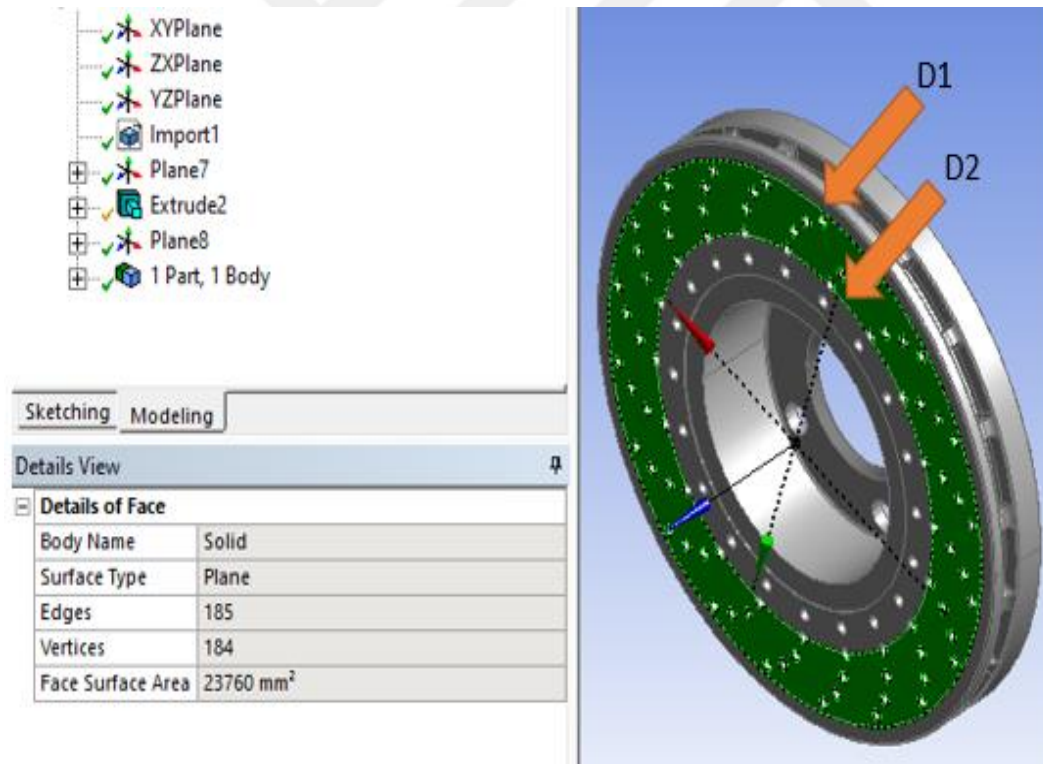
[-] <b>Display</b>	
Display Style	Body Color
[-] <b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
<input type="checkbox"/> Relevance	50
[-] <b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Medium
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast

Şekil 7.8. Analiz Modelinin Meshlenmesi

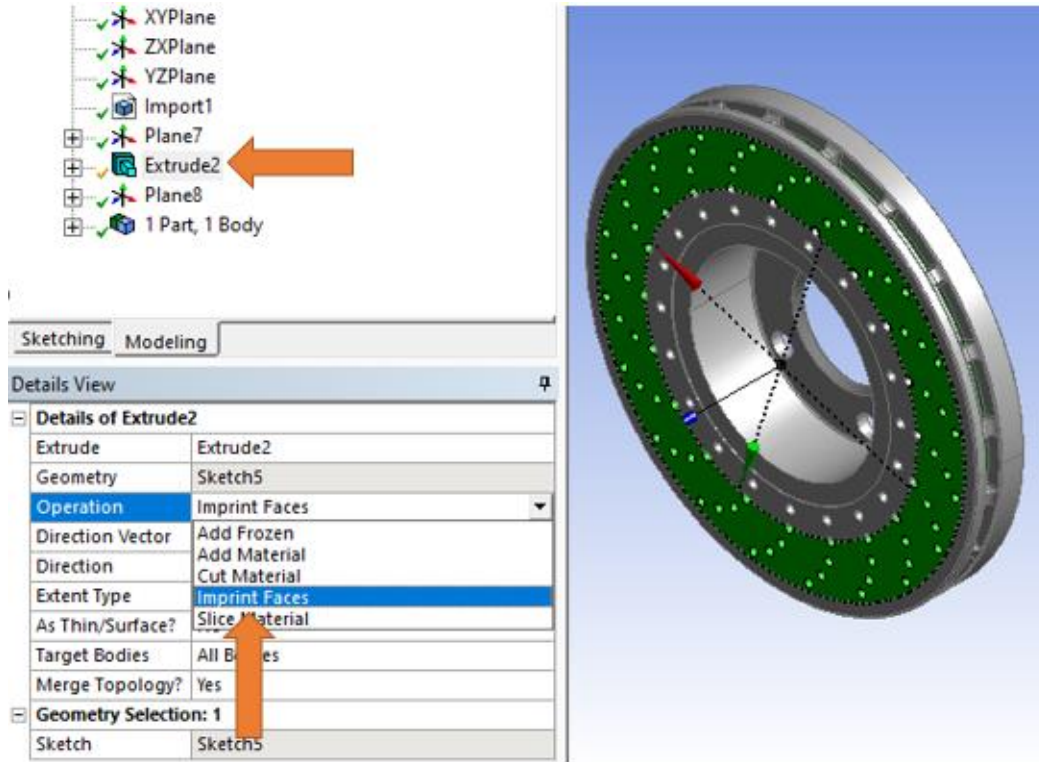
## 7.4.2. Frenleme Yüzeyinin Modellenmesi

ANSYS programının kendi içerisinde tasarım yapabildiğimiz dizayn mod adında bir modülü vardır. ANSYS programının bu modülünde fren balatasının hangi yüzeylere temas edeceğini ve bu yolla hangi bölgeden ısının akacağını kabaca modelledik. Bir hafif ticari araçta balata ölçüleri ortalama olarak 30 mm ile 50 mm arasında değişmektedir[17]. Burada fren balatasının disk yüzeyine sürekli teması kabulüyle hareket edilmiştir. Bu işlem sonrasında Design Mode arayüzünden tekrar Workbench arayüzüne geçerek işlemlerimize devam ediyoruz.

Şekil 7.9’da balata modelinin ve disk fren yüzeyinde taradığı alan verilmektedir. Analiz yapabilmek için fren balatasının disk yüzeyinde taradığı alanı bir yüzey olarak tanımlamak gerekmektedir. Şekil 7.10’da fren balatasının disk yüzeyinde taradığı alan tanımlı hâle getirilmektedir.



Şekil 7.9 Balata Modelinin Oluşturulması

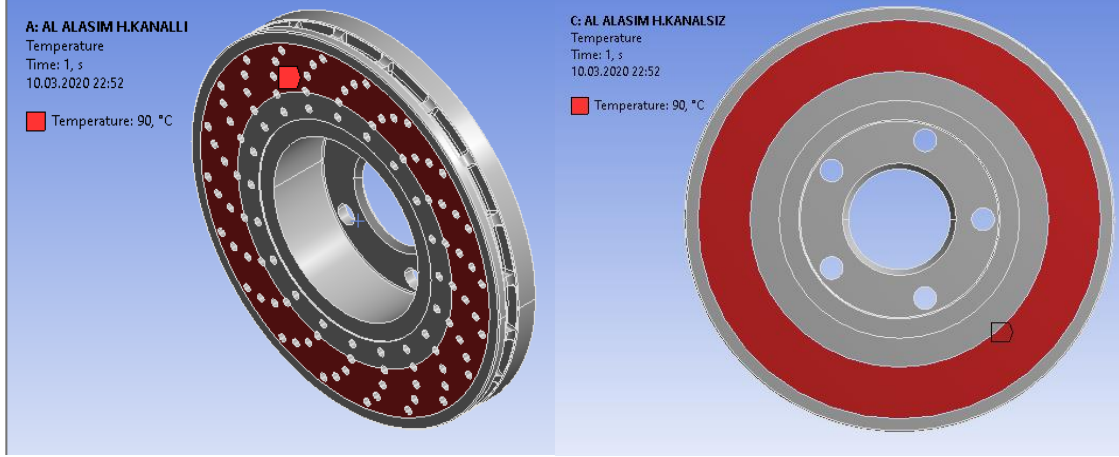


Şekil 7.10 Balata Modeline Kalınlık Atama

### 7.4.3. Frenleme Yüzeyi Seçimi Ve Sıcaklığın Girilmesi

Frenleme yüzeyi; yalnızca balata ile fren diskinin temas ettiği anlık alan olarak seçilmez. Çünkü balata anlık olarak disk yüzeyinde belirli bir alanı taramaktadır. Taranan bu alan ve aynı zamanda ısının oluştuğu, ısı transferinin başladığı alan aşağıda verilmektedir.

Hava kanalsız ve hava kanallı alüminyum alaşımlı malzeme için iki adet görüntü paylaşılmış olup daha önceden bulmuş olduğumuz 90 °C'lik sıcaklık girilmiştir. Ayrıca aşağıda görseli paylaşılmayan dökme demir için 148.4 °C ve V<sub>2</sub> sıcaklığından kaynaklanan 610°C ve 1136 °C'lik sıcaklıklar ve V<sub>3</sub> hızlarından kaynaklanan sıcaklıklar ayrı ayrı hazırlanan farklı modellerde analiz programına girilmiştir.



Şekil 7.11. Frenleme Yüzeyinin Seçilmesi

#### 7.4.4. Coefficient Faktörünün Girilmesi

Termodinamiğin ikinci yasasına göre,iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa,ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdaki düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar,ortam ve ısı geciş yüzeylerinin özelliklerinede bağlıdır.Bu sebeple ısı transferi sistemi birbirinden farklı üç başlık altında incelenmelidir.

- İletim (kondüksiyon)ile ısı transferi,
- Taşınım(konveksiyon) ile ısı transferi,
- Işınım(radyasyon) ile ısı transferi,

Bu başlıkları tek tek incelemeyeceğiz.Sadece bu değer ne anlama geldiğini açıklamak istedim. Kullandığımız malzemelerin ısı transfer katsayıları aşağıdakigibidir:

Dökme Demir Isı Transfer Katsayısı: 20-50 W/m<sup>2</sup>C

Alüminyum Alaşımı Isı Tranfer Katsayısı:200-250 W/m<sup>2</sup>C

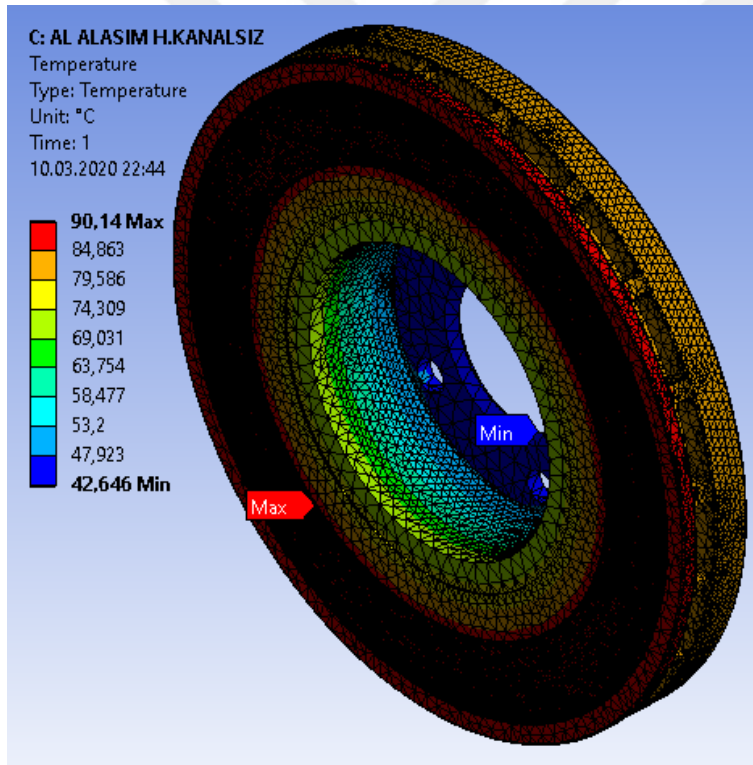
Bu aşamadan sonra analizimize yalnızca sıcaklık ekleyerek ısının dağılımını ve disk üzerinde ısının minimum kaç dereceye kadar düştüğü gözlemlenecektir. Analiz sonuçları ve bu analiz sonuçlarının değerlendirilmesine son bölümde yer verilmiştir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 8.1 Analiz Sonuçları

#### 8.1.1. $V_1$ Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanalsız Disk Fren

Alüminyum malzeme özelliği gereği aynı şartlar altında daha az ısınan bir malzemedir. Bu nedenle üzerinde oluşan sıcaklık tasarımsal olarak aynı özellikte olan dökme demirden daha azdır. Buna karşılık olarak sıcaklığı yayabilme kabiliyeti yüksektir. Başka bir deyişle hızlı ısınır hızlı soğur.  $V_1$  hızında alüminyum alaşım hava kanalsız disk frenin analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:

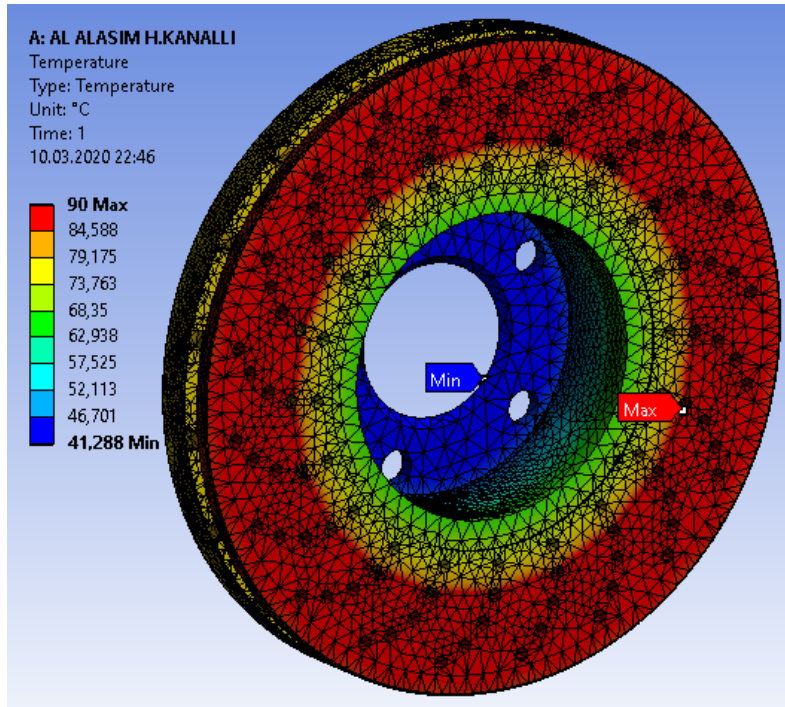


Şekil 8.1.  $V_1$  Hızında AlAlaşım Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

#### 8.1.2. $V_1$ Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanallı Disk Fren

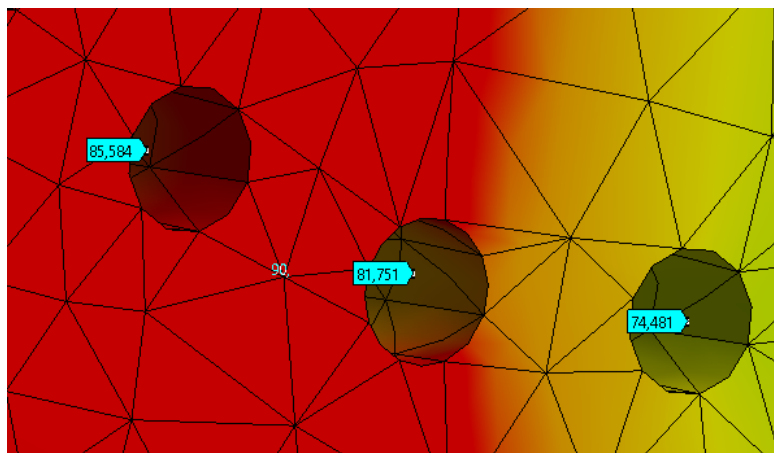
Alüminyumun üzerindeki ısıyı daha hızlı ve daha düzgün bir şekilde yayabildiğini belirtmiştik. Buradaki tasarımda ise disk fren üzerinde hava kanalları bulunmaktadır. Analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere 90 C'lık aynı giriş sıcaklığına karşılık hava kanallı disk üzerinde kalan minimum sıcaklık değeri daha azdır. Bu da hava kanallı diski ısıyı

yayma konusunda daha avantajlı kılmaktadır. Alüminyum alaşımlı hava kanallı disk frenin analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:



Şekil 8.2. V<sub>1</sub> Hızında Al Alaşımlı Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

Alüminyum alaşımlı hava kanallarına sahip disk frende yapılan termal analizde ısı aşağıda gösterildiği gibi bir yayılım göstermektedir. Görüldüğü gibi renk geçişleri hemen hemen deliklerin bulunduğu bölgelere denk gelmektedir. Burada kırmızı ile gösterilen bölge balata temas yüzeyi ve hemen çevresini göstermekte olup renk açıldıkça ısı düşmekte ve balata temas yüzeyinden uzaklık artmaktadır.

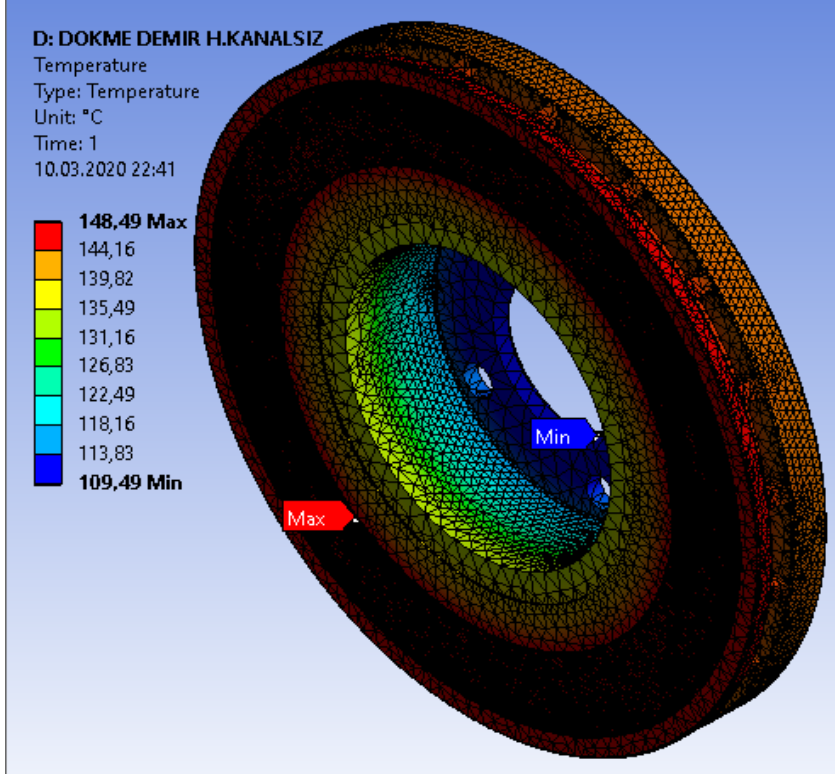


Şekil 8.3. Alüminyum Alaşımlı Hava Kanallı Disk Frende Isı Geçişleri



### 8.1.3. V<sub>1</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren

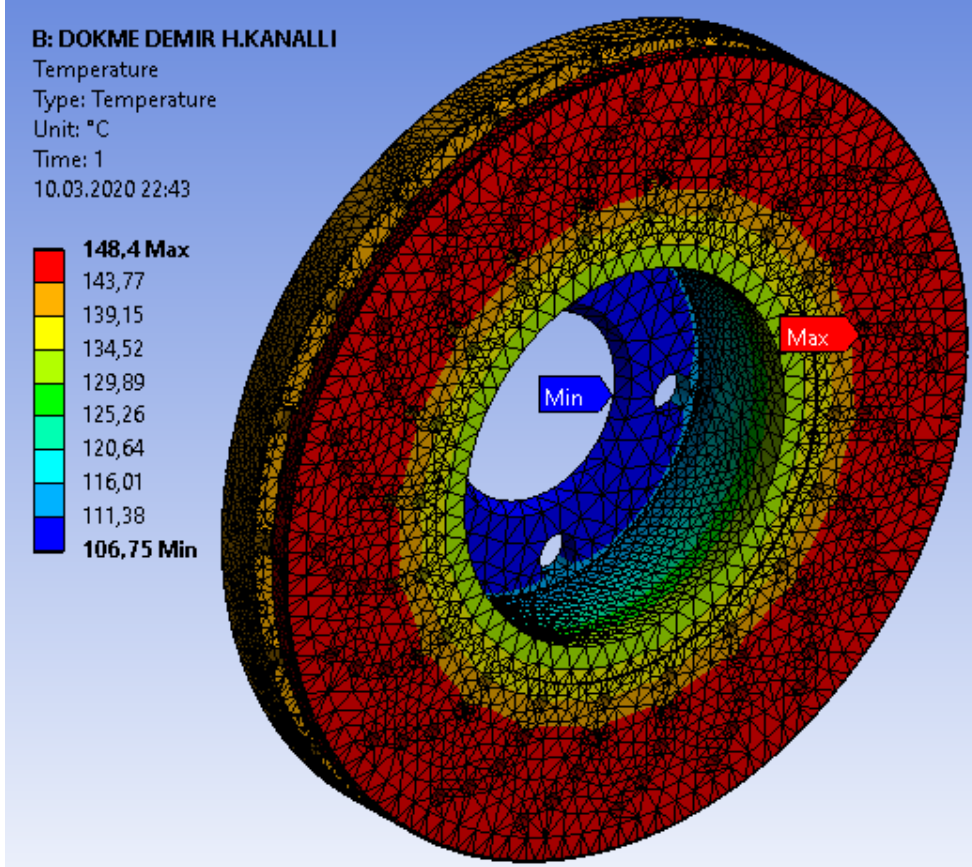
Bu malzeme ile aynı frenleme başlangıç hızında disk üzerinde daha fazla sıcaklık açığa çıktığını görmüştük. Analizimizde ise dökme demir bir malzemenin üzerindeki ısıyı yayma kabiliyetini ve üzerindeki minimum sıcaklığa ulaşmayı hedefledik. Grafit dökme demir hava kanalsız disk frenin analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:



Şekil 8.4. V<sub>1</sub> Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

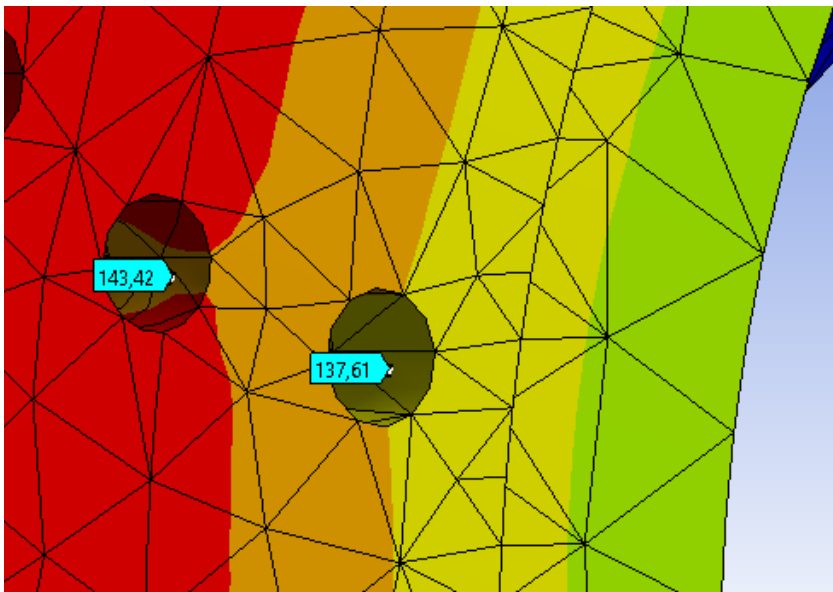
### 8.1.4. V<sub>1</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren

Hem alüminyum malzemesinde hem de dökme demir malzemesinde görülmüşdüğü üzere disk üzerindeki delikler ısının daha iyi dağılmasını ve ısı geçişlerinin de daha düzgün olmasını sağlamaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde bir önceki analize göre ısı kaybındaki artış birkaç derece daha fazla olmaktadır. Grafit dökme demir hava kanallı disk frenin analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:



Şekil 8.5.V<sub>1</sub> Hızında Grafit DDHava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

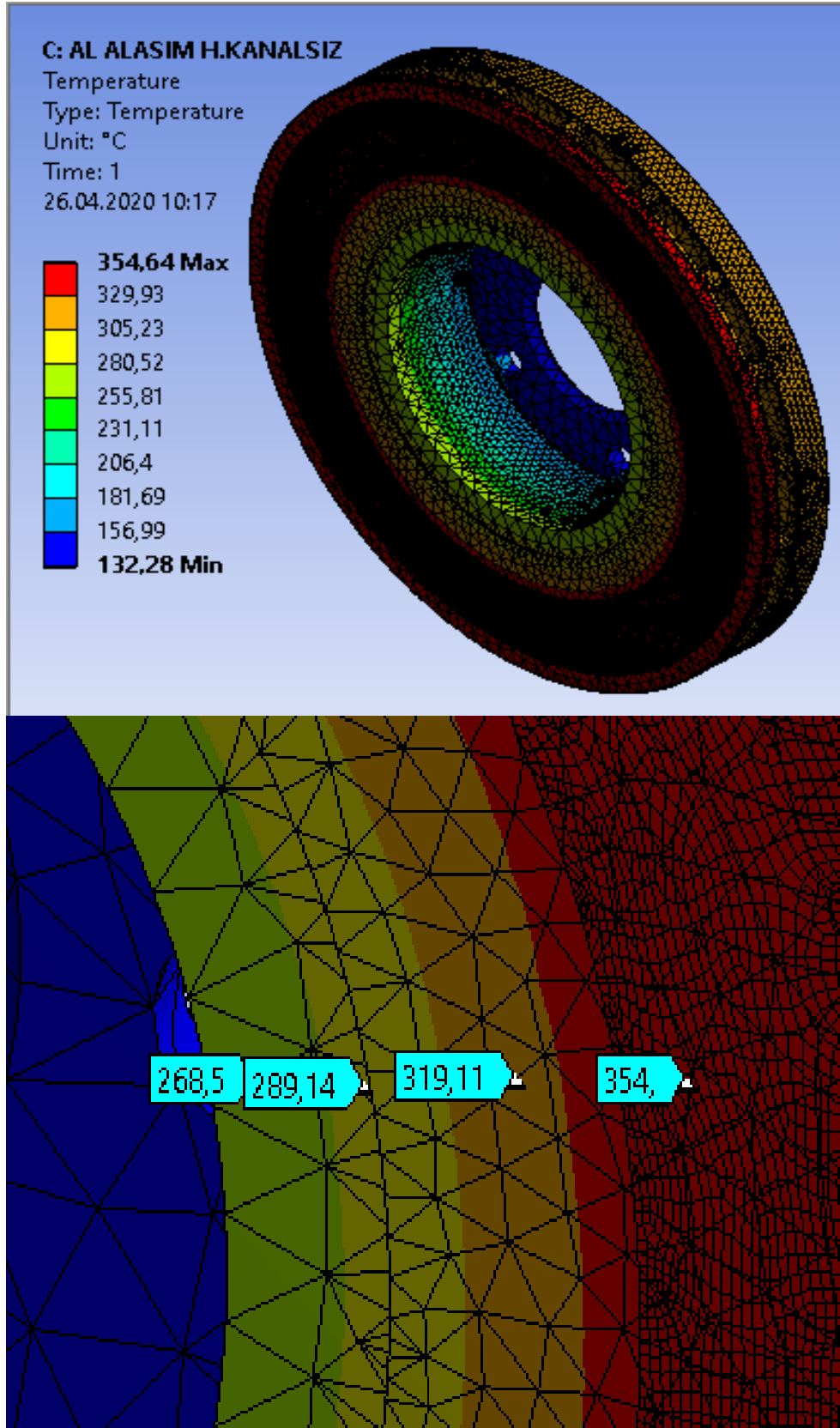
Grafit dökme demir hava kanallarına sahip disk frende yapılan termal analizde ısı aşağıda gösterildiği gibi bir yayılım göstermektedir. Görüldüğü gibi renk geçişleri hemen hemen deliklerin bulunduğu bölgelere denk gelmektedir.



Şekil 8.6. Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Frende Isı Geçişleri

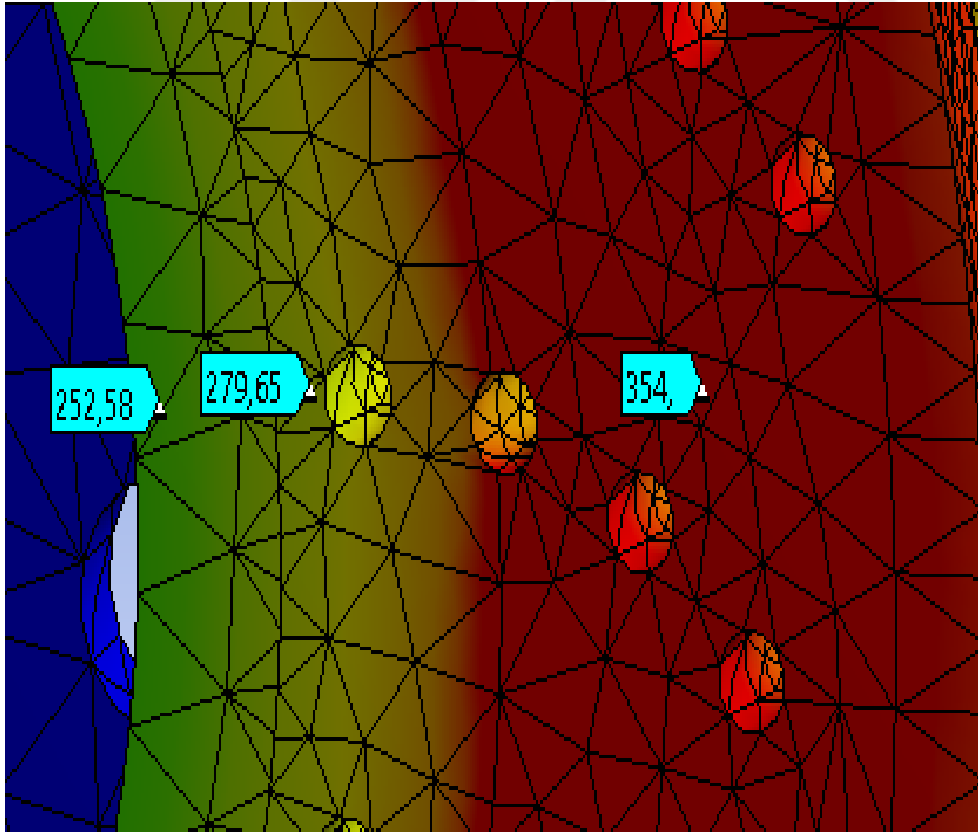
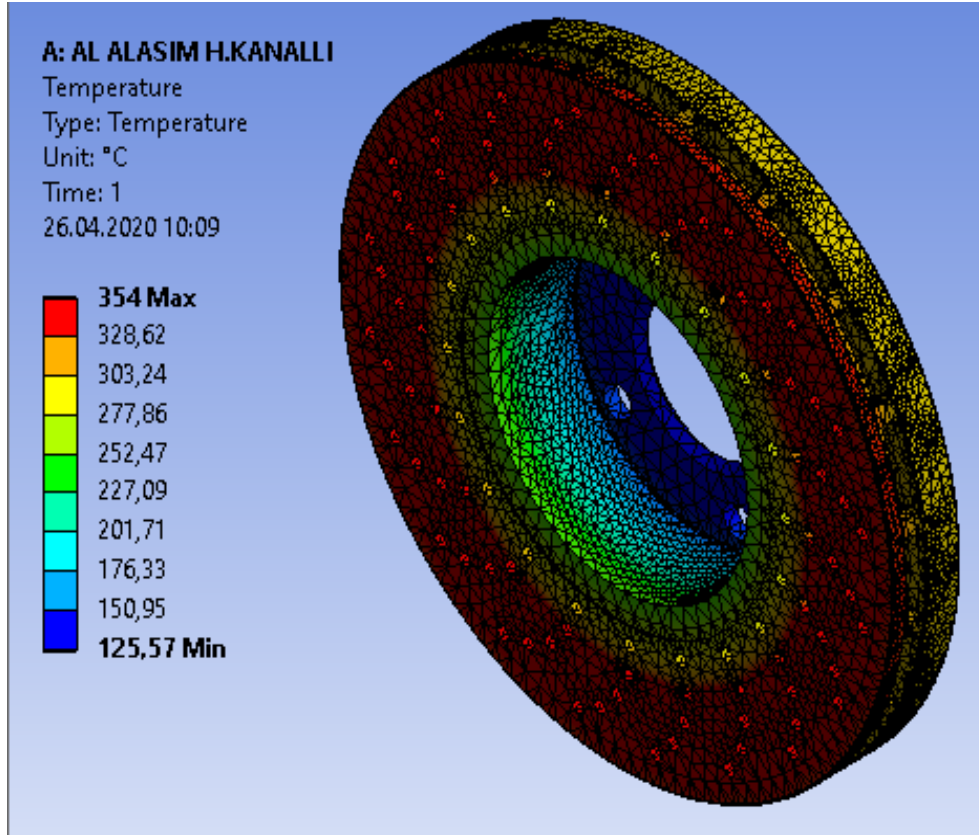


### 8.1.5. V<sub>2</sub> Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanalsız Disk Fren



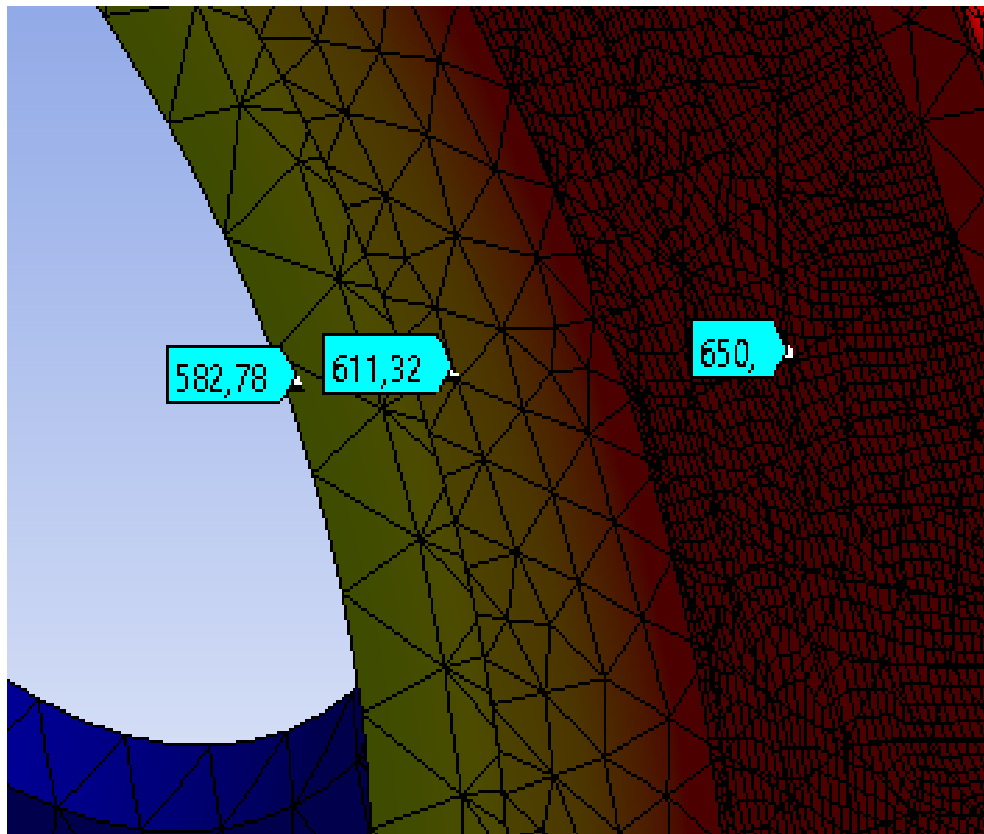
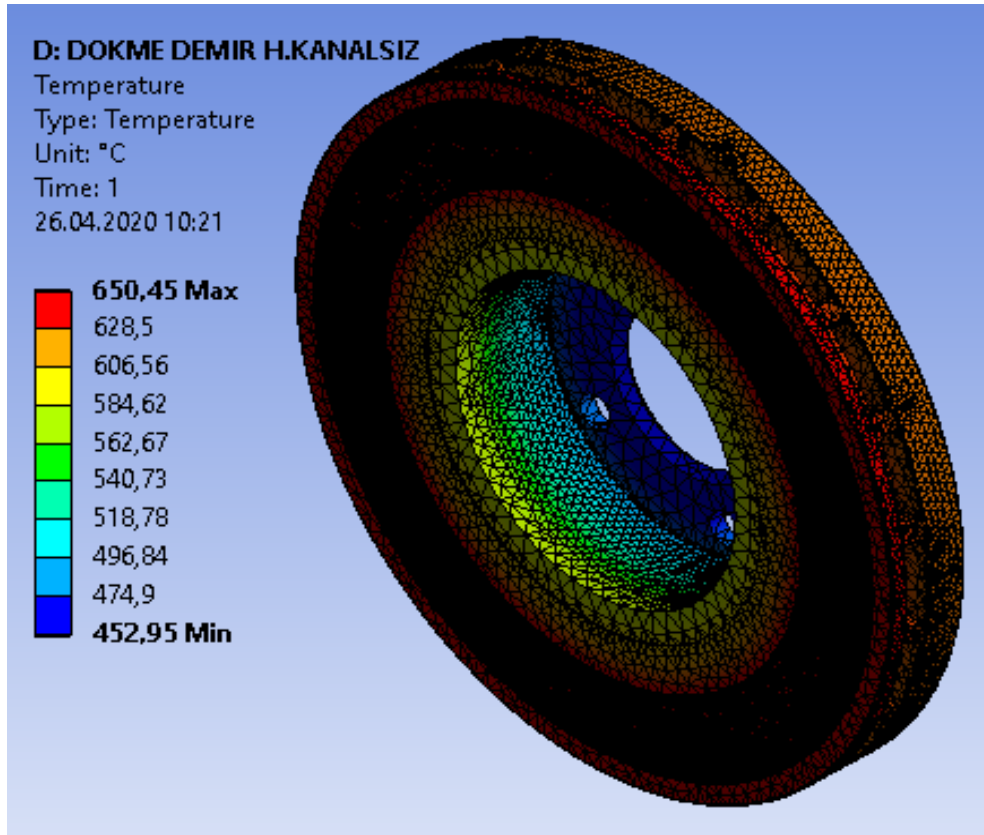
Şekil 8.7. V<sub>2</sub> Hızında Al Alaşım Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

### 8.1.6. V<sub>2</sub> Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanallı Disk Fren



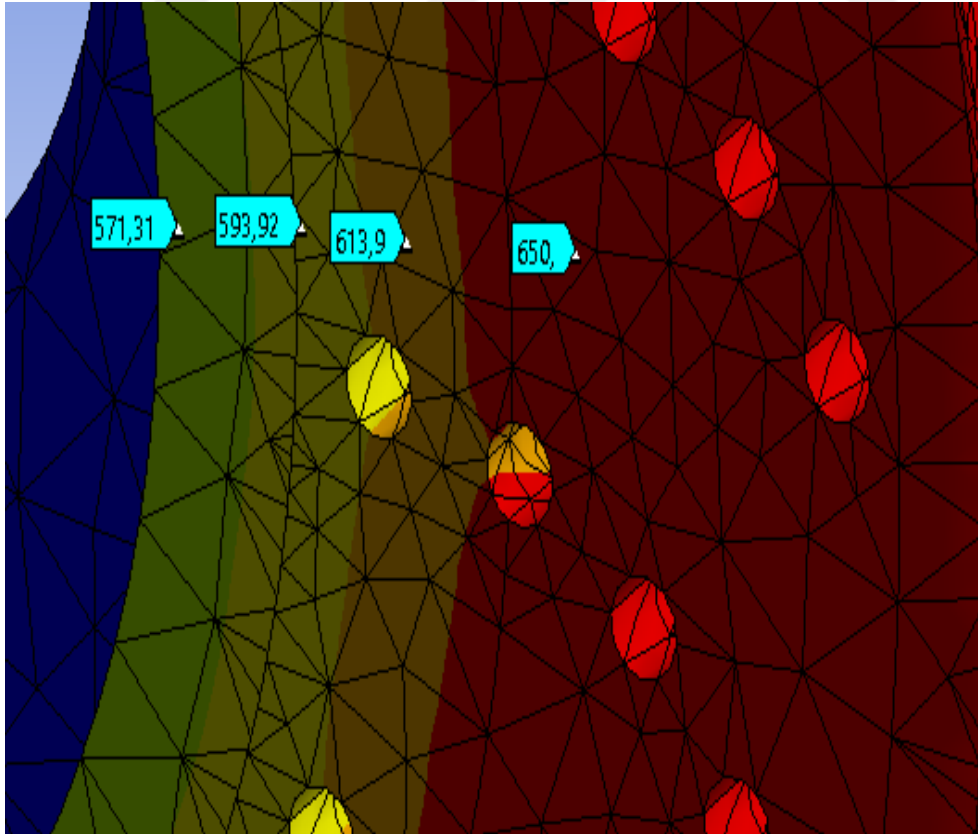
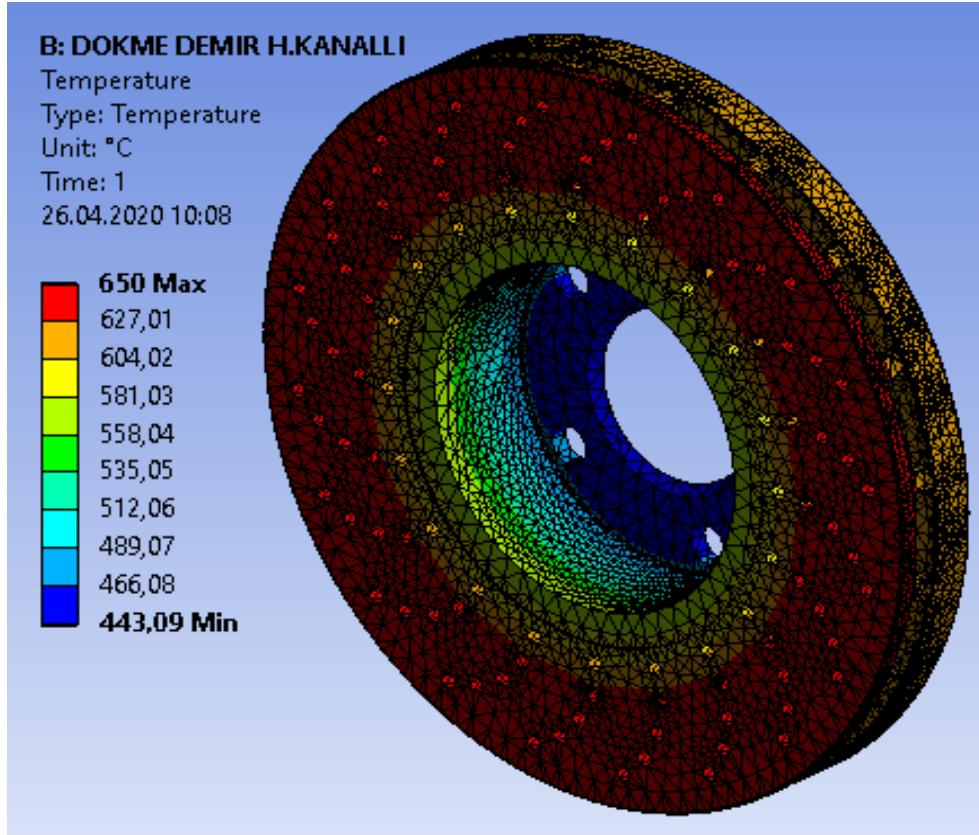
Şekil 8.8. V<sub>2</sub> Hızında Al Alaşım Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

### 8.1.7. V<sub>2</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren



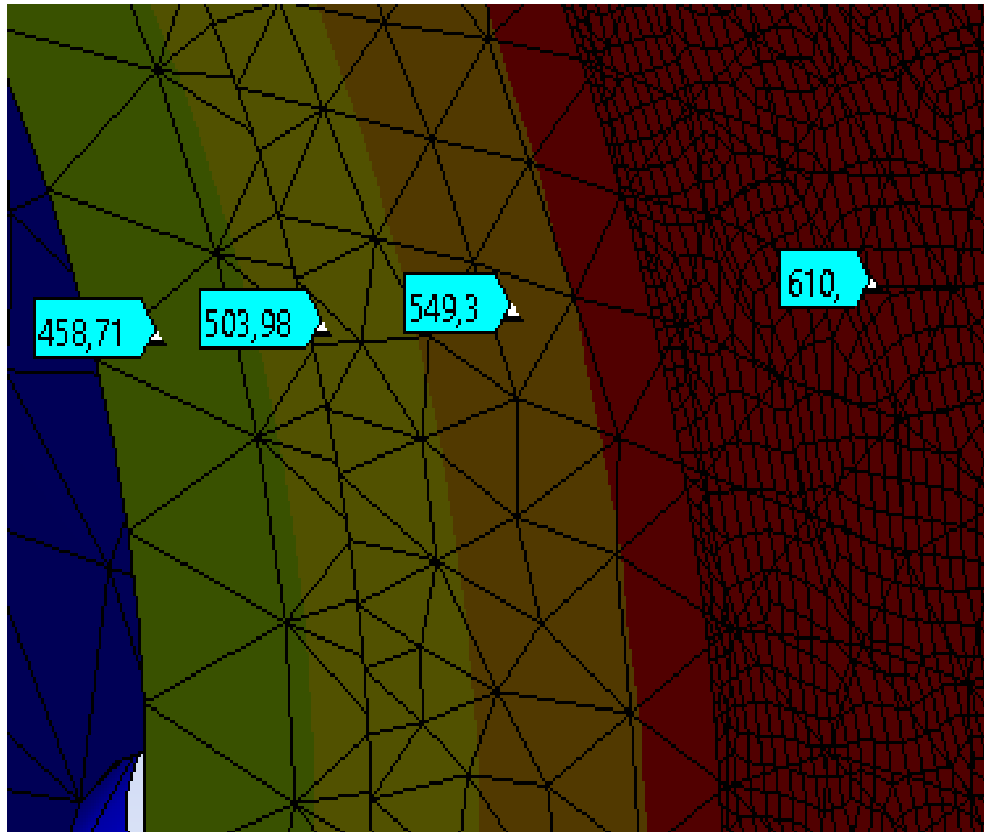
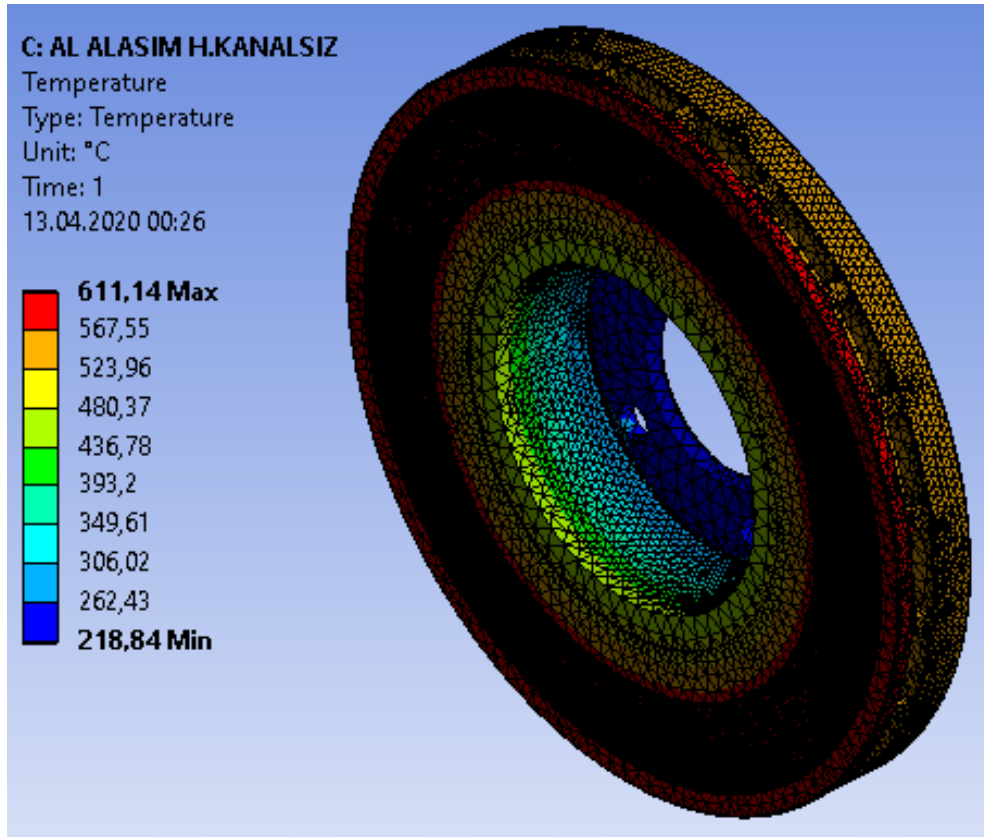
Şekil 8.9. V<sub>2</sub>Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

### 8.1.8. V<sub>2</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren



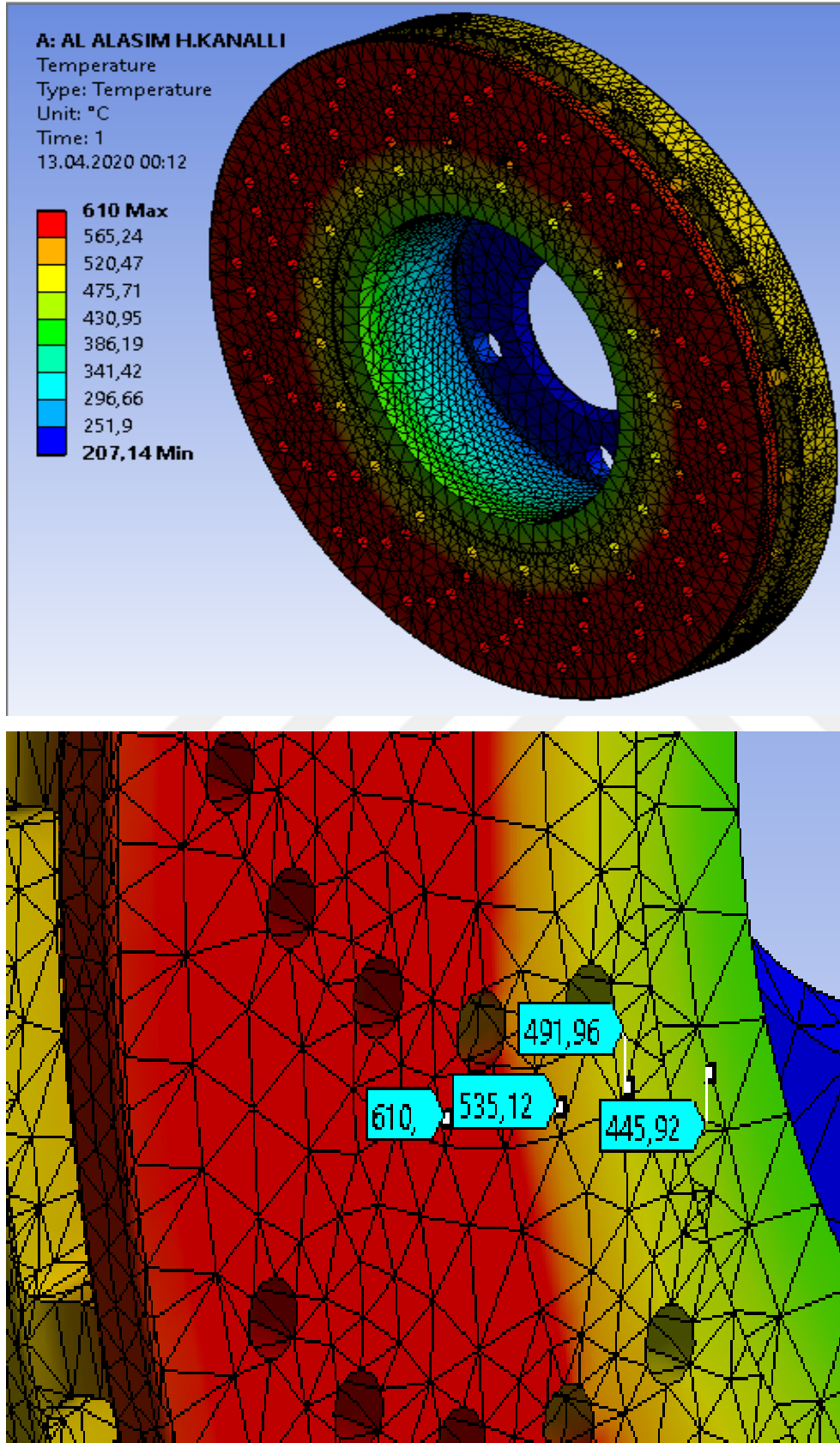
Şekil 8.10. V<sub>2</sub> Hızında Grafit DD Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

### 8.1.9. V<sub>3</sub> Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanalsız Disk Fren



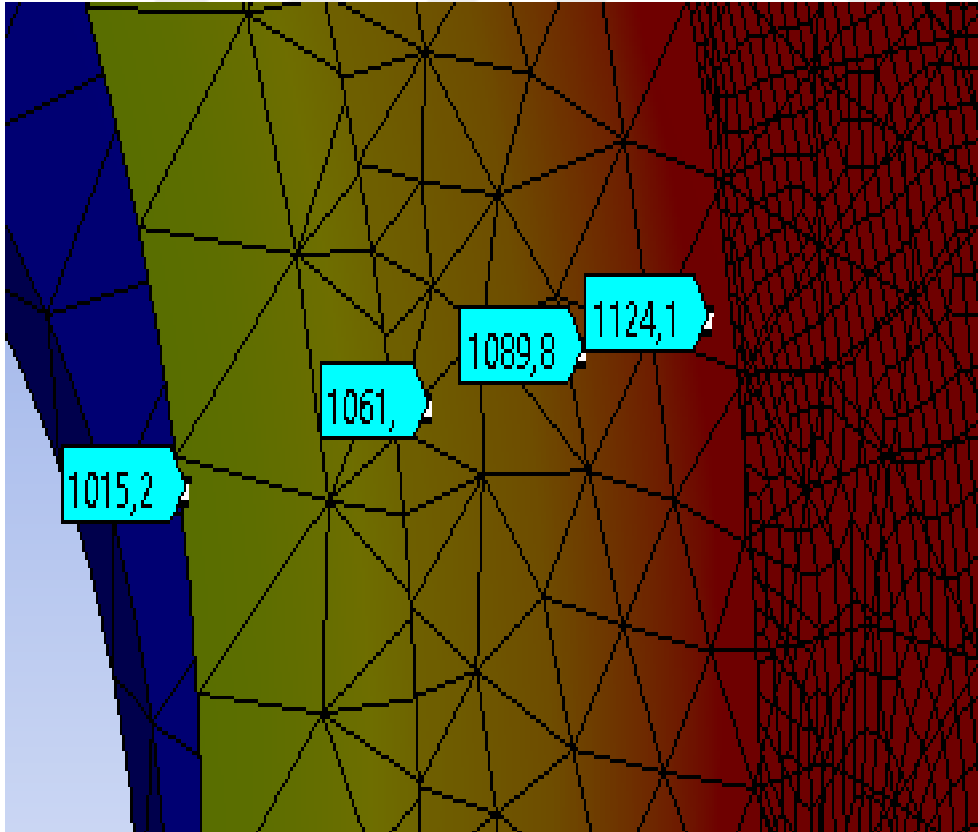
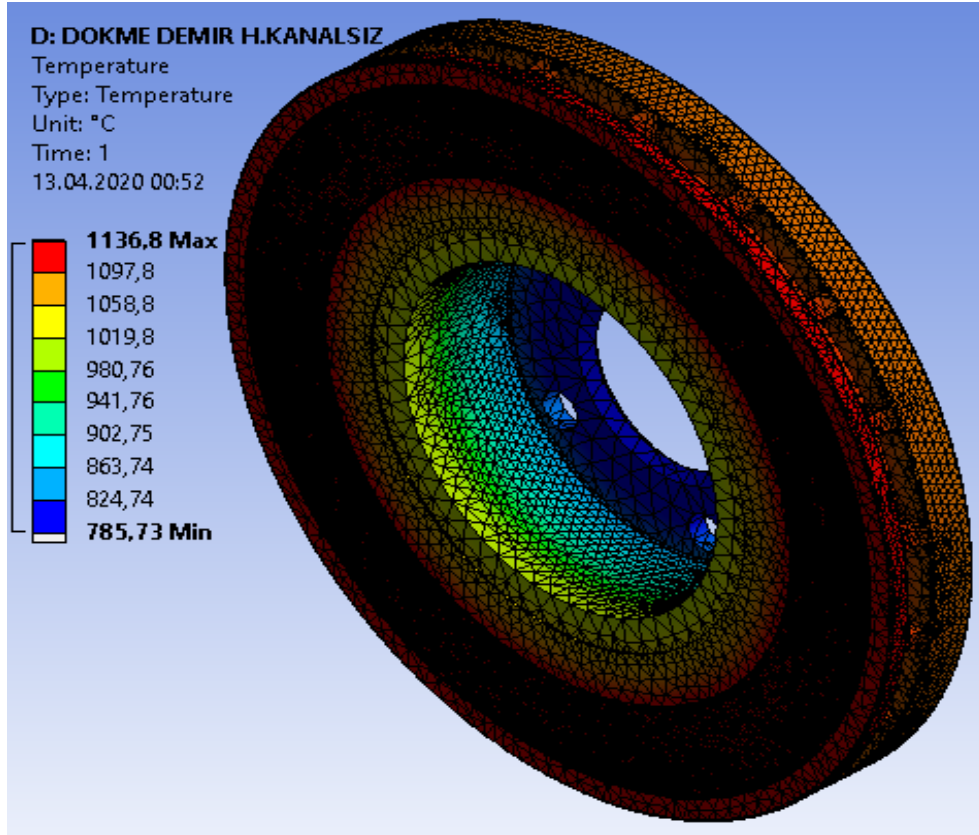
Şekil 8.11. V<sub>3</sub>Hızında Al Alaşım Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

### 8.1.10. V<sub>3</sub> Hızında Alüminyum Alaşım Hava Kanallı Disk Fren



Şekil 8.12. V<sub>3</sub>Hızında Al Alaşım Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı

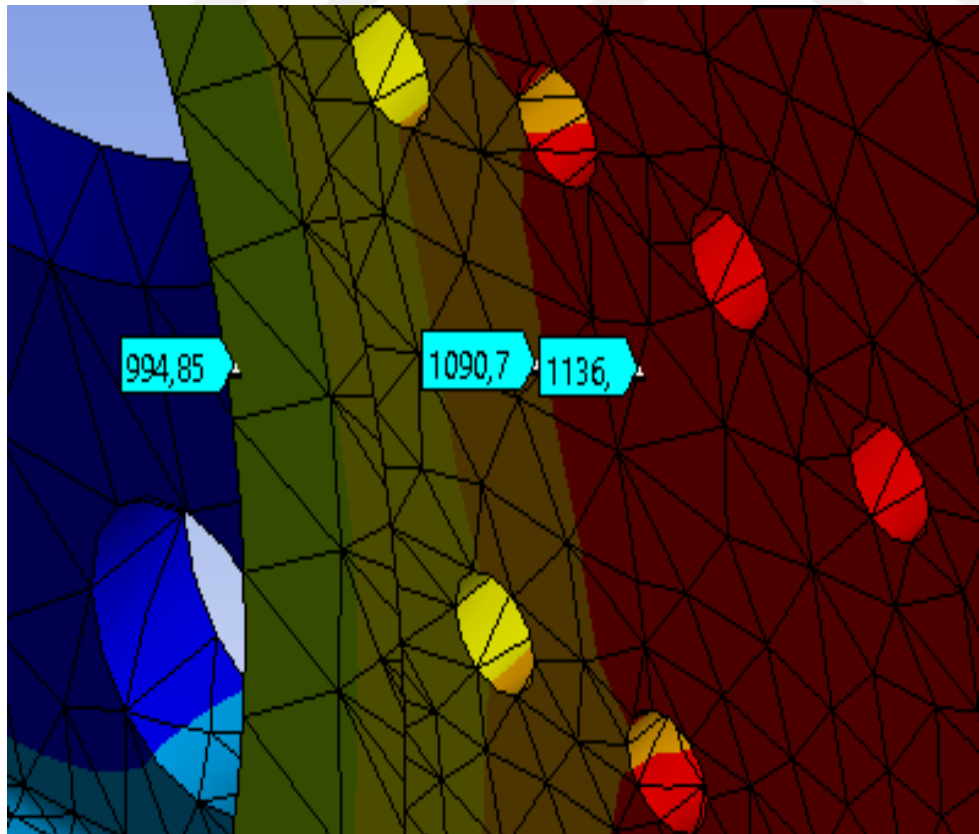
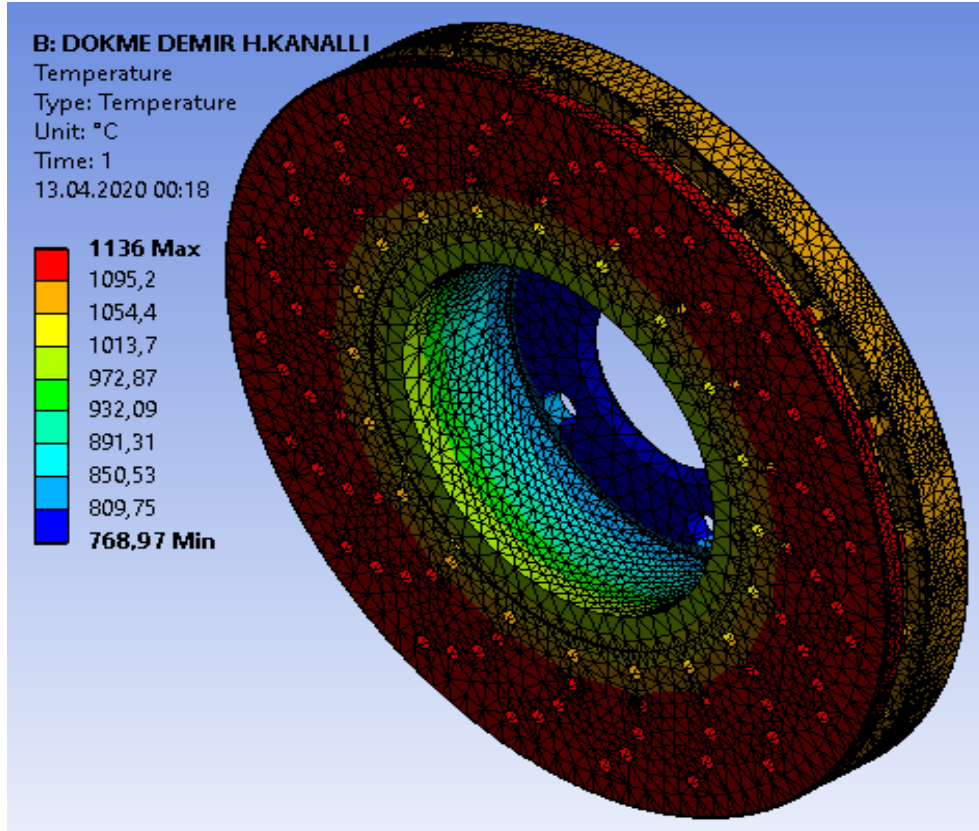
### 8.1.11. V<sub>3</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanalsız Disk Fren



Şekil 8.13. V<sub>3</sub>Hızında Grafit DD Hava Kanalsız Disk Frende Sıcaklık Dağılımı



### 8.1.12. V<sub>3</sub> Hızında Grafit Dökme Demir Hava Kanallı Disk Fren



Şekil 8.14. V<sub>3</sub>Hızında Grafit DD Hava Kanallı Disk Frende Sıcaklık Dağılımı



## 8.2. Sonuçlar ve neriler

Yapılan bu çalışmada hafif ticari bir aracın fren diski kullanılmıştır. Seçilen bu disklerde frenleme esnasında oluşan ısının yayılımı, ısı akışı, diskin imal edildiği malzemenin maksimum sıcaklığa etkisi, disk üzerindeki delik(hava kanalı) olup olmaması ve bu deliklerin sayısı ile dizilimi gibi tasarımsal faktörlerin ısı dağılımına ve disk üzerinde oluşan maksimum sıcaklığa etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS programıyla analiz edilmiştir.

Deneysel ve matematiksel sonuçlara göre; diskler üzerinde; frenleme başlangıç hızı 40 km/saat olduğunda 90, 148.4°C, frenleme başlangıç hızı 90 km/saat olduğunda 354, 650°C frenleme başlangıç hızı 120 km/saat olduğunda 610 ve 1136°C değerindeki sıcaklıklar oluşmaktadır. Oluşan bu sıcaklıklar özellikle diskin merkezine olmak üzere sıcaklık kaynağından dışarı doğru yayılmıştır. Aynı sıcaklık girdisi, farklı malzeme türü ve farklı tasarımıdaki disklere uygulandığında farklı şekilde dağılım göstermektedir. Ayrıca yalnız malzeme türü parametresi bile değiştirildiğinde frenleme sonucunda ortaya çıkan maksimum sıcaklıklar değişmektedir. Bunun en önemli nedeni farklı malzeme türlerinde ısı iletim katsayılarının da farklılık gösterebilmesidir. Örneğin; alüminyum alaşımlı fren diski için frenleme başlangıç hızı 40 km/saat olduğunda disk yüzeyinde maksimum 90 derecelik bir sıcaklık oluşmaktadır. Oluşan bu sıcaklığı öncesinde tasarladığımız hava kanallı ve hava kanalsız olarak farklılaştırdığımız disklere uyguladığımızda sıcaklık dağılımı ve sıcaklığın minimum değeri tamamen değişmektedir. şekil 36'da ve 39'da da grldği gibi sıcaklık hava kanallı disklerde daha düzenli şekilde dağılmaktadır. Ayrıca minimum sıcaklık değerleri düşmektedir. Örneğin hava kanalsız alüminyum alaşımlı disk frende minimum sıcaklık yaklaşık olarak 43 derece iken tasarım hava kanallı olduğunda minimum sıcaklık yaklaşık 41 derece seviyelerine düşmektedir. Bu fark frenleme başlangıç hızı arttıca daha da artmaktadır. Aracın frenleme başlangıç hızı 120 km/saat olarak değiştirildiğinde ise ortaya çıkan sıcaklıklar bu orantıda artmaktadır. Sıcaklıklar arttıca tasarımın delikli(hava kanallı) hâle getirilmesinin faydası daha fazla ortaya çıkmaktadır. Aynı özelliklerdeki iki diskten hava kanalları olan diskte minimum sıcaklık 207 °C seviyelerinde iken hava kanalsız olan tasarımda 219 °C seviyelerinde kalmaktadır. Bu da hava kanallarının diğer bir deyişle deliklerin fayda sağladığı anlamına gelmektedir. Bu deliklerin çapları ve delik dağılımlarındaki tasarımsal özellikler değiştirildiğinde minimum sıcaklık değerlerinde olumlu yönde farklılıklar olacaktır. Ayrıca aracın frenlemeye başlangıç hızı da arttıca ortaya çıkacak ısı artacağından bu tasarımsal özellikler minimum

sıcaklığı farklı açılardan etkileyecektir. Kısacası araç hızı arttıkça delik çapı ve sayısı sınırlar dahilinde arttırılmalıdır. Görüldüğü gibi disk üzerine belli özelliklerde delik delmek gibi uygulamalar yapıldığında ısı transferinin gerçekleşmesinin daha kolay olabileceği görülmüştür. Ancak disk üzerine delik delmenin diskin ömrünü kısaltmak yönünde kısmi deformasyonlar, eğilme, bükülme ve dislokasyonlara neden olabileceği, uzun süreli kullanımlarda ve yüksek hızlarda diskin yorulması ve uzun süre benzer sıcaklıklar altında çalışmanın etkisi araştırılmalıdır.

Farklı özelliklerdeki disklerin, termal analizinin dolayısıyla tezin çıktılarından diğer bazı çıktılar aşağıda verilmektedir. Ayrıca bu çıktılar literatüre katkı sağlayabilecek niteliktedir:

- Malzeme türü, malzeme üzerindeki ısının dağılımını direkt olarak etkilemektedir. Dolayısıyla malzemenin frenleme sonucunda üzerinde minimum sıcaklık oluşacak ya da oluşan sıcaklığı hızla yayabilen malzemelerden seçilmesi doğru olur.
- Frenlemeye başlangıç hızı arttıkça disk üzerinde oluşan sıcaklıklar da artmaktadır.
- Disk üzerinde oluşan sıcaklıklar diskin merkezine ve dışarı doğru yayılmaktadır.
- Disk üzerinde oluşan sıcaklıklar hava kanallarına sahip tasarımlarda daha düzgün yayılmaktadır.
- Frenleme sonunda disk araçtan sökülerek, çekme ve kopma deneyleri uygulanıp malzemenin mukavemet durumu ölçülebilir.
- Farklı hava şartlarının diskler üzerindeki sıcaklık dağılımını nasıl etkilediği incelenebilir.
- Farklı disk malzemeleri seçilerek, farklı sınır şartlarında ANSYS programında analiz edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/disc-brake1.html>
2. Day, A. J. (2014). *Braking Of Road Vehicles*. Butterworth-Heinemann.
3. Newcomb, T. P. (1980). Energy dissipated during braking. *Wear*, 59(2), 401-407.
4. Holmberg, K., Andersson, P., Nylund, N. O., Mäkelä, K., & Erdemir, A. (2014). Global Energy Consumption Due To Friction In Trucks And Buses.
5. Majcherczak, D., Dufrénoy, P., & Nait-Abdelaziz, M. (2005). Third Body Influence On Thermal Friction Contact Problems: Application To Braking. *Journal Of Tribology*, 127(1), 89-95.
6. Li, W. L., Zhou, W., Gao, L., & Chen, Y. (2013). Real-Time Monitoring for Vehicle Brake Temperature Rise in Continuous Long Downhill. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 300, pp. 916-919). Trans Tech Publications.
7. Kasem, H., Dufrénoy, P., & Desplanques, Y. (2012). Relationships between surface thermal gradients and disc distortion during stop-braking with high energy dissipation. *Tribology Letters*, 48(2), 169-181.
8. Şener, Ş. A. (2003). *Fatigue Life Determination Of The Leaf Spring On The Light Commercial*.
9. Liberty, J. (2005). *Programming C#: Building .NET Applications with C. " O'Reilly Media, Inc."*.
10. Dragomir, S. S., & Rassias, T. M. (Eds.). (2002). *Ostrowski Type Inequalities And Applications In Numerical Integration*. Dordrecht: Kluwer Academic.
11. Pizzari, V. (1998). *Ricerca Del Profilo Di Missioneveiture Segment B Turchia, Turkish Ciklo*
12. *Relazione Prot. No. 1 –(1998), D.T.S.V. Affidabilita' e Terreni Prova Laboratorio Misure (in Italian), Arese*.
13. Kahya, Kürşat; Sugözü, İlker; Şevik, Hüseyin. (2016), *Kızılçam Kozalağı Tozu İçeren Fren Balatası Üretiminde Sıcak Presleme Basıncının Tribolojik Özelliklere Etkisi*". In: *1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University, Afyon*. p. 508-512.
14. Bayrakçeken, H., & Düzgün, M. (2005). *Taşıtlarda Fren Verimi Ve Frenleme Mesafesi Analizi*. *Politeknik Dergisi*, 8(2), 153-160.

15. Timur, M. (2014). Otomotiv Fren Balatalarının Sürtünme Sonucu Oluşan Aşınma Direncinin Ve Termal Etkileşiminin Otomatik Test Sistemi Ile Tespit Edilmesi.
16. Erdem, M.,& Altıparmak, D. (2014). Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2).
17. Etemoğlu, A. B., Etemoğlu, N., Türkan, B., & Canbolat, A. S. (2018). Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5(2), 556-565.
18. Topuz, Polat, And Topuz Ahmet. (2018), "Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması." Marmara Fen Bilimleri Dergisi 30.3: 241-248.
19. Düzgün, M. (2014). Hava Soğutma Kanallı Fren Disklerinin Termo-Mekanik Özelliklerinin Sonlu Eleman Analizi Kullanılarak Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3).
20. Ghadimi, B., Kowsary, F., & Khorami, M. (2013). Thermal Analysis Of Locomotive Wheel-Mounted Brake Disc. Applied Thermal Engineering, 51(1-2), 948-952.
21. Manjunath, T. V.,& Suresh, P. M. (2013). Structural And Thermal Analysis Of Rotor Disc Of Disc Brake. International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology, 2(12), 7741-7742.
22. Adamowicz, A.,& Grzes, P. (2011). Analysis Of Disc Brake Temperature Distribution During Single Braking Under Non-Axisymmetric Load. Applied Thermal Engineering, 31(6-7), 1003-1012.
23. Xusheng, H. J. G. C. T.,& Xiezhao, L. I. N. (2008). Numerical Modeling and Analysis of the Thermal-structure Coupling of the Disc Brake [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2.
24. Koç, O.&Mutlu, S. T. (2009). Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi. Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT), 1(2), 9-20.
25. Relazione Prot. No. 1 -1998, D.T.S.V. Affidabilità'e Terreni Prova Laboratorio Misure (in Italian), Arese.
26. Paul, P. K., Dunga, R. K., Verma, A., Mannikar, A. V., & Raju, S. (2001). Techniques For Accelerated Design Validation Of Tractor Chassis (No. 2001-26-0050). SAE Technical Paper.
27. H. Demel, H. Hemming, (1996) - "ABS and ASR For Passenger Cars - Goals And Limits", ", Robert Bosch GmbH and Society of Automotive Engineers.
28. Brake Technology, ABS/TCS, and Controlled Suspensions – SAE, SP – 1576, Warrendale, USA
29. ATA – Special Issue n.11, (1984)

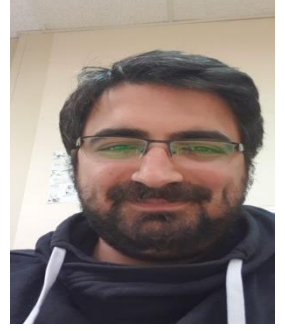
30. Harper, G. A. (1971). "A History Of Brakes And Friction Materials", IMechE.
31. Day J. and Newcomb T. P. (1984) - "The Dissipation Of Frictional Energy From Interface Of Annular Disc Brake", Proc. IMech, vol 198D n°11.
32. Bogetic P., Arsenic Z., Egelja A. (1994) – "Experimental Verification Of Stress And Deformation Of The 3D Finite Element Drum/Disk Model" – Mobility and Vehicle Mechanics, n° 1.
33. Tirovic M., Day A. J., Newcomb T. P. (1991)– "Thermal Effects And Pressure Distribution In Brakes" – Proceedings of the Institutions of Mechanical Engineering Vol. 205.
34. Virzi Mariotti G. (1992) – "Considerazioni sul funzionamento dei freni a disco" - ATA n° 12, 1991. G. Virzi Mariotti – "Tensioni Termiche Nei Freni A Disco Con Pattino Ad Accostamento Rigido" - ATA n° 3.
35. Virzi Mariotti G. (1993)- " Pressure And Thermal Stress In Disk Brake With Pad Shape As Part Of Circle Ring" Mobility Vehicles Mechanics n.1.
36. Virzi Mariotti G. (ay 18 1993) - Definition and Use of Effectiveness Factors in Disk Brake Design; Conditions of Pressure Uniformity - Science and Motor Vehicles 93 - Belgrade.
37. Cappello F., Pantano A., Virzi Mariotti G. (October 1996 )- Thermomechanical FEM Analysis of a Disk Brake with Pads and Pressure Cylinders - Conference Motor Vehicles and Engines, Kragujevac.
38. Di Carlo Cuttone M., Virzi Mariotti G., Duboka C. (28-30 May 2001) – "Influence of Pads and Cylinders on Thermoelastic Behaviour of Disk Brakes" – XVIII Science and Motor Vehicles 2001 – Belgrade.
39. Giacalone N., Virzi Mariotti G. (May 26 – 28, 2003)- "Thermoelastic Analysis of a Disk Brake by Taking in Account the Variability of Some Structural Parameters"– XIX Science and Motor Vehicles 2003, Belgrade, (Yu).
40. <https://www.sekizsilindir.com/2017/11/egzoz-freni-retarder-nedir.html>
41. Özbaş,Erkut.(<https://www.muhendisbeyinler.net/fren-sistemleri-ve-cesitleri/>)  
02/12/2017
42. MEGEP,[megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Fren%20Sistemleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Fren%20Sistemleri.pdf)

43. Kuralay, N.Sefa, <http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%2014%20Fren%20Sistemleri.pdf>
44. Ulaştırma denizcilik ve haberleşme bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Durma ve intikalsüreleri, <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/durmaintikal.aspx>, (2018).
45. Jaenudin, J. Jamari, and Tauviqirrahman M., Thermal analysis of disc brakes using finite element method, AIP Conference Proceedings 1788, 030028 (2017).
46. Reinsch, E.W., “Sintered Metal Brake Linings For Automotive Applications, Delco-MoraineDivision”, cilt 2, General motors corp dayton, Ohio, sayfa 9-21, (1970).
47. Sands, R.L., “Sintered Friction Materials”, Powder metallurgy practice and application, cilt 9, George Newnes Ltd, London, sayfa 198-203, 1966.
48. Aleksendric, D., Duboka, C., “Fade Performance Prediction of Automotive Friction Materials by Means of Artificial Neural Networks”, Wear, 2007, 262:778-790

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı :ÖNCEL, Yusuf  
Uyruğu :T.C.  
Doğumtarhiveyeri :03.07.1988 Bakırköy  
Medenihali :Evli  
Telefon :0555 6259131  
e-mail : yusuf9131@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	IGÜ / ISG	29.12.2017
Lisans	YTÜ /Makine müh.	18.10.2015
Lise	75.YIL Cumhuriyet L.	2008



*ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..*

