



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI MALZEMELERDEN YAPILMIŞ KATI VE
HAVALANDIRMALI AĞIR ARAÇ FREN DİSKLERİNİN
SONLU ELEMANLAR İLE TERMO-ELASTİK DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RECEP KADİR SIVRI

OCAK

**RECEP KADİR
SİVRİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2023

**FARKLI MALZEMELERDEN YAPILMIŞ KATI VE HAVALANDIRMALI
AĞIR ARAÇ FREN DİSKLERİNİN SONLU ELEMANLAR İLE TERMO-
ELASTİK DAVRANIŞI**

Recep Kadir SİVRİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Prof. Dr. İbrahim KELEŞ

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri 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.

Recep Kadir SİVRİ

18/01/2023

FARKLI MALZEMELERDEN YAPILMIŞ KATI VE HAVALANDIRMALI AĞIR ARAÇ FREN DISKLERİNİN SONLU ELEMANLAR İLE TERMO-ELASTİK DAVRANIŞI

(Yüksek Lisans Tezi)

Recep Kadir SİVRİ

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OCAK 2023

ÖZET

Bugünlerde özellikle otomobil teknolojisinde çok hızlı gelişmeler olmaktadır. Hem otomobil hem de ağır vasıta araçları olan otobüs ve kamyonlarda disk fren sistemi aracın tekerleğin dönüşünü yavaşlatan ve durduran sistemlerdir. Araçları durdurmak için frenleme yapıldığında bir ısı meydana gelmekte ve sistem atmosfere açık olması sebebiyle kolayca dağılabilmektedir. Üreticiler bu durumu kısa ömürlü ve ağır çelik diskler ile aşmaya çalışmaktadır. Gerçek bir otobüs fren tertibatında farklı malzemelerden yapılmış disk fren rotor diskinin geçici termal ve yapısal analizi FEM tabanlı ANSYS yazılımı öğrenci lisansı yardımıyla frenleme koşulları altındaki termomekanik davranışını analiz etmektir. Disk freninde oluşan gerilme ve gerilimleri analiz etmek için bazı sınır şartları uygulandıktan sonra diskte meydana gelen deformasyon, kesme gerilmesi, elastik gerinim ve eşdeğer gerilme değerleri şekilleri alınmıştır. Tasarım açısından farklı malzemeler kullanılarak disk fren tertibatını dayanım karşılaştırması yapılmıştır. Deformasyon en fazla alüminyumda, en azda paslanmaz çelikte olduğu, eş değer gerilmenin en yüksek havalandırmalı alüminyum diskte olduğu, kesme gerilmenin en yüksek paslanmaz çelikte, elastik gerilmenin bütün malzemeler için yakın olduğu tespit edilmiştir.

Sayfa Adedi : 58
Anahtar kelimeler : Fren diski, sonlu elemanlar analizi, termal gerilme, yapısal, ağır araç
Danışman : Prof. Dr. İbrahim KELEŞ

THERMO-ELASTIC BEHAVIOR OF SOLID AND VENTILATED HEAVY VEHICLE
BRAKE DRIVES MADE OF DIFFERENT MATERIALS WITH FINITE ELEMENTS

(M. Sc. Thesis)

Recep Kadir SİVRİ

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

Today, there are rapid developments especially in automobile technology. The disc brake system in buses and trucks, which are both automobiles and heavy vehicles, is a system that slows the vehicle's wheel rotation and stops it. When braking to stop vehicles, heat is released and can easily be dispersed because the system is open to the atmosphere. Manufacturers try to overcome this situation with short-lived and heavy steel discs. Transient thermal and structural analysis of disc brake rotor disc made of different materials in urban bus brake assembly is to analyze its thermomechanical behavior under certain braking conditions with the help of FEM-based ANSYS student license. After applying some boundary conditions, the deformation, shear stress, elastic strain and equivalent stress values of the disc are taken to analyze the stresses and strains occurring in the disc brake. Air and disc brake resistor strengths are made by using different design materials. It has been determined that deformation is highest in aluminum, least in stainless steel, equivalent stress is highest in ventilated aluminum disc, breaking stress is highest in stainless steel, elastic strain is close for the whole materials.

Number of pages : 58
Key words : Brake disc, finite element analysis, thermal stress, structural, vehicle.
Supervisor : Prof. Dr. İbrahim KELEŞ

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca bana her anlamda destek veren Sayın Prof. Dr. İbrahim KELEŞ'e, teşekkürü borç bilirim.

Desteklerinden dolayı annem Hacer SİVRİ, babam Osman SİVRİ, eşim Selma SİVRİ, sevgili oğlum Tuna Berk SİVRİ ve ailemin tüm fertlerine sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu zorlu süreçte tecrübelerini, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Sedat DEMİR, Sayın Cevat ÖZYILMAZ, Sayın Mehmet ÇORUMLUOĞLU, Sayın Lütfullah BOLAT, Sayın Yılmaz SAMANCI, Sayın Mithat ÇAKMAK, Sayın Bahri KEŞ ve Sayın Ahmet AKER'e, Sayın Muhammed Furkan KURAN'a, Sayın Yasin Metehan CANBOLAT'a, Sayın Mehmet İSPİRLİ' ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	İV
ABSTRACT.....	V
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	İX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	Xİİİ
 1. GİRİŞ	1
1.1. Havalı Fren Tarihi	5
1.2. Havalı Fren Sistemi Çalışma Prensibi	6
1.3. Havalı Fren Sistemin Ekipmanları	9
1.3.1. Kompresör	9
1.3.2. Hava Kurutucu	10
1.3.3. Dört Yollu Dağıtıcı Ventil	11
1.3.4. Oransal Röle Valfi.....	12
1.3.5. Hava Tankı	12
1.3.6. Elektrik Kontrol Ünitesi(EBS).....	13
1.3.7. Fren Pedalı.....	14
1.3.8. Röle Valfi	14
1.3.9. Aks Modülatörü.....	15
1.3.10. Ön Fren Körüğü	16
1.3.11. Arka Fren Körüğü	17
1.3.12. El Fren Valfi.....	17
 2. LİTERATÜR TARAMASI	199
 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24

	Sayfa
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	29
5. SONUÇLAR.....	544
KAYNAKLAR	555
ÖZGEÇMİŞ	598



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Hesaplama prosedürü için gerekli parametreler.....	24
Çizelge 3.2. Paslanmaz Çelik (SS), Dökme Demir (CI) ve Alüminyum (Al) için Malzeme Özellikleri.....	26



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tarihteki bilinen ilk taşıt freni	2
Şekil 1.2. Romalıların kullandığı fren sistemi	2
Şekil 1.3. Dış sürtmeli fren sistemi	3
Şekil 1.4. Sürtmesi iç tarafta olan fren.....	3
Şekil 1.5. Sürtmesi dış tarafta olan fren.....	4
Şekil 1.6. Kampanalı olan fren	4
Şekil 1.7. Diskli olan fren	5
Şekil 1.8. Şehir içi alçak tabanlı otobüsün fren şeması.....	8
Şekil 1.9. Çift kafa kompresör	9
Şekil 1.10. Hava kurutucusu	10
Şekil 1.11. Dört yollu dağıtıcı ventil.....	11
Şekil 1.12. Oransal röle valfi	12
Şekil 1.13. Hava tankı.....	13
Şekil 1.14. EBS kontrol ünitesi.....	13
Şekil 1.15. Fren pedalı	14
Şekil 1.16. Röle valfi	15
Şekil 1.17. Aks modülatörü	16
Şekil 1.18. Ön fren körüğü.....	16
Şekil 1.19. Arka fren körüğü	17
Şekil 1.20. El fren valfi.....	18
Şekil 3.1. Havalandırılmalı ve havalandırmasız arka fren diskine ait FEM modeli	27
Şekil 3.2. Havalandırılmalı ve havalandırmasız disk için FEA Modeli mesleme.....	28
Şekil 4.1. Katı paslanmaz çelik fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı.....	29
Şekil 4.2. Katı alüminyum fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı	30
Şekil 4.3. Katı dökme demir fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı	31

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı.....	31
Şekil 4.5. Havalandırılmalı alüminyum fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı	32
Şekil 4.6. Havalandırılmalı dökme demir fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı	33
Şekil 4.7. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için sıcaklık dağılım grafiği	33
Şekil.4.8. Havalandırılmalı fren diskinin malzemeye göre sıcaklık dağılım grafiği.....	34
Şekil 4.9. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu	35
Şekil 4.10. Katı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu	35
Şekil 4.11. Katı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu	36
Şekil 4.12. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu.....	37
Şekil 4.13. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu	37
Şekil 4.14. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu	38
Şekil 4.15. Katı diskinin malzemelere göre toplam deformasyon grafiği	38
Şekil 4.16. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre toplam deformasyon grafiği.....	39
Şekil 4.17. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi	39
Şekil 4.18. Katı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi.....	40
Şekil 4.19. Katı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi	41
Şekil 4.20. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi	41
Şekil 4.21. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi.....	42
Şekil 4.22. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi.....	43
Şekil 4.23. Katı diskin malzemelere göre toplam eşdeğer gerilme grafiği	43
Şekil 4.24. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre eşdeğer gerilme grafiği	44
Şekil 4.25. Katı paslanmaz çelik fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi.....	45
Şekil 4.26. Katı alüminyum fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi	45
Şekil 4.27. Katı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi	46
Şekil 4.28. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde kesme gerilmesi.....	46
Şekil 4.29. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi	47
Şekil 4.30. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.31. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için kesme gerilme grafiği.....	48
Şekil 4.32. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre kesme gerilme grafiği	49
Şekil 4.33. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan elastik gerinmesi	49
Şekil 4.34. Katı alüminyum fren diskinde oluşan elastik gerinmesi.....	50
Şekil 4.35. Katı dökme demir fren diskinde oluşan elastik gerinmesi.....	50
Şekil 4.36. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde elastik gerinmesi.....	51
Şekil 4.37. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi	52
Şekil 4.38. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi	52
Şekil 4.39. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir elastik gerilme grafiği	53
Şekil 4.40. Havalandırılmalı diskte malzemelere göre elastik gerilme grafiği	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
P	Hava basıncı
P_b	Fren gücü
M	Araç kütlesi
u	Başlangıç hızı
E	Elastisite modülü
V	Fren uygulaması sonunda taşıt hızı
γ	Her iki tarafta %30 aks ağırlık dağılımı
k	Diskin emdiği kinetik enerjinin yüzdesi
g	Yer çekiminden kaynaklı ivme
μ	Sürtünme katsayısı
K.E.	Kinetik enerji
d	Durma mesafesi
t	Yavaşlama süresi
Q	Isı akısı
A	Disk alanı
ρ	Yoğunluk
c	Öz ısı
α	Termal genleşme
h	Isı transfer katsayısı

Simgeler**Açıklama** T_{max} ,

Sıcaklık artışı

 T_{roa}

Bağıl fren sıcaklığı

 σ

Diskin yüzeyindeki sıkıştırma gerilmesi.

 w

Açısal hız

 EBS

Elektronik frenleme sistemi

 ASR

Anti panitaj sistemi

 ABS

Kilitleme karşıtı frenleme

 FEA

Sonlu elemanlar analizi

 FEM

Sonlu elemanlar analizi

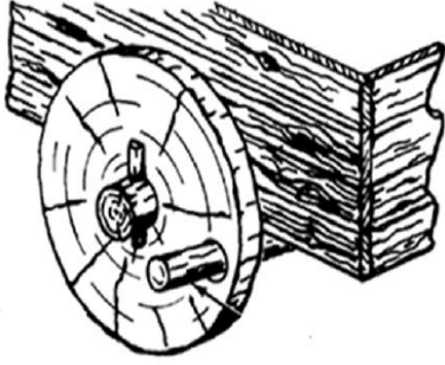
1. GİRİŞ

Fren sistemi, yürür bir vasıtanın en önemli parçaların başında gelmektedir. Ancak fren sistemi tasarlanırken çok fazla verimli olması dezavantaja dönüşebilmektedir. Örnek verecek olursak güçlü uygulanan bir fren kötü sonuçlar doğurabilecektir. Örneğin şehir içi alçak tabanlı bir otobüs seyir halinde aniden ve güçlü bir şekilde durması, yolcunun ön koltuğa veya ayakta bulunan yolcuların zarar görmesine neden olacaktır. Bu sebeple dengeli bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir.

Fren sisteminin tasarım amaçları arasında yavaşlatma, durdurma ve park etme bulunmaktadır. Bu sebeple güvenli sürüşlerde araçlardaki fren sisteminin önemi oldukça büyüktür. Özellikle trafik kazalarında aracın kontrolünün sağlanabilmesi için fren sisteminin rolü çok fazladır. Her türlü durumda araçların frenleme güvenirliliği ve duyarlılığı yüksek olmalıdır. Fren sistemi hayati öneme sahip olduğu için sürekli olarak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Fren sistemindeki oluşan arızalar tehlikelere yol açabilmektedir. Günümüzde ağır vasıta araçların, taşıma veya ulaşım gibi birçok sektörde otobüs, kamyon vb. araçların artmasından dolayı bu araçların güvenli sürüşlerinin sağlanması ve teknolojiye ayak uydurması gerekmektedir. Kullanılan araçların ağırlıklarının 10 tonu geçmesi nedeniyle yavaşlaması veya durulması istenildiğinde hidrolik frenlerin yetersizliği ortaya çıkmıştır. Fren pedalına uygulanan kuvvet, fren kuvvetinin uygulanmasında eksik kalmaktadır. Bu sebeple büyük hacimli araçlarda hidrolik ile çalışan sistemlere göre maliyeti daha az, mukavemeti daha fazla ve bakım açısından daha avantajlı olması sebebiyle havalı fren sistemleri kullanılmaktadır.

Ağır vasıta araçların frenlemesini direk etki eden unsurlardan biri de fren sistem parçalarında sıcaklığın artmasıdır. Frenleme esnasında açığa çıkan ısılar balata, disk, kampanada ciddi hasarlar, aşınmalara ve titreşimlere yol açabilmektedir. Balata ve disklerdeki yüksek sıcaklığın etkisiyle frenlemede tutunmayı azaltarak sistemin etkinliğinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Frenlemenin azalması sonucu ağır vasıta araçlar için kaza riskini oldukça yükseltmektedir.

Fren sisteminin genel tarihine baktığımızda, tarihteki yük taşımak için tasarlanan araçlarda bulunan frenleme Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi teker üzerinde bulunan bir delikten çubuğun geçirilmesiyle yapılmıştır (Limberg ve Enterprises, 2014).



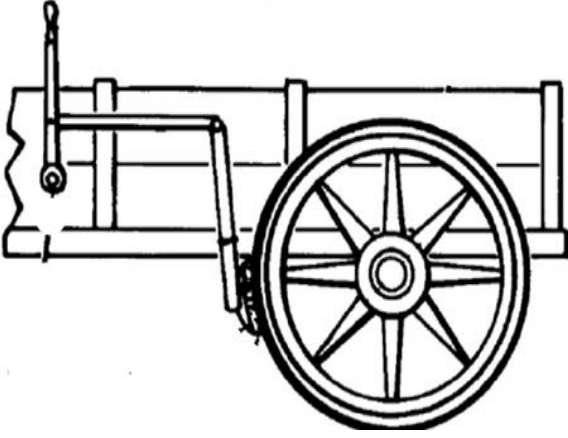
Şekil 1.1. Tarihteki bilinen ilk taşıt freni

Romalı savaşçıların Şekil 1.2.'deki gibi kullandığı araçlarda bir ucu şaseye monte edilerek teker poryası üzerinden geçirilerek ucu kullanıcının elinde olan zincirli bir sistemdir. Kullanıcı zinciri çekerek aracın frenleme yapması sağlanmıştır (Limberg ve Enterprises, 2014).



Şekil 1.2. Romalıların kullandığı fren sistemi

1800'lü yıllara geldiğimizde ise Şekil 1.3.'de görüldüğü üzere levye yardımıyla tekerin dış yüzeyine baskı uygulanarak frenleme yapılmıştır (Limberg ve Enterprises, 2014).



Şekil 1.3. Dış sürtmeli fren sistemi

İçten yanmalı motorun ve güç aktarma sistemlerinin icadıyla beraber kauçukta icat edilmiştir. Tekerin dışardan frenleme yapılması başarısız olmuştur. Sorunu çözmek için tekerin içerisine Şekil 1.4.'de görüldüğü üzere metal yüzey oluşturularak frenleme tekerin iç kısmından yapılmaya başlanılmıştır (Limberg ve Enterprises, 2014).



Şekil 1.4. Sürtmesi iç tarafta olan fren

Araçların geliştirilmesiyle ortaya çıkan ısı sebebiyle Şekil 1.5.'deki gibi balatanın yüzeyini genişletmişler (Limberg ve Enterprises, 2014).



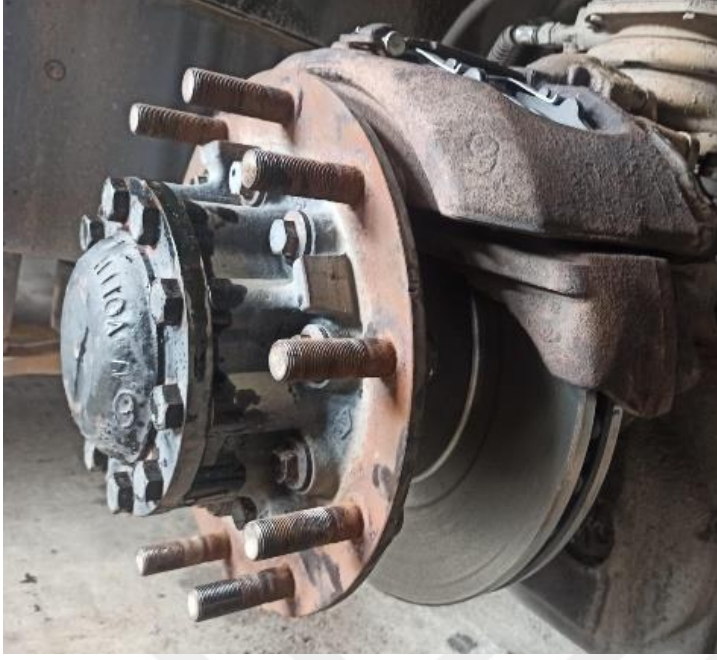
Şekil 1.5. Sürtmesi dış tarafta olan fren

Daha sonra kampananın içerisine dışarı doğru baskı uygulayan Şekil 1.6.'daki gibi hidrolik bir sistem geliştirilmiştir (Limberg ve Enterprises, 2014).



Şekil 1.6. Kampanalı olan fren

Araçların hız, ağırlık ve boyutlarındaki artışla beraber sürtünmeden kaynaklı sıcaklıklarını artmasıyla beraber Şekil 1.7.'de görülen disk fren sistemi tasarlanmıştır. Günümüzde kullanımı devam etmektedir (Limberg ve Enterprises, 2014).



Şekil 1.7. Diskli olan fren

Frenler dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Mekanik frenler, şoförün fren pedalına uyguladığı kuvvet ile aracın tekerlerine iletmesi ile oluşan fren tipidir.
- Hidrolik frenler, sıvı vasıtasıyla fren pedalına uygulanan az bir kuvvet ile tekerlerde yüksek bir kuvvet oluşturan fren tipidir.
- Havalı frenler, hava vasıtasıyla fren pedalına uygulanan az bir kuvvet ile tekerlerde yüksek bir kuvvet oluşturan fren tipidir
- Elektrikli frenler, fren pedalından giden sinyaller ile çalışan fren tipidir.

1.1. Havalı Fren Tarihi

Havalı frenler ilk önce raylı sistem araçların fren mesafelerini kısaltılması için denenmiştir. Trenlerde eskiden sadece lokomotiflerinde daha sonra da vagonunda fren uygulanmaya başlanılmıştır. Durma mesafesi kestirilemediği için araçların hızlı gitmesi olanaksızdı. Frenlerin her vagonda olması ve makinist kabininden kontrol edilmesi gerekmektedir. İlk havalı fren sistemi George Westinghouse tarafından 1869 yılında demiryolunda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Ramaratham, 2008).

1905'te yılına gelindiğinde, demir yolu araçlarda kullanılan bir fren sistemi yapılmıştır. 1922 yılına gelindiğinde ise pnömatik frenler karayolundaki araçlarda kullanılmaya başlandı. Pnömatik fren sistemi yolcu ve yük taşımacılığı yapan araçlarda kullanılmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmalarından fren mesafelerinin de kısılması sonucu 1949 yılında ağır vasıta araçlarda pnömatik fren sistemi standart hale gelmiştir.(Ramaratham 2008) 1970'li yıllarda ABS sistemleri bilgisayarların kullanılmasıyla beraber araçlarda kullanılmaya başlanılmıştır (Limberg ve Enterprises, 2014).

Wabco firması 1998 yılında ağır vasıta Mercedes Benz "Actros" modelinde EBS fren sistemini sayesinde sinyaller ile daha güvenli ve uyumlu fren sistemini uygulamaya başlamıştır.

1.2. Havalı Fren Sistemi Çalışma Prensibi

Ticari ve ağır vasıta araçlarda yük ve yolcu kapasitelerinin artmasına bağlı olarak fren sistemlerinin de geliştirilme ihtiyacı oluşmuştur. Araçların seyir halinde iken etkili ve konforlu durması trafiğin güvenliğini doğrudan etkilemektedir.

Ağır vasıta araçlarda fren sistemlerinin üç ana görevi vardır. Bunlar;

- Aracın konforlu ve güvenli bir şekilde yavaşlatarak durdurması,
- Aracın yokuş aşağı belirli bir hızda yol almayı sağlaması,
- Aracı sabit hale tutabilmesidir.

Frenleme sırasında fren sistemi ekipmanlarında ve lastiklerde sürtünmeye bağlı olarak bir ısı açığa çıkmaktadır. Bu açığa çıkan ısı fren sistemleri ekipmanlarına zarar vereceğinden dolayı frenleme performansını etkileyecektir. Performansa ısı haricinde yol şartları, sürtünme katsayıları, sistemin arıza durumu, ağırlık vs. gibi durumlarda etki etmektedir.

Elektronik Frenleme Sistemi (EBS), bir elektronik donanım ile aracın tüm fren sistemini kontrol eder. Pnömatik kontrollü sistemlerde, fren pedalına basıldığında gönderilen fren sinyalinin yerini, bir elektronik sinyal alır. Böylece sistemin performansı iyileşir ve aracın fren mesafesi kısılır.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. EBS kontrol ünitesi | 8. Kompresör |
| 2. Fren sinyal transmi teri | 9. Hava kurutucu |
| 3. Oransal röle valfi | 10. Dört yollu koruma valfi |
| 4. ABS selenoid valfi | 11. Hava tankı |
| 5. Aks modülatörü | 12. Park fren valfi |
| 6. 3/2 röle valfi | 13. Röle valfi |
| 7. ABS sensörü | 14. Fren körüğü |

Şekil 1.8. Şehir içi alçak tabanlı otobüsün fren şeması

Motordan gücü alan hava kompresörü hava üreterek hava kurutucuya gönderir. Kurutucuda temizlenen hava dört yollu koruma valfinden geçerek hava tanklarını hava ile dolmasını sağlar. Tanklarındaki hava basıncı düşük olduğunda araç frenleme konumunda kalır ve araç hareket etmez. Aracın hareket edebilmesi için hava basıncının alt sınır basıncında olması gerekmektedir. Hava tanklarındaki basınçlı hava aks modülatörüne gelir. Aks modülatöründeki hava röle valfi vasıtasıyla frenleme için hazır hale gelir. Fren pedalına basıldığında röle valfinden gelen hava ön fren körüklerine ve arka çift devreli fren körüklerine gitmesini sağlar. Fren körüklerindeki hava itme kuvvetinin yardımı ile fren balatalarını diske doğru iterek frenleme yapmaya başlanır. Frenleme bittiğinde fren körüklerindeki hava hızlı bir şekilde tahliye olur. Sistem tekrar frenlemeye hazır hale gelmiş olur. Park freninin çalışması ise el fren valfinin röle valfinde hazır olan hava arka çift devreli fren körüğüne gelir ve fren körüğünün içindeki yayı iterek balataların diske basması sağlanmış olur. El fren valfi eski konumuna alındığında ise fren körüklerindeki hava tahliye edilerek frenlemeye hazır hale gelir.

Pnömatik fren sistemlerindeki hava gücü içten yanmalı motordan kompresör vasıtasıyla üretilir. Hava çeşitli yardımcı bileşenler ile basınç kuvveti fren tekerlek mekanizmalarına iletilerek frenleme sağlanmaktadır. Pnömatik fren sisteminde;

- Kompresör,
- Regülatör,
- Fren pedal merkez valfi,
- Tek ve çift devreli fren körükleri,
- Hava emniyet tahliye valfleri,
- Su tahliye valfi,
- Hava tankları,

- Emniyet basınç valfler gibi parçalardan oluşmaktadır.

1.3. Havalı Fren Sistemin Ekipmanları

1.3.1. Kompresör

Şekil 1.9.'de görüldüğü üzere hava kompresörü içten yanmalı motordan aldığı güç ile dış ortamdaki havayı basınçlandırarak hava tanklarına gönderen parçalarıdır. Kısacası havayı üretilen tanklara gönderen parçadır. Şehir içi alçak tabanlı otobüslerde pistonlu kompresörler kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulan havaya göre tek veya çift pistonlu kompresörler araçlarda bulunmaktadır.



Şekil 1.9. Çift kafa kompresör

Kompresörün çalışmasına bakıldığında prensip olarak içten yanmalı motorun çalışmasına benzetilmektedir. İçten yanmalı motordan alınan güç kompresörün krank milini hareket verir. Bu hareketler doğrultusunda pistonlar vakum etkisi oluşturarak dış ortamdaki havayı çekip basınçlandırarak hava tanklarına gönderir. Sistem basıncı yükseldiğinde kompresörde bulunan tahliye valfinde hava dışarı gönderilir. Basınç tamamlandığında hava kompresörü hava üretmez ve dinlenmeye geçer. Soğutma işlemi içten yanmalı motorsun soğutma suyu kullanılarak yapılır. Yağlama işlemi içten yanmalı motorun yağlama sistemi kullanılarak çarpma yöntemi ile piston, piston pimleri, krank ve diğer aksamlar yağlanmış olur.

1.3.2. Hava Kurutucu

Hava kompresörünün dış ortamda aldığı havanın içindeki su buhar olarak bulunmaktadır. Havayı içindeki su dış ortamdaki neme ve sıcaklığa göre değişkenlik göstermektedir. Bu durumda kompresör hava, su ve dış ortamdaki yabancı maddeleri sıkıştırarak Şekil 1.10.'deki hava kurutucuya gönderir.



Şekil 1.10. Hava kurutucusu

Hava kurutucuya gönderilen havanın, nemi ve katı maddeleri alınması sonucu suyu kurutmanın sağladığı bazı faydalar;

- Hava sistemindeki valflerde ve mekanizmalardaki yağlayıcının özelliğinin kaybetmesini önlemek,
- Hava ile çalışan sistemlerde özellikle kış aylarında sistem içerisindeki suyun donmasının önüne geçmek,
- Hava sistemindeki ekipmanların kullanım ömrünü uzatmak,
- Hava sisteminde bulunan su ve yağın ayrıştırarak sistemin tıkanmasını önlemektir.

1.3.3. Dört Yollu Dağıtıcı Ventil

Alçak tabanlı otobüslerde genellikle Şekil 1.11.'deki dört yollu dağıtıcı ventil kullanılır. Dört yollu dağıtıcı ventil hava kurutucudan gelen basınçlı havayı dört ayrı sisteme dağıtır. Bunlar;

- Ön fren devresi
- Arka fren devresi
- El fren devresi
- İlave sistemler devreleri (kapı, süspansiyon sistemi vs.)



Şekil 1.11. Dört yollu dağıtıcı ventil

Dört yollu dağıtıcı ventil, sistemlerin çalışma sırasında herhangi bir devrenin hava kaybı yaşaması durumunda aksama yaşanan devreyi iptal eder diğer sistemleri aktif olarak hava ile besler. Devrelerin birindeki hava tankının boşalması durumunda araç güvenliği ve diğer sistemlerin etkilenmemesi için dört yollu dağıtıcı ventil kullanılmaktadır.

1.3.4. Oransal Röle Valfi

Şekil 1.12.'de görülen Oransal Röle Valfi, EBS sisteminde  n akstaki basıncı düzenler. Bir oransal selenoid valfi, bir röle valfi ve bir basınç sensöründen oluşur. Valf, sisteme bağlı olan bir kontrol  nitesi vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Kontrol  nitesinin göndermiş olduğu akımı, selenoid valf tarafından, röle valfi için kontrol basıncına dönüştürülür. Röle valfinin çıkış basıncı bu basın a göre değişir. Röle valfi pnömatik tahriği, fren sinyali transmi eri tarafından oluşturulan yedekleme basıncından sağlar.



Şekil 1.12. Oransal röle valfi

1.3.5. Hava Tankı

Sistemlerindeki  ekil 1.13.'deki gibi hava tankları basınçlı havanın depolanmasını sağlamaktadır. Depolanmanın yanı sıra neme bağlı olarak oluşan suyun alt kısmında birikmesini sağlamaktadır. Tankın alt kısmında bulunan tahliye valfi ile beraber biriken suyun dışarı atılması olanak verir.



Şekil 1.13. Hava tankı

1.3.6. Elektrik Kontrol Ünitesi (EBS)

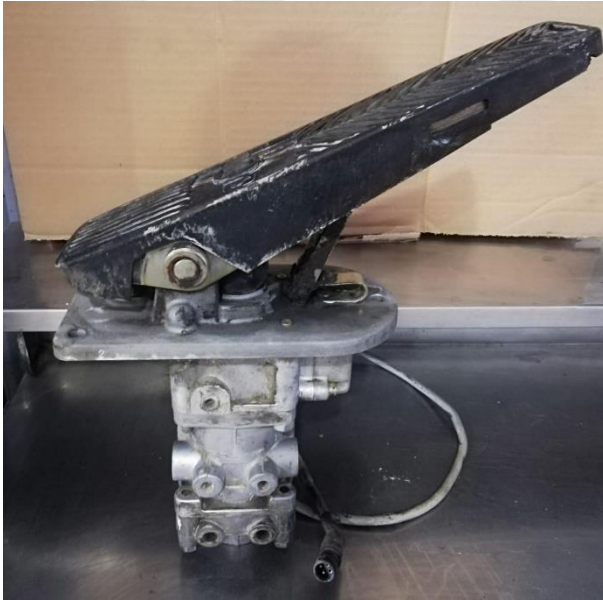
EBS sisteminin kontrolü ve takibini sağlar. Şekil 1.14.'de gösterilen elektrik kontrol ünitesinden frenlemeden sinyal alındıktan sonra sistemin ortalama reaksiyon verme süresini tespit eder. Bu süreye ve hız sensörlerinden gelen tekerlek hızı verilerine göre ön ve arka aksta uygulanacak sistem basınçlarını belirler. Belirlenen bu değeri, ön aksta ölçülen basınç değeri ile karşılaştırır ve mevcut farkı, oransal röle valfi aracılığıyla giderir. Ayrıca tekerleklerin dönüş hızı sürekli kontrol edilir ve bir kilitlenme durumunda fren körüklerindeki basıncı değiştirerek ABS kontrolü sağlar. Elektronik kontrol ünitesi ile aks modülatörlerinin kontrol devreleri arasında sürekli bilgi alış verişi olmaktadır.



Şekil 1.14. EBS kontrol ünitesi

1.3.7. Fren Pedalı

Fren pedalı elektrik ve pnömatik sinyaller üreterek, EBS sistem basıncının yükseltilip, düşürülmesini sağlar. Şekil 1.15.'de gösterilen fren pedalı çift devreli pnömatik ve çift devreli elektriksel yapıya sahiptir. Gelen tahrik (fren pedalına basılması), ikili anahtar aracılığıyla tespit edilir. Hareket halindeki itici çubuğun rotası kontrol edilir ve elektronik kontrol ünitesine bir sinyal olarak gönderilir. Ayrıca, her iki pnömatik devrede bir yedekleme basıncı oluşturulur. İkinci devredeki basınç EBS sisteminin çalışması sırasında da korunur. Herhangi bir devrede elektrik ya da pnömatik arıza olması halinde, diğer devre çalışmaya devam eder.



Şekil 1.15. Fren pedalı

1.3.8. Röle Valfi

Röle valfi, yedek sisteminin devreye girmesi durumunda, arka aks fren körüklerine acil olarak hava basılmasını ve/veya tahliyesini sağlar. Birkaç valf grubundan oluşur ve aşağıdaki fonksiyonları yerine getirir:

- EBS sistemi devrede iken; yedekleme durumunu kontrol eden bir 2/2 selenoid valfi olarak görev yapar,
- Yedek sistemin zamanlama sürecini kontrol eden bir röle valfi olarak görev yapar,

- Yedek sistem devreye girerse, ön ve arka aksdaki sistem basınç kontrolünün senkronize olmasını sağlamak amacıyla yedekleme basıncını korur,
- Yedekleme sisteminin devreye girmesi durumunda, sisteme kumanda eder.

Şekil 1.16.'de gösterilen röle valfinde ayrıca; ABS'nin devreye girmesi durumunda, elektrik sinyali ile tahrik edilerek, yedekleme basıncının düşmesini engelleyen 3/2 yön valfi mevcuttur.



Şekil 1.16. Röle valfi

1.3.9. Aks Modülatörü

Aks Modülatörü, aksın her iki tarafındaki fren körüklerinin basıncını kontrol eder. Şekil 1.17.'de gösterilen aks modülatörün üzerlerinde hava giriş ve tahliye valfleri bulunan biri birinden bağımsız iki hava kanalı, bağımsız basınç sensörleri ve elektronik kontrol devresinden oluşur. Olması gereken basınç değeri bilgisini elektronik kontrol ünitesinden alır ve yine elektronik kontrol ünitesi tarafından denetlenir. Ayrıca, tekerleklerin dönüş hızı iki hız sensörü tarafından takip edilir. Tekerleklerde kilitlenme ya da patinaj tespit edilirse, fren körüklerindeki basınç yeniden düzenlenir. Modülatörde, fren pabuçlarındaki aşınmayı ölçmek amacıyla 2 sensör bağlantısı mevcuttur. Arka aks modülatöründe ayrıca, yedekleme sistemi için ilave bir bağlantı mevcuttur. Her iki tarafta yer alan 2 yollu çek valfler, fren körüklerine daha yüksek basınç uygulanmasını sağlar.



Şekil 1.17. Aks modölatörü

1.3.10. Ön Fren Körüğü

Fren tankından genel basınçlı havanın Şekil 1.18’da gösterilen körüğün içine dolarak diyaframa baskı uygulaması sonucu piston milini iter ve fren balatası diske sürterek frenleme başlamış olur. Kısacası basınçlı havanın mekanik kuvvete dönüştürölmesiyle frenleme başlamış olur.



Şekil 1.18. Ön fren körüğü

1.3.11. Arka Fren K r    

Arka fren k r    leri çift devre olarak çalışmaktadır. şekil 1.19.'deki gibi şehir içi alçak tabanlı otobüslerde kullanılan çift devreli fren k r     park freni görevini de üstlenmektedir. El fren valfi çekildiğinde içerdeki hava boşaltılaca ından mile baskı uygulayarak kaliper pistonlarını iter ve frenleme yapar. Bu fren k r    leri genellikle arka akslarda kullanılmaktadır.



şekil 1.19. Arka fren k r    

1.3.12. El Fren Valfi

şekil 1.20.'de gösterilen el fren valfli çift devreli fren k r    lerinde basınçlı havanın yönünü değiştirerek kaliperlerdeki pistonların balataları itmesi sonucu frenleme yapar. El fren valfi tek konumlu olup araç seyir halinde iken kapalı konumdadır.



Şekil 1.20. El fren valfi

2. LİTERATÜR TARAMASI

ANSYS yazılımı kullanılarak sıcaklığın etkisiyle fren disk ve balatalarının gerilmeleri, yüzey basınçları, deformasyonlarının incelemeleri yapılmıştır. Farklı hızlardaki diskin fren balataları üzerinde deformasyonlarının ve gerilmeleri üzerinde çalışma yapılmıştır (Zheng, Lau, Schanall-Levin, Jarosz, Bell ve Ji, 2016).

Karbon-Karbon Kompozitler, Maraging Çelik ve Dökme Demir kullanılarak yapılan analiz yapılmıştır. Farklı sonuçlar karşılaştırılarak analizden maraging çeliğinin karbon-karbon kompozit ve dökme demire göre daha az deformasyon ve strese maruz kaldığı görülmüştür. Sıcaklık değerlerine de bakıldığında maraging çeliğinin malzeme konusunda en iyi seçim olacağını bulmuşlardır (Reddy, Reddy ve Gowd, 2013).

Modellemesi Catia kullanılarak yapılan fren diskinin paslanmaz çelik, dökme demir ve karbon-karbon kullanılarak ANSYS programında sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Paslanmaz çeliğin diğer malzemelere göre fren performansının ve deformasyonun daha iyi olduğu, stres açısından ise dökme demirin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Parab, Naik, Dhale, 2014).

Fren diskinin modellemesi yapılarak çelik, dökme demir ve titanyum alaşımlar sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmış. Analiz sonuçları karşılaştırıldığında asıl amacın fren diskin hafifletilmek olduğu çalışmada titanyumun diğer malzemelere göre hafif, gerilmelerin ve stresin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Pateriya, Yadav, Mukhraya, Singh, 2015).

Young modülü ile fren diskinin geçici termo elastik analizleri yapılmıştır. Sürtünme sonucu elastik elastik davranışlarını ANSYS yazılımı ile yapılmıştır. Dökme demir, alüminyum alaşım, E-Glass ve S2 Glass malzemeler kullanılmıştır. S2 cam elyafın mukavemet ve sertlik frenleme için daha uygun malzeme olduğu görülmüştür (Thilak, 2012).

Termal ve yapısal analiz kullanılarak fren diskinin Von Mises gerilmeleri belirlenmiştir. Fren diskinin hem katı hem havalı olarak 2 farklı malzeme için analizler yapılmıştır. Havalandırılmalı dökme demirde %31,47 gerilme ve %22,50 deformasyonda azalma olduğu

sonucuna vararak havalandırmalı tip diskin daha performanslı olduğu tespit edilmiş (Manjunath ve Suresh, 2013).

Yapısal kararlılığının analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış. Katı disk ile delik modeli, sayısı, çapı ve havalandırma kanat çapları belirli olan havalandırmalı diskin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Havalı fren diskinde stres %28,4 azaldığı, sıcaklığın 45.9 dereceden 39.33 dereceye düştüğü görülmüş (Park, Lee, Kim ve Kim, 2022).

Dökme demir ve paslanmaz çelik kullanılarak fren diski üzerinde yapılan analizlerde dökme demirin ısıyı yüzeye daha iyi yaydığı görülmüş fakat su ve nem ile teması sonucu paslanacağı için üretime uygun olmadığı görülmüş. Dökme demirde sıcaklık düşüşü 33.67, paslanmaz çelikte sıcaklık düşüşü 25.64 derece olarak bulunmuş. Paslanmaz çeliğin bu fren diski için üretim malzemesi olarak kullanılabileceği kararı verilmiş (Dhakar, 2018).

Modellemesi SolidWorks tarafından yapılmış ve ANSYS’de sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmış. Analiz fren sesinin azaltılması ve maliyetlerin azaltılması için yapılmış. Yapısal sağlamlığı, stres noktaları ve rezonans aralığı doğal frekanslar ile karşılaştırmaları yapılmış (Cui, Liu, Bei ve Duo, 2020).

Havalandırılmış bir diskin üç tip dökme demir (AL FG 25, FG 20, FG 15) kullanılarak termo elastik davranışı incelenmiş. Sıcaklık alanının stres, deformasyon ve malzeme diskin soğutulmasının önemli bir rol aldığı görülmüş. Frenlemede büyük bir etkisinin olduğu görülmüş (Ali ve Mostefa, 2012).

Katı modelleme kullanılarak alüminyum kompozit malzemeler ve dökme demirin seçilerek yapılan bu çalışmada dökme demirin daha uygun olduğu görülmüş (Sowjanya ve Suresh, 2013).

Sert frenleme koşullarında paslanmaz çelik ve dökme demir kullanılan fren diskinin değişik flanş analizleri yapılmış. 10 mm flanş genişliğine sahip dökme demir fren diskinde maksimum yer değiştirme 0.352583 mm, 10 mm flanş genişliğine sahip paslanmaz çelik fren diskinde yer değiştirme 0.2386 mm, 12 mm flanş genişliğine sahip fren paslanmaz çelik fren diskinde yer değiştirme 0.26295 mm olarak bulunmuş. Dökme demirde maksimum stres 10 mm flanş kalınlığı için 338.946 MPa, 12 mm flanş kalınlığı için

198.159 MPa bulunmuş. Paslanmaz çelikte maksimum stres 10 mm flanş kalınlığı için 259.231 MPa, 12 mm flanş kalınlığı için 185.499 MPa olarak bulunmuş (Dakhil, Rai, Reedy ve Jabbaral. 2014).

Seramik ve metal kaplamalar fren diski üzerine uygulanarak analizler yapılmış. Bor karbür kullanımında en iyi sıkıştırma gücü sağladığı görülmüştür. Bunun yanı sıra fren diskinin verimliliğinin ve performansının arttığı görülmektedir (Ramesh, Elsheikh, Satishkumar, Shaik, Djuansjah, Ahmadein ve Alsaleh, 2022).

Dairesel sütunlu, konik radyal ve elmas sütunlu kanatlar olarak analizin yapıldığı bu çalışmada kütle akış hızı, dairese kanatlara kıyasla yüksek olduğu bulunmuştur (Raj, Ramsai, Mathew ve Soniya, 2014).

Dökme demir kullanılarak 4,5 ve 6 saniyelik fren süreleri kullanılarak et kalınlığı 6.5 ve 10 mm olan fren diskinde yapılan analizde maksimum sıcaklığın 240.161 derece, Von-Mises gerilmesi 518 MPa olduğu ve 6.5 mm et kalınlığı olan dökme demirin mevcut uygulamalar için en uygun olduğu saptanılmıştır (Nathi, Charyulu, Gowtham ve Reddy, 2012).

Paslanmaz çelik ve dökme demir kullanılarak yapısal ve termal analizler sonucunda titreşimlerin dökme demir için daha uygun olduğu, yoğunluk bakımından paslanmaz çeliğin daha az olduğu fakat dökme demirin dayanımının paslanmaz çelikten daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Lakshmanaik, Raju ve Jayanand, 2017).

Bisiklet fren diskini paslanmaz çelik ve dökme demir kullanılarak yapıldığı bu çalışmada dökme demirin paslanmaz çeliğe göre termal açıdan daha iyi olduğu fakat dökme demirin nem ve su ile teması sonucu korozyon oluşturması sebebiyle iki tekerli araçlarda kullanılmasının uygun olmadığı gözlemlenmiştir (Satope, Bote ve Rawool, 2017).

Fren balataları ve diski aşırı yüklemdeki işlevselliği ve güvenilirliği için yapılan analizlerde 800 kilometrede gibi aşırı durumlarda bile çalışabileceği görülmüş, hava tahliyeleri sayesinde ısının tahliyesinin kolaylaştığı ancak aşırı fren kullanımı sonucu fren sıvılarında kaynama, korozyon ve çatlaklar sonucu frenlemenin yetersiz kaldığı görülmüştür (García-León, Flórez-Solano, Rodriguez-Castilla, 2019).

Fren diski ve balatalar arasındaki 500-1500 Hz aralığındaki sonuçlar karşılaştırılmış sertlik gereksinimlerinin arttırılmasıyla beraber frenleme gıcirtısının azaltılabileceği bulunmuştur (Abd ElSalam, Lotfy, Metwally, Mhamed, Hussien ve Morsy, 2021).

Kendi yapmış oldukları araca Suzuki Maruti 800 fren diskinin uygun olup olmayacağının araştırması yapılmış ve dökme demir olan diskin yer maksimum yer değıştirmesi 0.0753 mm, stres 55.2 MPa, Von-Mises 87.8 MPa bulunarak uygun olduğu bulunmuştur (Gupta, Saxena ve Modi, 2014).

Fren diskinde bulunan hava kanallarının kare oluk ve dairesel tip olarak 2 şekilde analizleri yapılmış ve kare oluk modelin deformasyonu dairesel oluk tipine göre %1.03 daha az, kare oluk modelin von-mises gerilimi dairesel oluk tipine göre %2.5 daha az, kare oluk yön deformasyonu dairesel oluk tipine göre %1.04 daha az, kare oluk ısı akışı dairesel oluk tipine göre %43 daha çıktığı görülmüştür (Ranganathan, Kuppuraj, Gopal ve Chandrasakaran, 2019).

İki tekerli bir aracın konveksiyonel ve perimetrik disklerinin termal ve yapısal analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre perimetrik disk daha az deformasyon ve strese sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Khanvilkar, Mahajan ve Bhatt, 2021).

Uçak fren diski üzerinde yapılan çalışmada termal analizlerin kalınlık ve havalandırma sayısına göre değışiklik disk üzerindeki deformasyonu etkileyen en önemli faktörlerin olduğu kanısına varılmıştır (Labdi ve Bouchetara, 2018).

Frenleme sonucu basıncın artması ile balatalarda oluşan gerilmeleri incelenen çalışmada, balata yoğunluğun artmasıyla fren diskine uygulanan ısı akısını azaldığı, balatanın ısının artması ile gerilmeler önce artıp sonra azaldığı, balatanın iç kısımlarda en yüksek gerilmeler görülmüştür (Balci, 2021).

ANSYS programı kullanılarak fren diskinin analizi sonucu 40 km/saat hızda frenleme yapıldığında 148.4 derece, 90 km/saat hızda 650 derece, 10 km/saat hızda 1136 derece olduğu görülmüş. Sıcaklıklar dışa doğru yayıldığı gözlemlenmiş (Öncel, 2020).

Fren balatasının sıcak preslenmesi sırasında basınçların değıştirilerek balatalar üzerindeki

sertliği, yoğunluğu ve aşınmaları incelenmişlerdir. Üretim aşamasında preslemenin balata performansına etki ettiği belirlenmiştir (Kahya, Sugözü ve Şevik, 2016).

Sıcaklığa, basınca ve hıza bağlı olarak balataların üzerindeki sıcaklık ve gerilmeleri incelemişler ve sürtünme katsayı değerleri bulmuşlardır (Timur, 2014).

Bu çalışmada ticari bir taşıtın fren diski üzerindeki sıcaklığı artışlarının etkileri araştırılmıştır. Sıcaklığın artması sebebiyle frenleme üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu görmüşlerdir. Testlerde 80 km/h hızla giderken frenleme yapıldığında disk üzerindeki sıcaklık 63 derece ve 533.9 metrede durmuş olup diskin sıcaklığı 298 dereceye geldiğinde mesafe %17.4 arttığını görmüşlerdir (Erdem ve Altıparmak, 2014).

Comsol programı kullanılarak yapılan bu çalışmada sıcaklığın fren diski ve balata üzerindeki etkilerini 3 farklı hızlarda incelenmiştir. Fren diskinde dökme demiri, paslanmaz çeliği ve karbon karbon kompozit malzemeleri ile analizlerinin yapılarak olumsuz etkilerini incelemişlerdir. Aracın ağırlığının 1 ton azaltılmasıyla beraber fren diski üzerindeki sıcaklıkların %30-%39 arasında azalma tespit etmişlerdir. En düşük sıcaklığı dökme demirde 119.81 derece, karbon kompozit malzemede ise 323.52 derece olduğunu gözlememişlerdir (Etemoğlu, Etemoğlu, Türkan ve Cabbolat, 2018).

Bu çalışmada taşıtlarda sıkça kullanılan delikli tip soğutma kanallı fren diskleri incelenmiş olup, değişken mesafelerde ve farklı açılardaki disklerin termal analizleri yapılmış farklı tasarımlarla %13-%54 arası iyileştirmeler yapmışlardır (Düzgün, 2014).

ABAQUS programı modellenen balata 300 saniye boyunca frenleme yapılarak ısı transferleri ve termal gerilmeleri incelemişlerdir. Maksimum sıcaklıklar balatanın diske temas ettiği yüzeylerde gözlemlenmiştir (Osman ve Mutlu, 2009).

Bu tezdeki farklılık daha önce ağır vasıta araçların fren diskinde farklı malzemeler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile çok fazla çalışma analiz yapılmamasıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Taşıtların kazalarının önlenmesi açısından, taşıtların fren performansı belirlemek için fren sistemi ile ilgili bazı verilere sahip olmamız gerekir. Bu veriler görecelidir ve uygulamaya göre değişir. Hızı 27.77 m/s (100 km/h) olan ağır ticari bir taşıt için rotor model ısı akısı hesaplanmıştır ve hesaplama prosedürü için gerekli parametreler Çizelge 3.1.'deki verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hesaplama prosedürü için gerekli parametreler

Araç Kütlesi (m)	10000 kg
Başlangıç hızı (u)	27.7 m/s (100 km/h)
Fren uygulaması sonunda taşıt hızı (v)	0 m/s
Fren diskinin rotor çapı	426 mm
Her iki tarafta aks ağırlığı dağılımı (γ)	0.3
Disk emdiği kinetik enerjinin yüzdesi (%90) (k)	0.9
Yer çekiminden kaynaklanan ivme (g)	9.81 m/s ²
Kuru kaplama için sürtünme katsayısı (μ)	0.7

Kinetik enerji Limpert (Limpert, 1999) tarafından aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Frenleme sırasında üretilen enerji formülü;

$$K.E = k \frac{1}{2} \gamma \frac{m(u-v)^2}{2} = 517920.75 J \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Durma mesafesini hesaplamak için;

$$d = \frac{u^2}{2\mu g} = 56.18 m \quad (2)$$

Yavaşlama süresini hesaplamak için;

$$v = u + at \text{ ise } t = 4s \quad (3)$$

Fren Gücü: Sürekli frenleme sırasındaki fren gücü, enerjinin zamana göre farklılaşmasıyla elde edilir.

$$P_b = K \cdot \frac{E}{t} = 32366.25 \frac{Nm}{s} \quad (4)$$

Isı Akısının (Q) Hesaplaması: Isı Akısı, birim alan başına birim zamanda, bir yüzeyden veya yüzeye aktarılan ısı miktarı olarak tanımlanır.

$$Q = \frac{P_b}{A} = 227.08 \frac{W}{m^2K} \quad (5)$$

Fren bileşenlerinin balataları ve diski arasındaki temas alanı, sürtünme nedeniyle ısı üretir. Bu iki kayar gövdenin ara yüzeyindeki ısı üretiminin hesaplanması için, “hareket sırasında aracın kinetik enerjisinin, araç durduktan sonra yayılan ısıya eşit olduğunu belirten enerjinin korunumu yasası” temelinde iki yöntem önerilmektedir. Hesaplamalarda benimsenen malzeme özellikleri ve parametreler Çizelge 3.2'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Paslanmaz Çelik (SS), Dökme Demir (CI) ve Alüminyum (Al) için Malzeme Özellikleri

Malzeme Özellikleri	SS	CI	Al
Termal iletkenlik (W/ mK)	60.5	52	148.62
Yoğunluk ρ (kg/ m ³)	7850	7200	2770
Öz ısı, c (J/kg °C)	434	447	875
Termal Genleşme, α (10 ⁻⁶ /K)	16.3	11	23
Elastisite Modülü, E (GPa)	200	110	71
Sürtünme Katsayısı, μ	0.42	0.15	1.4
Isı transfer katsayısı h (W/ mK)	50	0.55	239
Operasyon şartları			
Açısal hız (rad/s)	50	50	50
Durma zamanı, s	10	10	10
Hava basıncı, P (MPa)	1	1	1

Tek duraklı sıcaklık artışı T_{maks} , tek frenleme koşulundan kaynaklanan sıcaklık artışıdır.

$$T_{maks} = \frac{0,527 \times q \times \sqrt{t}}{\sqrt{\rho \cdot c \cdot k}} + T_{ortam} \quad (6)$$

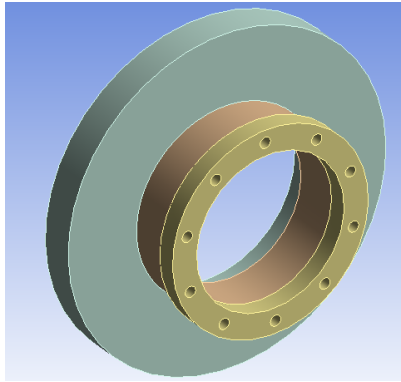
N'inci fren uygulamasından sonraki bağıl fren sıcaklığı, bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_{roa} - T_i = \frac{\left[1 - e^{\frac{(-nhAt_c)}{(\rho cv)}} \right] [\Delta t]}{1 - e^{\frac{(-hAt_c)}{(\rho cv)}}} \quad (7)$$

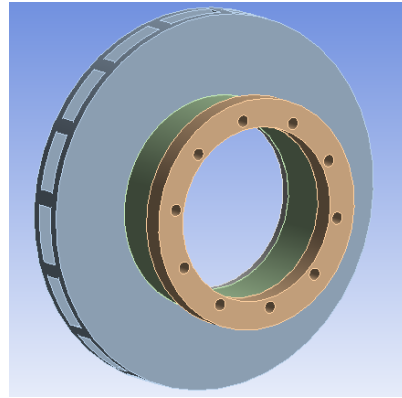
Ani sıcaklık artışlarından bir diskin yüzeyinde gelişen sıkıştırma gerilmeleri

$$\sigma = \frac{E}{1-\nu} \alpha \Delta T \quad (8)$$

Mühendislik problemlerinin sayısal çözümü için en etkili araç, sonlu elemanlar yöntemidir. Yüksek hızlı elektronik dijital bilgisayarların artan kullanımı ve mühendislik analizi için sayısal yöntemlere artan vurgu ile eş zamanlı olarak geliştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde analiz tipini ve sınır koşullar ve yük tipleri belirlenerek yükleri uygular ve sonlu eleman çözümünü başlatır. ANSYS Workbench programının kendi malzeme kütüphanesinde sıklıkla kullanılan malzemeler bulunmaktadır. Tasarlayacağımız modele uygun malzeme kütüphaneden çağrılarak seçimi yapılır. Daha sonra Workbench programının “Design Modeler” ya da “Space Claim” bölümleri kullanılarak model oluşturulur veya Workbench ile uyumlu çalışan diğer programlarda tasarlanıp model Workbench programına aktarılabilir. Workbench, bu görev modülleri arasındaki bilgi akışı üzerinde gelişmiş birlikte çalışabilirlik ve kontrol sağlar. Büyük modelleri verimli bir şekilde yönetmek için çeşitli araçlar ve teknikler dâhil edilmiştir. Ağaç filtreleme gibi ağaç Nesneleri etiketleme, bağlantılar çalışma sayfası, nesne üretici, alt modelleme. Veriler, 2B kaba modelden [Tam Model] bir 3B alt modele aktarılabilir. Katı geometrili yapısal ve termal analiz türleri için alt modelleme mevcuttur. Şekil 3.1.'de gösterilen boyutlar için yapılan disk frenin sonlu eleman modeli, disklerin iç yarıçapı, dış yarıçapı ve flanş kalınlıkları, dökme demir, paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımli için her iki durumda da katı ve havalandırılmalı disk için sırasıyla 0.21, 0.43 ve 0.045 m'dir.



Durum I



Durum II

Şekil 3.1. Havalandırılmalı ve havalandırmasız arka fren diskine ait FEM modeli

Ağ yapısı (meshleme) ayrıntıları Workbench'teki amacı, mesh oluşturma sürecini basitleştirecek, sağlam, kullanımı kolay meshleme araçları sağlamaktır. Kullanılan model, sonlu elemanlar olarak bilinen birkaç küçük parçaya bölünmelidir. Model bir dizi ayrı parçaya bölündüğünden, basit bir ifadeyle, bir sonlu eleman analizini gerçekleştirmek için

matematiksel bir ağ veya "ağ" gereklidir. Oluşturulan bir sonlu eleman ağ modeli Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Üç farklı ağ yapısı denenmiş değerlerin birbirlerine yakın çıkması sebebiyle, modelin ağı için kullanılan elemanlar 8 düğümlü dört yüzlü üç boyutlu elemanlar olup, her bir model için Element sayısı 55614, Node sayısı 93279 seçilerek meshleme yapılmıştır.



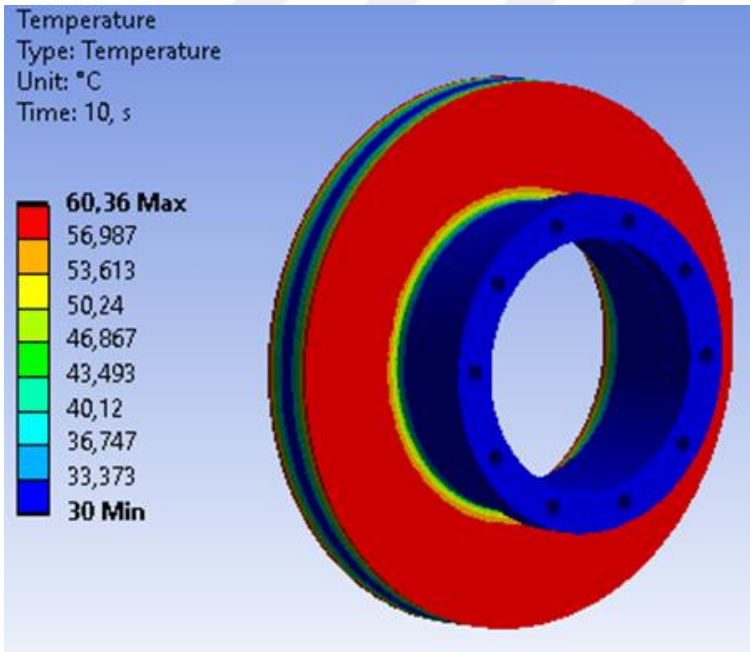
Şekil 3.2. Havalandırılmalı ve havalandırmasız disk için FEA Modeli mesleme

Sınır koşulları, simülasyon modu seçilerek ve malzemelerin fiziksel özellikleri ve simülasyonun başlangıç koşulları tanımlanarak ANSYS Workbench modülüne tanıtılır. Bu çalışmada, ANSYS kullanılarak frenleme için ısı akısı değeri uygulanarak her üç diskteki sıcaklık değişimini araştırmak için bir geçici termal analiz yapılacaktır. Daha fazla yapısal analiz, termal analiz birleştirilerek gerçekleştirilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

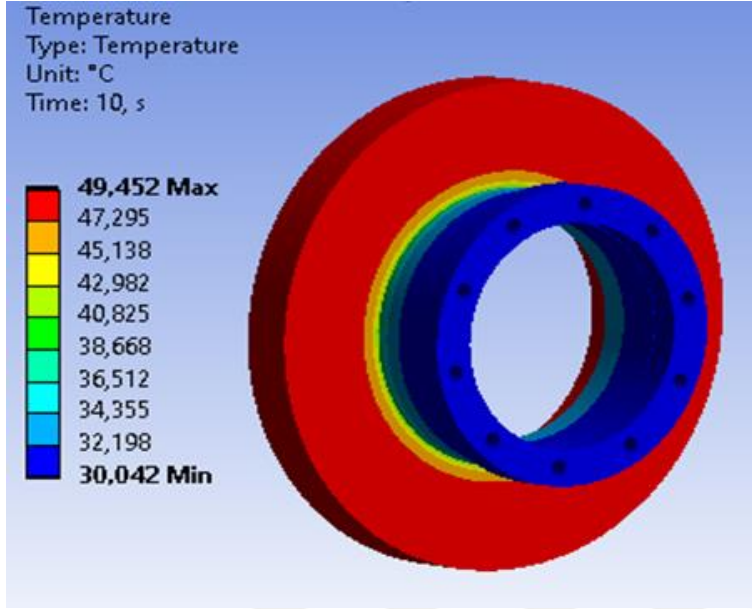
Mevcut modelleri doğrulamak için, 10 saniye boyunca sabit hava basıncı $P = 1 \text{ Mpa}$ ve açısal hız $w = 80 \text{ rad/s}$ (sürekli fren uygulaması) çalışma koşulu için disk frenin bir geçici termal analiz davranışı gerçekleştirilmiştir. Hava basıncı ve açısal hız sabit tutulduğu varsayılmıştır. FEM çözümlerinden elde edilen sonuçlar, modelin hem geçici termal hem de yapısal davranışı için verilmiştir. Mevcut sınır şartları üç farklı malzemenin havalandırılmalı ve katı(havalandırmasız) disk fren analizi yapılmıştır. Sonuçları doğrulamak için katı disk durum I ve havalandırılmalı disk durum II karşılaştırmaları yapılır.

Şekil 4.1.'de katı paslanmaz çelik fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı verilmektedir. Sıcaklık dağılımı incelendiğinde fren balatalarının diskin yüzeyi ile temas ettiği yüzeylerde sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu iç kesimlerde ise daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



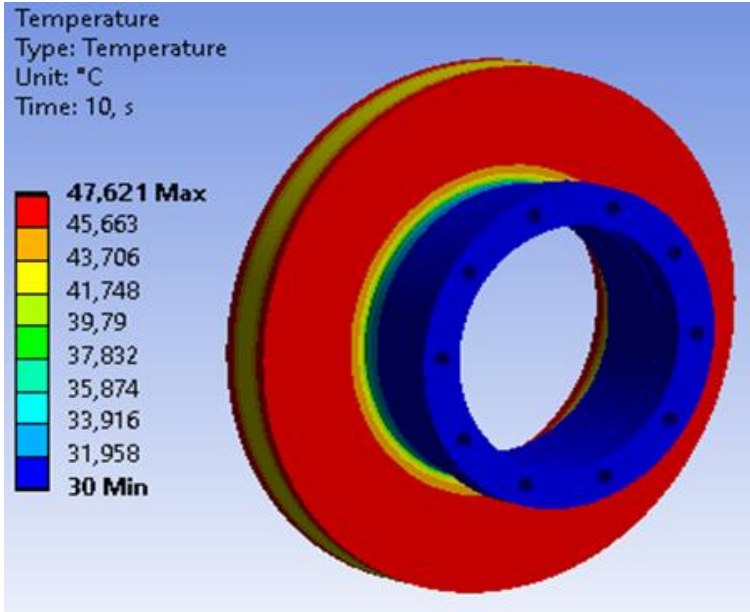
Şekil 4.1. Katı paslanmaz çelik fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Şekil 4.2.'de katı alüminyum fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Şekil 4.2. incelendiğinde diske temas eden balata yüzeyleri boyunca çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı cıvata somun bağlantı sistemlerinin bulunduğu kısımlarda daha düşük olduğu görülmektedir.



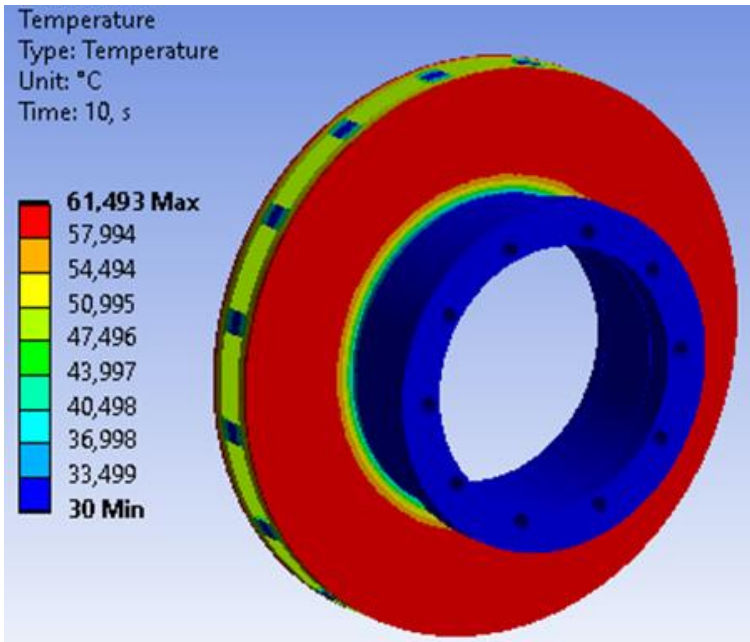
Şekil 4.2. Katı alüminyum fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Şekil 4.3.'de katı dökme demir fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı simüle edilerek verilmiştir. Bundan önceki paslanmaz çelik ve alüminyum malzemesi olarak tasarlanan disklerde olduğu gibi Şekil 4.3. incelendiğinde fren balatalarının bastığı yüzeylerinde yoğun olduğu diskin orta kısımlarında daha az sıcaklık oluştuğu görülmektedir.



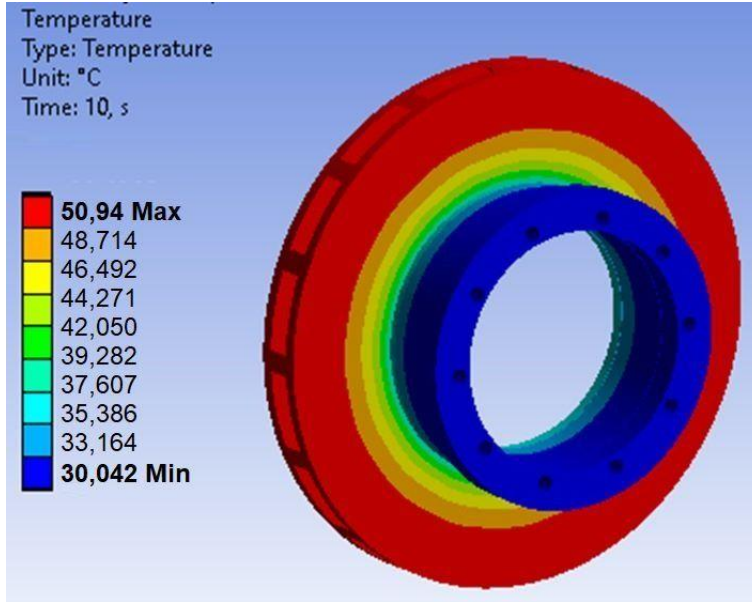
Şekil 4.3. Katı dökme demir fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı Şekil 4.4.'de gösterilmektedir. Şekil 4.4.'de fren balatalarının bastığı yüzeylerinde yoğun sıcaklık oluştuğu diskin iç kısımlarında ise daha az sıcaklık oluştuğu görülmektedir.



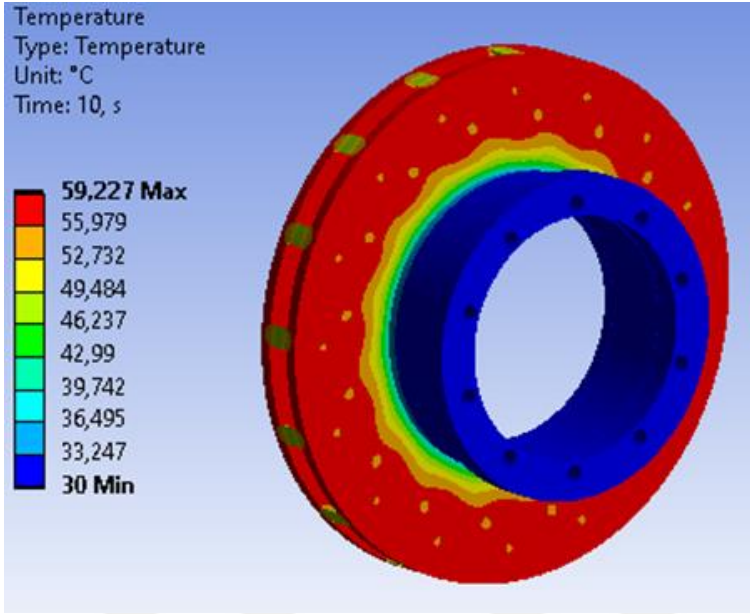
Şekil 4.4. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Şekil 4.5.'de havalandırılmalı alüminyum fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı verilmektedir. Şekil 4.5.'e bakıldığında fren balatalarının bastığı yüzeylerin dış kısımlarında daha yoğun sıcaklık oluşmasının yanında iç kısımlarında da yoğun sıcaklık olduğu görülmektedir.



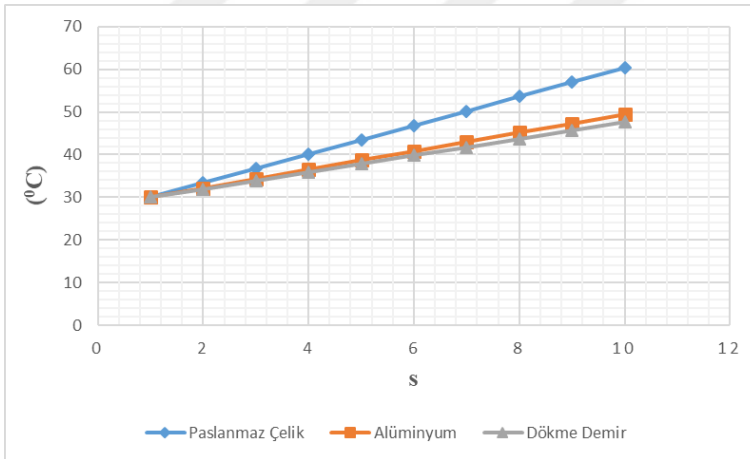
Şekil 4.5. Havalandırılmalı alüminyum fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Şekil 4.6.'de havalandırılmalı dökme demir fren diskinin frenleme sıcaklık dağılımı meydana getirilmiştir. Şekil 4.6.'a bakıldığında fren balatalarının bastığı yüzeylerin dış kısımlarına doğru sıcaklık artışı olduğu görülmektedir.



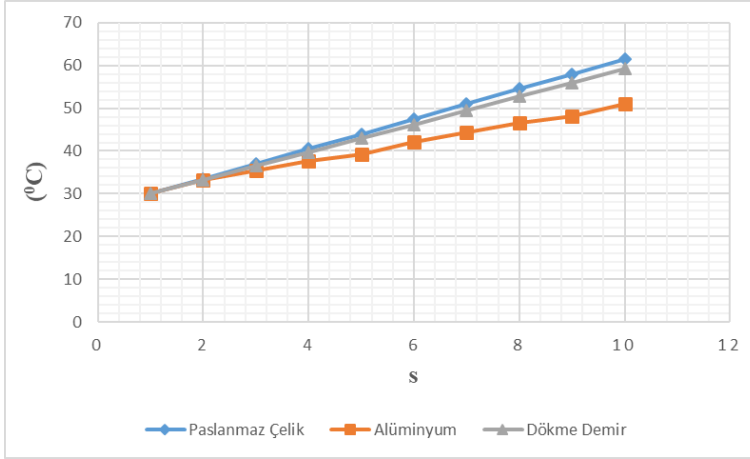
Şekil 4.6. Havalandırılmalı dökme demir fren diskin frenleme sıcaklık dağılımı

Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için sıcaklık dağılım grafiği Şekil 4.7. de verilmektedir.



Şekil 4.7. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için sıcaklık dağılım grafiği

Şekil 4.7. incelendiğinde paslanmaz çelik olarak tasarlanan diskte 10 s sonunda maksimum yaklaşık olarak 61 °C olarak gerçekleştiği daha sonra alüminyum ve sonra da dökme demir olarak sıralanmaktadır. Her üç malzemedен tasarlanan disklerde zamanla lineer bir artışın olduğu gözlemlenmiştir.

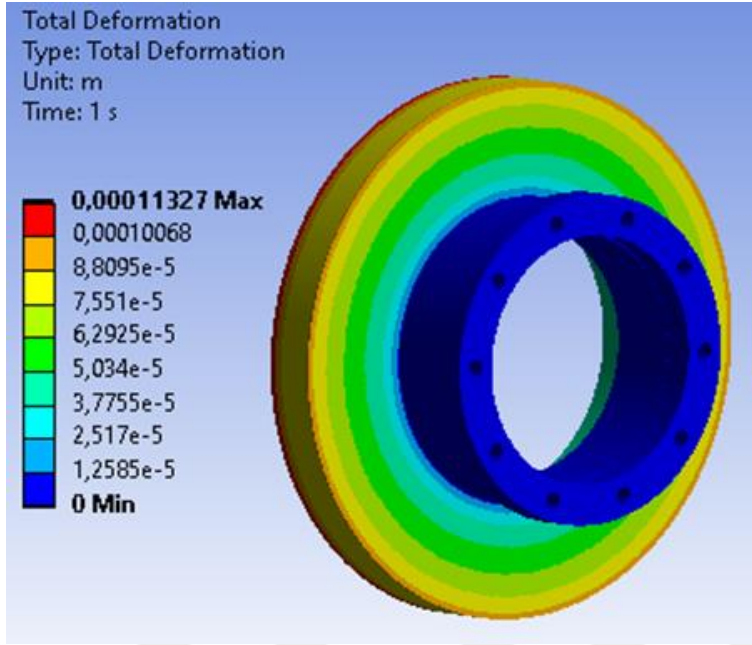


Şekil.4.8. Havalandırılmalı fren diskinin malzemeye göre sıcaklık dağılım grafiği

Şekil 4.8. havalandırılmalı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için sıcaklık dağılım grafiğidir. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere kullanılan malzemelere göre en yüksek sıcaklığın havalandırılmalı diskte paslanmaz çelik malzemesi için maksimum sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Frenleme süresi arttıkça sıcaklığında arttığı görülmüştür. Ayrıca dizayn açısından bakıldığında da her üç malzeme için katı disklerdeki sıcaklık dağılımları havalandırılmalı disklerdeki sıcaklık değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Diskleri kendi kategorilerinde değerlendirildiğinde ise katı ve havalandırılmalı diskler için en yüksek sıcaklığın paslanmaz çelik için, olduğu tespit edilmiştir.

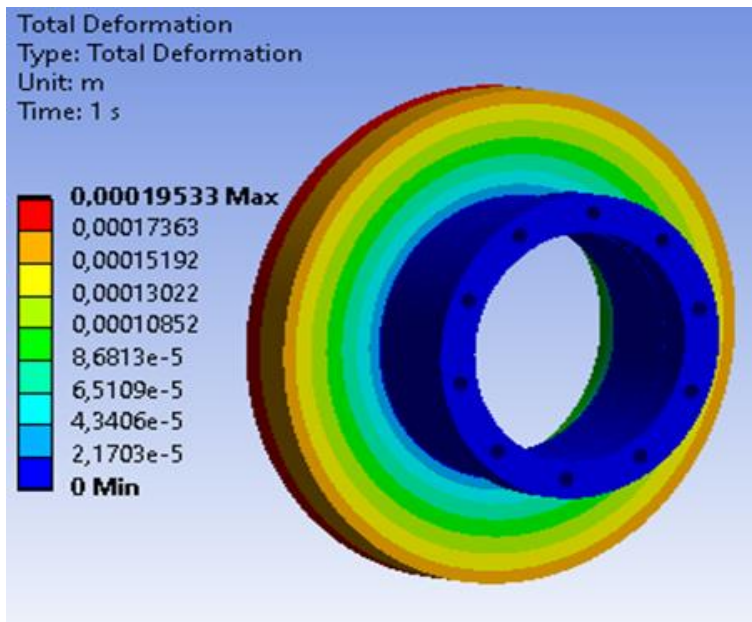
Paslanmaz çelik, Alüminyum ve dökme demir malzemelerinden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için toplam deformasyonları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Şekil 4.9.’da katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu gösterilmektedir. Şekil 4.9. incelendiğinde katı paslanmaz çelik için fren diskinin arka kısımlarında daha fazla deformasyon olduğu görülmektedir.



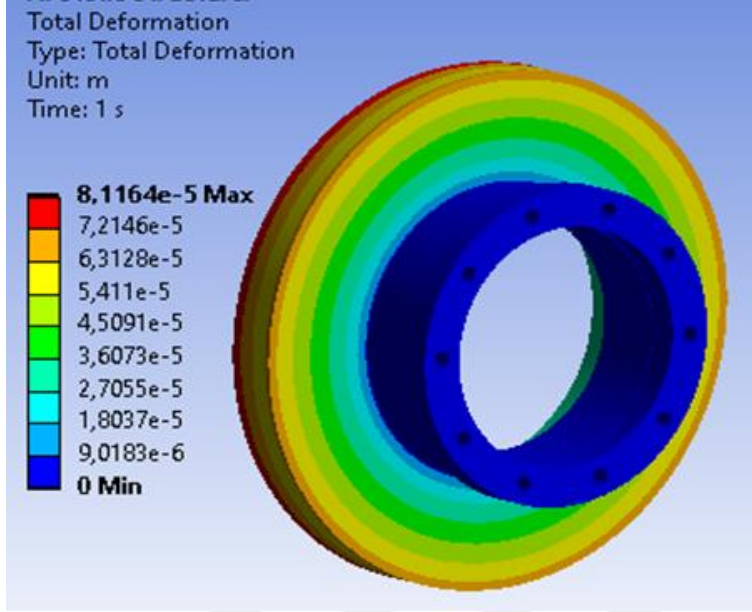
Şekil 4.9. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu

Şekil 4.10. katı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu verilmektedir. Şekil 4.10.'da katı alüminyum fren diskinin uç kısımlarında deformasyon olduğu arka kısımlarında paslanmaz çeliğe oranla daha fazla deformasyon olduğu görülmektedir.



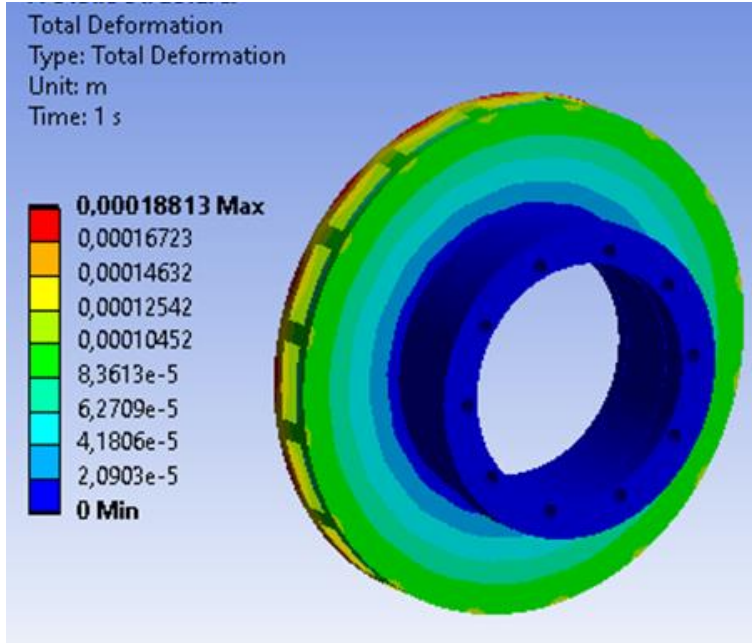
Şekil 4.10. Katı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu

Katı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Şekil 4.11.'de katı dökme demir fren diskinin uç kısımlarına gittikçe deformasyonun arttığı arka kısımlarında paslanmaz çelikle hemen hemen aynı deformasyon olduğu görülmektedir.

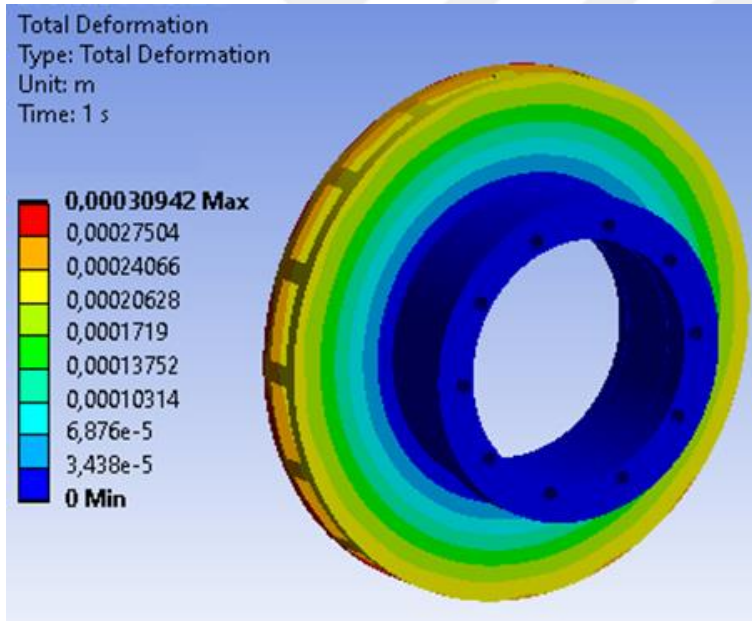


Şekil 4.11. Katı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu

Şekil 4.12. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu verilmektedir. Şekil 4.12.'e bakıldığında havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinin uç kısımlarına gittikçe deformasyonun arttığı görülmektedir.

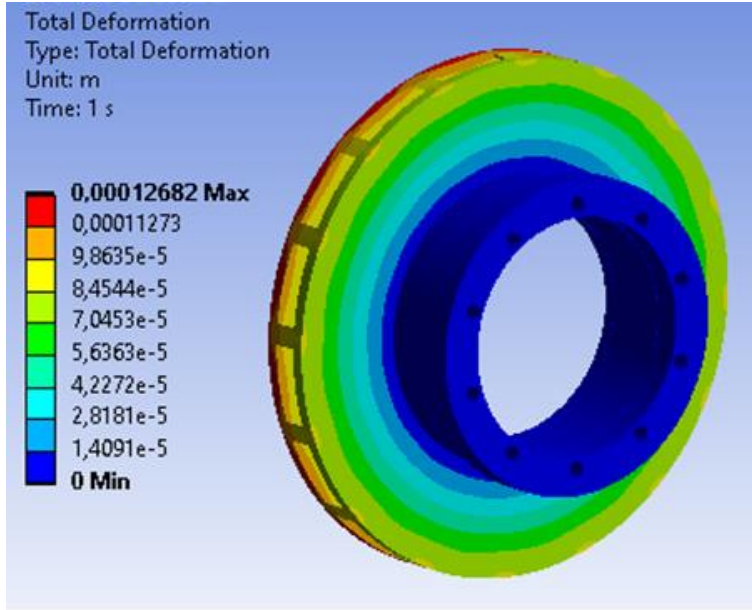


Şekil 4.12. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan toplam deformasyonu

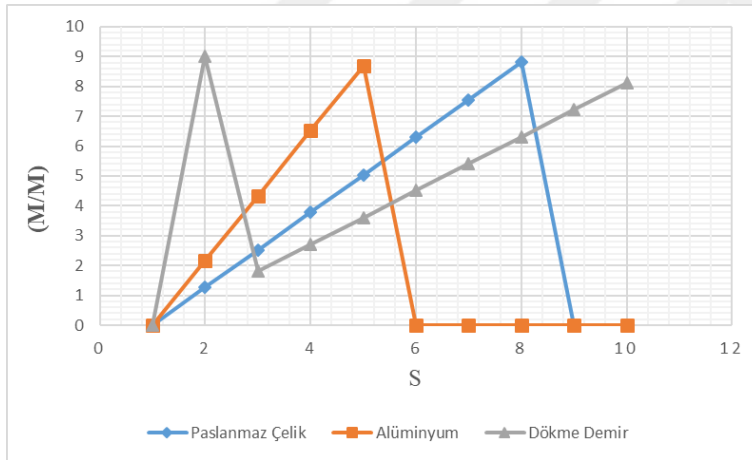


Şekil 4.13. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu

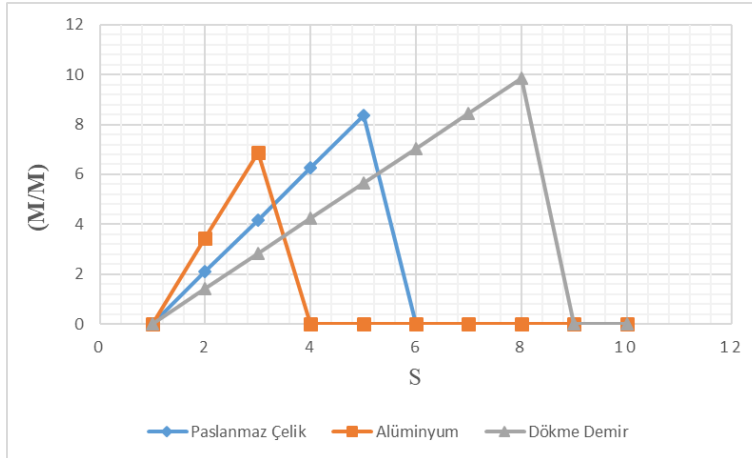
Şekil 4.13. havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan toplam deformasyonu gösterilmektedir. Şekil 4.13.'de havalandırılmalı alüminyum fren diskinin arka uç kısımlarına gittikçe deformasyonun arttığı görülmektedir. Şekil 4.14. havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu verilmektedir. Şekil 4.14 incelendiğinde havalandırılmalı dökme demir fren diskin alüminyum diske oranla daha az deformasyon olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan toplam deformasyonu



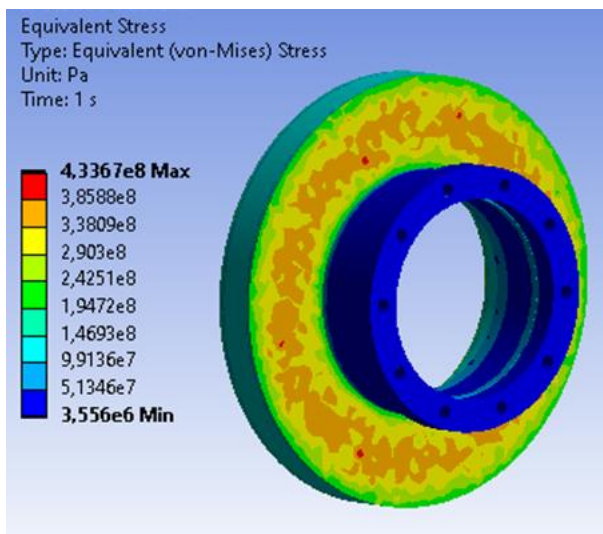
Şekil 4.15. Katı diskinin malzemelere göre toplam deformasyon grafiği



Şekil 4.16. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre toplam deformasyon grafiği

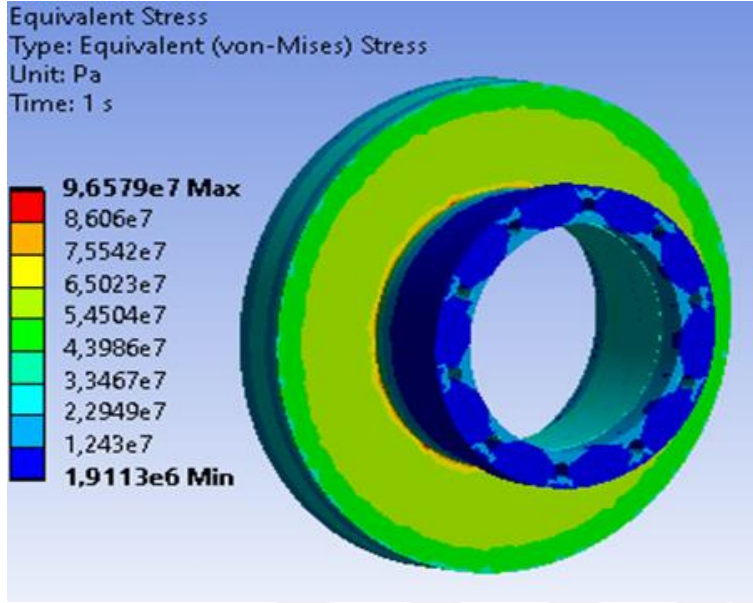
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'ya incelendiğinde katı ve havalandırılmalı disk için yapılan analiz neticesinde en yüksek deformasyonu alüminyumda meydana gelmektedir. Havalandırılmalı ve katı disk olarak kıyaslanma yapıldığında havalandırılmalı diskte daha fazla deformasyon olduğu görülmektedir. Disk katı olarak alındığında alüminyum > paslanmaz çelik > dökme demir şeklinde bir deformasyon sıralaması mevcuttur. Havalandırılmalı diskte de aynı davranış ve sıralama sergilenmektedir.

Farklı malzemelerden yapılmış katı ve havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerini veren şekiller aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.



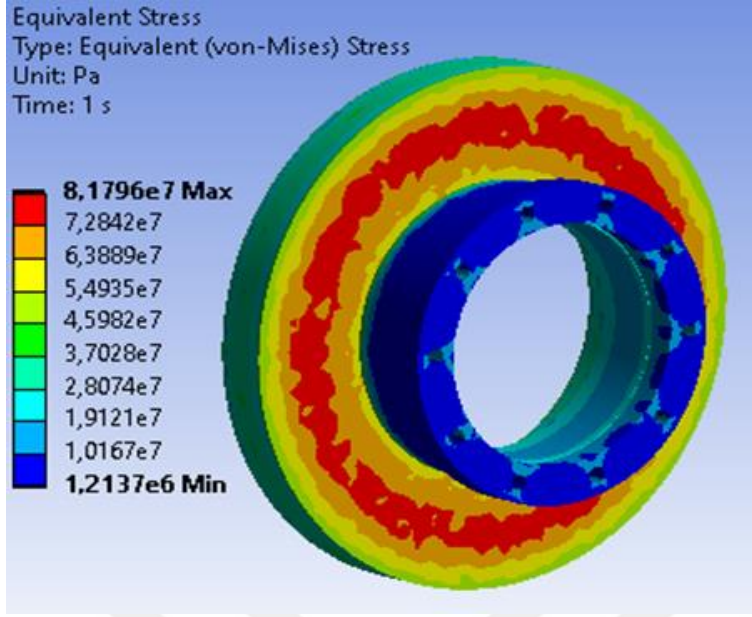
Şekil 4.17. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi

Şekil 4.17. katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.17. incelendiğinde katı paslanmaz çelik fren diskin eş değer gerilmeleri orta kısımlarda oluştuğu görülmektedir.



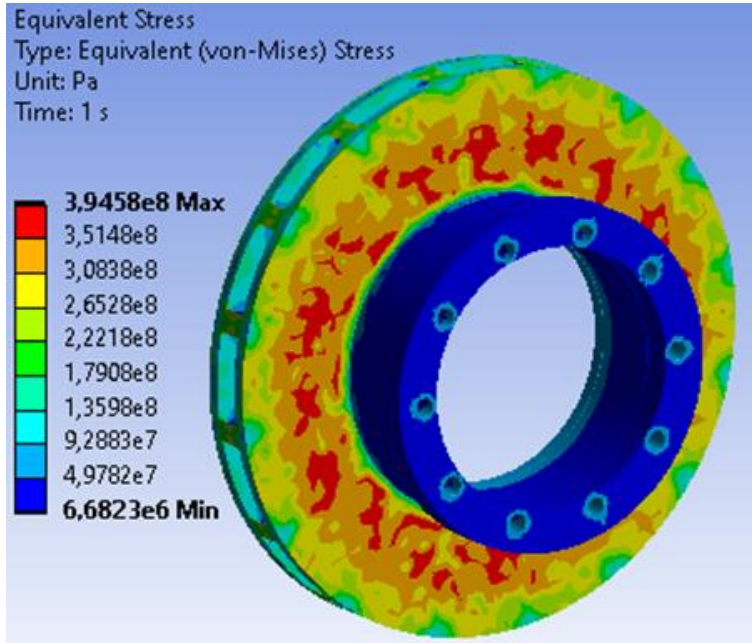
Şekil 4.18. Katı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi

Şekil 4.18. katı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi verilmektedir. Şekil 4.18. incelendiğinde katı alüminyum diskin eş değer gerilmeleri iç kısımlarda oluştuğu görülmektedir.



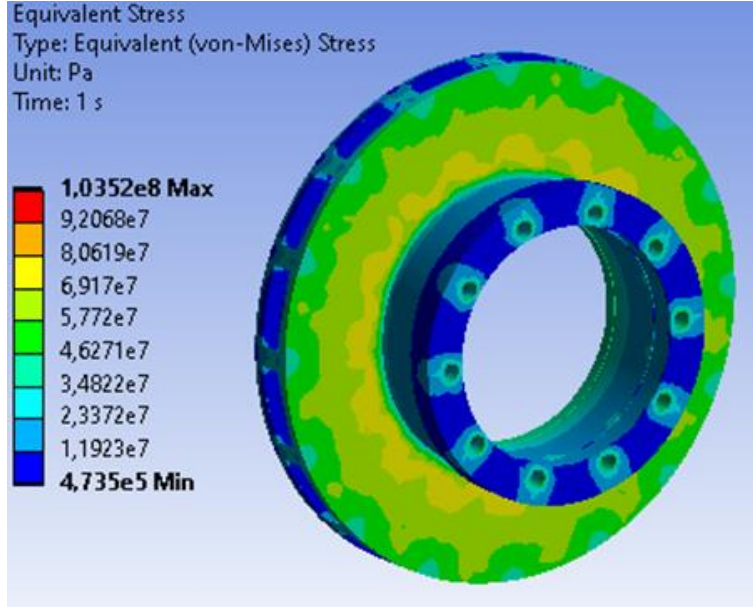
Şekil 4.19. Katı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi

Şekil 4.19. katı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.19’de katı alüminyum diskin eş değer gerilmeleri orta kısımlarda yoğunlaştığı görülmektedir.



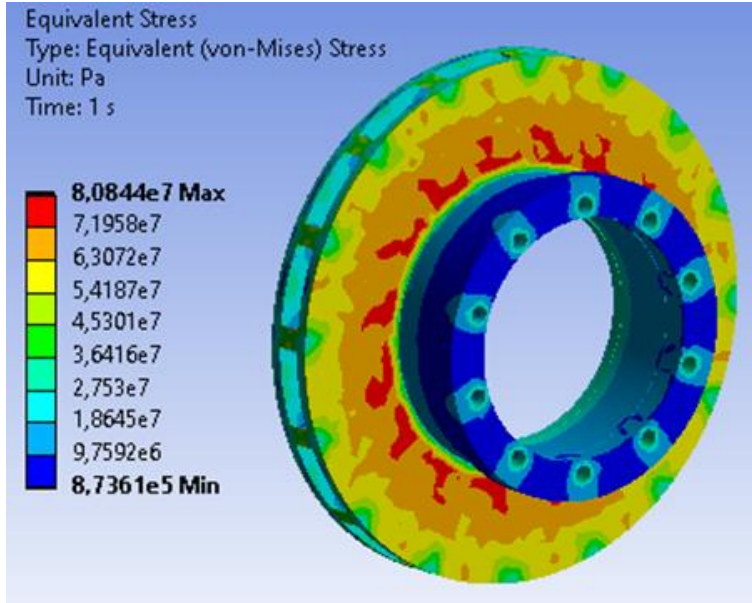
Şekil 4.20. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi

Şekil 4.20. havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi verilmektedir. Şekil 4.20. incelenirse havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskin eş değer gerilmeleri orta kısımlara doğru yoğunlaştığı görülmektedir.

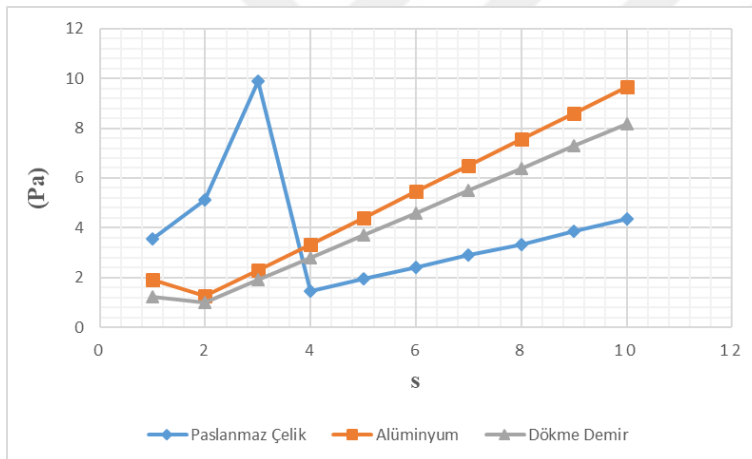


Şekil 4.21. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi

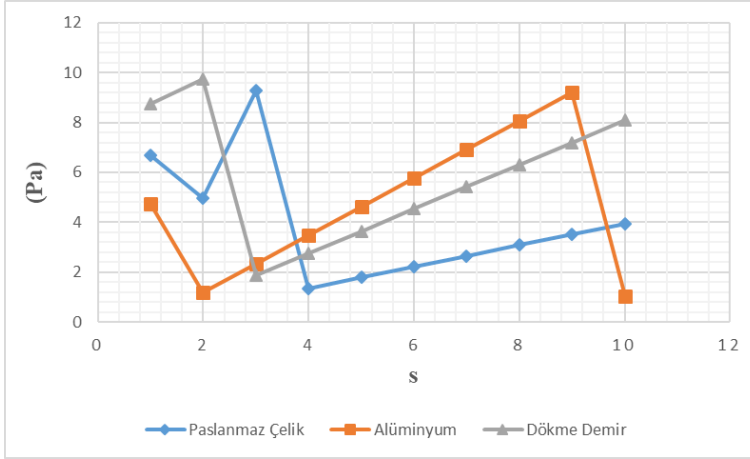
Şekil 4.21. havalandırılmalı alüminyum fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.21'e bakılırsa havalandırılmalı alüminyum fren diskin eş değer gerilmeleri iç kısımlarda olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.22. havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi verilmektedir. Şekil 4.22'de incelenecek olursa havalandırılmalı dökme demir diskin iç kısımları alüminyuma göre daha fazla gerileme olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde oluşan eşdeğer gerilmesi



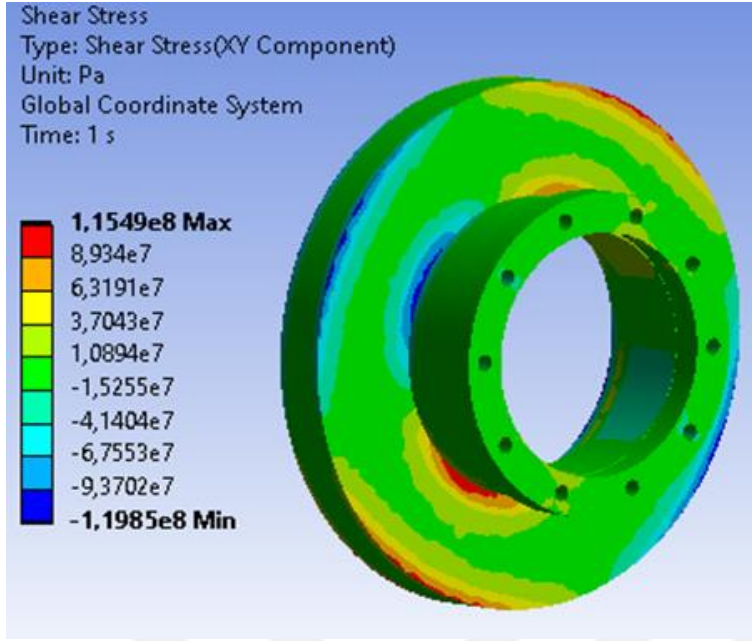
Şekil 4.23. Katı diskın malzemelere göre toplam eşdeğer gerilme grafiği



Şekil 4.24. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre eşdeğer gerilme grafiği

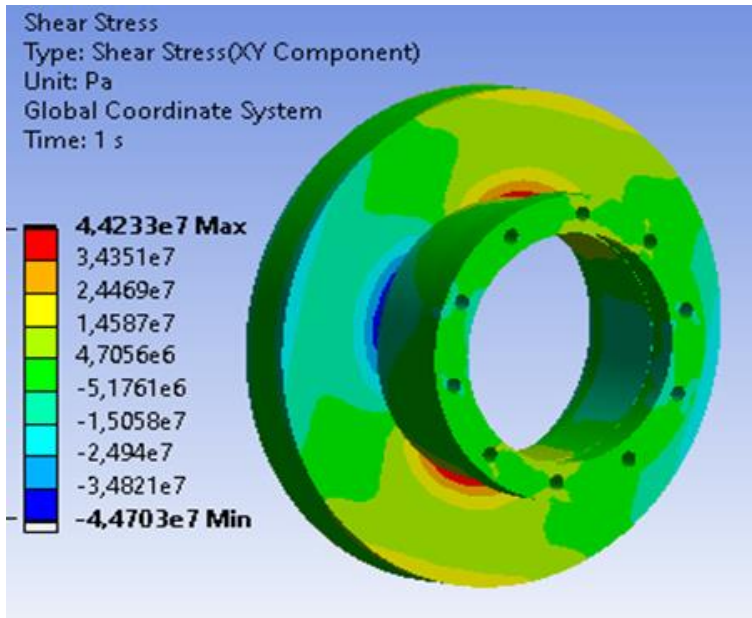
Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de görüldüğü üzere katı ve havalandırılmalı disk için yapılan analiz sonucunda paslanmaz çelikteki eşdeğer gerilme miktarının en yüksek olduğu daha sonra alüminyum ve dökme demir sırası ile devam etmektedir. Katı disk ve havalandırılmalı disk olarak incelendiğinde paslanmaz çelik ve dökme demir malzemeleri için eşdeğer gerime değerleri katı disklerde maksimum değerlerinin daha yüksek olduğu görülmeye karşın alüminyum malzemesi için havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerinin maksimum değerleri çok daha fazladır.

Katı ve havalandırılmalı olarak tasarlanan disklerin üç farklı malzeme için kesme gerilme dağılımları aşağıda sırasıyla verilmiştir.



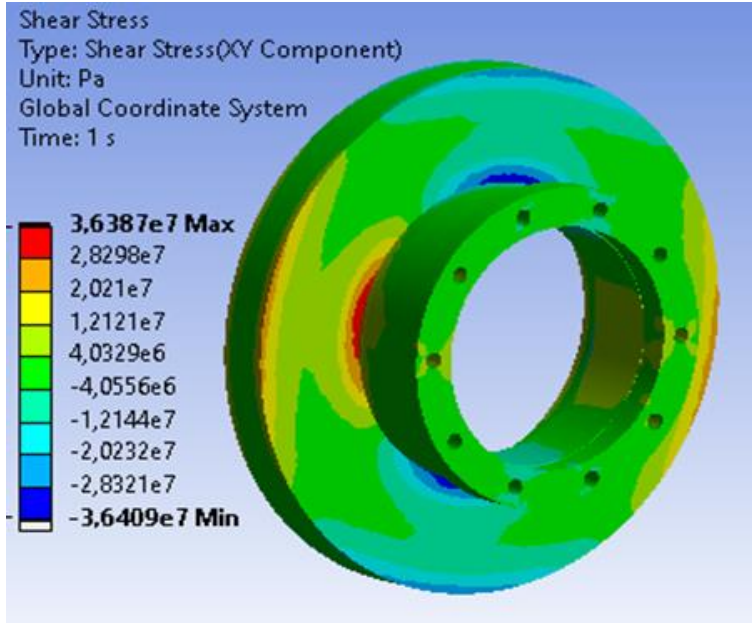
Şekil 4.25. Katı paslanmaz çelik fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi

Şekil 4.25. katı paslanmaz çelik fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi sergilenmektedir. Şekil 4.25. incelendiğinde katı paslanmaz çelik fren diskin kesme gerilmesi uç kısımlarda olduğu görülmektedir.



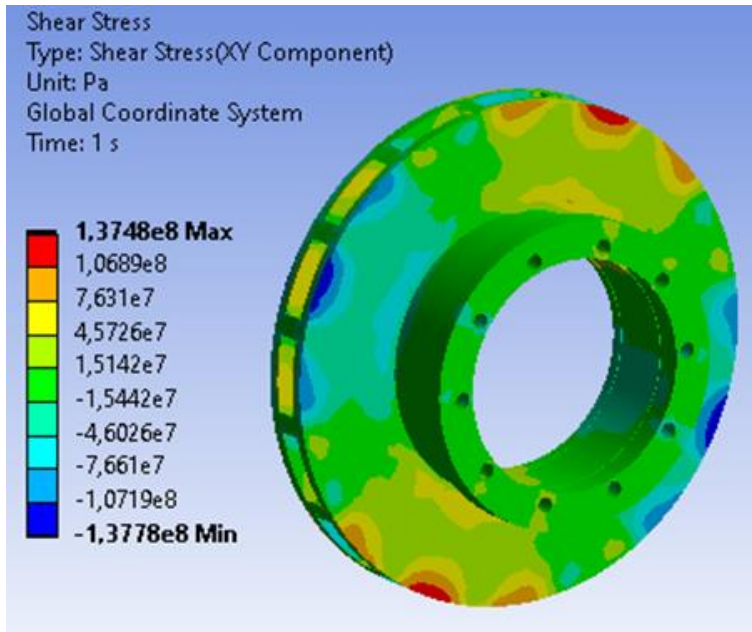
Şekil 4.26. Katı alüminyum fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi

Şekil 4.26'a bakıldığında katı alüminyum fren diskin kesme gerilmesi iç kısımlarda meydana geldiği görülmektedir.



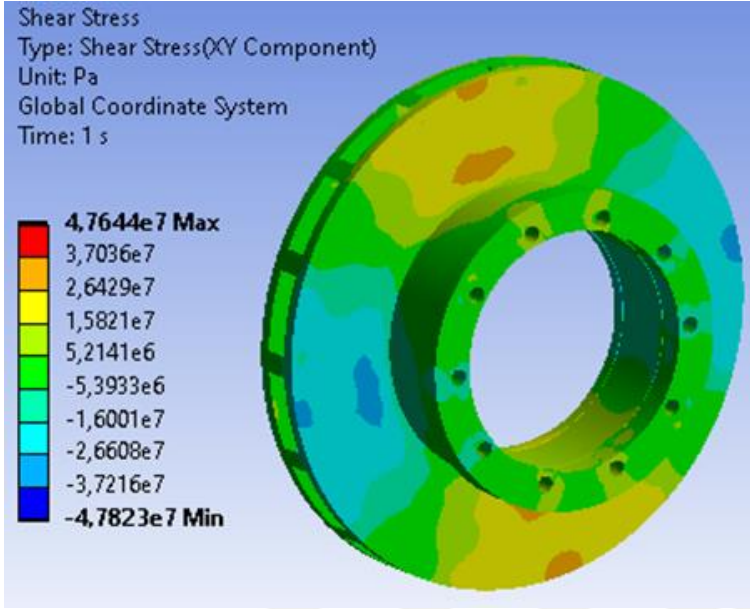
Şekil 4.27. Katı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi

Şekil 4.27. katı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.27’de katı dökme demir fren diskin gerilmeleri uç kısımlara doğru yoğunlaştığı görülmektedir.



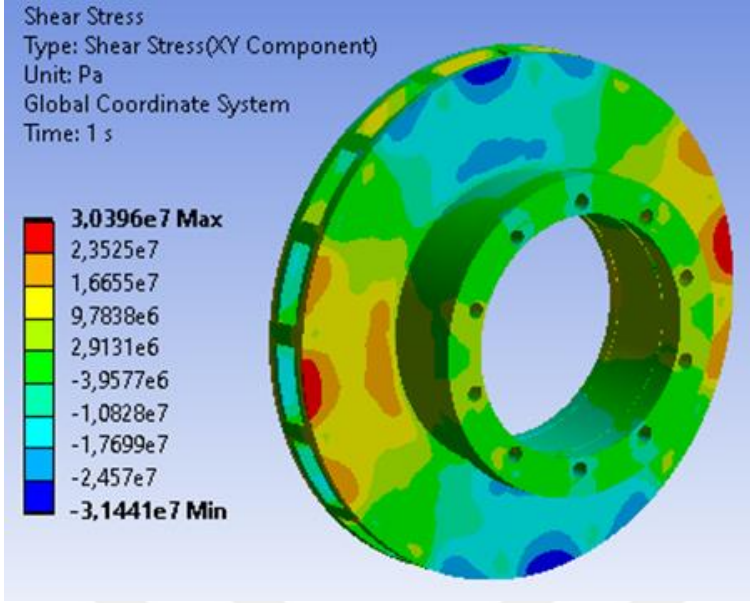
Şekil 4.28. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde kesme gerilmesi

Şekil 4.28. havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi verilmektedir. Şekil 4.28. incelenirse havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskin kesme gerilmesi uç kısımlarda yoğunlaştığı görülmektedir.



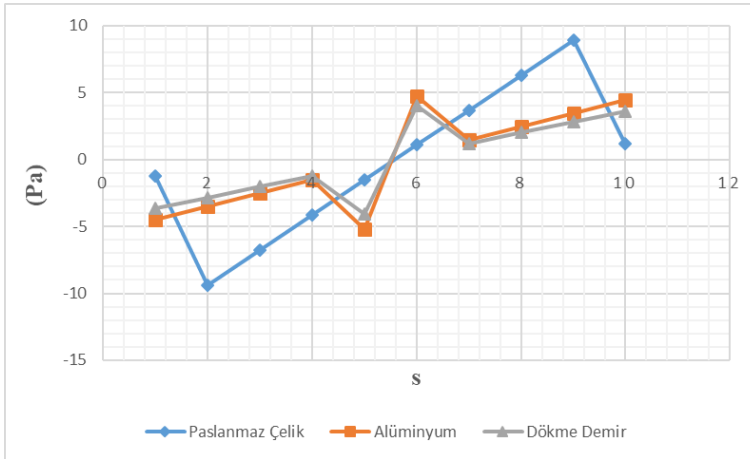
Şekil 4.29. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi

Şekil 4.29. havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi sergilenmektedir. Şekil 4.29'a bakıldığında havalandırılmalı alüminyum fren diskin kesme gerilmesi iç kısımlarda ve uç kısımlara doğru arttığı görülmektedir.

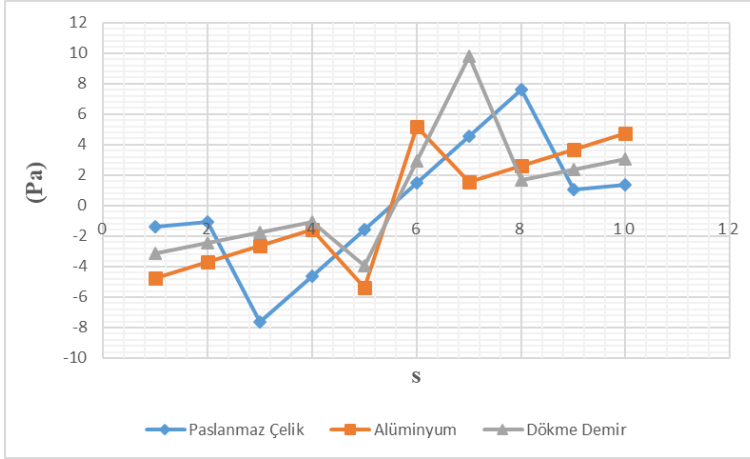


Şekil 4.30. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi

Şekil 4.30. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen kesme gerilmesi gösterilmektedir. Şekil 4.30. incelendiğinde havalandırılmalı dökme demir fren diskin gerilmeleri uç kısımlara doğru daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir.

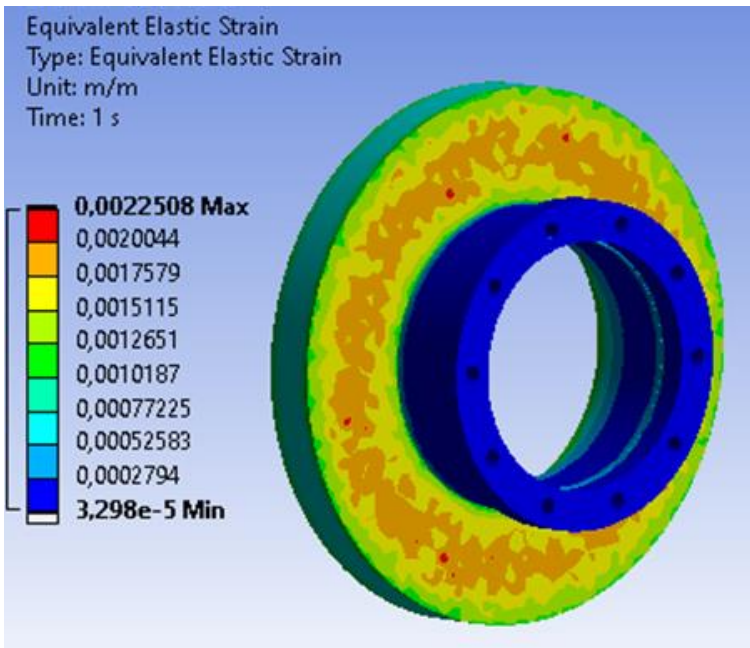


Şekil 4.31. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir için kesme gerilme grafiği



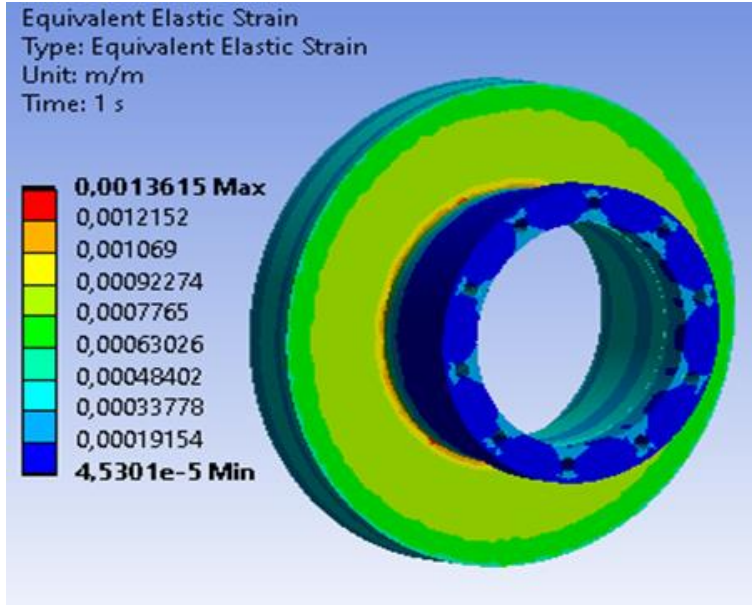
Şekil 4.32. Havalandırılmalı diskin malzemelere göre kesme gerilme grafiği

Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'ye bakıldığında katı ve havalandırılmalı olarak tasarlanan disklerin üç farklı malzeme için kesme gerilme dağılımlarına bakıldığında, paslanmaz çelikten yapılan disk hem katı hem de havalandırılmalı olarak tasarlanan disklerde kesme gerilmesi değerleri en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum alaşımlı ve dökme demirden yapılmış disklerde bakıldığında dökme demir katı diskte daha yüksek kesme gerilmesine sahipken alüminyum alaşımlı diskte ise havalandırılmalı disk için kesme gerilmesi değerinin maksimum değeri daha yüksektir.



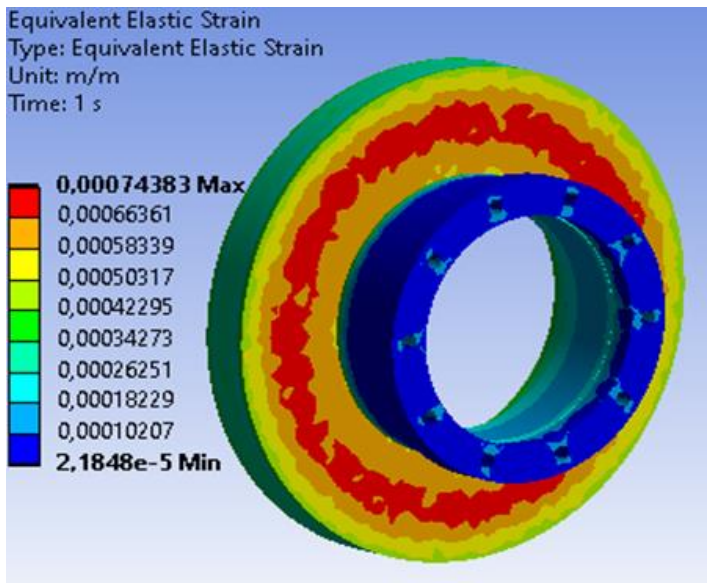
Şekil 4.33. Katı paslanmaz çelik fren diskinde oluşan elastik gerilmesi

Şekil 4.33. incelendiğinde katı paslanmaz çelik fren diskin elastik gerilmesi orta kısımlarda olduğu görülmektedir.



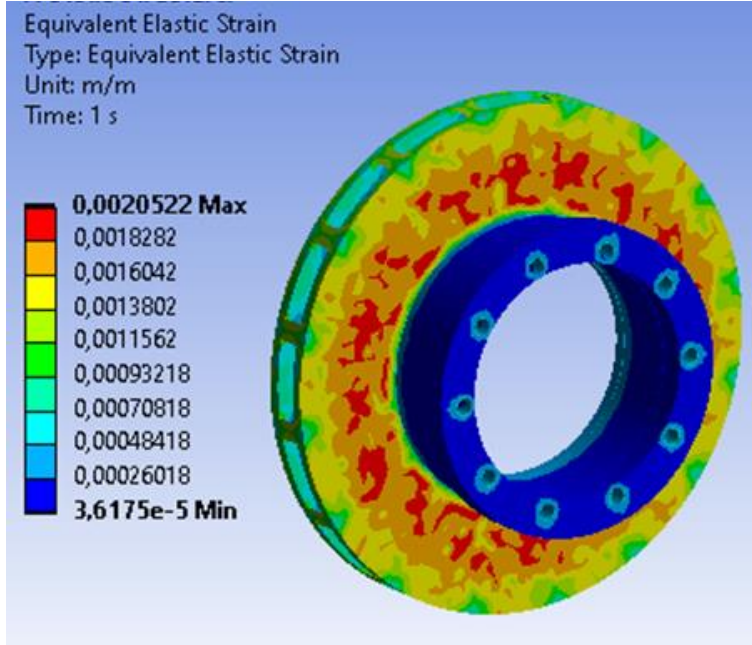
Şekil 4.34. Katı alüminyum fren diskinde oluşan elastik gerinmesi

Şekil 4.34. Katı alüminyum fren diskinde oluşan elastik gerinmesi sergilenmektedir. Şekil 4.34'e bakılacak olursa katı alüminyum fren diskin elastik gerilmesi iç kısımlarda olduğu gösterilmektedir.



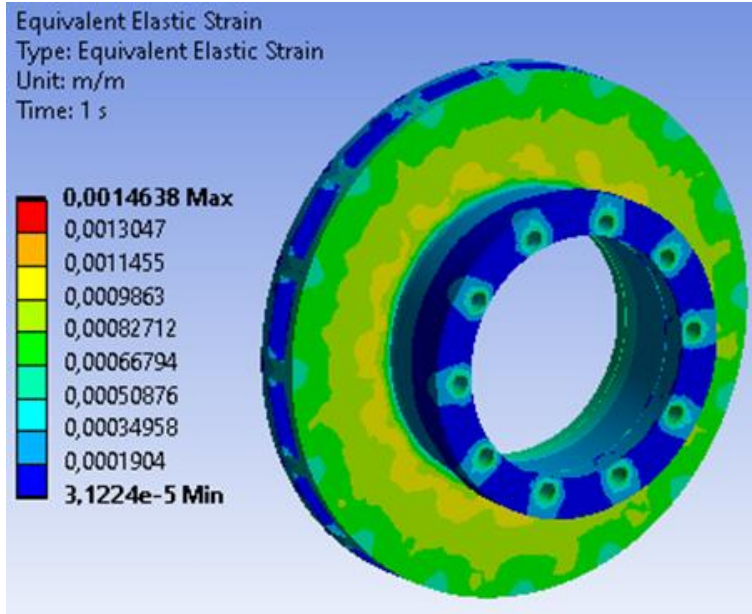
Şekil 4.35. Katı dökme demir fren diskinde oluşan elastik gerinmesi

Şekil 4.35. Katı dökme demir fren diskinde oluşan elastik gerinmesi verilmektedir. Şekil 4.35’de katı dökme demir fren diskin gerilmeleri orta kısımlarda ve paslanmaz çeliğe göre daha fazla görülmektedir.



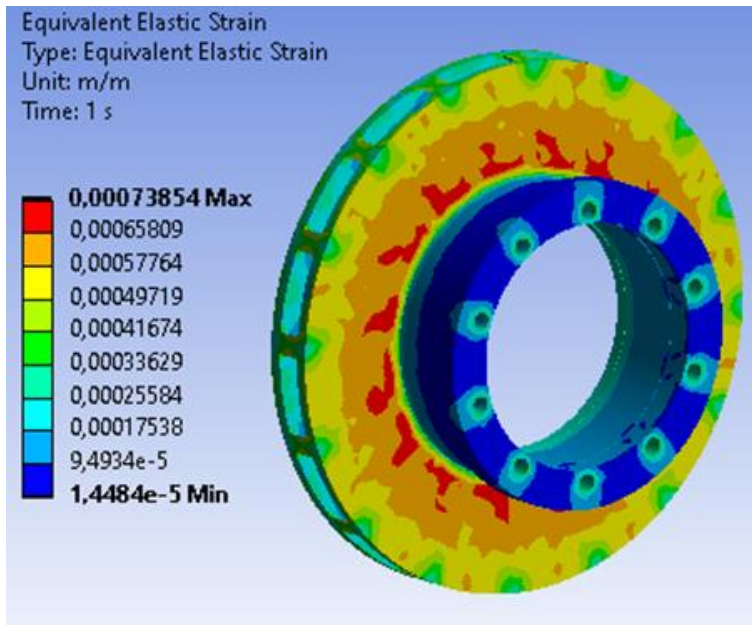
Şekil 4.36. Havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde elastik gerinmesi

Şekil 4.36. havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi gösterilmektedir. Şekil 4.36’a bakıldığında havalandırılmalı paslanmaz çelik fren diskin elastik gerilmesi orta kısımdan iç kısımlara doğru arttığı görülmektedir.



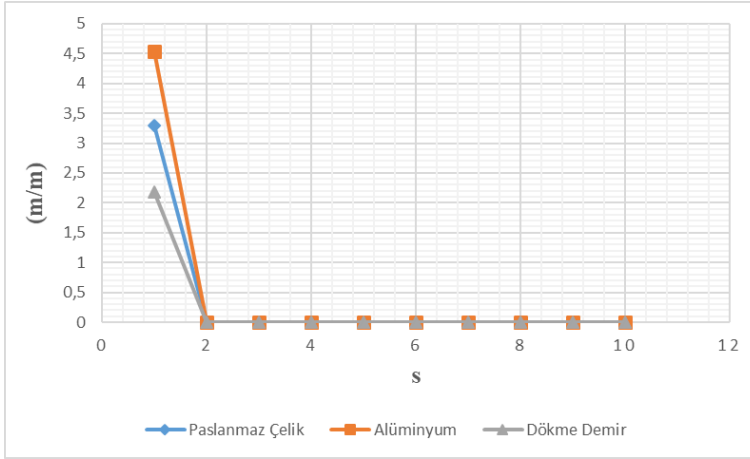
Şekil 4.37. Havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi

Şekil 4.37. havalandırılmalı alüminyum fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi sergilenmektedir. Şekil 4.37 incelenirse havalandırılmalı alüminyum fren diskin kesme gerilmesi iç kısımlarda daha fazla olduğu görülmektedir.

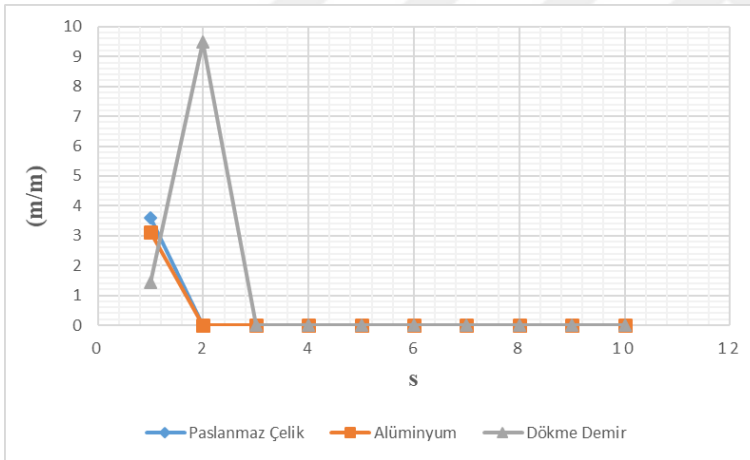


Şekil 4.38. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi

Şekil 4.38. Havalandırılmalı dökme demir fren diskinde meydana gelen elastik gerinmesi verilmektedir. Şekil 4.38’de havalandırılmalı dökme demir fren diskin gerilmeleri iç kısımlara doğru daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 4.39. Katı paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir elastik gerilme grafiği



Şekil 4.40. Havalandırılmalı diskte malzemelere göre elastik gerilme grafiği

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’a bakıldığında her iki tasarım için meydana gelen eşdeğer elastik gerine değerleri bütün malzemeler için birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Katı ve havalandırılmalı disk olarak ele alındığında eşdeğer elastik gerilme değerinin maksimum değerleri sıralaması paslanmaz çelik, alüminyum alaşım ve dökme demir şeklinde sıralanmaktadır.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ağır vasıta grubunun fren diski olması sebebiyle literatürden farklı bir çalışma olmuştur. Bu çalışmada, gerçek otobüse ait fren tertibatında Paslanmaz Çelik, Alüminyum Alaşım ve Dökme Demirden yapılmış disk fren rotor diskinin geçici termal ve yapısal analizi sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Her üç malzeme için sıcaklık etkisini azaltmak için havalandırılmalı disklerin kullanımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Havalandırılmalı ve katı disk olarak kıyaslanma yapıldığında havalandırılmalı diskte daha fazla deformasyon olduğu ve malzeme olarak da alüminyum > paslanmaz çelik > dökme demir şeklinde bir deformasyon sıralaması mevcuttur.
- Eşdeğer gerilme bakımından değerlendirme de ise paslanmaz çelik, alüminyum ve dökme demir sırası ile devam etmektedir. Katı disk ve havalandırılmalı disk olarak incelendiğinde alüminyum malzemesi için havalandırılmalı disk için eşdeğer gerilme değerlerinin çok daha yüksek değerlere sahiptir.
- Paslanmaz çelikten yapılan disk hem katı hem de havalandırılmalı olarak tasarlanan disklerde kesme gerilmesi değerleri en yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki tasarım için meydana gelen eşdeğer elastik gerilme değerleri bütün malzemeler için birbirlerine çok yakın çıkmıştır.
- Sonuç olarak, belirli bir ağır vasıta fren disklerinin tasarımında uygun malzemeyi, uygun boyut ve uygun şekil seçilir.

KAYNAKLAR

- Abd ElSalam, N. M., Lotfy, I., Metwally, S., Mohamed, M., Hussien, A. A., and Morsy, E. (2021). Simulation of Disc Brake Rotor and Pad Using ANSYS Workbench. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 12.
- Ali, B. and Mostefa, B. (2012). Thermal behavior of dry contacts in the brake disc. *International Journal of Automotive Engineering*, 3(1), 9-17.
- Balci, M. N. (2021). Fren Disk-Balata Mekanizmasının Üç Boyutlu Gerilme Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 62-84.
- Cui, C., Liu, N., Bei, T., and Luo, W. (2020). Structural simulation analysis of a certain vehicle type disc brake based on ANSYS Workbench. *Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing*, 3(2), 9.
- Dakhil, M. H., Rai, A. K., Reedy, R., and Jabbar, A. A. (2014). Structural Design and Analysis of Disc brake in Automobiles. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 4(1), 95-112.
- Dhakar, P.S. (2018). Thermal Analysis of Disc brake Using ANSYS. *International Journal. of Technical Innovation in Modern Engineering and Science*, 4(3), 8-17.
- Düzgün, M. (2014). Hava Soğutma Kanallı Fren Disklerinin Termo-Mekanik Özelliklerinin Sonlu Eleman Analizi Kullanılarak Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3(2), 29.
- Erdem, M. ve Altıparmak, D. (2014). Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2(3), 29.
- Etemoğlu, A. B., Etemoğlu, N., Türkan, B., ve Canbolat, A.S. (2018). Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi. *El-Cezeri*, 5(2), 556-565.
- García-León, R. A., Florez-Solano, E., and Rodriguez-Castilla, M. (2019). Thermo-mechanical assessment in three auto-ventilated disc brake by implementing finite elements. *Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing*, 5(1), 30.
- Gupta, I., Saxena, G., and Modi, V. (2014). Structural analysis of rotor disc of disc brake

of Baja SAE 2013 car through finite element analysis. *International Journal of Automobile Engineering Research and Development*, 4(2), 1-10.

Kahya, K., Sugözü, İ., ve Şevik, H. (2016). Kızılçam kozalağı tozu içeren fren balatası

üretiminde sıcak presleme basıncının tribolojik özelliklere etkisi. *International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University, Afyon*.(vol. 508, p. 512).

Khanvilkar, K., Manajan, B., and Bhatt, L. (2021). Design and Analysis of Conventional and

Perimetric Disc Brake.*International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 12.

Labdı, A. and M. Bouchetara (2018). Optimization of the thermal and mechanical

behavior of an aeronautical brake disc using the design of experiments approach. *Mechanics*, 24(2), 191-196.

Lakshmanaik, R., Raju, D. T. D., and Jayanand, T. (2017). Analysis of disc break by

using FEA and ansys. *International journal of advances in applied Science and engineering (IJAEAS)*, ISSN (p), 2348-1811.

Limberg, E. and Enterprises, J. (2014). Introduction to Foundation Brake Design. *SAE International*, Ebook 201.

Limpert, R. (1999). Brake design and Safety, Society of Automotive Engineers. *Danvers*,

Manjunath, T. V. and 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), 7741-7749.

Nathi, G. M., Charyulu, T. N., Gowtham, K., and Reddy, P.S. (2012). Coupled

structural / thermal analysis of disc brake. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 1(4), 539-553.

Osman, K. O. Ç., ve Mutlu, S.T. (2009). Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan

Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi. *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 1(2), 9-20.

Öncel, Y. (2020). *Fren diskinin FEA (SEA) analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.

Parab, V., Naik, K. and Dhale, A. D. (2014). Structural and thermal analysis of brake disc. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(2), 1398-

1403.

- Park, S., Lee, K., Kim, S. and Kim, J. (2022). Brake-disc holes and slit shape design to improve heat dissipation performance and structural stability. *Applied Sciences*, 12(3), 1171.
- Pateriya, J., Yadav, R. K., Mukhraiya, V. and Singh, P. (2015). Brake disc analysis with the help of Ansys software. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 6(11), 114-122.
- Raj, K. T. R., Ramsai, R., Mathew, K. and Soniya, G. (2014). Numerical investigation of fluid flow and heat transfer characteristics on the aerodynamics of ventilated disc brake rotor using CFD. *Thermal Science*, 18(2), 667-675.
- Ramaratham, S. (2008). *A mathematical Model for air Brake Systems in the Presence of Leaks*. Doctoral Dissertation, Texas University, America.
- Ramesh, B., Elsheikh, A. H., Satishkumar, S., Shaik, A.M., Djuansjah, J., Ahmadein, M. and Alsaleh, N. A. (2022). The Influence of Boron Carbide on the Mechanical Properties and Bonding Strength of B₄C/Nickel 63 Coatings of Brake Disc. *Coatings*, 12(5), 663.
- Ranganathan, S., Kupuraj, S., Gopal, S. and Chandrasakaran, P. (2019). *A New Appraisal of the Thermomechanical Behaviour of a Hybrid Composite Brake Disc in a Formula Vehicle* (no. 2019-28-2572), SAE Technical Paper.
- Reddy, V. C., Reddy, M. G. and Gowd, G. H. (2013). Modeling and analysis of FSAE car disc brake using FEM. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1), 383-389.
- Satope, S., Bote, A.K. and Rawool, S. D. (2017). Thermal analysis of disc brake. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*, 3(9), 68-73.
- Sowjanya, K. and Suresh, S. (2013). Structural analysis of disc brake rotor. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 4(7), 2295-2298.
- Thilak, V. M. M. (2012). Transient analysis of rotor disc of disc brake using Ansys. *International Journal of Management IT and Engineering*, 2(8), 502-514.

Timur, M. (2014). *Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin*

*ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi.*Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Tekirdağ.

Zheng, G. X., Lau, B. T., Schnall- Levin, M., Jarosz, M., Bell, J. M., C. M. and Ji, H. P.

(2016). Haplotyping germline and cancer genomes with high-throughput linked-read sequencing. *Nature biotechnology*, 34(3), 303-311.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Recep Kadir SİVRİ

EĞİTİM DURUMU

Lise : Bafra Lisesi(2005)

Lisans Öğrenimi : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine
Eğitimi/Otomotiv Öğretmenliği(2009)

Lisans Öğrenimi : Ondokuzmayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi/Makine
Mühendisliği (2016)

Yüksek Lisans Öğrenimi : Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Tarım
Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği(2019)

Yüksek Lisans Öğrenimi : Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine
Mühendisliği(2023)

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a)Total costs, labor requirements and work efficiencies in second fodder corn silage production: A case study from Samsun Province in Turkey, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi,2022

b) SİVRİ Kadir Recep, KELEŞ İbrahim (2023). Ağır Araç Fren Diskinin Sonlu Elemanlar ile Termo-Mekanik Analizi. Black Sea Journal of Engineering and Science , 6 (1) , 44-52 . DOI: 10.34248/bsengineering.1205606 (Uluslararası) (Hakemli)