T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV FREN BALATALARININ SÜRTÜNME SONUCU OLUŞAN AŞINMA DİRENCİNİN VE TERMAL ETKİLEŞİMİNİN OTOMATİK TEST SİSTEMİ İLE TESPİT EDİLMESİ

Mustafa TİMUR

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Hilmi KUŞÇU

EDİRNE-2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr.Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr.Tamer TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Hilmi KUŞÇU
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Prof.Dr.Selçuk ARIN
Prof.Dr.Yılmaz ÇAN
Doç.Dr.Semiha ÖZTUNA
Yrd.Doç.Dr.Rembiye KANDEMİR

Tarih: 12/06/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

.

12/06/2014

Mustafa TİMUR

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
SİMGELER DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı 4
BÖLÜM 2 5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5
2.1 Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Fren Balatası Test Cihazları 7
BÖLÜM 3 14
TRİBOLOJİ 14
3.1. Sürtünme 14
3.1.1 Sürtünmenin Tanımı 14
3.1.2 Sürtünme Teorisi 16
3.1.3 Sürtünme Kanunları 18
3.1.4 Sürtünme Katsayısı 22
3.1.5 Sürtünmenin Ölçülmesi 25
3.1.6 Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler 27
3.1.7 Sürtünme Malzemelerindeki Aşınmanın İncelenmesi 28
3.1.8 Aşınmanın Neden Olduğu Zararlar ve Aşınma Çeşitleri 29
3.1.8.1. Adhezif Aşınma 30
3.1.8.2 Abrazif Aşınma 31

3.1.8.3 Yorulma Aşınması 32
3.1.8.4. Korozif Aşınması 33
3.2 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri 34
BÖLÜM 4 38
OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ 38
4.1 Sistem (Dizge) 39
4.2 Kontrol (Denetim) 39
4.3 Kontrol Sistemi 39
4.4 Otomatik Kontrol 39
4.5 Giriş 40
4.6 Çıkış 40
4.7 Hata ve Sapma; e(t) 40
4.8 Geri Besleme Sinyali; b(t) 40
4.9 Kontrol Sistemlerinin Sınıflandırılması 41
4.10 Temel Denetim Teknikleri Ve Denetim Organları 42
4.11 Otomobillerde Komut Kontrolü 45
BÖLÜM 5 46
OTOMOBİLLERDEKİ FREN SİSTEMLERİ 46
5.1 Fren Sisteminin Parçaları 46
5.2 Disk Fren Sistemleri 46
5.3 Fren ve Frenleme Kuvveti 47
5.4 Fren Verimi 48
5.5 Fren Pabucu ve Self Enerjisi 48
5.6. Diskli Frenlerde Frenleme Torku 51
BÖLÜM 6 54
OTOMOBİLLERDEKİ SÜRTÜNME MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ 54
6.1 Balata ve Taşıt Güvenliği 54
6.2 Balata Malzemelerinin Kompozisyonu 55

6.2.1 Yapısal Malzemeler 56
6.2.2 Bağlayıcılar 56
6.2.3 Abrasivler 56
6.2.4 Yağlayıcılar 57
6.2.5 Dolgu Malzemeleri 57
BÖLÜM 7 59
ISI TRANSFERİ 59
7.1 Giriş 59
7.2. Isı Geçişi Bağıntıları 59
7.3 Isı Yayılım Denklemi 61
7.4. Sonlu Elemanlar Metodu 64
7.5 Otomobillerde Kullanılan Fren Balatalarının Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi ve Termal Gerilme Analizi 64
7.5.1 Malzeme ve Metot 65
7.5.1.2 Malzeme 65
7.5.2 Problemin Geometrisi ve Sınır Şartları 66
7.5.3. Bulgular ve Tartışma 69
7.5.3.1. Sıcaklık ile ilgili Bulgular 69
7.5.3.2. Gerilme ile ilgili Bulgular 72
7.6 Sonuç 75
BÖLÜM 8 77
MATERYAL VE METOT 77
8.1. Mühendislik Tasarımı 77
8.2. Tasarım Aşamaları 79
8.2.1. Problemin Tanımlanması 80
8.2.2. Problemin Analizi 80
8.2.3. Tasarımın Sentezi 80
8.2.4. Tasarımın Değerlendirilmesi 80

8.2.5. Tasarımın Geliştirilmesi 81
8.3. Tasarımda Bilgi Toplama 81
8.4. Tasarımın Özelikleri 82
8.5. Ürün Yaşam Döngüsü 82
8.6. Malzeme Seçimi 83
BÖLÜM 9 85
OTOMOTİV FREN BALATASI TEST CİHAZI 85
9.1. Otomotiv Fren Balatası Test Cihazının İmalat Aşamaları 85
9.1.2. Fren Aks Milinin Kama Kanalının Açılması 87
9.1.3 Rulmanlı Yatak Ve Aks Milinin Montajı 88
9.1.4 Fren Aks Mili Üzerine Freze Dişlerinin Açılması 89
9.1.5 Hidrolik Ünitenin Montajı 90
9.2 Otomotiv Fren Balatası Test cihazının Hareket Kontrolü 92
9.3 Otomotiv Fren Balatası Test Cihazında Kullanılan Malzemeler 94
9.4 Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri 97
9.4.1 Sıcaklık Ölçme Aleti 97
9.4.2 Loadcell (Yük Hücresi) 97
9.4.3 Loadcell'in Bağlantı Kutusuna Ve Cihaza Bağlantı Şekli 99
9.4.3.1 Harf Renk Açıklaması 99
9.4.3.2 Loadcell Amplifikatörü 100
9.5 Hassas Terazi 100
9.6 Fren Diski ve Balatalar 101
9.7 Endüstriyel Tip I/O Kart 102
9.8 İnvertör 103
9.9 Elektrik Motoru 104
9.10 Hidrolik Ünite 107
9.11 Yoğunluk Ölçüm Cihazı 109
9.12 Test Cihazında Kullanılan Donanımların Giriş-Çıkış Sinyalleri 110

9.13 Projede Tasarlanan Test Cihazının, Benzerlerine Göre Farklılıkları 112
BÖLÜM 10 114
TEST CİHAZI BİLGİSAYAR YAZILIMI 114
10.1 Programın Kullanılışı 115
10.2. Programın Ara yüzü 118
10.3 Yazılımın Blok Diyagramı 120
BÖLÜM 11 122
DENEYSEL ÇALIŞMALAR 122
11.1 Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları 122
11.2 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması 124
11.3 Deney Şartları 126
11.4 Deneysel Çalışmalar 127
11.5 Deney Sonuçları 129
11.6 Aşınma Direncinin İncelenmesi 145
BÖLÜM 12 153
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 153
13. KAYNAKLAR 156
14. ÖZGEÇMİŞ 164
15. DOKTORA ÇALIŞMALARI İÇERİSİNDE YAPILAN BİLİMSEL FAALİYETLER 165
16. EK A- TEST CİHAZI BAKIM ONARIM VE KULLANMA KLAVUZU 166

Doktora Tezi
Mustafa TİMUR
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, taşıtların disk frenlerinde kullanılan balataların belirli basınç, sıcaklık, ve hız faktörleri altında sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma direncinin tespiti için test cihazının tasarım ve imalatı yapılmıştır. Sistemin, analog ek modülü, operatör paneli, ve bilgisayar bağlantısı ile kontrolü sağlanmaktadır. Test cihazında farklı balata malzemeleri belirlenen sürede sürekli olarak frenlenme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu sayede balataların sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma direnci ve sıcaklık altındaki termal etkileşimi üretimi tamamlanan test cihazı ile belirlenmektedir. İmalatı tamamlanmış olan test cihazında deneyler esnasında kullanılan balata yüzeyi ve disk arasındaki sıcaklık değerleri 0 – 400 ºC arasında, hız değerleri 0 – 1400 dev/dk arasında, basınç değerleri ise 0–1.05 Mpa arasında değişebilecek şekilde düzenek hazırlanmıştır. Sistemde aşındırma işlemini yapacak 250 Hv sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş aşındırıcı disk kullanılmakta olup, disk sistemi mil ve yataklarla desteklenip motor sisteminden gelen hareketle istenilen devir sayısında hareket ettirilmektedir.

Test cihazında kullanılan elektronik ve mekanik malzemelerin hassaslığı sayesinde, ulaşmak istediğimiz değerlere doğru bir biçimde ulaşmamızı sağlamıştır. Otomatik kontrollü test cihazında farklı özelliklere sahip numuneler üzerinde sürtünme deneyleri yapılmıştır. Tasarım ve imalatı yapılan yeni sistemde SAE-J661 standardı ve TSE 555-9076 (Türk standartları enstitüsü) standartlarında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerine yakın değerler elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları da literatür ile aynı doğrultudadır.

Test cihazı ile her bir aşınma deney setine uygun temel sürtünme elemanı numunelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemenin yanı sıra, kolaylıkla sökülüp takılabilen balata numunelerinin de sürtünme ve aşınma davranışlarını farklı hızlarda, farklı yüklerde incelemek mümkündür. Böylece temel sürtünme elemanı malzemesi geliştirebilmenin yanında, karşı sürtünme elemanı malzemesi ve bunlara yapılacak işlemlerin de sürtünmeye ve aşınmaya etkisi incelenmektedir. Ayrıca; sistemdeki deney setine loadcell ve dataloger üniteleri takılarak sürtünme kuvveti ölçülerek, numunelerin sürtünme katsayısının ölçümü bilgisayar ortamında mümkün olmaktadır.

Yıl : 2014

Sayfa Sayısı : 197

Anahtar Kelimeler : Sürtünme test cihazı, Aşınma direnci, Sürtünme katsayısı, Fren balataları, Termal sıcaklık

Doctoral Thesis

Mustafa TİMUR

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this study, in order to determine the corrosion resistance of the brake pads used in disc brakes occuring due to the friction under pressure, heat, and speed factors, a design of a prototipe device and its manufacture has been made. The system is controlled by an analog extra modul, operator panel and computer connection. In test device, different pad materials are continuously exposed in braking process in the ascertained time. In this way, the corrosion resistance of the pad emerging because of friction and thermal interaction under heat is determined by the test device whose production has been completed. In the test device, the manufacture of which was completed, the pad surface used during experiments and temperature values between the discs were arranged as 0 to 400 ºC, the speed values as 0-1400 rev/min, and the pressure values as 0-1.05Mpa. In the system, an abrasive disc made of 250Hv stiffness and 280mm diameter grey cast iron is used, disc systems is supported with shaft and bearing, and with the motion coming from motor system, it is moved in the desired circuit number.

Thanks to the sensitivity of the electronic and mechanic materials used in the device, we achieved to reach the desired values accurately. In the automatic control test device, friction experiments were made on patterns having different qualities. In the new system whose design and manufacture were made, the friction parameter values of yielded results proper to SAE-J661 standard and TSI 555-9076 (Turkish standards institute). The obtained experiment results are in accord.

Besides examining the friction and corrosion behaviours of basic friction element patterns which are suitable for each corrosion experiment set with a test device, it is also possible to examine the friction and corrosion behaviours of pad patterns that can be

removed and put on at different speeds and different loads. Thus, in addition to developing basic friction element material, opposite friction element material and the impact of the processes to be applied on these on friction and corrosion are examined. Besides; putting in loadcell and dataloger units to the experiment set in the system, measuring the friction power, the measurement of the friction parameter of the patterns is possible to be done in computer environment.

Year : 2014

Number of Pages : 197

Keywords :Friction Test Device, Abrasion Resistance, Friction Coefficient, Brake Pads, Thermal Temperature

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca bana çok büyük emekler harcayan çalışma hayatımda hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak her zaman yanımda olan ve doktora çalışmalarımı bitireceğim günü büyük bir sabırsızlıkla bekleyen ancak 13 Kasım 2013 tarihinde aramızdan ayrılan çok değerli babam ORHAN TİMUR' a sonsuz teşekkür ediyorum. Senin Sevginle yaşamaya devam edeceğiz ve bizlere bırakmış olduğun eşsiz muhabbetinle her gün seni daha çok seveceğiz.

Çalışmalarım boyunca bana her konuda özellikle sevgisi, özverisi ve sabrı ile maddi ve manevi desteğini üzerimden eksik etmeyen, çok değerli,sevgili eşim Ayşegül TİMUR' a

Bugünlere kadar gelmemde çok büyük emekleri olan çalışma hayatımda ve zor günlerimde yanımda olan sevgili ailem annem ve kardeşlerime,

Doktora çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan değerli vaktini bana ayırarak çalışmalarımı bitirmeme yardımcı olan çalışma arkadaşım Öğr.Gör. Halil KILIÇ'a,

Deneysel çalışmalarımı destekleyen özellikle doğru sonuçları elde etmem için firmasının bütün imkanlarını ortaya koyan Oypar Balata San. Tic. Aş. sahibi çok değerli iş adamı Kemal bey'e,

Doktora çalışmalarımın imalata dönüştürülmesi ve deneysel çalışmalarda istenilen sonuçları almamıza katkı sağlayan TÜBAP birimine,

Doktoraya başladığım günden beri çalışmalarımı her zaman destekleyen Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Müdürü Yrd.Doç.Dr.Sadık UÇAR bey ve bütün çalışma arkadaşlarıma, TEŞEKKÜR EDERİM.

Beni üzerinde çalışma fırsatı bulduğum konuya yönlendiren, çalışmalarımda bana yol gösteren, her konuda yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hilmi KUŞÇU bey'e ayırdığı değerli zamanı için TEŞEKKÜR EDERİM.

SİMGELER DİZİNİ

Fs : Sürtünme kuvveti (Fs)

Fn : Normal kuvvet (F)

μ : Sürtünme katsayısı (μ)

Tk : Kinetik sürtünme katsayısı (Tkμ)

Ts : Statik sürtünme katsayısı (Tsμ)

W : Loadcell'e uygulanan kuvvet (daN)

Wa : Aşınma oranı ($cm^3.da\,N^{-1}\,.\,m^{-1}$)

S : Kayma mesafesi (m)

M : Yükleme ağırlığı (daN)

Wr : Aşınma direnci $\left(Mpa^{-1}\right)$

P : Basınç (kg/mm^2)

A : Balata alanı (mm^2)

Gk : Numune kuru ağırlığı (gr)

Gdh : 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı (gr)

Gds : 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numunenin saf su doldurulmuş kaptaki ağırlığı (gr)

Dh : Numune yoğunluğu (gr / cm^3)

m1 : Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

m2 : Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (gr)

Rd : Disk yarıçapı (m)

n : Toplam devir sayısı (devir)

Aa : Temas alanı (m^2)

Ad : Diskin yüzey alanı (m^2)

c: Özgül ısı (j/kgK)

E: Elastise Modülü (GPa)

h: Isı taşınım katsayısı $\left(\frac{w}{m^2 K}\right)$

k: Isı iletim katsayısı $\left({}^{W}/_{mK}\right)$

Kp : Balatanın ısı iletim katsayısı (W/m . K)

Kd : Diskin ısı iletim katsayısı (W/m . K)

kd : Diskin ısı yayılma katsayısı (m²/s)

kp : Balatanın ısı yayılma katsayısı (m²/s)

P : Fren basıncı (MPa)

R : Balata yarı çapı (m)

Ts : Yüzey sıcaklığı (K)

$T\alpha$: Akışkan sıcaklığı (T)

V : Hız (m/s)

qx : Isı geçişi (W)

q’ : Isı akısı (W/m²)

α : Termal genleşme katsayısı $\left({}^{10^{-6}}/_{K}\right)$

ω : Açısal hız (rad/sn)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Deney Düzeneği [11] 8
Şekil 2. 2 Fren-Balata Sisteminde Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi [11] 9
Şekil 2. 3 Fren-Balata Sisteminde Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi [11] 9
Şekil 2. 4 Cihazın Genel Görünümü [12] 10
Şekil 2. 5 Chase Makine Fren Balatasının Deneysel Özellikleri [18] 11
Şekil 2. 6 Chase Makine'nin Üretmiş Olduğu Test Cihazı 12
Şekil 2. 7 Michael Eriksson Tarafından Üretilmiş Test Cihazı 13
Şekil 3. 1 Sürtünmede Temas Alanları [25]. 15
Şekil 3. 2 Coulomb'un Sürtünme Modeli [28]. 17
Şekil 3. 3 Sürtünmenin Malzeme Yapısı Üzerine Etkisi [22] 18
Şekil 3. 4 Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı [30] 20
Şekil 3. 5 Alçak ve Yüksek Basınçlarda Meydana Gelen Yüzey Şekilleri [26] 21
Şekil 3. 6 Kuru Sürtünme Modeli [26] 22
Şekil 3. 7 Dinamik ve Statik Sürtünme Katsayısının Farklılıkları [26]. 24
Şekil 3. 8 a) Statik Sürtünme Katsayısının Zamana Göre Değişimini b) Kinetik Sürtünme Katsayısının Hıza Göre Değişimi [26] 24
Şekil 3. 9 Sürtünme Kuvvetinin Kayma Esnasındaki Değişimi [33] 26
Şekil 3. 10 Aşınma Çeşitleri [35] 29
Şekil 3. 11 Adhezif Aşınma [24] 30
Şekil 3. 12 Adhezif Aşınmada Aşınma Bölgeleri [21] 31
Şekil 3. 13 Abrazif Aşınma [45] 32
Şekil 3. 14 Yorulma Aşınması [51] 33
Şekil 3. 15 Tribo Oksidasyon Aşınması [98] 33
Şekil 3. 16 Doğrusal, Düzlemsel Ve Hacimsel Aşınmanın Belirlenmesi [51] 34

Şekil 4. 1 Açık Çevrimli Kontrol Sistemi [54] 41
Şekil 4. 2 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi [53]..... 42
Şekil 4. 3 Denetim Etkilerinin Karşılaştırılması [54]..... 44
Şekil 4. 4 Otomobillerde Komut Kontrolü [54]..... 45
Şekil 5. 1 Disk Fren Sistemi..... 47
Şekil 5. 2 Kampanalı Fren Ve Pabuç Durumu [59] 49
Şekil 5. 3 Pabuç Fren Faktörünün Sürtünme Katsayısı(μ) İle Değişimi [58]. 50
Şekil 5. 4 Diskli Frenler Ve Balata Donanımı [60]..... 52
Şekil 5. 5 Diskli Frenlerde Fren Ve Tekerlek Torkunun Oluşumu [61]. 53
Şekil 6. 1 Disk ve Balata Malzemesinin Şematik Resmi 55
Şekil 6. 2 Balatalardaki Malzemelerin İçyapı ve İzometrik Görünüşü [64] 56
Şekil 6. 3 Disk Fren Balatası..... 57
Şekil 6. 4 Kavisli Fren Balatası..... 58
Şekil 6. 5 Pabuçlu Fren Balatası 58
Şekil 7. 1 Hacim Elemanında Isı Akım Şiddeti 62
Şekil 7. 2 Balata Geometri Ölçüsü (a) Ve Fren Disk-Balata Görünümü (b) 67
Şekil 7. 3 Balatanın Üzerine Uygulanan Isıl Sınır Şartları (a) Ve Mekanik (b) 68
Şekil 7. 4 Fren Balatasının Mesh Görüntüsü 69
Şekil 7. 5 Frenleme Sonunda Aşınmamış (a) Ve 6mm Aşınmış (b) Balatadaki 300 Saniye Sonunda Sıcaklık Dağılımları Ve Deformasyon Durumları 71
Şekil 7. 6 Frenleme Sonunda Aşınmamış (a) Ve 6mm Aşınmış (b) Balatadaki Gerilme Dağılımları Ve Deformasyon Durumları 75
Şekil 8. 1 Tasarım Felsefesi [76] 78
Şekil 8. 2 Ürün Yaşam Döngüsü İçindeki Akış [76] 83
Şekil 9. 1 Test Cihazı İçin Kullanılan Profiller..... 86
Şekil 9. 2 Test Cihazı Profil Masa Tezgâhı 87
Şekil 9. 3 Aks milinin Cnc Freze Tezgâhında Kama Kanalının Açılması İşlemi..... 88
Şekil 9. 4 UCP 210 Yatak Ve Aks Mili İle Montaj Şekli 88
Şekil 9. 5 Aks Mili Üzerine Freze Dişlerinin Açılması 89

Şekil 9. 6 Aks Milini Torna Tezgâhında İstenilen Ölçülerde İşlenmesi 90
Şekil 9. 7 Hidrolik Ünite 91
Şekil 9. 8 Fren Balatası Test cihazı 93
Şekil 9. 9 Test Cihazı Mekanik Bağlantı Elemanları 94
Şekil 9. 10 İnfrared Sıcaklık Ölçüm Cihazı 97
Şekil 9. 11 Loadcell ve Transmitteri 98
Şekil 9. 12 Loadcell Teknik Resmi 98
Şekil 9. 13 Loadcell'de Kullanılan Bağlantı Renkleri 99
Şekil 9. 14 Hassas Terazi 101
Şekil 9. 15 Fren Diski Görünüşü 102
Şekil 9. 16 Endüstriyel Tip IO Kartlar 103
Şekil 9. 17 İnvertör Bağlantısının Yapılışı 104
Şekil 9. 18 7,5 Kw 1400 d/dk Elektrik Motoru 104
Şekil 9. 19 (132 M-4) Elektrik Motoru Teknik Özellikleri 105
Şekil 9. 20 Elektrik Motoru Moment- Akım eğrisi 106
Şekil 9. 21 Elektronik Oransal Basınç Kontrol Kartı ve Bağlantı Şeması 107
Şekil 9. 22 Oransal Basınç Kontrol Valfi (a) – Yön Kontrol Valfi (b) 108
Şekil 9. 23 Hidrolik Ünite Devre Şeması 108
Şekil 9. 24 Yoğunluk Ölçüm İşlemi 110
Şekil 9. 25 Elektrik Şeması 112
Şekil 10. 1 (1)"- (½)" lik Balata Tutucu Ve Balatanın Takılma İşlemi 116
Şekil 10. 2 Deney Numuneleri İçin Örnek Rapor 117
Şekil 10. 3 Program Ara Yüzü 118
Şekil 10. 4 Fren Balatası Test Cihazı Otomatik Kontrol Paneli 119
Şekil 10. 5 Fren Balatası Test Cihazı Manuel Kontrol Paneli 120
Şekil 10. 6 Blok Diyagramı 121
Şekil 11. 1 Fren Balatası Test Cihazında Kullanılan (a) 1" ve (b) ½" Fren Pabuçları 124
Şekil 11. 2 Balatanın Takılma İşlemi 125
Şekil 11. 3 Balata Sacının Freze Tezgâhında İşlenmesi 125
Şekil 11. 4 Üç Farklı Deney Numunesinin Hazırlanışı 127

Şekil 11. 5 Su İçerisinde Bekletilen Numuneler 129
Şekil 11. 6 A1 Firmasına Ait NK 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği 131
Şekil 11. 7 TK1 Test Cihazına Ait NK 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği 131
Şekil 11. 8 A1 Firmasına Ait GM 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği.... 132
Şekil 11. 9 TK1 Test Cihazına Ait GM 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği 132
Şekil 11. 10 A1 Firmasına Ait DK 2 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği 133
Şekil 11. 11 TK1 Test Cihazına Ait DK 2 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği 133
Şekil 11. 12 NK11-GM 11-DK 2 Nolu Balataların Sürtünme Katsayıları 137
Şekil 11. 13 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre..... 137
Şekil 11. 14 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre..... 138
Şekil 11. 15 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre..... 138

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 SAE-J661 ve TSE 555 Standartlarına Göre Balataların Sınıflandırılması [32]25
Çizelge 7. 1 Balata malzemelerine ait özellikler..... 65
Çizelge 9. 1 Test Cihazı Malzeme Listesi ve Özellikleri..... 95
Çizelge 9. 2 Giriş-Çıkış Sinyalleri 111
Çizelge 11. 1 TK1 Test Cihazından Alınan DK 2 Numunesinin Deney Sonuçları 139
Çizelge 11. 2 TK1 Test Cihazından Alınan GM 11 Numunesinin Deney Sonuçları 141
Çizelge 11. 3 TK1 Test Cihazından Alınan NK 11 Numunesinin Deney Sonuçları 144
Çizelge 11. 4 Deney Raporu 145
Çizelge 11. 5 Balata Numunelerinin Deney Sonucu Özellikleri..... 152

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile sanayide insan gücüne dayalı yapılan üretim, günümüzde yerini makinelere bırakmaktadır. Bu değişim süreci ile birlikte tesislerde istenilen ve planlanan biçimde üretim başlamış, buna izlenebilme özelliği eklenmiş, ayrıca kişilerin yapabileceği hata oranı da bu gelişim ile azalmıştır. Makineleşme ve otomasyon teknolojileri hızlı ve güvenilir üretim özelliklerini de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle mikroişlemci tabanlı gerçeklenen kontrol yöntemleri ile hayata geçen makineler ve süreçler sanayinin vazgeçilmez bir parçası olmaya başlamışlardır. Bu sistemlerin insan gücünün yerine geçmesi, en çok kontrol sistemleri gibi süreçlerde kendini göstermiştir. Çünkü kontrol sistemleri gelişmiş yapı ile kontrol edildiği takdirde insan gücünün hızından daha hızlı, gücünden daha yüksek güçlü ve güvenilir sistemlere olanak sağlamaktadırlar [1].

Günümüz modern üretim süreçlerinde yüksek verim ve kaliteli üretim için kaçınılmaz olan otomatik kontrollü sistemler her geçen gün büyük bir hızla gelişmektedir. Bilindiği gibi otomatik kontrol sistemleri, en küçük üretim biriminin amaca uygun çalışmasını düzenlediği gibi, bütün üretim sistemleri arasında veri iletişimi olanağı sağlayarak daha üst düzeyde yönetim ve planlama için gerekli bilgi tabanını oluşturur [2].

Otomatik kontrollü sistemler otomotiv sanayinde ve insan hayatının her aşamasında her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Daha kontrollü bir hareket ve işin her aşamasına müdahale edebilme yeteneği, tasarımların önemini ve değerini artırıcı bir özellik olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, yeni geliştirilen tasarımlarda manuel kullanım alanları gittikçe daraltılarak, kullanıcılara sadece basit ayar, yerleştirme ve başlatma-bitirme gibi bazı noktalarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yapılan programlarla işlerin belirli bir algoritma çerçevesinde kendiliğinden devam etmesi istenmektedir. Sistemdeki

değişiklilerin, hazırlanan programlarda sunulan seçeneklerle veya programın içerisinde yapılacak değişikliklerle rahatlıkla yapılabilmesi istenmektedir. İşte bu nedenle otomatik kontrollü sistemler giderek hayatımızda daha fazla yer almaktadır [3].

Son yirmi yılda otomotiv teknolojisindeki hızlı gelişmelerin sonucu olarak çok daha yüksek hız ve ivme kabiliyetine sahip taşıtlar üretilmiştir. Günümüzde otomotiv teknolojisinde meydana gelen ilerlemeler aynı zamanda yeni üretimlerin de ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Fakat bu ilerlemenin yanında dünyadaki hammadde ve enerji kaynakları yetersiz kalmaktadır. Örneğin imal edilen bir makinenin enerji kaybına yol açmadan çalışması istenir. Kayıplar tamamen yok edilemese de, minimuma indirilmesi gerekir.

Özellikle çalışan sistemlerde, birbirine temas eden parçalar varsa, bu parçaların temas yüzeylerinde belli sürtünme-aşınma mekanizmaları oluşmaktadır. Bu mekanizmaları inceleyen bilim dalı Triboloji'dir. Bilindiği gibi bu bilim dalı sürtünme, aşınma ve yağlama sistemlerini bir arada inceler. Son 10–15 yıldan beri birçok bilim adamı triboloji üzerine çalışma ve araştırmalar yapmıştır. Sürtünmeyi ve aşınmayı önlemek için yeni fikirler ortaya çıkarmıştır. Bu fikirlerin en dikkat çekeni ise, tribolojik sistemlerde ortaya çıkabilecek hasarları veya mekanizmaları, önceden tahmin edebilmek için tasarlanan test cihazlarıdır. Sürtünme ve aşınma gibi olayları gerçek ortamda incelemek hem maddi hem de zaman açısından uygun değildir. Özellikle bu deneylerde gerçek çalışma koşullarının kullanımı, en güvenilir yöntem olarak gözlenmiştir. Uygulamalardaki sürtünme sistemlerinde doğrudan doğruya muayene için gereken çok uzun sürtünme zamanı ve ölçme büyüklüklerinin kısmen kontrol edilemez veya ölçülemez oluşu, test cihazlarında çalışmamızı, kaçınılmaz kılmaktadır [4,5].

Sürekli temas ve hareket nedeniyle meydana gelen sürtünme sonucunda oluşan ısı, aşınma adı verilen istenmeyen yüzey değişikliklerini de beraberinde getirir. Genel anlamda aşınma, birbiri ile temas ve hareket halinde bulunan cisimlerden, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma, yıpranma hususunda kendisini yavaş yavaş hissettirmesine rağmen, uzun zaman diliminde çok önemli kayıplara yol açmaktadır. Aşınmanın malzeme kaybına yol açmasının yanında, makine elemanlarının şeklini bozarak, onların iş yapma

kabiliyetlerini azaltması veya yok etmesi ise çok daha önemlidir [6]. Aşınarak deforme olan parçaların dayanımı azalmakta ve eğilme, kopma, kırılma veya yağsız ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen arızalara sebebiyet verebilmektedir. Aşınmanın en aza indirilmesi için, birbiri ile uyumlu malzemelerin seçiminin yanında, çalışma şartları da çok önemlidir.

Özellikle sürtünme yoluyla çalışan kavramalarda ve fren sistemlerinde, birbiri ile temas halinde çalışan yüzeylere yağın bulaşması, bu sistemlerin verimli çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple birbirleri ile uyumlu çalışabilecek ve en az aşınacak malzeme seçiminin yapılması büyük önem taşımaktadır. Birbiri ile sürtünerek çalışan malzemelerin aşınması, yağlama sistemlerinin kullanılmasıyla en aza indirilir. Fakat bazı sistemlerde yağlamanın faydadan çok zarar getireceği unutulmamalıdır [7].

Otomobillerin performansını etkileyen fren balatalarında meydana gelen aşınma üzerine yapılan çalışmalarda bir çok farklı deney düzenekleri kullanılır. Laboratuar araştırmaları ya aşınmayı ortaya çıkaran mekanizmaların denenmesi yada pratik uygulamalar benzetmek üzere uygulanır ve aşınma oranları üzerine yararlı dizayn verileri elde edilir [4].

Otomobillerin performanslarını etkileyen diğer bir unsurda fren balatalarının fren diski ile sürtünmesi sonucu ısı enerjisi açığa çıkarmasıdır. Frenler enerji değişim araçlarıdır. Aracın mekanik enerjisini, sürtünme ile ısı enerjisine çevirirler. Hareket halindeki taşıt kinetik enerjiye sahiptir. Taşıt hızının azaltılabilmesi için sahip olduğu enerjinin başka bir şekle dönüşümü gereklidir. Fren sistemlerinde, taşıtın kinetik enerjisi balatanın diske sürtünmesi yoluyla ısı enerjisine çevrilir ve bu ısı atmosfere yayılır. Eğer frenlere çevreye verebileceğinden daha fazla bir ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısı düşmekte ve frenlerin durdurma kabiliyetleri azalmaktadır. Bu noktadan sonra aşınma hızlanır. Fren balatalarının sürekli olarak aşırı sıcaklıklara maruz kalmaları balataların frenleme etkinliklerinin sona ermesine sebep olur. Bu durum, frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses olarak kendini gösterir [8,9]. Bilgisayar kontrollü sürtünme ve aşınma test cihazları sayesinde, malzeme çiftleri arasında oluşan tribolojik sistem rahatlıkla incelenebilir. Zamanla değişen sürtünme katsayısı ve kuvveti ölçülüp hesaplanabilir. Test cihazları ayrıca günümüz şartlarında elektronik ve mekanik malzemelerin hassaslığı sayesinde ulaşmak istediğimiz değerlere doğru bir biçimde

ulaşmamızı sağlar. Otomobillerde meydana gelecek olan olumsuzlukları önceden tespit ederek insanlar için daha rahat bir sürüş ve konforun gerçekleşmesini sağlar.

1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

Bu çalışmadaki amacımız, önceden yapılmış olan çalışmalardan da faydalanarak, üretilmiş test cihazlarını inceleyerek fikir edinmek, amaca uygun çözümler sağlayacak yeni bir cihazı geliştirmek ve imal etmektir. Literatürdeki mevcut çalışmalar da dikkate alınarak otomobillerde kullanılan fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncini ve termal etkileşimini tespit etmek amacıyla otomatik kontrollü test cihazı tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu test cihazında günümüz teknolojisinin imkânlarından yararlanılarak kapsamlı ve entegre bir Veri Tabanlı Kontrol Sistemi sayesinde kontrol ve deneysel çalışmalar bilgisayar yardımı ile yapılmıştır. Test cihazı, deneysel çalışmaların verilerinde standartlar doğrultusunda güvenilir sonuçlar alınabilecek şekilde dizayn edilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda imalatı yapılan test cihazında çeşitli fren balatalarından alınan numuneler deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin aşınma ve sürtünme davranışları incelenerek değerler istenilen aralıklarda bilgisayara kaydedilebilmekte daha sonra sürtünme katsayısı-sıcaklık, sıcaklık-zaman, sürtünme katsayısı-zaman vb. gibi grafikler oluşturulabilmektedir.

Ayrıca fren balatalarında sıcaklık nedeniyle meydana gelen olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması amacıyla otomatik kontrollü test cihazında fren balatalarının sıcaklığa karşı göstermiş olduğu durumlar test edilerek incelenmiştir. Balataların sıcaklık durumlarını analiz etmek amacıyla SolidWorks Simulation Solitions modülü kullanılmıştır. Bu programda 4 farklı balata malzemesinin sürekli frenleme işlemine tabi tutulup, meydana gelen sıcaklık dağılımları ve gerilme durumları incelenmiştir. Balatanın aşınma ile ortaya çıkan durumunu ortaya koymak açısından aynı balatanın 2 farklı kalınlığı da analizlerde dikkate alınmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

J.A. Habdank, S.D. Lawes,S.V. Hainswort, Leicester Üniversitesi laboratuarında bulunan fren Test cihazını kullanarak sürtünme malzemelerinin tribolojik özelliklerini elde etmişlerdir. Otomobillerin fren sistemlerinde meydana gelen sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin oluşumu ve buna bağlı olarak fren balatalarının belirli sıcaklıklarda ki davranışlarını incelemişlerdir [10].

R. Dubrovsky ve A. Titov tarafından NJIT'daki Yüzey Mühendisliği laboratuarında geliştirilen aşınma test metodolojisi, hem nicelik hem de nitelik analiz deney çıktıları açısından çok çeşitli araştırma tekniklerinden meydana gelmektedir. Bu metotlar sürtünme katsayısını ve asınma oranının değerlendirilmelerini ve deneyden önce ve sonraki yüzey deneylerini içermektedir. Sürtünme katsayısı üzerine yapılan çalışmalarda balataların kararlı bir yapıda olabilmesi için değişkenlik oranlarının minimum seviyede olması gerektiğini belirtmişlerdir [10].

Mutlu ve arkadaşları tarafından 'Otomotiv fren balataları için sürtünme katsayısı test cihazı tasarımı' yapılmıştır. Bu cihazda değerler istenilen aralıklarda algılanarak bilgisayara kaydedilebilmekte daha sonra sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı zaman, sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulabilmektedir. Devir değişimi ve basınç mekanik olarak ayarlanmaktadır [11].

Fren balatalarının tribolojik özelliklerini incelemek için yapılan başka bir çalışma, Y. KARAOĞLU ve O. ELDOĞAN tarafından yapılan aşınma test cihazıdır. Bu projedeki amaç da ilk verdiğimiz örnek çalışmanın amacı ile aynıdır. Aşındırıcı disk olarak günümüz taşıtlarında kullanılan fren diskleri kullanılmıştır. Diskin her iki yüzeyinden, hidrolik basınç uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar bilgisayar ortamında takip edilmiştir [12].

Alüminyum bronzlarının aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemek için M.DEMiRAL ve M.YASAR tarafından pim-disk sistemi tribotest cihazı tasarlanıp, imal edilmiştir. Disk hareketi için 1.5 kW gücünde 1500 dev/dk AC elektrik motoru ve kayma hızını ayarlamak için hız kontrol cihazı kullanılmıştır [13].

Michael Ericsson Cambridge üniversitesinde 2002 yılında sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla test cihazı geliştirmiştir. Bu test cihazında diğer test cihaz donanımlarında, farklı olarak torkmetre kullanılmıştır. Böylece oluşturulan verilerin hangi güçte meydana geldiğinin tespit edilmesi mümkün olmuş ve grafiklere bu oranların aktarılması sağlanmıştır [14].

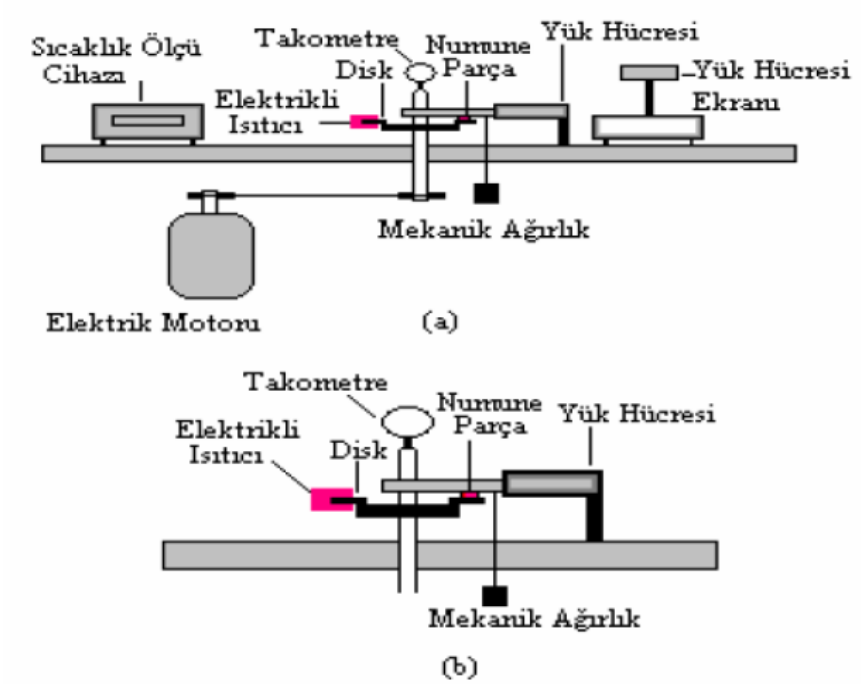
Jang ve arkadaşları bilgisayar kontrollü fren test cihazı tasarlamışlar ve istenilen standartlarda çalışabilmesi için kalite kontrol test prosedürleri SAE J661 standardına göre yapmışlardır. Bu cihaz sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayılarını üzerinde bulunan donanımlar sayesinde doğru ve hassas olarak belirleyebilmekte ve çıktılar alınmasını sağlamaktadır. Bilgisayar kontrolü sayesinde test cihazı test raporlarını grafikler halinde göstermektedir ve deneylerden alınan verileri hafızasında saklamaktadır [15].

Atik ve arkadaşları gidip-gelme (reciprocator) esasına göre çalışan, lineer hareket yapan test cihazı tasarlamışlardır. Test cihazında elektrik motoru inverter ile kontrol edilerek kayma hızı bilgisayar yardımıyla değiştirilebilmektedir. Normal yükleme ve sürtünme kuvveti loadceller tarafından ölçülüp bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda yapılan program bu kuvvetleri oranlayarak sürtünme katsayısını zamana veya yola bağlı olarak grafik veya veri olarak kaydetmektedir. Test cihazlarına monte edilen 10 mikron hassasiyetinde temassız mesafe ölçme sensörüyle, deney devam ederken bile numunelerin toplam yükseklik değişimleri ölçülüp kaydedilebilmektedir. Birbirleriyle temas halinde olan ve birbirlerine göre izafi hareket yapan kaymalı yatak, kızak gibi sistemlerde her iki parçada da aşınma meydana gelmekte ve oluşan aşınma parcacıkları uzaklaştırılmamaktadır. Dolayısıyla gerçek sistemlerde farklı miktarlarda bile olsa hem her iki yüzey aşınmakta, hem de aşınma parcacıkları yüzeyler arasında kalmaktadır. Tasarımı yapılan ve imal edilen Tribotest Cihazlarında kullanılan mesafe ölçme sistemi, gerçek sistemlerde oluşan aşınma kayıplarına uygun ölçme yapmaktadır. Bu ölçme sistemi tribotest cihazları icin yeni ve orijinal bir yaklaşımdır [16].

Kondoh ve arkadaşlarının, sinterlenmiş yeni bir sürtünme malzemesi üretmek amacıyla tasarlamış oldukları test cihazı üzerinde bir takım araştırmalar yapmışlardır. Kondoh ve arkadaşlarının Ring-on-disk kayma aşınma test cihazı kullanarak yapmış oldukları çalışmada bakır esaslı kompozit tozlarının mekanik olarak alaşımlandırılarak geliştirildiği yüksek sürtünme kuvveti sağlamak için malzeme temasında uygun partikül sıklığı sağlanmıştır. Bu yeni sürtünme malzemesi kalın ve sert partikül içeren geleneksel sürtünme malzemelerinden daha yüksek sürtünme katsayısı ve daha az aşınma özelligi göstermiştir. Bakır esaslı alaşıma mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için Ni, Fe, Zn yağlayıcı olarak grafit ve, aşınma direncini iyileştirmek için sert partikül olarak Alüminyum oksit katılmıştır [17].

2.1 Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Fren Balatası Test Cihazları

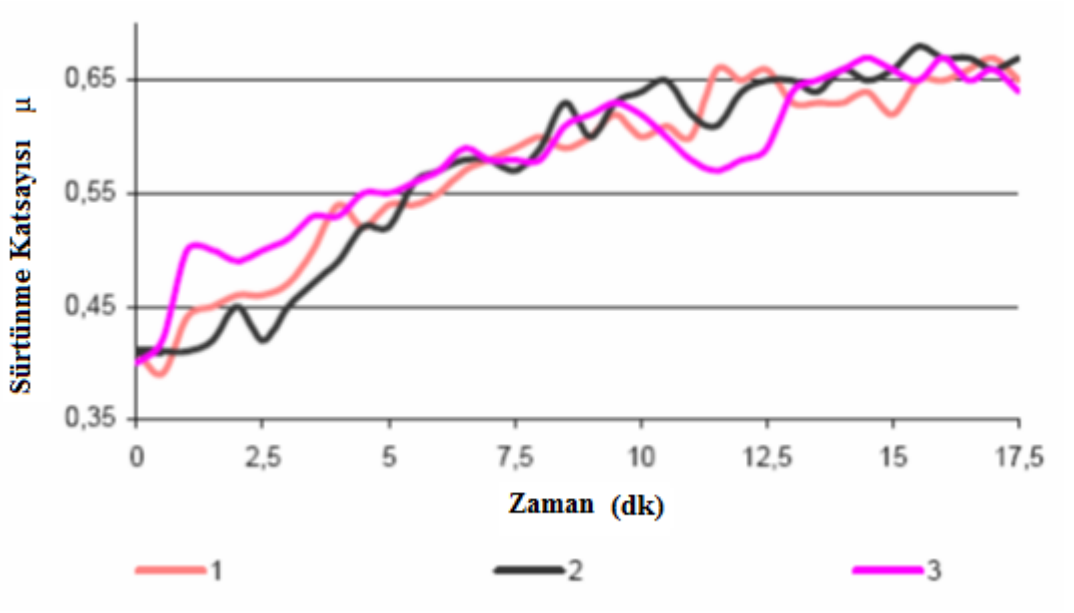
Sürtünme katsayısı hakkında bilgi edinmek ve fren disklerinin yapıldığı malzemenin tribolojik özelliklerini öğrenmek için, çeşitli test düzenekleri geliştirilmiştir. Ülkemizde bu çalışmalara örnek göstermek mümkündür. İbrahim Mutlu ve Recep Koç tarafından ‘Otomotiv fren balataları için sürtünme katsayısı test cihazı tasarımı’ yapılmıştır. Bu cihazda değerler istenilen aralıklarda algılanarak bilgisayara kaydedilebilmekte daha sonra sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı zaman, sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulabilmektedir. Devir değişimi ve basınç mekanik olarak ayarlanmaktadır. Şekil 2.1’ de bu cihazın şematik resmi gösterilmektedir.



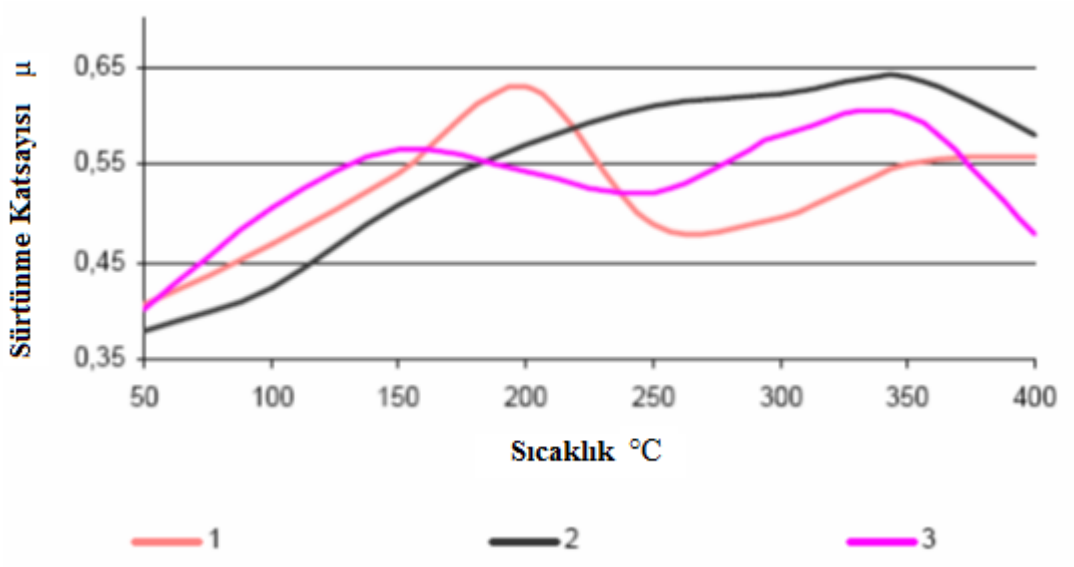
Şekil 2. 1 Deney Düzeneği [11]

Şekil 2.1'de görülen deney düzeneğinde fren diskini döndürmek için 2,2 kW gücünde 1400 dev/dk trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorunun dairesel hareketi kayış kasnak kullanılarak fren diskini 680 dev/dk'da döndürerek aşınma deneyinin yapılacağı 6 m/s hız sağlayacak şekilde düzenlenmiştir [11].

Ayrıca hız-sürtünme katsayısı değişimlerini inceleyebilmek için kasnak değişimi ile 3 m/s ve 9 m/s hız sağlanabilmektedir. TSE 9076'da belirtilen 1050 kPa ve 3000 kPa balata yüzey basıncının sağlanması için yük kolu üzerine uygun büyüklükte ağırlık asılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda cihazın amaca uygun olduğu belirlenmiştir. Elde edilen grafikler şekil 2.2 ve 2.3'de gösterilmiştir. Şekil 2.2'deki grafikte sürtünme katsayısının zamana göre değişimi verilmiştir. Zaman dakika olarak belirtilmiştir. Şekil 2.3'de sürtünme katsayısının sıcaklık ile ilgili değişimleri gözlenmektedir. Grafikte sıcaklık değerleri °C olarak verilmiştir.



Şekil 2. 2 Fren-Balata Sisteminde Sürtünme Katsayısı-Zaman Değişimi [11]



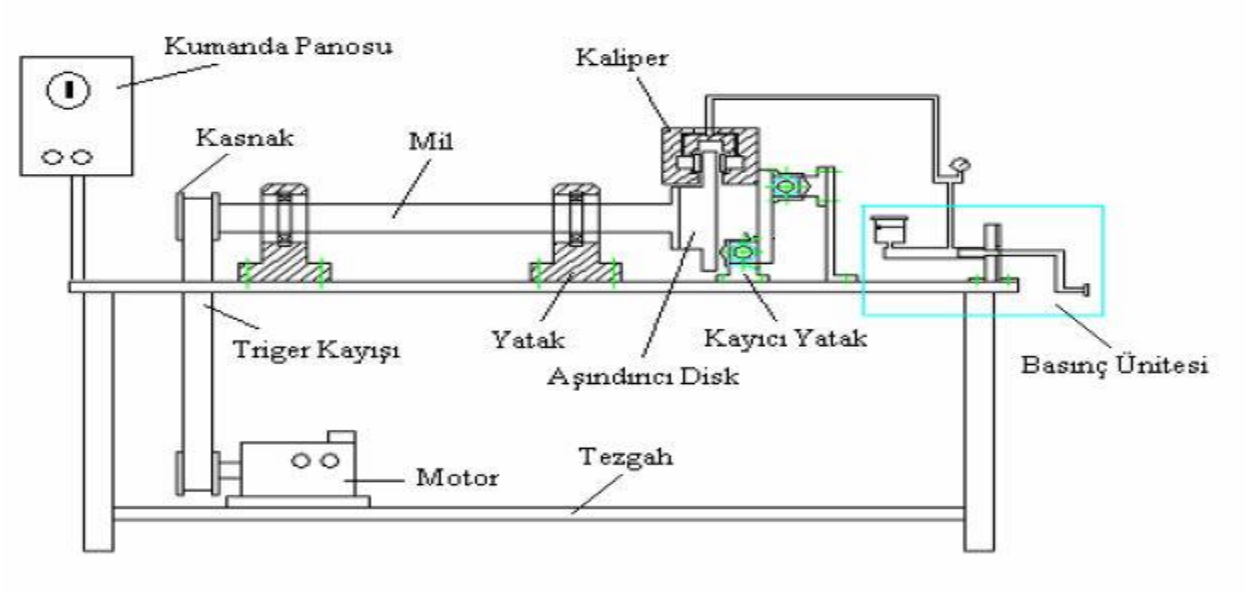
Şekil 2. 3 Fren-Balata Sisteminde Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi [11]

R. Dubrovsky ve A. Titov tarafından NJIT'daki Yüzey Mühendisliği laboratuarında geliştirilen aşınma test metodolojisi, hem nicelik hem de nitelik analiz deney çıktıları acısından çok çeşitli araştırma tekniklerinden meydana gelmektedir. Bu metotlar sürtünme

katsayısını ve aşınma oranının değerlendirilmelerini ve deneyden önce ve sonraki yüzey deneylerini içermektedir [10].

Fren balatalarının tribolojik özelliklerini incelemek için yapılan başka bir çalışma, Y. Karaoğlu ve O. Eldoğan tarafından yapılan aşınma test cihazıdır. Bu projedeki amaç da ilk verdiğimiz örnek çalışmanın amacı ile aynıdır. Şekil 2.4' de cihazın genel görünümü gösterilmiştir.

Aşındırıcı disk olarak günümüz taşıtlarında kullanılan fren diskleri kullanılmıştır. Diskin her iki yüzeyinden, hidrolik basınç uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar bilgisayar ortamında takip edilmiştir.



Şekil 2. 4 Cihazın Genel Görünümü [12]

Şekil 2.6' da farklı tipteki sürtünme katsayısı test cihazı gözükmektedir. Bu cihazın kalite kontrol test prosedürleri SAE J661 standardına göre yapılmıştır. Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayılarını üzerinde bulunan donanımlar sayesinde doğru ve hassas olarak belirleyebilmekte ve çıktılar alınmasını sağlamaktadır. Bilgisayar kontrollü olarak çalışmakta olan test cihazı test raporlarını grafikler halinde göstermektedir. Test cihazının güç uygulama ünitesi pnömatik sistem ve 15 Kw'lık tahrik motoruna sahiptir.

Balata ısısını kontrol etmek amacıyla tambur içerisine ısıtıcı rezistanslar yerleştirilmiştir. Sürtünme katsayısı tespiti yapılacak numune parça önceden sekilendirilmelidir. Test sonucunda sıcak ve soğuk sürtünme katsayılarının hangi aralıkta olduğunu ve sürtünme katsayısı harf grubunu belirtmektedir [18].

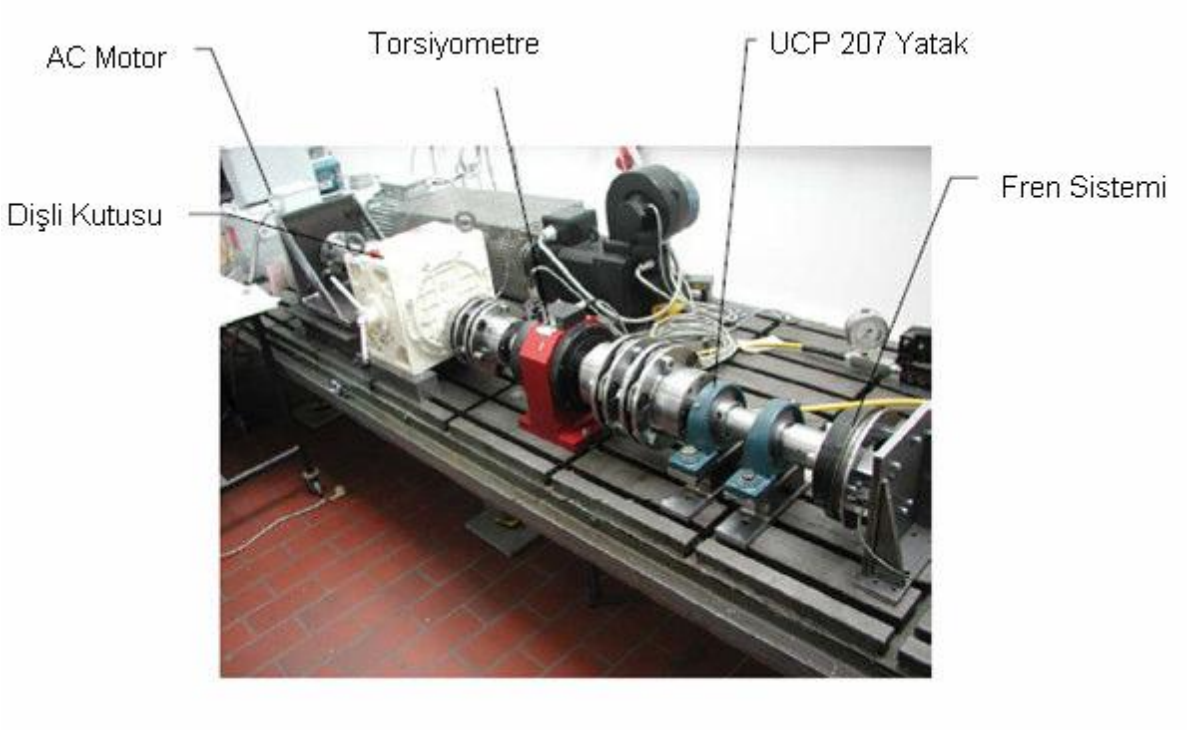
	ÖZELLİKLER
Normal Yük	890 N
Sürtünme Kuvveti	445 N
Hız	0-1000 RPM
Sıcaklık	0-540 °C
Balata Ebatları	$(1")^2$
Makine Ebatları	762X1892X1575 mm
Yaklaşık Ağırlık	1134 kg

Şekil 2. 5 Chase Makine Fren Balatasının Deneysel Özellikleri [18].



Şekil 2. 6 Chase Makine'nin Üretmiş Olduğu Test Cihazı

Şekil 2.7'de sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla geliştirilmiş test cihazı gözükmektedir. Cambridge üniversitesinde 2002 yılında imal edilmiş olan bu test cihazının donanımlarında, farklı olarak torsiyometre kullanılmıştır. Böylece oluşturulan verilerin hangi güçte meydana geldiğinin tespit edilmesi mümkün olmuş ve grafiklere bu oranların aktarılması sağlanmıştır [14].



Şekil 2. 7 Michael Eriksson Tarafından Üretilmiş Test Cihazı

BÖLÜM 3

TRİBOLOJİ

Triboloji, birbiriyle temas eden iki yüzey arasındaki etkileşimleri inceler. Fizik ve Kimya bilimlerinden, Mekanik ve Malzeme bilimine kadar birçok farklı alan tarafından incelenir ve çalışılır [19]. Ev aletlerinden uzay araçlarına kadar her alandaki teknik araç ve gerecin kontrolü gibi ekonomik açıdan önem arz eden alanlarda büyük kayıplara neden olan problemleri tanımlayan ve islevsel analizler uygulayan bir bilim alanıdır [20]. Bu bilim dalı 1967'de ortaya çıkmıştır. Yunanca bir terim olan "TRIBOS" kelimesinden türetilmiş olup disiplinler arası bir bilim dalıdır [21].

3.1. Sürtünme

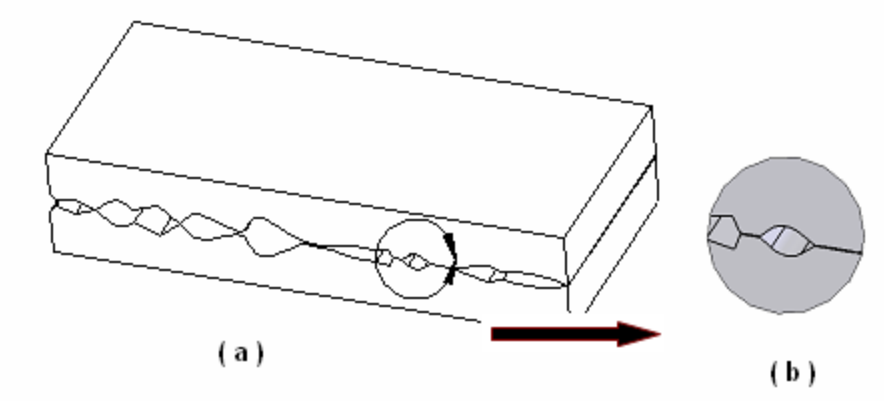
3.1.1 Sürtünmenin Tanımı

DIN 50281'e göre sürtünme "Birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (Dinamik sürtünme) veya engelleyen (Statik Sürtünme) mekanik direnç" olarak tanımlanır.

Normal atmosfer şartlarında yüzeyler arasında toz, kir, oksit vb. gibi ara elemanların olması nedeniyle pratikte tam bir kuru sürtünme elde edilemez. Bundan dolayı yağlamasız olarak meydana gelen kuru sürtünme yerine "Teknik kuru sürtünme" terimini kullanmak daha doğrudur [22].

Genel anlamda, sürtünme temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da, hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır [23,24]. Birbirlerine temas eden parçalarda sürtünme, kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma, yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur.

Şekil 3.1 (a)'da üstteki cisim alttaki cisim üzerinde sağa doğru kaymaktadır, diyagram büyütülerek gösterilen (b)'de ise yüzeysel yapışma noktaları görülmektedir.



Şekil 3. 1 Sürtünmede Temas Alanları [25].

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri her cihaz geliştirilirken sürtünme özellikleri dikkate alınarak cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları ve tam madensel temiz yüzeye sahip olmadıkları gibi hususlar göz önünde tutulmalıdır. Şekil 3.1' de görüldüğü gibi yüzeyler birbirleri ile pürüzlerinin tepelerinde temas etmektedirler. Böylece temas alanı çok küçük alanlardan meydana gelmektedir. Bu küçük temas alanlarının toplamı (a) gerçek temas alanını oluşturur. Bu alan temas yüzeylerinin sınırlarını tayin eden (a) geometrik alandan çok daha küçüktür.

Sürtünme, faydalı iş enerjisinin büyük bir kısmını yutması ile birlikte günlük yaşamımızda sürtünme olmazsa birçok işin gerçekleştirilemeyeceği de bir gerçektir. Örneğin, yürüme olayından taşıtın hareket ettirilmesine, elimizle kalemi tutmamızdan gözümüzü kırpmamıza kadar temas halindeki yüzeylerin sürtünmesi söz konusudur [25].

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri her cihaz geliştirilirken sürtünme özellikleri dikkate alınarak cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Bunun yanı sıra dünya çapında yapılmış olan istatistiklere göre makine

elemanlarının yaklaşık olarak %70'nin işe yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır. Ayrıca sürtünme sonucu meydana gelen enerji kayıpları milyonlar tutarında harcamalara yol açar. Onun içindir ki uygun bir yağlama ile sistemin verimi bir oranda artırılırsa bile, tasarruf edilen paranın tutarı milyonlara varmaktadır. Aşınmadan dolayı meydana gelen malzeme kayıpları ve bakım onarım için harcanan zaman göz önüne alındığı takdirde makine konstrüksiyonunun önemi daha iyi anlaşılacaktır.

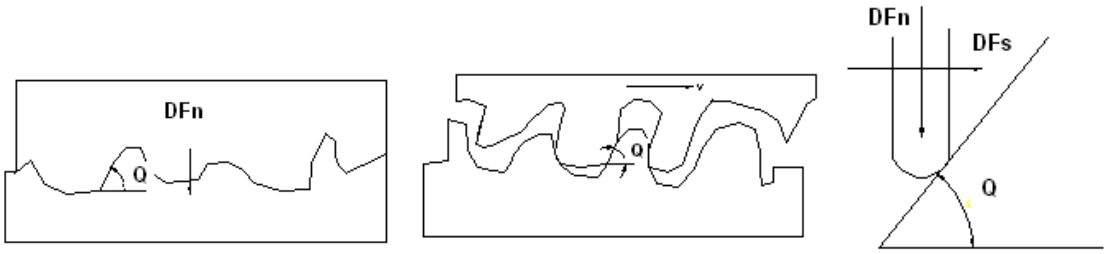
Tekniğin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonlar gerçekleştirilmiştir. Örneğin; kavramalarda olduğu gibi bir güç nakli, frenlerde olduğu gibi hareket halinde bulunan bir makinenin kinetik enerjisinin alınarak durdurulması, yani bir gücün yutulması veya sevk ve hareket silindirlerinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli hareketler de olabilir [26].

3.1.2 Sürtünme Teorisi

İlk mekanik sürtünme teorisini kuran Amontons Coulomb'un buldukları temel sürtünme kanunları şunlardır [27]. Sürtünme Teorisi;

1. Katı cisimler arasında sürtünme görünen temas alanından bağımsızdır.
2. Sürtünme kuvveti normal kuvvetle doğru orantılı olup, aralarında sürtünme katsayısı olarak tanımlanan sabit bir oran vardır.
3. Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır.

Sürtünmede en önemli faktör pürüzlerin etkileşmesidir. Buna göre sürtünme rijit yani deformasyona uğramayan pürüzlü noktaların teması sonucu meydana gelir. Şekil 3.2'de Colulomb'un sürtünme modeli görülmektedir.



a) Statik temas b) Dinamik temas c) Eğik düzlem

Şekil 3. 2 Coulomb'un Sürtünme Modeli [28].

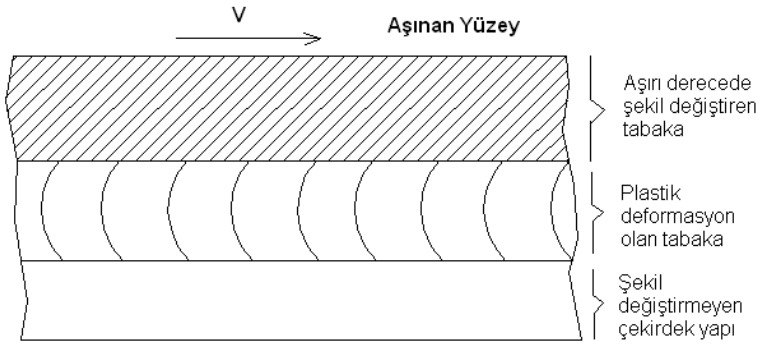
Burada DFs; Sürtünme kuvvetini, DFn normal kuvveti ifade eder. Q ise pürüzün taban açısıdır.

Statik haldeki sürtünmenin dinamik sürtünmeden daha büyük olmasının sebebi temas başlangıcındaki yüzeylerdeki pürüzlerin birbirini tam kavramasına, dolayısıyla bu temasın bozulması için daha fazla sürtünme kuvveti gerektirmesine bağlanmaktadır. Dinamik sürtünmede pürüzler birbiri üzerinden sıçrayarak hareket ettikleri için daha az sürtünme kuvveti gerektirir. Ayrıca yağlayıcı ara maddeler pürüz boşluklarını doldurarak, pürüzlülüğün etkisini, dolayısıyla sürtünmeyi azaltır [28].

Temas alanının sürtünme esnasında büyümesi için yüzeylerin ideal temiz ve sünek olması gerekir. Rigney ve Hirth Sürtünen yüzeylerden itibaren mikro yapının değiştiğini tespit ettiler. Şekil 3.3 incelendiğinde temas yüzeyinden itibaren malzeme yapısı aşırı ince taneli, plastik deforme olan ve deforme olmayan olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Sürtünme esnasında yüzey tabakaları içinde çok büyük kayma şekil değişimleri meydana gelerek yüzeyde yorulmalar oluşur. Katılar arasındaki sürtünmenin muhtemel iki sebebi vardır; [29].

1. Yüzeyler arasındaki etkileşme mekanizması
2. Yüzeyler arasındaki enerji kaybı

Yüzeyler arasındaki etkileşme mekanizmasının genel olarak sistem girişindeki değerleri kapsar. Temas eden iki katı cisim arasındaki bağıl sürtünme hareketi esnasında sürtünme kuvveti tarafından bir iş yapıldığından temas yüzeyinde bir enerji açığa çıkar. Bu enerji tribolojik sistemin giriş ve çıkış enerjileri arasındaki farka eşit olup, sürtünme enerjisi olarak adlandırılır [22].



Şekil 3. 3 Sürtünmenin Malzeme Yapısı Üzerine Etkisi [22]

3.1.3 Sürtünme Kanunları

1- Hareketi meydana getirmek için gereken yüzeysel kuvvet genelde tipik bir plastik deformasyondur.
2- Harekete karşı koyan kuvvetin yönü zıttır.
3- Tatbik edilen yük ve sürtünme kuvvetinin oranı gerçek temas alanı ile malzeme sabiti ve temas halindeki yüzeylerin karakteristiklerinin çarpımına eşittir.
4- Gerçek temas alanı, görünürdeki temas alanından büyüktür ve daha fazla iki yüzey arasındaki etkileşimlere yön verir.
5- Genel anlamda, sürtünme kuvveti ile kayma hızı arasındaki ilişki çok zayıftır.
6- Yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme kuvveti arasında çok zayıf bir ilişki vardır.

Birçok sürtünme olayı bu kanunlara uymaktadır. Kaymada düşük kesme gerilmesi (s) ve yüksek akma basıncı (P), düşük sürtünme oluşturur.

Sürtünme kuvveti bildiğimiz gibi, bir cismin hareketine karşı koyan kuvvettir. Eğer cisim bir zemin üzerinde hareket ediyorsa, bu kuvvet; cismin alt ve zeminin üst yüzeylerini oluşturan atom veya moleküllerdeki, zıt işaretli yerel elektrostatik yük dengesizliklerinin birbirini çekmesinden kaynaklanır.

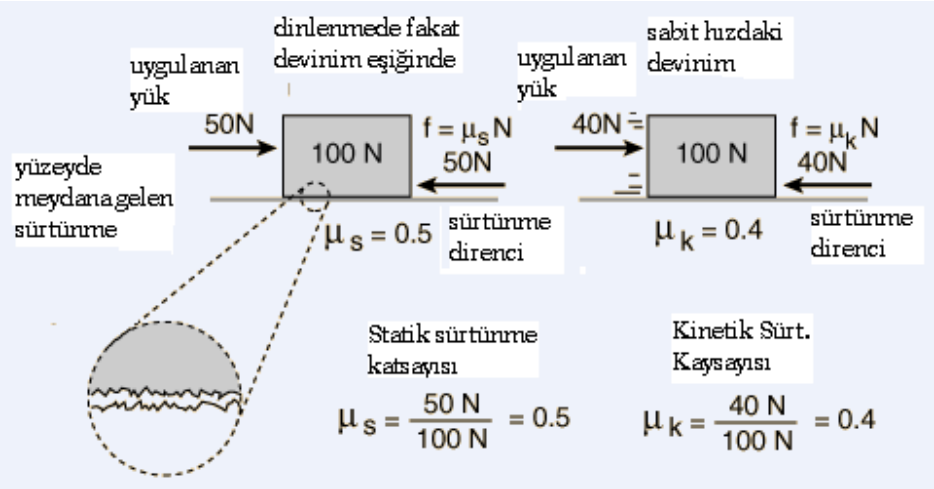
Bu durumda sürtünme katsayısı, cismin durağan ve hareket halleri için farklı değerler alır. Birinci hal için durağan (statik), ikinci hal içinse devingen (dinamik) sürtünme katsayılarından bahsedilir.

Örneğin yatay bir zemin üzerindeki bir cisim için 'durağan sürtünme' katsayısı, cismi durağan halden harekete geçirmek için gereken yatay kuvvetin (FY), cisim üzerinde etki eden dikey kuvvetlerin toplamına (FD) oranı olarak tanımlanır. Yani, eğer sürtünme katsayısı μ ise, FY=μ.FD'dir.

Dolayısıyla sürtünme katsayısını belirlemek için; varsayalım ki cisim zemin üzerinde duruyor ve biz onu, üzerine giderek artan bir yatay kuvvet uygulayarak harekete geçirmeye çalışıyoruz.

Cismin kütlesi m olsun ve üzerinde, ağırlığından başka hiçbir dikey kuvvet bulunmasın. Cisim harekete geçtiği anda uygulamakta olduğumuz yatay kuvvet FY ise, sürtünme katsayısı μ= FY/(mg) olarak hesaplanabilir. Bu, durağan sürtünme katsayısıdır.

Hâlbuki sürtünme, cisim harekete geçtikten sonra azalır. Bu yüzden; hareket haline geçen cismin giderek hızlanmaması, yani ivme kazanmaması için, uygulamakta olduğumuz yatay kuvveti, artık azaltmamız gerekir. 'Dinamik' sürtünme katsayısını hesaplamak için; cismi yatay zemin üzerinde sabit hızla hareket ettiren bu daha küçük yatay kuvvetin m.g'ye oranını almak yeterlidir. Her iki durumda da, uyguladığımız yatay kuvvet, ters yöndeki sürtünme kuvvetini dengelemekte, sonuç olarak cisim üzerinde sıfır yatay kuvvet etki etmektedir. Sürtünme katsayısı belirlenirken cismin ivmeleniyor olmaması, yani sabit hızla hareket ediyor olması gereği buradan (F=m.a=0) kaynaklanır.



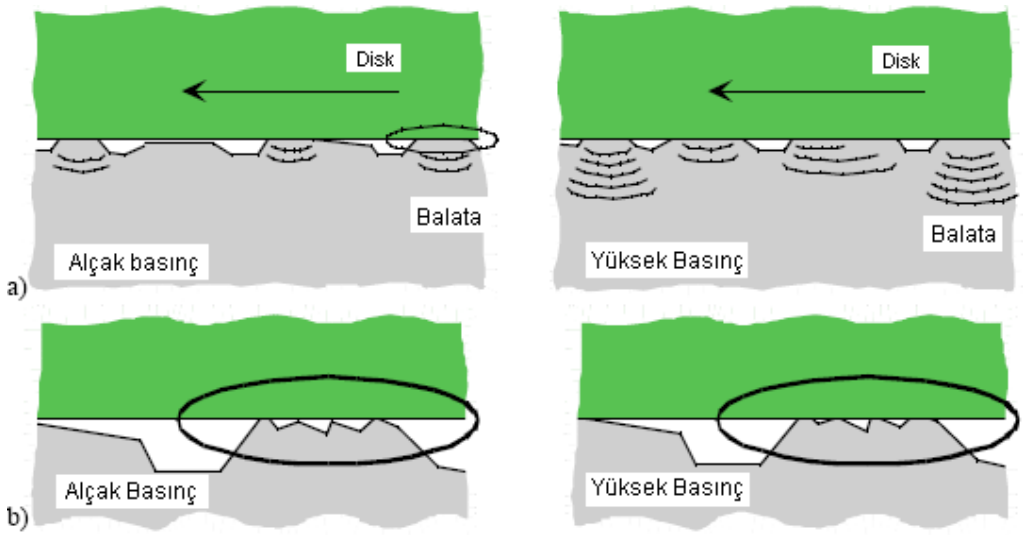
Şekil 3. 4 Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı [30]

Son araştırmalarda kinetik sürtünme katsayısının hız aralığının her noktasında hızın bir fonksiyonu olmasına karşılık, statik sürtünme katsayısının temas süresinin fonksiyonu olduğu görülmüştür [27].

Hava veya su gibi bir akışkanın içinde hareket eden bir cismin üzerindeki sürtünme kuvveti ise, atom veya moleküller arasındaki elektrostatik çekimden çok, akışkanı oluşturan atom veya moleküllerin cisimle çarpışmalarından kaynaklanır. Dolayısıyla; sürtünme kuvveti cismin hızına bağlıdır ve hızın karesi veya küpüyle orantılı olarak değişebilir. Bu durumda sürtünme katsayısı kullanmak yerine, sürtünme kuvveti doğrudan ölçülür [22].

Bunun için, cismi bir rüzgâr veya akışkan tünelinde sabit tutup, akışkanı cismin üzerine doğru, ilgi konusu olan hızla göndermek ve akışkanın cismin üzerinde uyguladığı kuvveti ölçmek yeterlidir. Çünkü bu sürtünme kuvveti, cismin durağan akışkan içerisinde "v" hızıyla hareket etmesi halinde karşılaşacağı sürtünme kuvvetine eşittir. Dolayısıyla, cismin farklı hareket hızları için karşılaşacağı sürtünme kuvvetleri ölçülebilir ve bu verilerden hareketle, hızla kuvvet arasındaki ilişki deneysel olarak formüle edilebilir.

Düşük ve yüksek basınçlarda yüzeyde meydana gelen sürtünme de değişmektedir. Düşük basınçta sürtünme malzemesinin yüzeyle teması yüksek basınca göre daha az olmaktadır. Deneysel çalışmalarda sürtünme ile ilgili yapılan çalışmalar farklı basınçlar altında gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. 5 Alçak ve Yüksek Basınçlarda Meydana Gelen Yüzey Şekilleri [26]

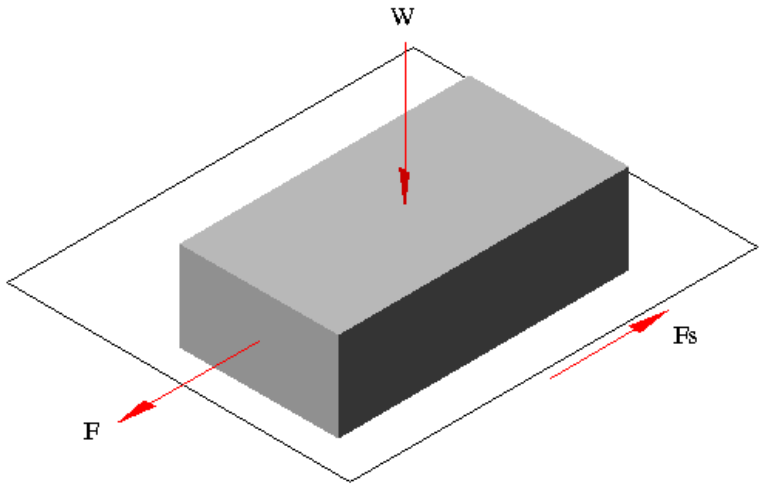
Günümüzde kullanılan frenlerde, fren sürtünme katsayısı genellikle μ= 0,3–0,4 arasında değişmektedir.

Bu konularla ilgili yapılan çalışmalarda; Sanders, fren dinamometresi kullanarak fren sisteminde sürtünme davranışlarını incelemiş temas basıncı, ısı ve kayma hızı gibi lokal şartların bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısını tespit etmiştir

Sonuç olarak, sürtünme olayı farklı faktörlerden etkilenmekte ve başlangıçta her yüzey bir malzemeden oluşmakta iken sürtünmenin devam etmesi ile bir malzemenin küçük parçacıkları diğerine transfer olarak sürtünme yüzeylerinde değişmelere yol açmaktadır. Bu değişimler hiçbir zaman sabit kalmayıp alternatif dalgalar halinde kendini göstermektedir [26].

3.1.4 Sürtünme Katsayısı

Kuru sürtünmeyi ifade etmek için Şekil 3.6'da ki model kullanılmaktadır. Buna göre izafi hareket yapan ve normal bir kuvvetin etkisi altında birleşen iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı sürtünme kuvveti meydana gelmektedir.



Şekil 3. 6 Kuru Sürtünme Modeli [26]

Şekil 3.6'da basit temas durumunda olan W ağırlığının düz ve yatay bir düzlem üzerinde hareketsiz bulunduğu varsayılabilir. Bu kütleye küçük bir F kuvveti uygulanırsa kayma olmadığı görülür, yani cisim hareketsiz halde kalır. Bu durum Newton kanununa göre temas alanında oluşan sürtünme kuvvetlerinin diğer anlamda statik sürtünmenin, uygulanan F kuvveti ile tamamen eşit ve bu kuvvete ters yönde olduğunu açıklar.

Sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teori vardır. Bunlardan gerçeğe en yakın olanı Bowden ve Tabor' un kaynak bağları teorisidir. Bu teoriye göre sürtünme iki temel faktörden kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi kuvvetli adhezyondaki gerçek kontak bölgesinde oluşur. Bu bölgede kaynak bağlar meydana gelir ve bu bağların parçalanmasını sağlayan kuvvet F_s'dir, diğeri ise sert yüzeydeki çıkıntıların yumuşak olan yüzeyde

sürtünme anında açtığı yol için harcadığı (S) kuvvetinin etkisidir [31]. Toplam sürtünme kuvveti $F = F_s + S$ 'dir. Genellikle "S" kuvveti ihmal edilir ve böylece $F=F_s$ olarak yazılabilir. Sürtünme kuvvetleri uygulanan kuvvetlerin bileşkesine eşit ve ters yönde olur, böylece herhangi bir yatay hareket meydana gelmez. Buna göre bağıl hareket eden ve normal bir kuvvetin (W) etkisi altında bulunan iki cismin temas eden yüzeyleri arasında harekete karşı bir F_s sürtünme kuvveti oluşur.

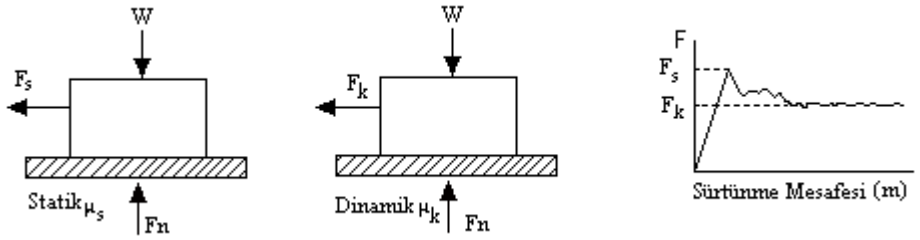
$$F_s = \mu \times W \tag{3.1}$$

Bu ifadedeki (μ) değeri iki malzeme yüzeyine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı değeridir. Fren ve kavrama gibi sürtünme esasına göre çalışan makine elemanları hesabı " $F_s = \mu \times W$ '' denklemine dayanır. Sürtünme kuvvetini üç kural halinde açıklayabiliriz:

Sürtünme kuvveti, normal kuvvetle orantılıdır. Bu oran F_s / W 'nin sürtünme katsayısı μ'yü ifade ettiği ortaya çıkar $\mu = F_s / W$ olur.

Sürtünme kuvveti, görünür nominal temas alanına (A_a) bağlı değildir. Bu yüzden büyük ve küçük cisimlerin sürtünme katsayıları aynıdır ve sürtünme kuvveti kayma hızından (ν) bağımsızdır;

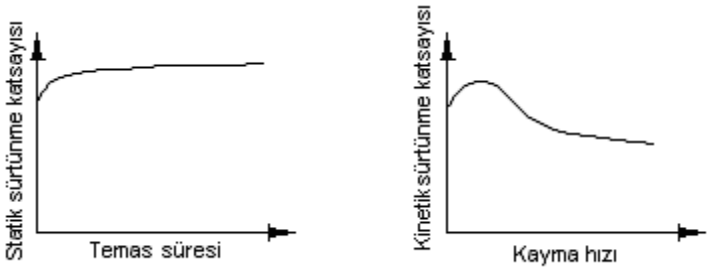
Üçüncü kuralda durum çok farklıdır, kaymayı başlatmak için gereken sürtünme kuvvetinin genellikle kaymayı sürdürmek için gereken kuvvetten büyük olduğu bilinir. Buradan iki sürtünme katsayısı olduğu teorisine varılır, bunlar statik sürtünme katsayısı (μ_s) ve kinetik sürtünme katsayısı (μ_k) dır.



Şekil 3. 7 Dinamik ve Statik Sürtünme Katsayısının Farklılıkları [26].

Sürtünme katsayısı (μ) TS 555'te, disk veya kampana ile fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin, normal kuvvete oranıdır diye tanımlanır. Yine TS 555'e göre sürtünme katsayısı sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılır. Soğuk sürtünme katsayısı, 1050 kPa basınç altında aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 ºC'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır.

Son araştırmalarda kinetik sürtünme katsayısının hız aralığının her noktasında hızın bir fonksiyonu olmasına karşılık, statik sürtünme katsayısının temas süresinin fonksiyonu olduğu görülmüştür. Statik sürtünme katsayısı-zaman ve kinetik sürtünme katsayısı-hız bağıntısı Şekil 3.8'de grafik halinde görülmektedir [26].



(a) (b)

Şekil 3. 8 a) Statik Sürtünme Katsayısının Zamana Göre Değişimini b) Kinetik Sürtünme Katsayısının Hıza Göre Değişimi [26]

Şekil 3.8' deki grafikte;

a- Statik sürtünme katsayısının zamana göre değişimini,

b- Kinetik sürtünme katsayısının hıza göre değişimi gösterilmektedir.

Kaymayı başlatan kuvvet F_s ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet F_n arasında $F_s = \mu_s \times F_n$ bağıntısı bulunur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra sürtünme kuvvetinde bir azalma olur. Bu durumda $F_k = \mu_k \times F_n$ ilişkisi geçerlidir. Burada $\mu_k < \mu_s$ olur.

Sıcak sürtünme katsayısı ise 1050 kPa basınç altında 300, 350 ve 3000 kPa basınç altında 350, 400 ºC sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Balata kalitesini belirlemede sürtünme katsayısı aralıkları SAE-J661 ve TS 555'te verilmiştir. Çizelge 3.1'de sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

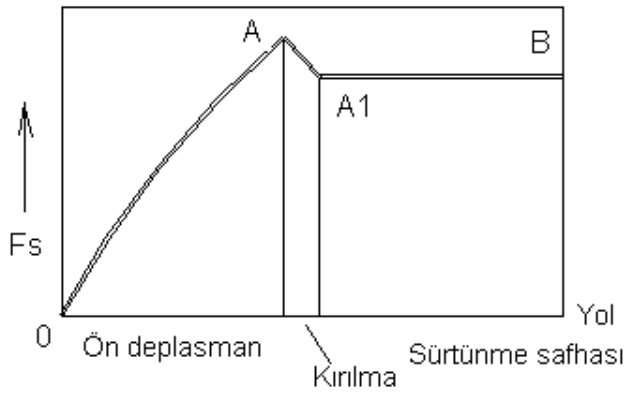
Çizelge 3. 1 SAE-J661 ve TSE 555 Standartlarına Göre Balataların Sınıflandırılması [32]

Sınıf	Sürtünme katsayısı
C	0,15'e kadar
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55'ten yukarı

3.1.5 Sürtünmenin Ölçülmesi

Pratikte pürüzlülük ve adhezyon birlikte sürtünmeyi meydana getirdiğinden sürtünme teorisine "Mekanik moleküler sürtünme teorisi" adı verilmektedir. Yüzey sürtünmesi, temas eden katı cisimlerin izafi hareketleri esnasında gerçek temas alanlarında hareketi

sağlayan sürtünme kuvveti tarafından yapılan işin enerjiye dönüşmesi işlemidir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi statik halden kaymanın başlamasına kadar sürtünme kuvveti ani olarak yükselir. OA arasında adhezyon meydana gelir ve temas noktalarında mikro kaynak bağları teşkil eder. AA_1 arasında mikro kaynak bağları kayma hareketinin etkisiyle kırılarak sürtünme kuvveti A1 noktasına kadar düşer. A_1B arasında ise kararlı sürtünme olan dinamik sürtünme meydana gelir.



Şekil 3. 9 Sürtünme Kuvvetinin Kayma Esnasındaki Değişimi [33]

Taşlanmış yüzeylere sahip çelik-çelik sürtünmesinde sürtünme katsayısının, pürüzlülük arttıkça yükseldiği görülmüştür. Bir başka çalışmada ise taban açıları farklı konik pürüz grupları ile çelik yüzeyleri arasında yapılan sürtünme deneylerinde sürtünme katsayısının konik ucun taban eğiminin artışıyla yükseldiği tespit edilmiştir [33]. Sürtünme uygulamalarının çoğunda aşağıdaki değişkenlerin birinin diğerine etkisi olarak ele alınır [22].

- **Yük İle Sürtünme Katsayısının Değişimi:** Yük artışı ile sürtünme katsayısı artarsa şiddetli kayma davranışı gözlenir.

- **Kayma Zamanı İle Sürtünmenin Değişimi:** Bu kavram genelde bazı yüzey kaplamalarının aşınmasını ya da kayma sisteminde mevcut bazı malzemelerin bozulmasını oluşturur.
- **Kayma Hızı İle Sürtünmenin Değişimi:** Ortalama kayma hızlarında, sürtünme hız eğrisinin ölçümü ile kayma yapışmaya doğru eğilim olduğu görülür. Kayma yapışma bağıntısı yay sabiti değiştirilebilen bir dinamometre ile bulunabilir. Yüksek hızlarda, yüksek ara yüzey sıcaklığı yumuşamaya ve erimeye neden olur.
- **Sıcaklık-Sürtünme Değişimi:** Yüksek sıcaklıkların yağ filmine etkisi olumsuzdur, sürtünmeyi artırıcı yönde olduğu söylenmektedir [26].

3.1.6 Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler

A) Genel Faktörler

Keskin uçlu sert bir yüzeyin yumuşak yüzey üzerinde hareket etmesi durumunda yumuşak yüzey üzerinde sertliği ve keskinliği oranında çentik meydana getirir. Çentiğin açılmasında sarf edilen deformasyon enerjisinin sürtünme kuvvetinden sağlandığı söylenebilir. Çentik etkisinden dolayı sürtünme kuvveti değeri çentik büyüklüğüne bağlı olarak artmış olur.

B) Yüzey Sıcaklığı Faktörü

Sürtünme olayında harcanan gücün büyük bir bölümü sürtünme sonucu meydana gelen ısıya dönüşür. Bu ısı enerjisinin yaklaşık hepsi temas bölgelerinde üretilir. Bunun sonucu oluşan yüzeydeki sıcaklık dağılımını belirtmek oldukça zordur. Çünkü bu sıcaklık yüzeylerin farklı noktalarında büyük ölçüde değişir.

Yüzey sıcaklığını ölçmede kullanılan termokupllar, sürtünen yüzeylerin yakınına konularak sürtünme olayı sırasında oluşan sıcaklığı ortalama değer olarak verdiğinden, noktasal sıcaklığın değerlendirilmesi de oldukça zordur [34].

3.1.7 Sürtünme Malzemelerindeki Aşınmanın İncelenmesi

Aşınma, mühendislikte düzenli olarak karşılaşılan üç problemden biridir. Diğer ikisi ise, kırılma ve korozyon'dur. Sürtünme ve aşınma yüksek mühendislik uygulamaları için malzeme seçiminde önemli parametrelerden biridir. Yüksek mühendislik uygulamaları için parçaların tasarımında, doğru uygulamalar için doğru malzemelerin seçimine dikkat etmek zorundadırlar. Çoğu sürtünme malzemeleri genellikle kırılma dayanımı ve sertlikleri gibi mekanik özellikleri için optimize edilirler. Oysaki bu mekanik özellikler tek başına aşınma için güvenilir bir tercih değildir. Farklı durumlardan dolayı meydana gelen aşınma sonucu birbiriyle sürekli temas halinde olan yüzeyler arasında meydana gelen boşluklar çalışma esnasında beklenilmeyen sonuçlar oluşturarak istenilen durumların oluşmasını güçleştirir [35].

Genellikle balata malzemelerin aşınması fiziksel, kimyasal ve sistem değişikliklerine neden olan karmaşık bir işlemdir. Sürtünme ve aşınma özellikleri üzerinde test sıcaklığı, kayma hızı, uygulanan kuvvet ve çevrenin önemli etkisinin olduğu bilinmektedir [36]. Yüksek sıcaklıklarda otomobildeki sürtünme malzemelerinin aşınma oranında önemli artışlar olduğu görülmüştür. Bu artışın sebebi ilk kimyasal tabakadan sonra, temiz yüzeyin yeniden farklı bir kimyasal tabakaya dönmesindendir. Otomobillerdeki sürtünme malzemelerinin Sıcaklık ve dönme hızının artması ile yüksek aşınmadan düşük aşınmaya ve arkasından yüksek aşınmaya gidip geldiği gözlemlenmiştir [35].

Sürtünme esnasında malzemede yüzey ve yüzey altı çatlaklar oluşur, bu çatlaklar birleşir ve malzemeden küçük parçacıklar ayrılır. Aşınma esnasında oluşan partiküllerin sürtünmesi sonucu ince tozlar oluşur. Bunun için metaller kırılmadan önce yüksek temas gerilmelerini azaltmak için plastik olarak deforme olurlar [37].

Kayma çiftlerinin tribolojik davranışı, uygulanan yüke, çevre şartlarına ve mikroyapı gibi parametrelere bağlıdır. Kayma hızı, uygulanan yük, ortamın ısısı, kayma yüzeyinin son durumu, tane boyu, tane şekli ve gözenek gibi birçok etken sürtünme ve aşınmada etkili olabilir [36,38]

Bazen sürtünme kuvvetinin, fren ve balata ara yüzeyinde eşit dağılmadığı bilinmektedir. Sürtünme kuvveti, sürtünme işleminin her çevriminde değişir. Özellikle uzun süreli

frenlemelerde sürtünme yüzeyindeki sıcaklık ve frenleme kuvveti periyodik olarak değişir. Bu değişim de sürtünme katsayısının azalan ve artan değerlerde olmasına sebep olmaktadır [39].

3.1.8 Aşınmanın Neden Olduğu Zararlar ve Aşınma Çeşitleri

Aşınma, yeni yapılacak olan makine parçalarında ve tasarımlarda çok önemli sonuçlar ortaya çıkartmaktadır. Birbiri ile çalışan yüzeylerde meydana gelen sürtünmeden dolayı güç kayıpları ve aşınmadan dolayı, işleme toleranslarının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma nedeniyle oluşan hasarlar büyük maliyetlere neden olmaktadır. Aşınmış ve dolayısıyla kullanılamaz duruma gelmiş parçaların yenilerinin alınması ek bir maliyet getirmektedir.

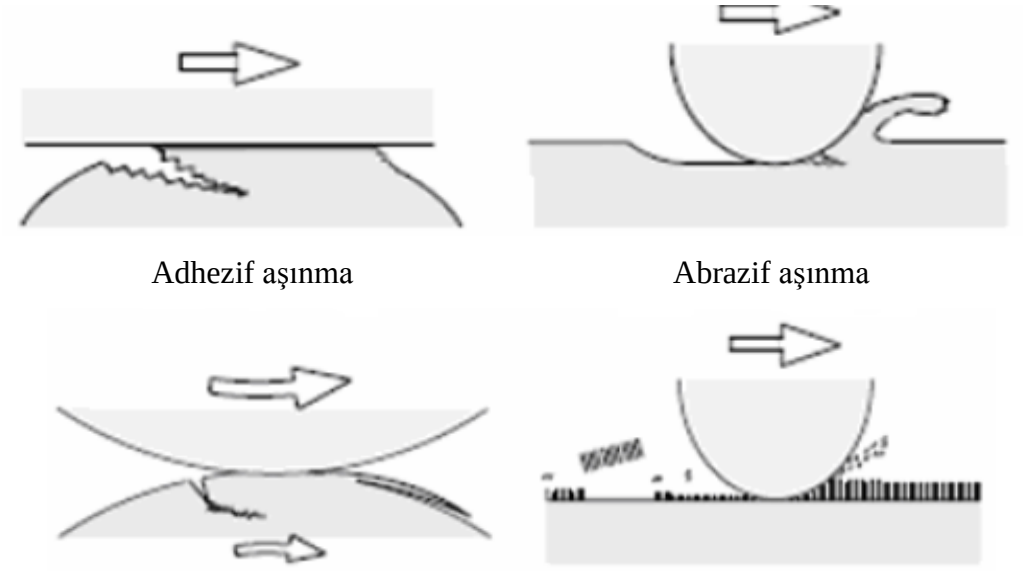
Aşınma çeşitleri şu şekildedir;

1-Adhesiv Aşınma

2-Abrasiv Aşınma

3-Yorulma Aşınması

4- Korozyon Aşınması [35].



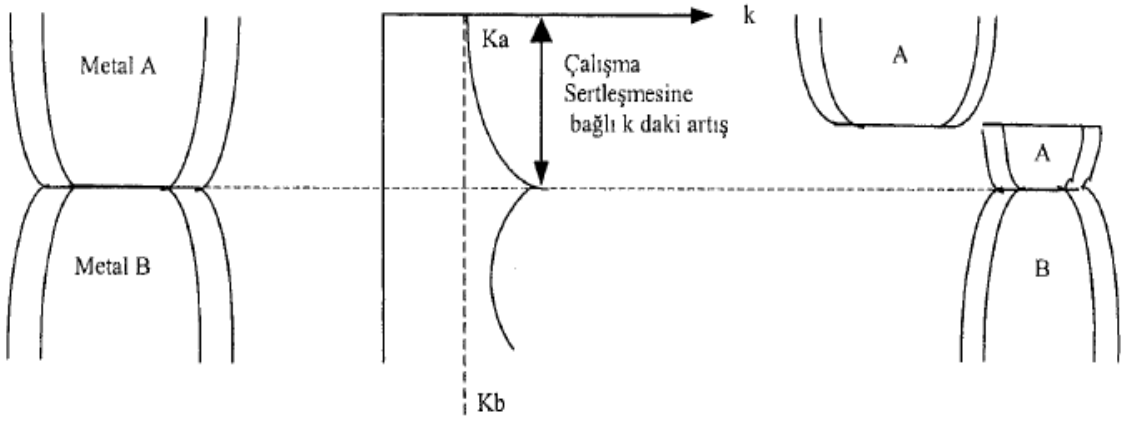
Adhezif aşınma Abrazif aşınma

Yorulma aşınma Korozif aşınma

Şekil 3. 10 Aşınma Çeşitleri [35]

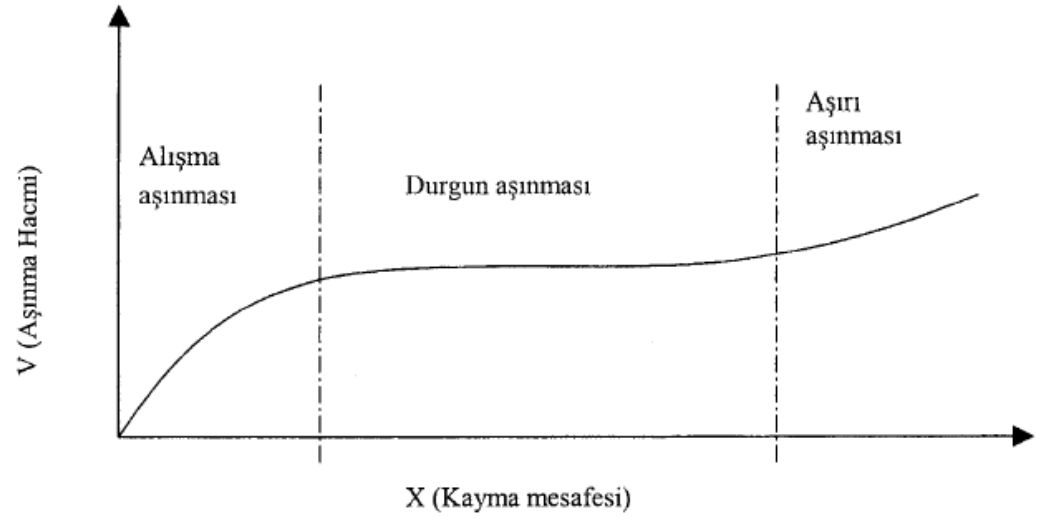
3.1.8.1. Adhezif Aşınma

Yapışma aşınma olarak da bilinen adhezif aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhezif aşınma hasarlarının hazırlayıcı etkisi bulunmaz [23]. Bu tür aşınma, iki malzemenin birbiri üzerinde hareket etmesi sırasında yapışması ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır [21,40]. Temastaki pürüzler basıncı taşıyamayacak duruma geldiğinde akma sınırı asılır ve plastik deformasyon meydana gelir [41]. Eğer malzemenin plastik olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları hızlı bir şekilde temas yüzeyine tamamen yayılır. Malzeme molekülleri birbiri ile temasa geçerek temas noktalarında kaynak bağları meydana gelir [42,43].



Şekil 3. 11 Adhezif Aşınma [24]

Sekil 3.11'de görüldüğü gibi A ve B atomları arasındaki yapışma yeteri kadar iyi ise, yumuşak olan A metalinden kopan parçacıklar taşınacaktır. Eğer, A ve B malzemeleri aynı ise, aşınma her iki yüzeyde de meydana gelecektir.

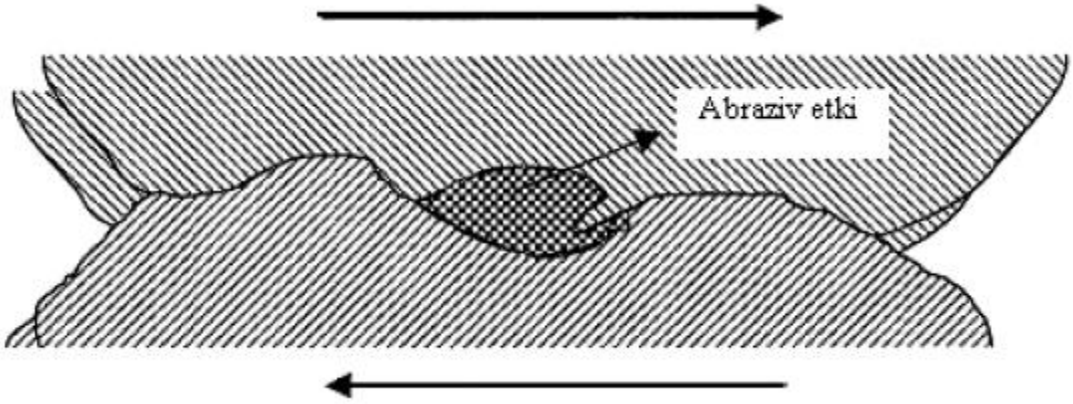


Şekil 3. 12 Adhezif Aşınmada Aşınma Bölgeleri [21]

Sekil 3.12'de görüldüğü gibi, alışma aşınması üç aşınma bölgesinden meydana gelmektedir. Yüzeyler hareket ettirildiğinde başlangıçta yüzeylerin teması sivri tepeciklerde olduğundan yüksek gerilmeler meydana gelir ve aşınma hızla artar [21].

3.1.8.2 Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma, katı yüzey boyunca, katı yüzeye karsı hareket eden sert partikül ya da sert yükseltilerin oluşturduğu aşınma türüdür [44]. Ayrıca, sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir parçacığın yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Şekil 3.13'de tipik bir abrazif aşınma görülmektedir. Üç cisimli aşınmada yüzeyler arasındaki sert tanecikler tam bir kayma hareketi yapmaz, bazen de yuvarlanırlar. Bu nedenle aşınma daha yavaş olur. Metalin (aşınan malzeme) sertliği (Hm) ve aşındırıcının sertliği (Ha) olmak üzere Hm/Ha bir kriter olarak kullanılır. Hm/Ha<0,8 ise metalde çok aşırı kazıma aşınması meydana gelir. Talaslı imalatta istenen durum budur. Hm/Ha>0.8 ise kazıma aşınması düşüktür. Hm/Ha> 1 ise metalde kazıma aşınması meydana gelmediği kabul edilir [24].

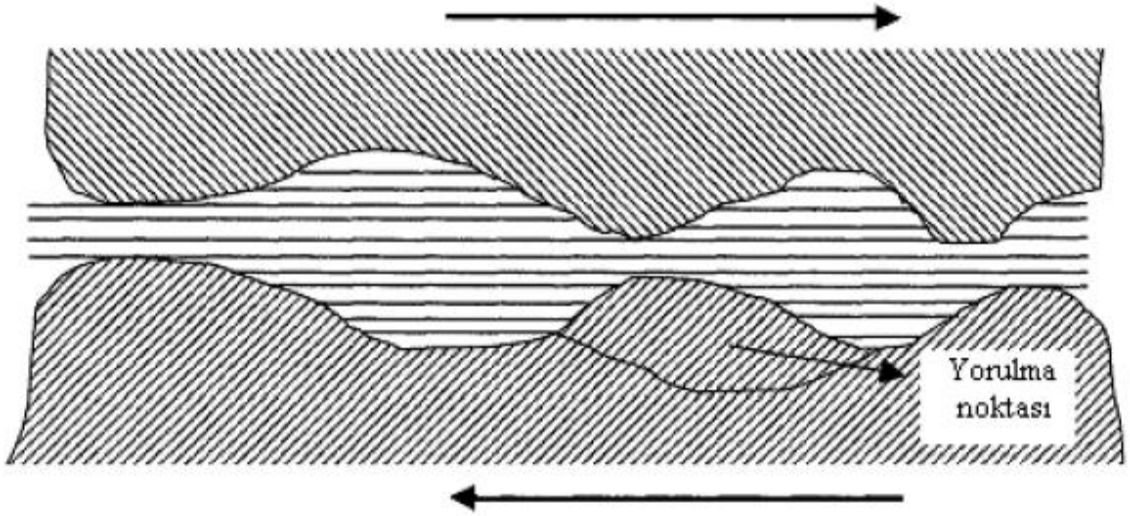


Şekil 3. 13 Abrazif Aşınma [45]

Kayma aşınmasının ilerlemesine bağlı olarak abrazif duruma göre değişik bir aşınma boyutuna geçebilir. Örneğin, kaymanın ilk aşamalarında oluşan partiküller her iki kayma bileşenini de aşındırabilir [46]. Sert partiküllerin boyutunun kritik bir değerin altına düşmesine göre abrazif aşınmadan kayma aşınmasına bir geçiş olduğu belirtilmiştir [47].

3.1.8.3 Yorulma Aşınması

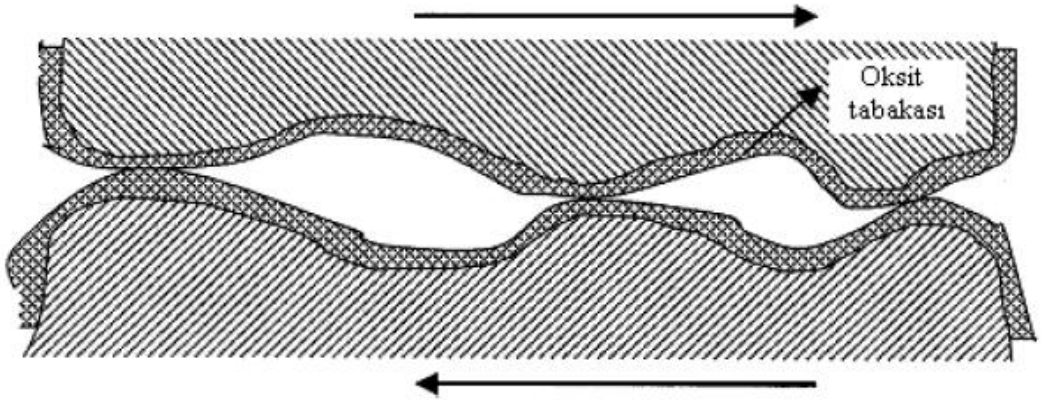
Adhezif ve abrazif aşınma mekanizmalarında aşınma partikülü oluşması için tekrarlı temasın olmasına gerek yoktur [48,49]. Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi makine elemanlarında yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve zamanla yorulma sonucu zararlı hale gelirler [34]. Mesela, fazla zorlanan balata malzemelerindeki sürtünme ısısını almak için endotermik işlem kullanımı (balata soğutma işlemi) gereklidir [50]. Şekil 3.14'de yorulma aşınması görülmektedir.



Şekil 3. 14 Yorulma Aşınması [51]

3.1.8.4. Korozif Aşınması

Temas yüzeylerinden en az birinin çalışma ortamında korozyona uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının silinerek alınması ve bunun devamlı olarak tekrarı ile meydana gelen aşınmadır [93]. Şekil 3.15'de oksidasyon aşınma görülmektedir.

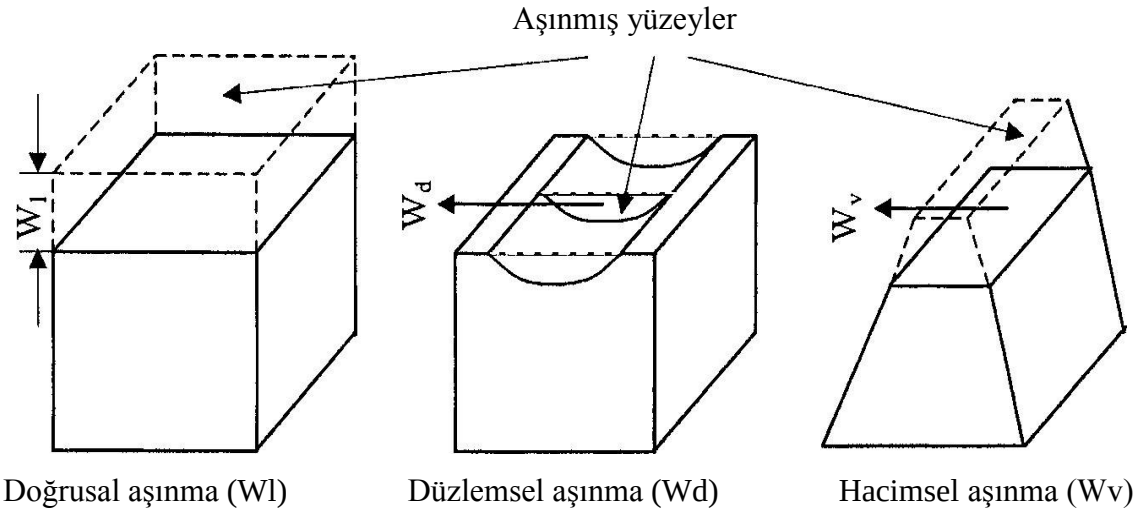


Şekil 3. 15 Tribo Oksidasyon Aşınması [98]

Sıvı jetleri yüzeye çarptığı zaman ses dalgaları oluşur ve bunlar çekme-basma seklinde yüzeyde yayılır. Sonuçta yüzeylerde plastik deformasyon ve pürüzler oluşur [52].

3.2 Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma doğrudan veya dolaylı ölçümlerle verilebilir. Aşınma deneyinde kullanılan deney sistemine bağlı olarak Şekil 3.16'da doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma söz konusudur [51].



Şekil 3. 16 Doğrusal, Düzlemsel Ve Hacimsel Aşınmanın Belirlenmesi [51]

Bu model, basit geometrik sekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir [23].

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

• Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karsı malzemenin adhezif (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.

• Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karsı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler.

ASLE (American Socienty of Lubrication Engineers) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır [23].

3.2.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde olması dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi oldukça duyarlı bir teraziyle yapılır. Ağırlık farkı metoduna göre, ağırlık kaybı miktarı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık olarak (g/km) veya (mg/km) cinsinden, birim alan için hesap edilecekse, (g/cm²) cinsinden ifade edilir. Hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde ise malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine düşen yük hesaba katılarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkılarak ağırlık kaybı hesaplanır. Ağırlık farkı ölçümünde en çok aşağıda verilen bağıntı kullanılmaktadır.

$$Wa = \frac{\Delta G}{d x M x S} \qquad (3.2)$$

Burada;

Wa = Aşınma oranı (mm),

ΔG = Ağırlık kaybı (gr), = [Deneyden önce ölçülen balata kütlesi - Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi]

S = Kayma mesafesi (Aşınma yolu) (m), = 2 x π x r x n

Π= 3,14

r = Disk yarıçapı

n= Devir sayısı

M = Yükleme ağırlığı (daN),

d = Aşınan malzemenin yoğunluğu (gr / cm3), olarak verilmiştir.

Yoğunluğun hesaplanması için (9.1) nolu formül kullanılmıştır.

$$Wr = \frac{1}{Wa} \tag{3.3}$$

Aşınma oranının (Wa) ters değeri de aşınma direnci (Wr) olarak gösterilir [12].

Ağırlık farkı metodunda en çok kullanılan ölçme yöntemi tartı yöntemidir. Aşındırılan malzeme tartılarak tek bir sayı şeklinde aşınma miktarı bulunur. Tartma işlemi bir kimyasal terazide yapılır. Bu yöntemde malzemenin devamlı temiz olmasına ve üzerinde tortu kalmamasına dikkat edilmelidir. Tartı yönteminin yanı sıra aşınma miktarını radyoaktif izleyiciler kullanarak ölçmek de mümkündür. Bu ölçümde aşınma öncesinde veya sonrasında değil, doğrudan aşınmanın meydana geldiği sırada ölçüm yapmak mümkün olmaktadır.

3.2.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karsılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımı ile ölçülmelidir [23].

3.2.3. İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (Çapının) değişimi ölçülür.

Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir [23].

3.2.4 Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya m-parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarda kullanılabilir. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir [23].

BÖLÜM 4

OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve bu gelişmelerin insan hayatında giderek daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, kullanılan alet, cihaz ve sistemler de teknolojiye uygun bir hal almaktadır. Bununla birlikte insan hayatında bazı kavramlar ve yenilikler yerini almaktadırlar. Bunlardan bir tanesi de belki birçok yerde duyduğumuz ve hatta farkında bile olmadan hayatımızda kullandığımız "Otomatik Kontrol" kavramıdır. Otomatik kontrol sistemleri gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte gelişen toplumlarda daha fazla önem kazanmakta ve bu toplumların ilerlemesinde belirleyici bir rol üstlenmektedir. Hayatı kolaylaştırmak ve insan gücüne olan ihtiyacı azaltmasından dolayı sanayide de önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin değerlendirilmesinde bile bu sistemlerin kullanılması ve bu sistemlerle yapılan işler belirleyici olmaktadır. Otomatik kontrol denilince birçok insanın aklına farklı veya benzer birçok tanım gelebilmektedir. Otomatik kontrolün ne olduğu ve neleri içerdiği ile ilgili bilgiler verilmeden önce bu konunun daha iyi anlaşılabilmesi için, bu konuyla ilgili temel bazı kavramların bilinmesi gerekmektedir. Bunların bir bütün olarak incelenmesi sonucunda otomatik kontrol ve sistemlerinin amaçları ve işlevleri hakkında daha fazla bilgi edinilmesi mümkün olacaktır. Bu kavramlar en temel şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1 Sistem (Dizge)

Sistem belirli bir amaca yönelmiş elemanlar topluluğudur. Bu sözcüğü birkaç türlü tanımlamak mümkündür. Bunlardan ilkinde, bir sistem ya da dizge; bir bütünü oluşturacak şekilde birbirine bağlanmış ya da ilgi kurulmuş şeylerin düzenlenmesi, kümesi veya topluluğudur. Daha etkin bir sistem tanımı "tüm bir birim olarak davranacak ya da bir bütünü meydana getirecek biçimde birbiriyle ilişkilendirilmiş, bağlanmış fiziksel bileşenlerin düzenlenmesi" olarak yapılabilir [53].

4.2 Kontrol (Denetim)

Kontrol kelimesi genellikle ayarlamak, düzenlemek, yöneltmek ve kumanda etmek anlamına gelir. Tanım olarak bir değişken niceliğin ya da değişken nicelikler kümesinin önceden belirlenmiş bir koşula uyumunu sağlamaya yönelik olarak gerçekleştirilen işlemler bütünüdür [54].

4.3 Kontrol Sistemi

Kendisini ya da bir başka sistemi yönlendirecek, düzenleyecek veya onu kumanda edecek biçimde ilişkilendirilmiş fiziksel bileşenler topluluğudur. Kontrol sistemleri, denetlenen niceliklerin değerlerini sabit tutar ya da bu değerleri, önceden belirlenmiş biçimde değişmesini sağlar [54].

4.4 Otomatik Kontrol

Bir sistemde denetim faaliyetlerinin insan girişimi olmaksızın önceden belirlenen bir amaca göre denetimi ve yönlendirilmesidir. Genel anlamda otomatik kontrol, doğrudan insan girişimi olmaksızın çalışan aygıtların, makinelerin ve sistemlerin çalışması ve gelişmesi ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Uygulamada denetim ve denetim sistemi denilince daha çok otomatik kontrol anlaşılır [54].

4.5 Giriş

Kontrol sisteminden belli bir cevap almak üzere bir dış enerji kaynağından sisteme uygulanan uyarıdır [54].

4.6 Çıkış

Denetim sisteminden sağlanan gerçek cevaptır. Çıkış, girişin öngördüğü cevaba eşit olur veya olmayabilir. Bir sistemin denetim amacını giriş ve çıkışlar belirler. Örneğin, bir sıcaklık denetim sisteminde, giriş arzu edilen sıcaklık, çıkış ise sistemde gerçekleşen ve ölçülen sıcaklıktır [54].

4.7 Hata ve Sapma; e(t)

Çıkışın herhangi bir anda, arzu edilen bir değere göre farkına hata denir. Hata sinyali, başvuru girişi ile geri-besleme sinyali arasındaki farka eşittir. Karşılaştırma elemanı, çıkışı arzu edilen değerle karşılaştırarak hata değişimlerini belirler. Hata sinyali, sistemin çıkışından arzu edilen değeri sağlamak üzere denetim organını hareket ettirir. Denetim organı bu değişimlerini giriş olarak alır ve kendi yapısına da bağlı olarak son denetim organı (motor eleman) için uygun bir denetim sinyali üretir. Denetlenen değişkenlerin belirli değerler etrafında değişimleri sapma olarak ifade edilir. Genel anlamda; bir hata sinyali olup, özellikle ayar değerine göre çalışan süreç denetim sistemlerinde denetlenen değişkenin sabit bir ayar değerinden ayrılması sapma olarak ifade edilir [54].

4.8 Geri Besleme Sinyali; b(t)

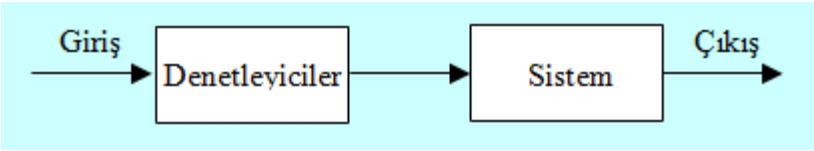
Denetlenen değişkenin bir fonksiyonu olup, başvuru girişi ile karşılaştırılarak hata sinyalinin elde edilmesini sağlar [54].

4.9 Kontrol Sistemlerinin Sınıflandırılması

Kontrol sistemleri de kendi içerisinde bazı farklılıklar içermektedirler. Hepsinde amaç bir sistemi kontrol etmek olmasına karşın, yapıları ve bazı özelliklerinden dolayı farklılıklar göstermektedirler. Kontrol sistemleri; giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak iki genel kategori altında toplanır. Bunlar kısaca, açık ve kapalı çevrimli kontrol sistemleridir [54].

4.9.1 Açık Çevrimli Kontrol Sistemi

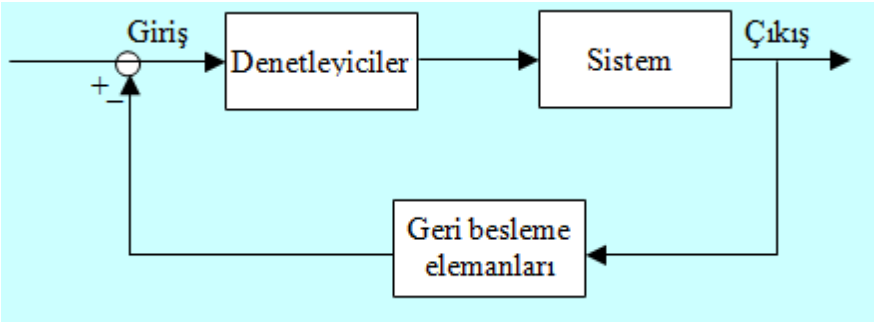
Kontrol işleminin denetim eylemi sistem çıkışından bağımsızdır. Bu sistemde istenilen çıkış ile kontrol edilen çıkışın karşılaştırılması söz konusu değildir. Dolayısıyla sistemin giriş bilgisi çıkış bilgisinden haberdar olmaz. Uygulamada açık döngü denetim sistemi giriş çıkış bağlantıları önceden belli olan ve iç veya dış bozuculara maruz kalmayan sistemlerde kullanılır [54].



Şekil 4. 1 Açık Çevrimli Kontrol Sistemi [54]

4.9.2 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi

Denetim etkisi sistem çıkışına bağlıdır. Sistemin çıkışı ölçülüp geri beslendikten sonra arzu edilen giriş değeri ile karşılaştırılır. Böylece sistemin girişi çıkışından haberdardır. Sistemin çıkışı geri beslenerek girişe uygulandığından bu tür sistemlere aynı zamanda geri beslemeli sistemlerde denir. Açık çevrimli sistemler ile kapalı çevrimli sistemleri ayıran en önemli özellik geri besleme etkisidir [53].



Şekil 4. 2 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi [53]

4.10 Temel Denetim Teknikleri Ve Denetim Organları

Bir kapalı döngü denetim sistemi içinde denetim organının görevi, ölçme elemanı üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü, başvuru giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkabilecek hata değerinin yapısına ve kendi denetim etkisine bağlı olarak uygun bir kumanda veya denetim sinyali üretmektir.

Denetim organlarında kullanılan başlıca 4 temel denetim etkisi şunlardır:

1. İkili veya aç-kapa denetim etkisi
2. Orantılı denetim etkisi (P etkisi)
3. Integral denetim etkisi (I etkisi)
4. Türev denetim etkisi (D etkisi)

Bu temel denetim etkilerinin bir veya birkaçının bir arada uygun şekilde kullanılmasıyla değişik denetim etkilerinde çalışan denetim organları oluşturulur.

Denetlenecek sistemin dinamik yapısı göz önüne alınarak çözüm olacak şekilde üç temel denetleyiciden gerekli olanlar alınarak esas denetleyici tasarlanır. Sadece P veya PI denetleyici yeterli oluyorsa, PID kullanmak gereksizdir.

Bu nedenle temel denetleyicilerin ve bunların bileşimlerinin ayrı ayrı özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

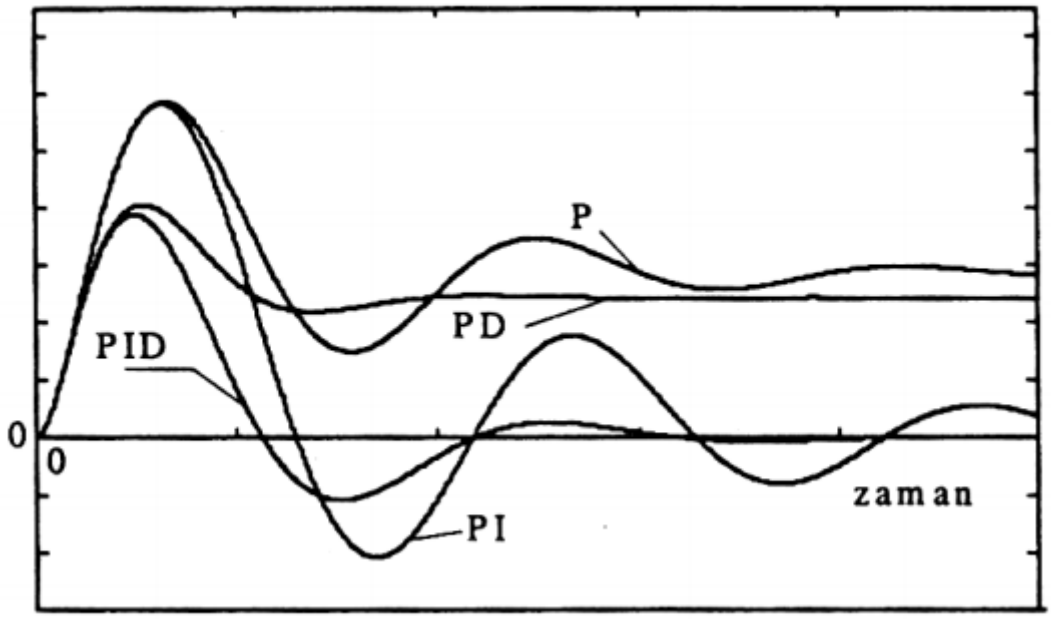
a) P denetleyici: Transfer fonksiyonuna bakıldığında ve için $\tau_i \to \infty \ \tau_d \to 0$ denetleyici sadece P etkisi ile çalışır. P denetleyici kullanılması durumunda denetlenen çıkış büyüklüğünde sürekli hal denetim hatası meydana gelir. Çünkü P denetleyici o andaki hata ile orantılı bir kontrol işareti üretir, hatanın geçmişini göz önüne almaz. K p ayarı ile duyarlılığı arttırılsa dahi yeterli olmaz. Genellikle K p orantı bandı cinsinden verilir. P denetleyici çok yavaş çalışan sistemler dışında yalnız başına pek kullanılmaz.

b) PI denetleyici: Orantı etkiye integral etkisinin ilave edilmesi ile elde edilir. Yapısı basit olmakla beraber hatanın geçmişini de göz önünde bulundurduğu için sürekli hal hatasını ortadan kaldırır. Çok yaygın olarak kullanılır. Bozucu etkilere karşı etkilidir. Sistemde ortaya çıkan gürültü işaretlerini ortadan kaldırır. İstenmeyen tarafı ise kararlı duruma geçiş süresinin biraz uzun sürmesidir.

c) PD denetleyici: orantı etkiye türev etkisinin ilave edilmesi ile elde edilir. PD denetleyici sürekli hal hatasını ortadan kaldırmamasına rağmen kararlı duruma geçiş süresi PI denetleyiciye göre çok daha kısadır. Bu denetleyicinin en önemli sakıncası ise gürültü işaretlerini de kuvvetlendirmesidir.

d) PID denetleyici: PI ve PD denetleyicilerinin iyi taraflarını toplayan ve kötü taraflarını ortadan kaldıran denetleyici türüdür. PD denetleyiciye göre sürekli hal hatasını ortadan kaldırırken, PI denetleyiciye göre de daha hızlı kararlı duruma ulaşabilmektedir. Özellikle uzun zaman gecikmesine sahip sistemlerin denetlenmesinde kullanılmaktadır.

P, PI, PD ve PID kontrol etkilerini daha iyi anlayabilmek için Şekil 4.3'de çeşitli parametrele elde edilmiş karşılaştırma grafiğine bakılmalıdır.



Şekil 4. 3 Denetim Etkilerinin Karşılaştırılması [54]

Oransal (P), Oransal türevsel (PD), Oransal integral (PI) kontrolün yeterli gelmediği, karmaşık proseslerde Oransal İntegral Türevsel (PID) kontrol sistemleri devreye girer. Oransal kontrolde ofset integral algoritmasıyla istenen değerin çok üzerine çıkılması veya altına inilmesi (overshoot veya undershoot) ise türev algoritması ile giderilir. PID parametrelerinin doğru ayarlanması ile mükemmel bir kontrol sağlanabilir.

Grafik özetlenecek olursa;

1. P kontrol denetiminin sitem içerisinde yalnız başına kullanılması ile istenilen çıkış değerini yakalamak mümkün değildir. Çünkü P kontrol denetiminde sisteme etki eden yalnızca kazançtır. Bu değerin büyütülmesi ile sistemin yükselme zamanı küçülür ve buna bağlı olarak sistem hızlı bir etki gösterebilir, ancak sistemin aşım değeri artacağından kararlılık bozulabilir. Ayrıca grafiğe dikkat edilecek olursa, P kontrolde sürekli bir kalıcı-durum hatası ortaya çıkmaktadır.
2. PI kontrol denetiminde, P kontrol denetiminde meydana gelen sürekli-durum hatası zaman içerisinde azaltılarak, sıfır düzeyine çekilmeye çalışılır. PI kullanılan sistemlerde sistemin kararlı duruma geçiş süresinin uzadığı grafik ile gözlemlenebilmektedir.

3. PD kontrolde hatanın ortaya çıkması ile birlikte hem orantı hem de türev etki üzerindeki hata azaltılır. Bu nedenle hatanın tepe noktası P ve PI denetimine göre daha düşük olur. Ancak hatanın değişim oranına ters yönde etki etmesi nedeniyle PD kontrolde de sürekli-durum hatası bulunur.
4. PID denetimde ise her ne kadar başlangıç hatası büyük olsa da kalıcı-durum hatası sıfırlanır ve sistemin kararlı hale gelme süresi kısalır [55].

4.11 Otomobillerde Komut Kontrolü

Otomotiv kontrol sistemi iki girişli (yönlendirme ve ivmelenme) ve iki çıkışlı (konum ve hız) bir sistemdir. Bu durumda iki kontrol girişi ve çıkışı birbirinden bağımsızdır. Fakat genelde kontrol işlemlerinin birbiriyle ilişkili olduğu sistemlerde vardır. Birden fazla giriş ve çıkışı bulunan sistemlere çok değişkenli sistemler denir [54].



Şekil 4. 4 Otomobillerde Komut Kontrolü [54]

BÖLÜM 5

OTOMOBİLLERDEKİ FREN SİSTEMLERİ

Fren sistemi taşıtın en önemli sistemidir. Fren sistemindeki problem giden arabayı durduramazsanız başlar, duran araba mutlaka çalışır ya da alternatif bir taşıt bulabiliriz. Frenler enerji değişim araçlarıdır, kinetik enerjiyi (momentum), termal enerjiye (ısı) çevirirler.

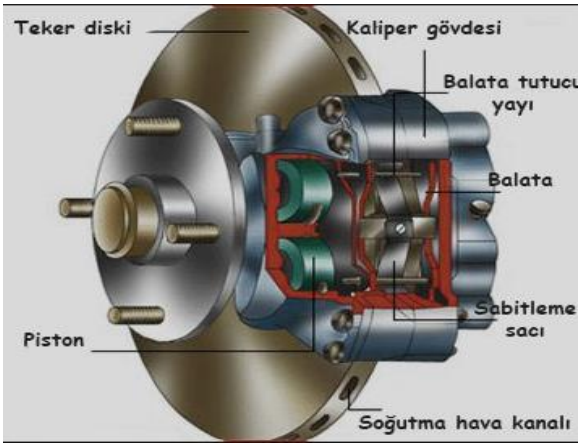
5.1 Fren Sisteminin Parçaları

Son yıllarda frenlerin tasarımı büyük değişikliğe uğramıştır. Yıllardır ön frenlerde kullanılan diskler, modern araçlarda arka kampanaların yerini almaya başlamıştır. Buradaki önemli etken basit tasarımları, hafiflikleri ve daha iyi performans sağlamaları olmuştur. Bunun sebebi ise tasarımları gereği kampanalara göre daha çabuk soğumaları ve böylece aşırı ısınma ortaya çıkaran zor fren şartlarında çok başarılı olmalarıdır. Çabuk soğumalarının sebebi ise havalandırma kanallarının olmasıdır. Kampanalarda ise havalandırma kanalları yoktur, eğer olsaydı içlerinde su toplanarak daha başka problemlere meydan verirdiler. Disk frenler ise tasarımları gereği suyu hemen savurup atarak daha iyi havalandırma sağlarlar [56].

5.2 Disk Fren Sistemleri

Diskli frenlerde ısınan hava'nın iletilmesinin kolay olması ve her iki dönüş yönünde aynı frenleme torkunu sağlamaları nedeniyle otomotiv alanında en çok kullanılan fren sistemidir [57]. Diskler yüzeydeki yabancı maddelerden kolay kurtulur. Diskli fren

balatasının disk üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. Yüksek hızlardaki frenlemede, ani kavrama eğilimi daha düşüktür. Diskli frenlerde sürtünme, diskin iki tarafında meydana gelmektedir.



Şekil 5. 1 Disk Fren Sistemi

5.3 Fren ve Frenleme Kuvveti

Fren, hareket halinde olan aracı en kısa mesafede veya en az zamanda yavaşlatma veya durdurma işlemidir. Frenleme kuvveti, hareket halinde bulunan bir aracın hızını kesip yavaşlatmak veya durdurmak için uygulanan kontrollü bir kuvvettir.

Frenleme esnasında balata dönmekte olan kampana/disk'e basınç uygulayıp sürtünme meydana getirir. Araç sürtünme kuvvetinin yavaşlatma etkisi ile kontrollü olarak yavaşlar veya durur. Hareket halinde bulunan her cisim kinetik enerjiye sahiptir. Yani kinetik enerji hareket halindeki cismin hızının karesi ile kütlesinin çarpımının yarısına eşittir.

$$E_k = \frac{1}{2} M \times V^2 \qquad (5.1)$$

Bu ifadeden yola çıkarak otomobilin hızı bir an için iki katına çıkarsa kinetik enerji dört kat artar. Bu nedenle aracı durdurmak için gereken frenleme enerjisinin de taşıt hızının karesi ile artacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Örnek olarak V hızı yerine 2V alınırsa;

$$E_k = \frac{1}{2} M \times (2V)^2 = \frac{1}{2} M \times 4V^2 = 2M \times V^2 \quad (5.2)$$

Fren sistemi ve elemanlarının aracı direksiyon kontrolü kaybolmadan tüm yol durumu ve trafik şartlarında en kısa ve en uygun durdurabilecek şekilde konstrüksiyonu yapılmalıdır [58].

5.4 Fren Verimi

Frenleme ile araç tekerleklerinin hareketine zıt yönde bir kuvvet oluşturulur. Bu kuvvet frenleme kuvveti olarak bilinir. Aracın frenleme verimi ;

$$\eta_f = \left(\frac{F}{G} \right) \times 100 \quad (5.3)$$

η_f = Frenleme verimi

F = Ortalama fren kuvveti (N)

G = Taşıt ağırlığı(N)

Fren verimi, sürtünen yüzeyler arasında (kampana- pabuç, disk- balata) meydana gelen sürtünme kuvvetinin normal yüklere oranıdır [59]. Yani;

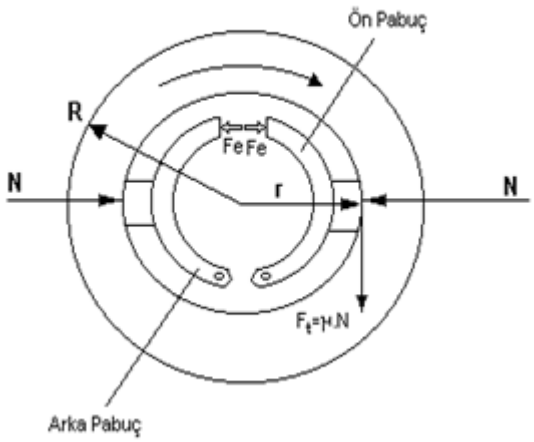
$$\mu = \frac{F_s}{W} \quad (5.4)$$

μ = Sürtünme katsayısı

F_s = Sürtünme kuvveti (N)

W= Normal yük (N)

5.5 Fren Pabucu ve Self Enerjisi



Şekil 5. 2 Kampanalı Fren Ve Pabuç Durumu [59]

Şekil 5.22'de kampanalı tip frenlerde sürtünme malzemesi ile kaplanmış yarım daire şeklinde 2 parça pabuç ve sürtünerek iç yüzeyinde çalıştığı kampana mevcuttur

Kampana saat yönünde dönerken frenleme sırasında tekerlek silindir pistonları pabuçları F_e kuvveti ile itmesi sonucu pabuçlar kampanaya sürtmeye başlar. Sürtünme etkisiyle normal reaksiyon (N) ve çevresel sürtünme kuvvetleri (F_t)oluşur.

Çevresel kuvvet;

$$F_t = \mu \times N \tag{5.5}$$

Geri plandaki arka pabuç ucu kuvveti;

$$F_T = F_e - F_t \tag{5.6}$$

Ft = Çevresel kuvvet (N)

F_T = Geri plandaki arka pabuç uçu kuvveti (N)

F_e = Piston kuvveti (N)

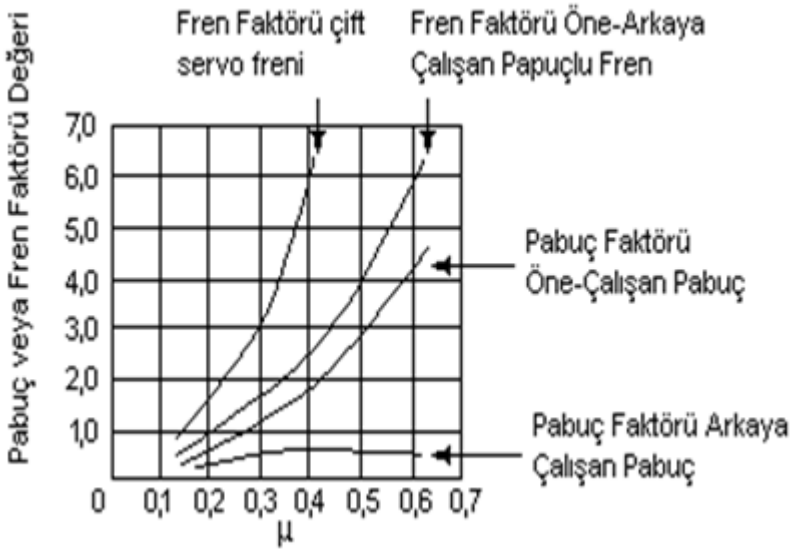
N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

Pabuçla kampana arasındaki sürtünmeden dolayı bir self enerji oluşur. F_e kuvveti pabuçların uçlarına etkidiğinde pabuç üzerinde meydana gelen normal tepki kuvveti N frenlemeyi sağlamaya çalışır. Ancak N kuvveti sadece kampanayı yavaşlatmaya çalışmaz,

beraberinde pabucu kampanaya daha da bastırır ve kampana üzerindeki efektif itme kuvveti artar. Pabucun ucundan etkiyen kuvvetin N ile birlikte frenlemeyi sağlaması bir servo hareketidir. Kampananın dönerken kendisi ile birlikte pabucu alıp götürme eğiliminden doğar [58].

Eğer fren kampana sistemi de tekerlek silindiri, düşük basınç kuvvetine rağmen çok büyük frenleme kuvveti meydana getiriyorsa burada " yüksek self enerji" veya "servo etkisi" vardır. Sürtünen yüzey sıcaklığı, nemlilik, sürtünme katsayısı ve kampana dönüş hızına bağlıdır [59].

Şekil 5.3'de öne çalışan yada self enerji doğuran pabucun oluşturduğu momentin diğer pabuca göre üç misli olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 3 Pabuç Fren Faktörünün Sürtünme Katsayısı(μ) İle Değişimi [58].

5.6. Diskli Frenlerde Frenleme Torku

Şekil 5.4'de diskli frenlerde ısının havaya iletilmesinin kolay olması ve her iki dönüş yönünde aynı frenleme torkunu sağlamaları nedeniyle otomotiv alanında en çok kullanılan fren sistemidir [60].

Diskler yüzeydeki yabancı maddelerden kolay kurtulur. Diskli fren balatasının disk üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. Yüksek hızlardaki frenlemede, ani kavrama eğilimi daha düşüktür. Diskli frenlerde sürtünme, diskin iki tarafında olduğundan, sürtünme kuvveti;

$F = 2 \times \mu \times N$ olur. Buradan, (5.7)

$R_O = \frac{R_2 + R_1}{2}$ olacağından frenleme torku; (5.8)

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times \frac{R_2 + R_1}{2} \quad (5.9)$$

$T_B = 2 \times \mu \times N \times R_O$ olur. (5.10)

T_B = Frenleme torku (Nm)

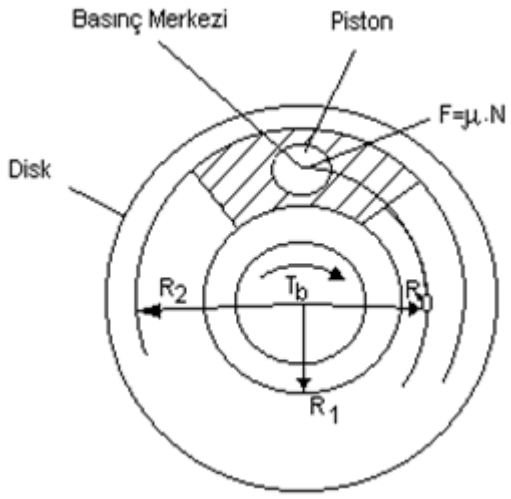
N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

μ = Sürtünme katsayısı

R_0 = Balata ortalama yarıçapı (cm)

R_1 = Balata iç yarıçapı (cm)

R_2 = Balata dış yarıçapı (cm)



Şekil 5. 4 Diskli Frenler Ve Balata Donanımı [60]

Günümüzde kullanılan frenlerde, fren sürtünme katsayısı genellikle μ= 0,3-0,4 arasında değişmektedir. Balata yüzeyine gelen ortalama fren basınçları ise P = 600-800 N/cm^2 arasındadır. Bu değer 1200 N/cm$^{2'}$ ye kadar çıkabilir. Şekil 5.5'de diskli frenlerde tekerlek torku aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [61].

Literatürde $R_0/R = 0,4$ kabulü yapılır.

Buna göre ;

$$T_B = 2 \times \mu \times N \times R_O = F_t \times R_O \quad (5.11)$$

$$T_W = \mu_a \times G \times R \quad (5.12)$$

$$T_B = T_W \Rightarrow 2 \times \mu \times N \times R_O = \mu_a \times G \times R \quad (5.13)$$

$R/R_o=2,5$

$$N = \left(\frac{G \times \mu_a}{2\mu} \right) \times \left(\frac{R}{R_O} \right) \text{ olur [61].} \quad (5.14)$$

Burada;

T_B = Frenleme torku (Nm)

T_W = Tekerlek yavaşlatma torku (Nm)

N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

μ = Sürtünme katsayısı

R_0 = Balata ortalama yarıçapı (cm)

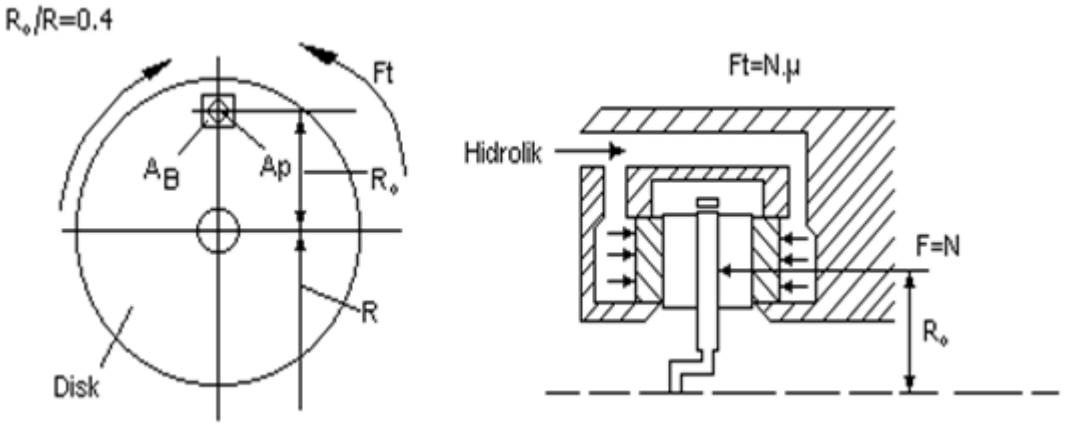
R = Tekerlek yarıçapı (cm)

R_2 = Balata dış yarıçapı (cm)

F_t = Çevresel kuvvet (N)

G = Taşıt ağırlığı (N)

μ_a = Tutunma faktörü (yol ile tekerlek arasındaki), olarak alınmaktadır.



Şekil 5. 5 Diskli Frenlerde Fren Ve Tekerlek Torkunun Oluşumu [61].

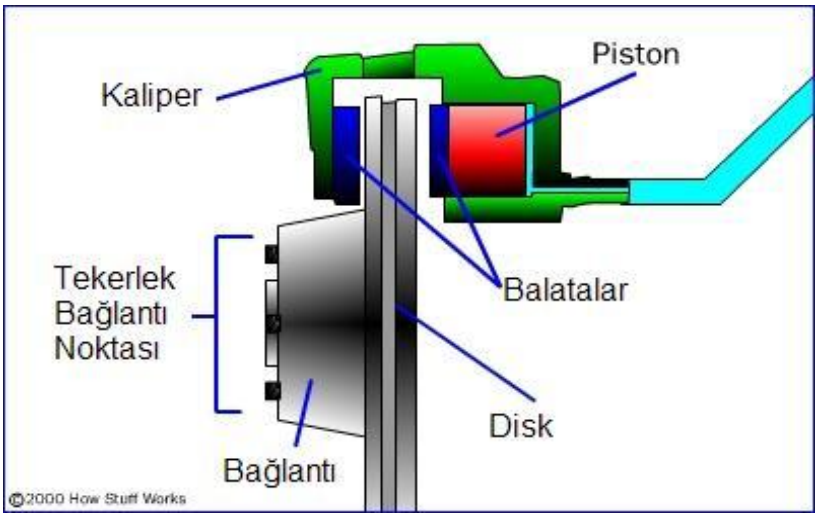
BÖLÜM 6

OTOMOBİLLERDEKİ SÜRTÜNME MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Balatalar, hareket halindeki aracı çabuk ve emniyetli bir şekilde durdurmada, hareketsiz aracın kendi kendine hareketini önlemede ve yol eğimlerinden oluşan arzu edilmeyen ivmelenmeye mani olmayı sağlamada, fren sisteminin en önemli elemanlarından biridir [22]. Balataların kullanıldıkları süre içinde zamanla aşınmaya maruz kalmaları sonucu ortama zararlı partikül yaymaları, insan sağlığını etkilemektedir [63]. Taşıt sürüş güvenliği ve toplum sağlığı yönünden balataların etkisinin net bir şekilde ortaya konularak açıklanması, bu konunun denetim ve çözümüne yardımcı olacaktır [22].

6.1 Balata ve Taşıt Güvenliği

Hareket halindeki taşıtlar, bir tehlike anında sürtünmeli veya kaymalı zorlamaya maruz bırakılıp kinetik enerjileri alınır ve yavaşlatılıp durdurulurlar. Bunun yapılabilmesi için sürtünen yüzeylerin oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısı frenlemede önemli rol almaktadır. İyi seçilmemiş bir balata veya balatanın karsı malzemesi, kötü bir sürtünme katsayısının ortaya çıkmasına sebep olur ve sürtünen yüzeylerin frenlemedeki tesiri azalır. Sürtünen yüzeylerdeki frenleme tesiri, daha iyi sürtünme kuvveti temin eden malzeme çiftini seçmek veya yapmakla mümkün olur. Bu malzeme çiftini seçmek veya mevcutlarından daha iyisini yapmak piyasada kullanılan mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bilinmesi ile mümkündür. Mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bulunabilmesi, her malzemenin tesirinin ayrı değerlendirilmesi ile sağlanabilir.

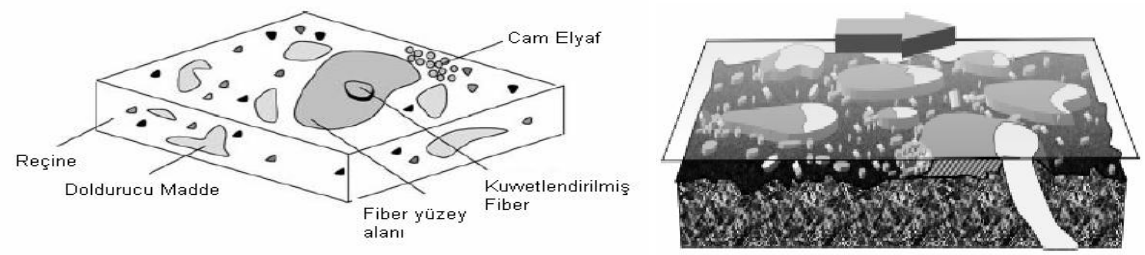


Şekil 6. 1 Disk ve Balata Malzemesinin Şematik Resmi

Bu nedenle yeni balatalar yapım aşamasında ezilme, kesme, aşınma, ısı ve suya dayanıklılık gibi testlerden geçirilmekte ve kullanım esnasında, balataların yukarıda açıklanan olumsuzluklar nedeni ile frenlemede meydana getireceği olumsuz etkilerin minimuma düşürülmesi amaçlanmaktadır [63].

6.2 Balata Malzemelerinin Kompozisyonu

Balata malzemeleri, genellikle lifli yapısal malzemeler, metal veya mineral dolgu partikülleri ve katı yağlayıcılardan oluşmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve oranları frenleme performansı üzerinde birinci derecede etkin olması sebebiyle son yıllarda farklı malzemeler ve farklı oranların balata performansı üzerindeki etkileri direkt olarak deneylerle veya geliştirilen en uygun şekle sokma metotları ile ya da deneysel tasarım metotları kullanılarak gerek numune sayısını en aza indirip maliyeti düşürmek, gerekse zaman kaybını önlemek bakımından balata kompozisyonu tasarımında önemli yer tutmaktadır. Balata kompozisyonlarında kullanılan malzemeler sahip oldukları görev bakımından çeşitli gruplara ayrılmaktadır bunlar su şekildedir.



Şekil 6. 2 Balatalardaki Malzemelerin İçyapı ve İzometrik Görünüşü [64]

6.2.1 Yapısal Malzemeler

Yapısal malzemeler balatada mekaniksel dayanım, sertlik, termal stabilite, aşınma direnci ve kararlı bir sürtünme üretir. Genellikle çelik yünü, Cu lifleri, Al lifleri, kaya yünü, cam yünü, seramik lifler ve aramid (kevlar) lifler tek başına veya farklı kombinasyonlarda kullanılır.

6.2.2 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, tüm bileşenleri bir arada tutmak ve kararlı bir matris oluşturmak için kullanılır. Bu malzemeler polimer esaslı olduğundan, yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar ve sürtünme malzemesinin içinde değişimi en az tahmin edilebilen komponentlerdir. Genel olarak termoset veya novalac tipte fenolik reçine yer alır ve sönümlemeyi arttırmak için lastik tozu ile birlikte kullanılır [65].

6.2.3 Abrasivler

Abrasivler, disk-balata ara yüzeyinde yüksek ve kararlı bir sürtünme katsayısı sağlamak için katılırlar. Abrasiv olarak kullanılan ZrSiO (zirkonyum silikat) sürtünme torku üzerinde

önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek oranlarda kullanılması durumunda yüksek bir sürtünme katsayısı sağlamasına karşın tork kararsızlığını arttırdığı gözlenmiştir [66].

6.2.4 Yağlayıcılar

Fren sistemlerinde yağlayıcı olarak genellikle grafit, farklı metal sülfitler, antimonite (SbS) gibi katı yağlayıcı tercih edilmektedir. Katı yağlayıcılar normal şartlar altında rotor yüzeyinde sürtünme filmi oluşturur ve bu filmin sürtünme katsayısını öncelikle yüksek sıcaklıklarda stabilize etme, balata-disk aşınma kontrolünü sağlama, gürültü eğilimini azaltma ve vibrasyonu sönümleme gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır [22].

6.2.5 Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, maliyeti azaltmak ve üretilebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Mika, vermikülit, BaSO4, potasyum titanat, aramid lifler, CaCO'da genelde kullanılan dolgu malzemeleridir [14]. Taşıtın tipi, yükleme durumu, çevre koşulları, trafik durumu gibi faktörler de göz önüne alınarak uygun bir balata malzemesinin seçimi ve üretim parametrelerinin optimizasyonu ile frenlemeden istenen performansı ve konforu sağlamak mümkündür. Şekil 6.3, Şekil6.4, Şekil 6.5'de otomobillerde kullanılan farklı tipteki sürtünme malzemeleri görülmektedir.



Şekil 6. 3 Disk Fren Balatası



Şekil 6. 4 Kavisli Fren Balatası



Şekil 6. 5 Pabuçlu Fren Balatası

BÖLÜM 7

ISI TRANSFERİ

7.1 Giriş

Günümüzde ısı geçişi bilinmesi gerekli bir mühendislik konusu olmanın yanı sıra, mühendislik bilimlerinin en ilgi çekici bölümünü oluşturur. Isı geçişinin, birçok endüstri ve çevre problemi üzerinde önemli etkileri vardır. Örnek olarak, çok önemli bir alan olan enerji üretimi ve dönüşümü düşünülebilir. Bu alanda, ısı geçişinden herhangi bir şekilde etkilenmeyen, bir tek uygulama dahi yoktur. Hem nükleer fizyon veya füzyon ile, hem fosil yakıtların yakılması ile, hem magneto hidrodinamik işlemlerde, hem de yer altı enerji kaynakları ile elektrik gücü üretiminde çözülmesi gereken birçok problem vardır. Bu problemler, iletim, taşınım ve ışınım işlemleri içerirler [67].

7.2. Isı Geçişi Bağıntıları

Isı geçişi türlerinin esası olan fiziksel mekanizmaların anlaşılması ve birim zamanda aktarılan enerjiyi hesaplayan temel bağıntıların kullanılabilmesi mühendisler için önemlidir.

İletim: Bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılması olarak düşünülür. Bir sıcaklık farkı olması durumunda, sıcaklığın azaldığı yönde iletim ile enerji aktarımı gerçekleşir [67]. Bir elektrik yalıtkanında enerji aktarımı, tamamen kafes dalgaları yoluyla gerçekleşir. İletkende ise, serbest elektronların ötelenme hareketine de

bağlıdır. Isı geçiş işlemlerini uygun an denklemleri ile nicelemek mümkündür. T(x) sıcaklık dağılımına sahip bir boyutlu düz duvar için an denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q''_x = -k\left(\frac{dT}{dx}\right) \tag{7.1}$$

Isı akısı q''_x ısı geçişi doğrultusunda dik birim yüzeyden, birim zamanda, x doğrultusunda gecen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı (dT/dx) ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k, ısı iletim katsayısı (W/m.K) olarak adlandırılan bir aktarım özelliğidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur. Sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradyanı,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \tag{7.2}$$

Olarak ifade edilir ve ısı akısı da,

$$q''_x = k\frac{T_1 - T_2}{L} = k\frac{\Delta T}{L} \tag{7.3}$$

olarak yazılır. Bu eşitlik ısı akısını, yani birim yüzeyden, birim zamanda gecen ısıyı verir.

Taşınım: Gaz veya sıvı haldeki akışkan ile akışkanın temas ettiği yüzey arasındaki moleküllerin mikroskobik hareketleri ile meydana gelen ısı transferi şekline denilmektedir [68]. Taşınımla ısı geçişinin tüm türleri için kullanılan denklem,

$$q'' = h(T_S - T_\infty) \tag{7.4}$$

şeklindedir. Burada taşınılma ısı akısı, q'' (W/m^2) yüzey ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark $(T_S - T_\infty)$ ile doğru orantılıdır. Bu ifade Newton'un soğuma yasası olarak bilinir. Orantı katsayısı $h(W/m^2xK)$ ısı taşınım katsayısı olarak adlandırılır. Bu değer yüzey geometrisine, akışkan hareketinin türüne ve akışkanın bazı termodinamik ve aktarım özelliklerine göre belirlenen sınır tabakadaki koşullara bağlıdır [67].

Işınım: Sonlu sıcaklığa sahip bir cismin yaydığı enerjidir. Katı yüzeylerde olduğu gibi sıvı ve gazlar da ışınımla ısıyayarlar. Işınım yayma, cismin yapısından bağımsız olarak, cismi oluşturan atom ve moleküllerin elektron düzenlerindeki değişmelere yorumlanır. Yüzeyin yaydığı ışınım, yüzeyin sardığı cismin ısıl enerjisinden kaynaklanır ve birim zamanda birim yüzeyde serbest bırakılan enerji (W/m^2) yüzeyin yayma gücü E olarak adlandırılır [67]. Yayma gücünün, Stefan-Boltzmann yasası ile tanımlanan bir üst sınırı vardır:

$$E_b = \sigma T_8^4 \qquad (7.5)$$

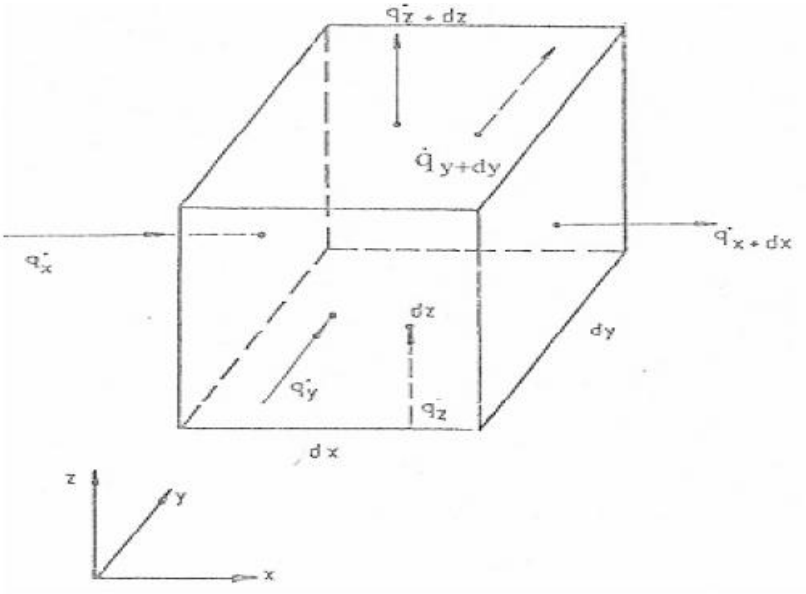
Burada Ts, yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) olup σ, Stefan-Boltzmann sabitidir (σ =5.67 x 10-8 W/m2 .K4). Böyle bir yüzey, ideal ışınım yayıcı veya siyah cisim olarak adlandırılır. Gerçek bir yüzeyin yaydığı ısı akısı, aynı sıcaklıkta bulunan bir siyah cismin yaydığından daha azdır ve aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$E = \varepsilon\sigma T_8^4 c \qquad (7.6)$$

Burada yayma oranı, c özgül ısıdır.

7.3 Isı Yayılım Denklemi

Sıcaklık dağılımı ayrıca bir yalıtım malzemesinin kalınlığının optimize edilmesinde, malzeme ile kullanılan yapıştırıcı veya kaplamanın uyumunun birlenmesin de kullanılabilir. İçinde kütlesel hareket olmayan ve T(x,y,z) sıcaklık dağılımının kartezyen eksen takımında gösterildiği homojen bir ortam ele alınsın. Enerji korunumu uygulanarak şekil 7.1'de gösterildiği gibi sonsuz küçük bir kontrol hacmi dx. dy. dz tanımlanır. Sıcaklık gradyanları varsa kontrol yüzeylerinin her biri üzerinde ısı geçişi olacaktır. x, y ve z eksenleri üzerindeki kontrol yüzeylerinin her birine dik ısı iletim sırasıyla qx, qy ve qz terimleriyle gösterilir [67].



Şekil 7. 1 Hacim Elemanında Isı Akım Şiddeti

Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise yüksek mertebeden terimlerin atıldığı bir Taylor seri açılımı ile ifade edilir.

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \tag{7.7}$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial_y} dy \tag{7.8}$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial_z} dz \tag{7.9}$$

Denklem 7.7'deki ısı iletimi, x' teki değer ile dx uzunluğundaki değişimin toplamı olarak verilmektedir. Malzemede bir faz değişimi olmuyorsa gizli ısı etkileri yoktur ve enerji depolama terimi

$$E_{st} = pc_p \frac{\partial T}{\partial t} dxdydz \tag{7.10}$$

olarak yazılır. Burada $pc_p \frac{\partial T}{\partial t}$ ortamın ısıl enerjisinin birim hacimde, birim zamanda değişimidir. Depolanan enerji terimi (E_{st}) madde tarafından depolanan ısıl enerjinin değişimini gösterir.

$$q_x + q_y + q_z + qdxdydz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} = pc_p \frac{\partial T}{\partial t} dxdydz \tag{7.11}$$

Denklem yerine konarak

$$-\frac{\partial q_x}{\partial_x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial_y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial_z} dz + qdxdydz = pc_p \frac{\partial T}{\partial t} dxdydz \tag{7.12}$$

Elde edilir.

Isı iletim Fourier yasası ile yazılırsa;

$$q_x = -kdydz \frac{\partial T}{\partial x} \tag{7.13}$$

$$q_y = -kdxdz \frac{\partial T}{\partial x} \tag{7.14}$$

$$q_z = -kdydy \frac{\partial T}{\partial x} \tag{7.15}$$

Denklem 7.15 denklem 2.12'de yerine konur ve kontrol hacmi dxdydz ile bölünürse 7.16' denklemi elde edilmiş olur.

$$\frac{\partial}{\partial_x}(k\frac{\partial T}{\partial_x}) + \frac{\partial}{\partial_y}(k\frac{\partial T}{\partial_y}) + \frac{\partial}{\partial_z}(k\frac{\partial T}{\partial_z}) + q = pc_p \frac{\partial T}{\partial t} \tag{7.16}$$

olur. Denklem 7.16 ısı yayılım denkleminin Kartezyen eksen takımında ki genel biçimidir. Genellikle ısı denklemi olarak bilinen bu denklem ısı iletimi çözümlemesinin temel aracıdır. Bu denklemin çözümünde, T(x,y,z) sıcaklık dağılımı zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Bu ifade enerjinin korunumunu ortaya koyar. Bu denklem, ortamın herhangi bir noktasında birim hacme iletimle gecen enerji ile birim hacimde üretilen ısıl enerjisinin toplamının hacim içerisinde depolanan ısıl enerjinin değişimine eşit olması gerektiğini ifade eder [67]. Isı iletim katsayısı sabitse, ısı denklemi;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial_x{}^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial_y{}^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial_z{}^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \tag{7.17}$$

dir. Burada $\alpha = k / pc_p$ ısıl yayılım katsayısıdır. Sürekli rejim için, depolanan enerjide değişme olmayacaktır. Bu nedenle denklem 7.16 aşağıdaki biçime dönüşür:

$$\frac{\partial}{\partial_x}(k\frac{\partial T}{\partial_x}) + \frac{\partial}{\partial_y}(k\frac{\partial T}{\partial_y}) + \frac{\partial}{\partial_z}(k\frac{\partial T}{\partial_z}) + q = 0 \tag{7.18}$$

7.4. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesinin çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsi çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [69].

7.5 Otomobillerde Kullanılan Fren Balatalarının Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi ve Termal Gerilme Analizi

Otomobillerin performanslarını etkileyen unsurlardan birisi olan fren balatalarının fren diski ile sürtünmesi sonucu ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Bu ısı enerjisi fren balatalarının aşırı sıcaklıklara maruz kalmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle balataların frenleme etkinlikleri zamanla azalmakta ve bazı problemler (frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses) ortaya çıkmaktadır.

Fren balatalarında meydana gelen bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması amacıyla balatalar üzerine bir dizi testler yapılmıştır. Balataların sıcaklık durumlarını analiz etmek amacıyla SolidWorks Simulation Solutions modülü kullanılmıştır. Bu programda 4 farklı balata malzemesinin 300 s. süresince sürekli frenleme işlemine tabi tutulup, meydana gelen sıcaklık dağılımları ve gerilme durumları incelenmiştir. Balatanın aşınma ile ortaya çıkan durumunu ortaya koymak açısından aynı balatanın 2 farklı kalınlığı da analizlerde dikkate alınmıştır.

7.5.1 Malzeme ve Metot

7.5.1.2 Malzeme

Bu çalışmada balata malzemesi olarak geliştirilen çeşitli malzemelerin ısıl ve mekanik özelliklerinin balata üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapılan literatür çalışması sonucu farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen malzemelere ait özellikler dikkate alınmıştır. Malzemelere ait özellikler çizelge 7.1'de verilmiştir [70].

Çizelge 7. 1 Balata malzemelerine ait özellikler

Malz. No	Isı İletkenlik Katsayısı k(W/mK)	Özgül Isı, $c(j/kgK)$	Yoğunluk, $\rho(kg/m^3)$	Termal Genleşme Katsayısı, $\propto \left(10^{-6}/K\right)$	Young modülü, E(GPa)	Poisson ratio (ν)	Kaynaklar
1	50	1880	1800	0,3	50,2	0,3	Choi [71]
2	5	1000	1400	10	1	0,25	Choi [71]
3	0,5	1034	3660	30	0,53	0,25	Hwang [72]
4	5	350	4000	0,001	1	0,25	Voldrich [73]

Malzeme-1 karbon-karbon bileşikli kompozit malzemeden yapılmıştır. Tabloda görüldüğü gibi özgül ısısı en yüksek olan malzemedir. Yoğunluk ve ısıl iletkenlik katsayısı da yüksektir. Poisson oranı en yüksek olan malzemedir.

Malzeme-2 karbon-karbon bileşikli kompozit malzemeden yapılmıştır. Isıl genleşme katsayısı olarak en yüksek ikinci malzemedir. Malzeme-1'le kıyas edildiğinde ısıl iletkenlik katsayısı on kat ve elastisite modülüde elli kat daha küçüktür.

Malzeme-3 elastisite modülü ve ısıl iletkenlik katsayısı en küçük olan malzemedir. Yoğunluk değeri olarak ikinci en yüksek malzemedir.

Malzeme-4 yoğunluk değeri en yüksek, ısıl genleşme katsayısı ve özgül ısı değeri en küçük olan malzemedir.

7.5.2 Problemin Geometrisi ve Sınır Şartları

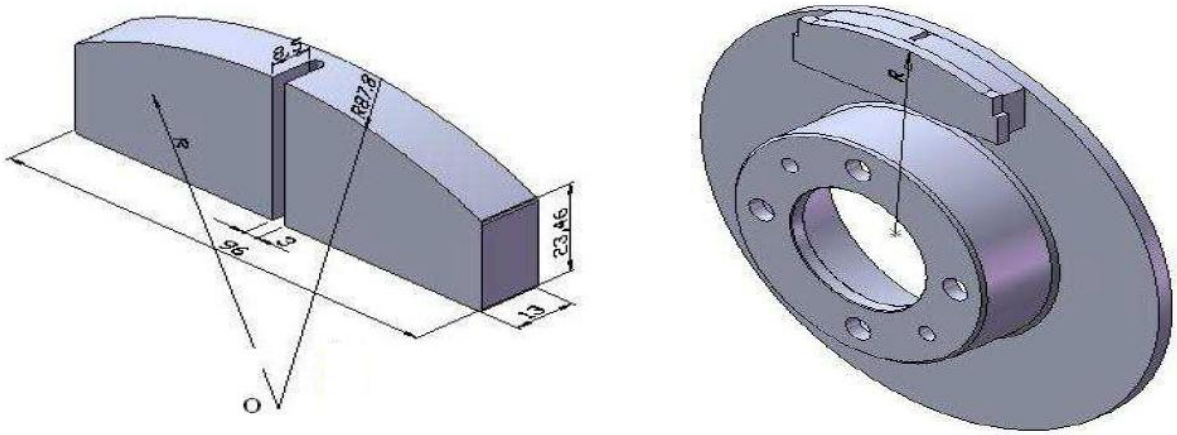
İncelenen balatanın geometrisi sekil 7.2 (a)'da verilmiştir. Bu balata 187 mm çaplı bir disk üzerinde sekil 7.2 (b)'deki gibi yer almaktadır. Problem için tüm malzemelerde ortak bir değer olmak üzere μ = 0,45 alınmıştır. Bu durumda cismin her bir düğüm noktasının merkeze uzaklığına bağlı olarak ısıl güç [ρ],

$$\rho = \mu \times \mathrm{P} \times \mathrm{A} \times \omega \times R \tag{7.19}$$

$$\rho = 0{,}45 \times 1050000 \times 0.00305 \times 64{,}3 \times R \tag{7.20}$$

$$\rho = 92800 \times R \tag{7.21}$$

Şeklinde hesaplanır. Fren basıncı (P) 1050 kPa, dönme hızı $(\omega)64{,}3\frac{1}{s}$ ve balata yüzey alanı (A) 0,00305 mm² 'dir. R incelenen noktanın balatanın merkezinden uzaklığını göstermektedir.



(a) **(b)**

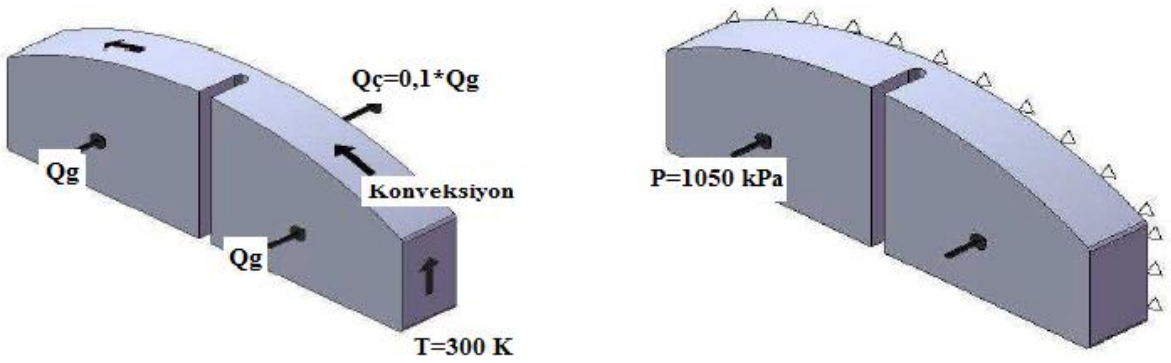
Şekil 7. 2 Balata Geometri Ölçüsü (a) Ve Fren Disk-Balata Görünümü (b)

Balata başlangıçta oda sıcaklığında (300K) kabul edilmiştir. Bu şartlarda balata için uygulanan ısıl sınır şartı şekil 7.3.a'da verilmiştir. Görüldüğü gibi balata-disk arasında yarıçapa bağlı sabit ısı girdisi, balatanın arka yüzeyinden ısı girdisinin % 10 kadar sabit ısı çıktığı kabul edilmiştir. Diğer yüzeylerden ise konveksiyonla ısı transferi bulunmaktadır. Burada taşınım katsayısı;

$h = 28\left(\frac{w}{m^2 K}\right)$ alınmıştır.

Bu değerin alınmasında Siple ve Passel [74] tarafından verilen;

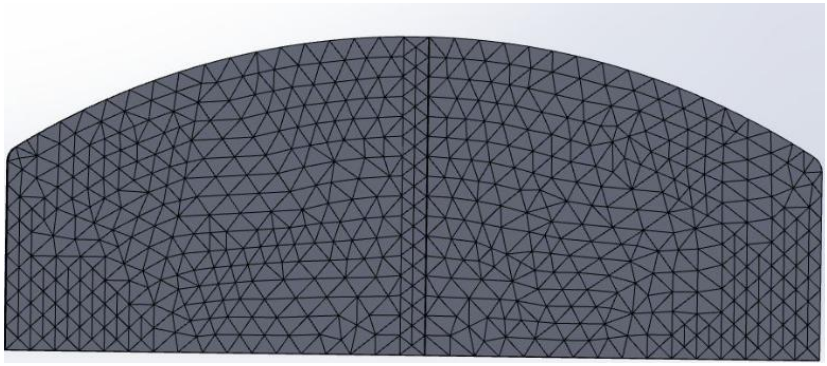
$h = 10{,}45 - V + 10\sqrt{V}$ formülü kullanılmıştır. Hava hızı (V) diskin çevresel hızı olarak alınmıştır [74].



(a) **(b)**

Şekil 7. 3 Balatanın Üzerine Uygulanan Isıl Sınır Şartları (a) Ve Mekanik (b)

Probleme uygulanan mekanik sınır şartları ise sekil 7.3.b'de görülmektedir. Balatalar bir altlık üzerine yapıştırılarak üretildiğinden balatanın alt kısmı sabit alınmıştır. Balata-disk arasındaki yüzeye ise 1050 kPa'lık basınç uygulanmıştır [71]. Problem bu şartlar altında farklı aşınma oranları dikkate alınarak (Aşınmamış, 6 mm aşınmış) 300 sn için çözüm yapılmıştır. Sonlu elaman ağı oluşturulurken eğri kenarların modellenmesinde en uygun elaman tipi olan üçgen piramit seçilmiş, kalınlık boyunca sıcaklık değişimi büyük olan bölgelerde daha ince eleman oluşturulması sağlanmıştır. Elde edilen ağ yapıları sekil 7.4'de verilmiştir. Malzeme 1'in Aşınma durumlarına göre sırasıyla aşınmamış için 19806, 6mm aşınmış için 22783 düğüm noktası bulunmaktadır [71].



Şekil 7. 4 Fren Balatasının Mesh Görüntüsü

7.5.3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde yapılan analizlere ait bulgular öncelikle sıcaklık analizleri için daha sonra da gerilme analizleri için olmak üzere iki bölüm halinde verilmiştir.

7.5.3.1. Sıcaklık ile ilgili Bulgular

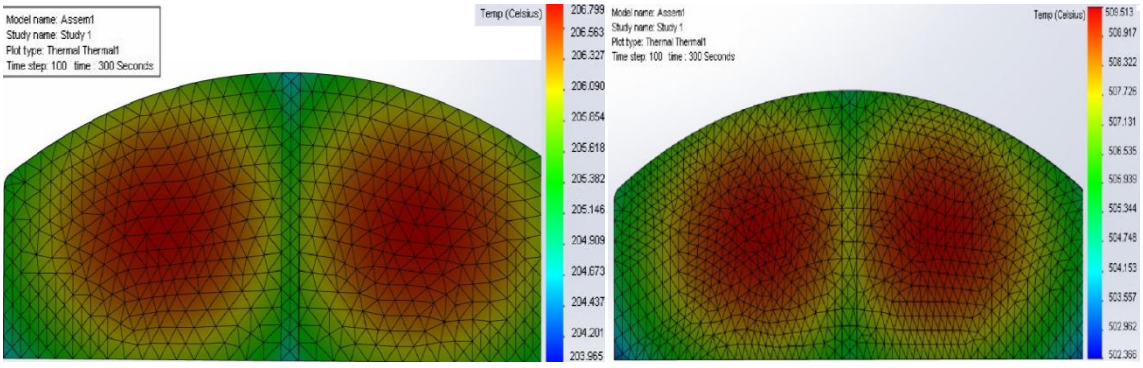
Sıcaklık ile ilgili bulgular bölümünde öncelikle 300 saniye için yapılan çözüm sonucunda balatada elde edilen sıcaklık dağılımına ait şekiller verilmiştir. Aşınmamış ve 6 mm aşınmış balata malzemesinde meydana gelen sıcaklık değişimi ve deformasyon oluşumu 300 saniye sonundaki analiz sonuçları şekilde 7.5'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi tüm şekillerde balatanın yarıçapına bağlı olarak dış kısımda oluşan sıcaklık daha yüksek olmaktadır. Ayrıca balatanın diske temas eden yüzeyinden dışarıya doğru sıcaklığın azalmakta olduğu görülmektedir. Balata için yüzey sıcaklığının yanında sıcaklığın balata içinde yayılması da önemlidir. Bu nedenle malzemeler arasında karşılaştırma yapılırken hem maksimum ve minimum değerlere, hem de bunlar arasındaki farka dikkat etmek gerekir.

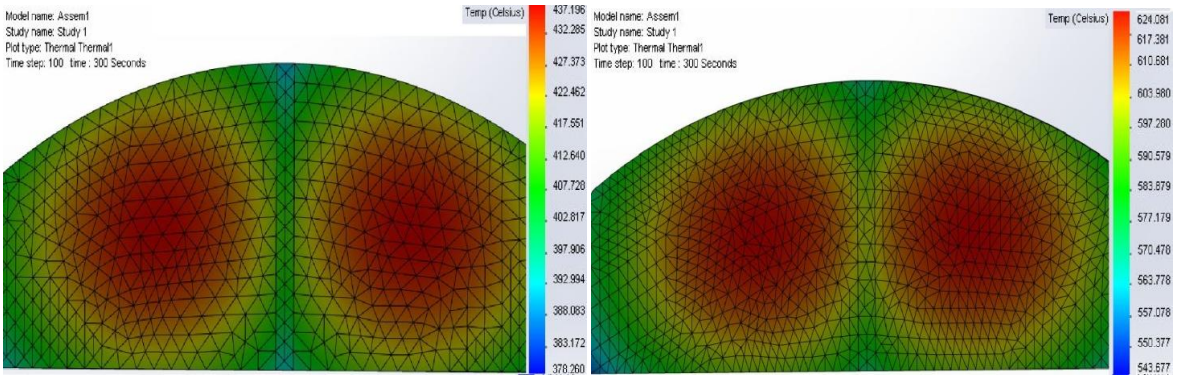
Aşınmamış balata malzemesi-3'de en yüksek yüzey sıcaklık değeri 206 °C ve en düşük yüzey sıcaklık değeri ise 203 °C, sıcaklık farkı ise 3 °C'dir. Bunun sebebi ısıl iletkenlik

katsayısının küçük olmasından ve özgül ısı değerinin büyük olmamasından kaynaklanır. Aşınma miktarı dikkate alınırsa 6mm aşınmış balata malzemesi-3'de yüzey sıcaklığı en yüksek 509 °C ve en düşük yüzey sıcaklık değeri ise 502 °C, sıcaklık farkı ise 7 °C' dir. Malzeme-3'de aşınma miktarı dikkate alınırsa aşınma miktarı arttığında yüzeyde oluşan sıcaklık ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır. Diğer malzemelerde de aşınma miktarının artmasıyla balata yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri ve iki yüzey arasında oluşan sıcaklık farkı da artmaktadır. Aşınmamış balata malzeme serisinde yüzeyde oluşan en yüksek sıcaklık malzeme-3'de oluşmuştur. 6mm aşınmış balata malzeme serisinde de yüzeyde oluşan en yüksek sıcaklık malzeme–3'de oluştuğu görülmektedir. Malzeme–2 ve 4'ün özgül ısı, yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı çarpımı eşit ve malzeme-3'den büyüktür. Malzeme- 1'de ısıl iletkenlik katsayısı, özgül ısı ve yoğunluk değerlerinin yüksek olmasından dolayı balata yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri diğer malzeme serilerine göre kıyasla küçüktür. Bu malzemede oluşan en büyük yüzey sıcaklığı aşınmamış için 206 °C , 6 mm asınmış için 509 °C, en küçük yüzey sıcaklığı aşınmamışta 203 °C, 6mm aşınmışta 502 °C ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı ise ortalama 5 °C' dir.

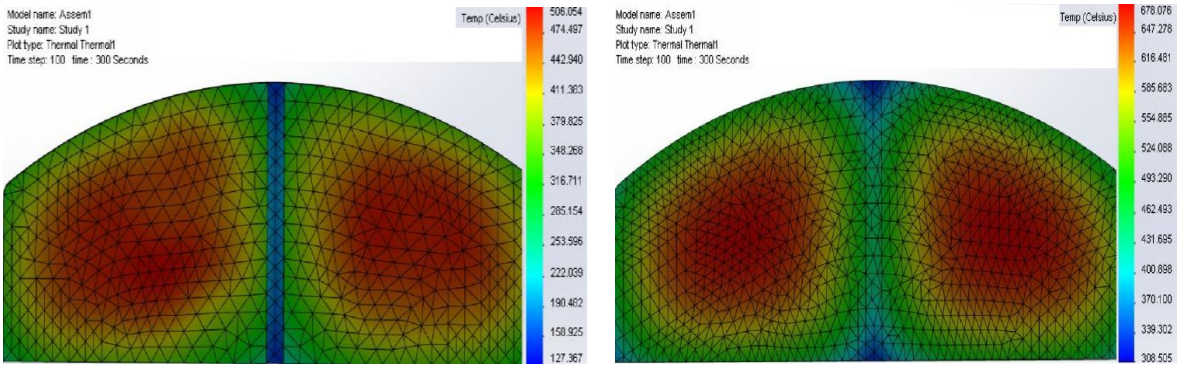
Malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı ve yoğunluk değeri büyük ise yüzeyde oluşan sıcaklık farkı küçük olur. Malzemenin yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısı küçük olursa yüzeyde oluşan sıcaklık değeri yüksek olur. Aşınmamış ve 6mm aşınmış balata malzemelerinde balata yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı büyük olmadığından dolayı sıcaklık şekilleri balata merkezine yakın bir yerde ve yuvarlak şekilde oluştuğu görülmektedir [71].



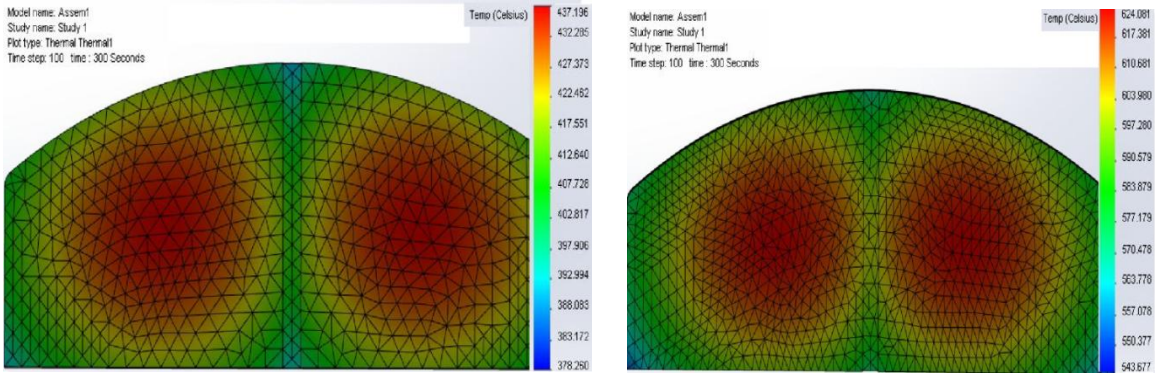
Malzeme 1



Malzeme 2



Malzeme 3



Malzeme 4

(a) **(b)**

Şekil 7. 5 Frenleme Sonunda Aşınmamış (a) Ve 6mm Aşınmış (b) Balatadaki 300 Saniye Sonunda Sıcaklık Dağılımları Ve Deformasyon Durumları

Şekil 7.5'de görüldüğü gibi genel olarak balata malzemelerinde aşınma miktarlarına göre balata yüzey sıcaklıklarında doğrusal bir artış bulunmaktadır. Balata malzemesinin disk ile sürtünen yüzeyi sıcaklıklar arasında çoğu zaman belirleyici bir rol oynamaktadır. Aşınma miktarının 6mm olmasıyla farklı malzemelerde aynı sürede balata sıcaklıklarında belirgin bir sıcaklık artışı görülmektedir. Isıl iletim katsayısı en küçük olan malzeme–3'de meydana gelen sıcaklık farkı en yüksek olmaktadır. Isıl iletim katsayısı en büyük olan malzeme-1'de ise balata sıcaklık farkı çok küçüktür. Malzeme–2 ve 4'ün ısıl iletkenlik katsayısı eşit olduğu için aşınmamış ve aşınma miktarlarına göre değişen yüzeydeki sıcaklık değerini gösteren şekiller benzerlik göstermektedir [71].

7.5.3.2. Gerilme ile ilgili Bulgular

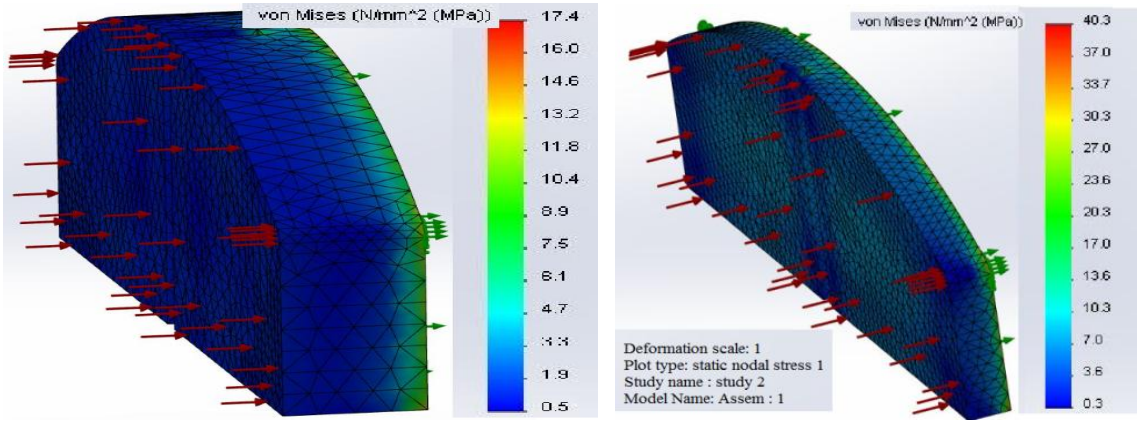
Gerilme ile ilgili bulgular bölümünde öncelikle 300 sn. için yapılan çözüm sonucunda balatada elde edilen gerilme dağılımına ait şekiller verilmiştir. Aşınmamış balata malzemesinde meydana gelen gerilme değişimi ve deformasyon oluşumu 300 sn. sonundaki analiz sonuçları şekil 7.6'da verilmiştir. Gerilmelerin en büyük oluştuğu bölgeler balatanın tutulan yüzeyindeki köşe kısımlarında ve balatanın orta kanal kısmında yer almaktadır. Isıl gerilmeler açısından en önemli hususlar ısıl genleşme katsayısı ve elastisite modülüdür. Bu nedenle gerilmeleri karşılaştırırken malzemelerin bu özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer taraftan malzemede oluşan en büyük sıcaklık ve sıcaklık farkları da ısıl gerilmelerin meydana gelmesinde etkili olan unsurlardır.

Aşınmamış balata malzemesi-4'ün ısıl genleşme katsayısı en küçük olduğundan dolayı diskle temas eden yüzeyde oluşan gerilme dağılımı düzgündür. Buna karşın balatada meydana gelen en büyük gerilme değeri diğer aşınmamış malzemelerle kıyaslandığında en küçük değer olan 2,2 MPa'dır. 6mm aşınmış malzeme-4'ün yüzeyinde oluşan en büyük gerilme 2,0 MPa'dır. 6mm aşınmış malzemelerle yüzeyinde oluşan gerilme değeri açısından kıyaslandığında en küçük değerin oluştuğu görülmektedir. Aşınmamış ve 6mm asınmış malzeme-4'de oluşan gerilme değerlerinin malzeme özellikleri aynı olmasına rağmen farklı çıkması yüzeyinde oluşan en büyük ve en küçük sıcaklık değeri ve bu sıcaklık değeri arasında oluşan farktan kaynaklandığı görülmektedir. Aşınmamış balata

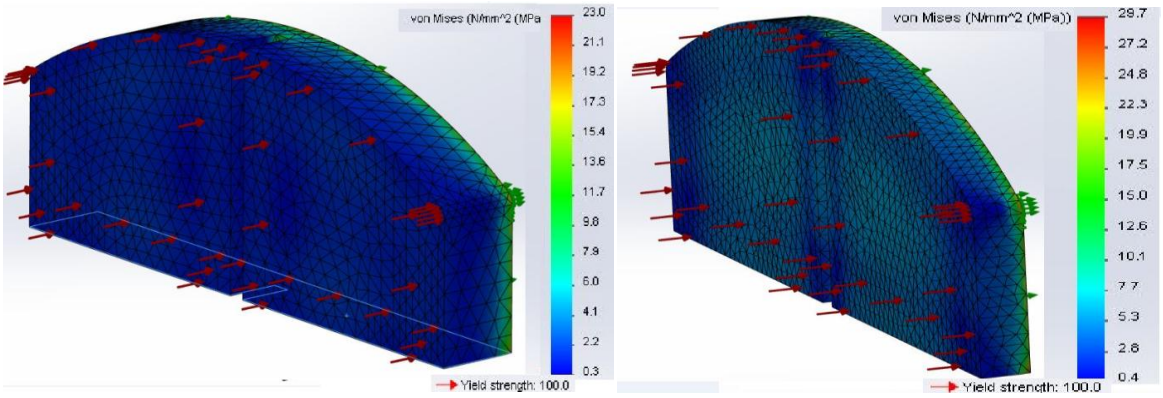
malzemesinde gerilme en büyük değer olan 24,4 MPa ile malzeme-3'de oluştuğu görülmektedir. 6mm aşınmış balata malzemesinde ise gerilme değeri en büyük malzeme-3'de 35,3 MPa'dır. Bu malzemenin elastisite modülü ve ısıl genleşme katsayısı çarpımı en yüksektir. Elastisite modülü ve ısıl genleşme katsayısı çarpımı küçük olan malzemelerde oluşan gerilme değerinin de küçük olduğu sekil 7.6'da görülmektedir. Balatanın disk ile temas eden yüzeyinde meydana gelen gerilme dağılımı Malzeme 1 ve 3 dışında oldukça düzgün bir görünüm sergilemektedir. Bu iki malzemede ise kenarlarda daha yüksek, iç kısımlarda daha düşük bir dağılım görülmektedir. Bu malzemeler için elastisite modülü ile ısıl genleşme katsayısının çarpımları yaklaşık aynı değeri almaktadır [75].

4 malzemeye ait yüzeylerden alınan gerilmelerin zamanla değişimi şekil 7.6'da gösterilmiştir. Bu şekiller oluşturulurken elde edilen gerilme değerleri yüzeye uygulanmış olan 1050 kPa gerilme değerine bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Her bir şekil bir malzeme için aşınma miktarlarına bağlı olarak farklı durumları göstermektedir. Tüm balatalarda başlangıçta bir miktar azalma olmakta, daha sonra gerilmeler artmaya başlamaktadır. Bu azalma periyodu malzemelerin ısıl özelliklerine bağlı olarak kısa veya uzun olmaktadır. Örneğin ısıl kapasitesi en küçük olan 4 numaralı malzemede frenleme süresi boyunca hiç artış olmamıştır. Diğer malzemelerde ise başlangıçta kısa veya uzun bir süre için azalma olmuş, sonra yeniden artış meydana gelmiştir. Bununla beraber 1 ve 2 numaralı malzemelerde aşınmamış olanlarda da hiç artış görülmemektedir. Bu durumda gerilmenin zamanla değişiminin ısıl ve mekanik özellikler yanında balata kalınlığı ile de ilgili olduğu söylenebilir. Bu durum 6 mm aşınmış olan 1 ve 2 numaralı malzemelerde de açıkça görülmektedir.

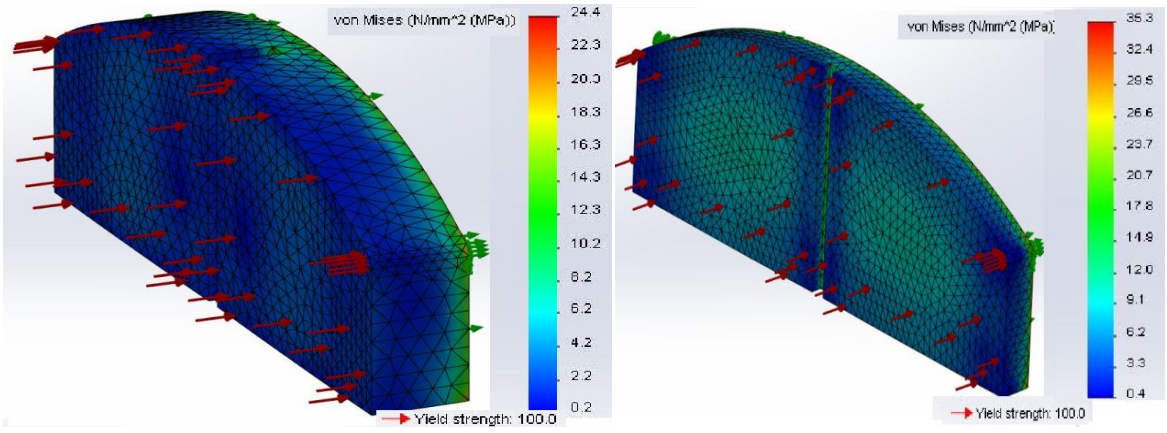
Aşınma miktarının artması ile meydana gelen gerilme miktarları da artmaktadır. Bu durum da balatanın ömrünün doğrusal olarak değil, aşınma miktarının artmasına bağlı olarak hızlanan bir şekilde tükendiğini göstermektedir. Malzemelerde elastisite modülü ve ısıl genleşme katsayınsın küçük olması durumlarında 300 sn sürede yapılan gerilme analizinde başlangıçta düzgün bir şekilde gerilmelerin azaldığı ve ilerleyen sürelerde gerilmelerin arttığı yapılan analizlerin sonucunda çıkan sonuç olacaktır. [75].



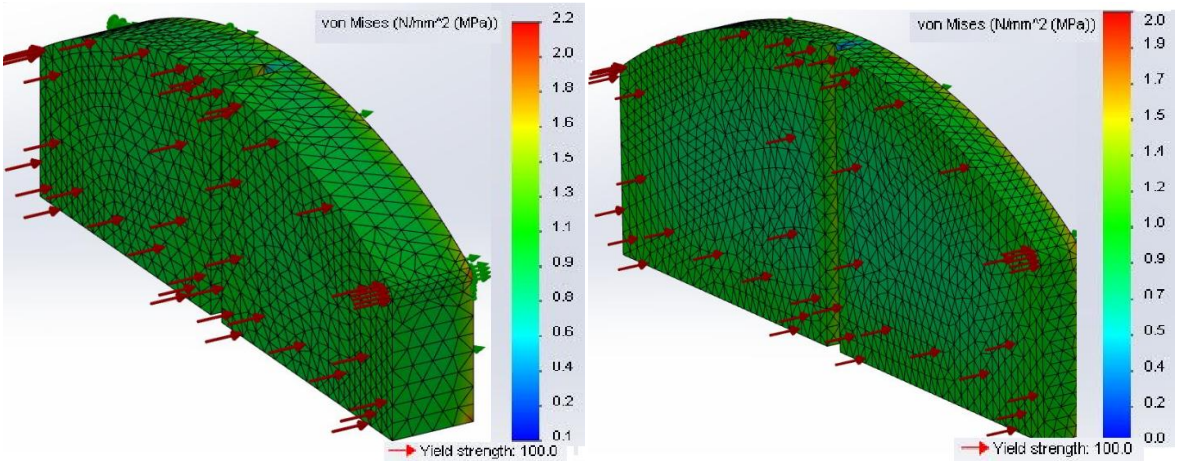
Malzeme 1



Malzeme 2



Malzeme 3



Malzeme 4

(a) **(b)**

Şekil 7. 6 Frenleme Sonunda Aşınmamış (a) Ve 6mm Aşınmış (b) Balatadaki Gerilme Dağılımları Ve Deformasyon Durumları

7.6 Sonuç

Bu çalışmada 4 farklı balata malzemesinin 300 sn süresince sürekli olarak frenlenmesi sonucunda meydana gelen sıcaklık dağılımları ve gerilme durumları SOLIDWORKS SIMULATION SOLUTIONS paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada ayrıca balatanın aşınmasının etkisini dikkate almak amacıyla 2 farklı kalınlıktaki balata incelenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Balataya etki eden ısıl güç balata merkezinden uzaklığa bağlı olarak değiştiğinden balatanın dış kısımlarına doğru daha büyük sıcaklık değerleri elde edilmektedir.
2. En büyük sıcaklık değerleri balatanın diske temas ettiği yüzeyde meydana gelmektedir.

3. Balatada meydana gelen sıcaklık dağılımı incelenirken sadece meydana gelen en büyük sıcaklık değil aynı zamanda en büyük ve en küçük sıcaklıklar arasındaki farkta dikkate alınmalıdır.

4. Malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı ile özgül ısısı ve yoğunluğu arasında ters orantı olduğu bulunmuştur. Isıl iletkenlik katsayısı küçük, özgül ısı ve yoğunluğu büyük olan balata malzemesinin yüzeyinde oluşan sıcaklık ve sıcaklık farkı değeri maksimum olmaktadır. Isıl iletkenlik katsayısı, özgül ısı ve yoğunluğu büyük olan balata malzemesinin yüzeyinde oluşan sıcaklık ve sıcaklık farkı değeri minimum olmaktadır.

5. Aşınma miktarı arttıkça balata yüzeyinde oluşan sıcaklık değeri ve sıcaklık farkı da artmaktadır ve oluşan deformasyon değişiminin azaldığı görülmektedir.

6. Gerilmelerin en büyük oluştuğu bölgeler balata tutucu yüzeyine oturan köşe kısımlarında ve balatanın orta kanal kısmında yer almaktadır. Isıl gerilmeler açısından en önemli hususlar ısıl genleşme katsayısı ve elastisite modülüdür. Bu nedenle gerilmeleri karşılaştırırken malzemelerin bu özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer taraftan malzemede oluşan en büyük sıcaklık ve sıcaklık farkları da ısıl gerilmelerin meydana gelmesinde etkili olan unsurlardır. Isıl genleşme katsayısı ve elastisite modülü büyük olursa gerilme değeri de büyük olur.

7. Tüm balatalarda başlangıçta gerilmelerde bir miktar azalma olmakta, daha sonra bu gerilmeler artmaya başlamaktadır. Bu azalma periyodu malzemelerin ısıl özelliklerine bağlı olarak kısa veya uzun olmaktadır. Bu durumda gerilmenin zamanla değişiminin ısıl ve mekanik özellikler yanında balata kalınlığı ile de ilgili olduğu söylenebilir.

8. Aşınma miktarının artması ile meydana gelen gerilme miktarları da artmaktadır. Bu durum da balatanın ömrünün doğrusal olarak değil, aşınma miktarının artmasına bağlı olarak hızlanan bir şekilde tükendiğini göstermektedir.

BÖLÜM 8

MATERYAL VE METOT

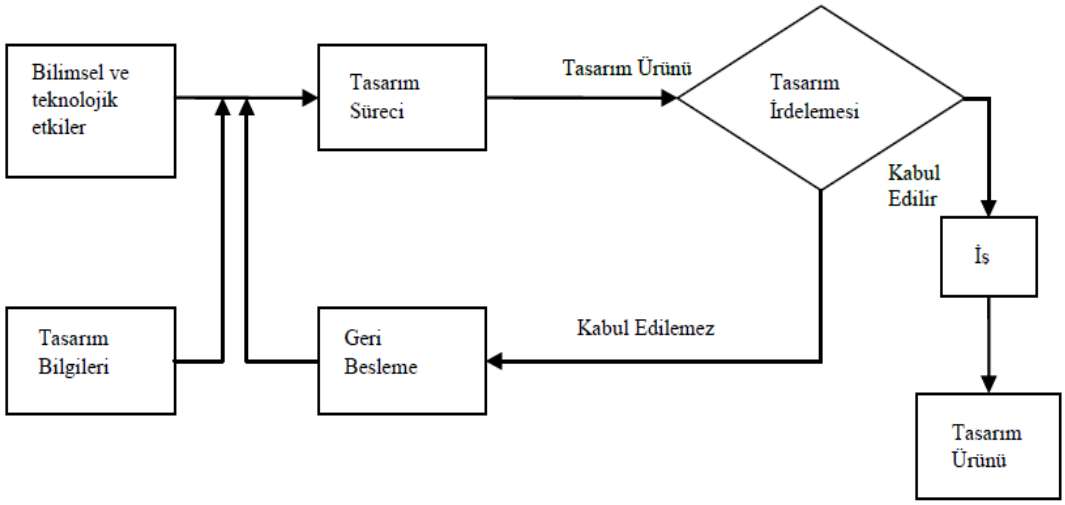
8.1. Mühendislik Tasarımı

Tasarım en genel anlamıyla ihtiyaçtan doğan bir nesnenin zihinde planlanması veya zihinde planlanan bu düşüncenin bir belge üzerine aktarılması olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşımla bakıldığında, öncelikli olarak tasarımın bir ihtiyaçtan kaynaklandığını ve bu ihtiyaca cevap vermek için düşünüldüğü ortaya çıkmaktadır. Yani ortada bir ihtiyaç var ise burada ihtiyacın karşılanması gerekecektir. Bu nedenle ihtiyaç bir problem olarak adlandırılabilir. Bu problemin giderilmesi için ortaya atılacak yaklaşımın da tasarım olarak adlandırılması yanlış olmayacaktır.

Buradan hareketle yukarıda tanımladıklarımız ile birlikte mühendislik yaklaşımlarını da düşünecek olursak, genel bir mühendislik tasarımı tanımı yapmamız zor olmayacaktır. En genel anlamda mühendislik tasarımı, herhangi teknik bir sistemin ödevinin kesin olarak belirtilmesi, uygulanacak fiziksel prensiplerin saptanması, bu prensipleri sağlayan elemanların seçimi, bunların montajı ve parça resimlerinin hazırlanmasına kadar geçen bütün faaliyetleri kapsamaktadır. Buna göre mühendislik tasarımını iki aşamalı bir faaliyet olarak görmek gerekir. Birincisi; ödevin belirlenmesi ve uygulanacak fiziksel prensiplerin saptanması, yani teorik modelin kurulması aşamasıdır. İkincisi ise, fiziksel prensibe göre elemanların seçimi, boyutlandırılması, montaj ve parça resimlerinin hazırlanması, yani teorik modelin gerçekleştirilmesi aşamasıdır. Tasarımın birinci aşaması "Konstrüksiyon Sistematiği" adı verilen bilim dalını, ikinci aşaması ise "Makina Elemanları" bilim dalını ilgilendirmektedir [76].

Tasarımcının başlangıç noktaları, bilimsel ilkeler ve tasarım konusundaki özel bilgi ve verileridir. Bir tasarım sürecinde ortaya çıkan ürünün alternatifleri irdelenir ve gerektiğinde prototip olarak denendikten sonra kabul edilebilirliği tartışılır. Olumlu sonuç yapım sürecini başlatır. Sonuç olumsuz ise, geri besleme mekanizması ile tekrar tasarım sürecine sokulur. Tasarım felsefesi olarak tanımladığımız bu özellikler, Asimow'un verdiği akım şeması Şekil.8.1'de özetlenmiştir [76].

Tasarımcılık yetenek işi olmakla birlikte, sadece yetenekle sınırlı olarak da görülmemelidir. Tasarım mühendisliği kavramıyla birlikte tasarımcıdan beklenen özellikler de değişmiştir. İyi bir tasarım mühendisinden sadece yetenekli olması değil, aynı zamanda iyi bir malzeme, teknik resim, üretim, ekonomi bilgisine sahip olması da beklenmektedir.



Şekil 8. 1 Tasarım Felsefesi [76]

Yine tasarım yapılırken tasarımın şekillendirilmesi belirli kurallar ve istekler doğrultusunda gelişecektir. Sınırlandırılmış bütçe içerisinde en mükemmel tasarımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tabi ki tasarım sadece satın alma açısından değil, kullanım açısından da ekonomik olmalıdır. Yani genel anlamda maliyeti oluşturan üretim, bakım ve işletme maliyetleri gibi etmenler toplamda ekonomik sınırlar içerisinde olmalıdır.

Tasarım ürünü doğru ve bakımlı kullanımla uzun süre kullanılabilmelidir. Bir başka deyişle, sınırları içerisinde kullanılan tasarım ürünün fiziksel ömrü uzun olmalıdır. Ürün mukavemet kuralları dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Yani yükün uygulanma yönü ve biçimi, bağlantılar, kullanılan malzemelerin şekilleri ve üründe gelebilecek gerilmeler düşünüldüğünde tasarlanan malzemenin mukavemet sınırı en yüksek değerde olmalıdır.
Bütün bu çalışmalar yapılırken maliyet de önemli bir kriter olarak dikkate alınmalı ve yapılan çalışma sonucunda elde edilen ürünün kabul edilebilir sınırlar içerisinde bir maliyete sahip olması sağlanmalıdır.

8.2. Tasarım Aşamaları

Tasarım geliştirilirken tasarımcı için gerekli olacak en önemli özelliklerden biri de tasarımcının planlı ve düzenli bir çalışma yapabilmesidir. Yani tüm tasarım aşamaları belirli bir plan ve düzen içerisinde yürütülmelidir. Tasarımı gerektiren ihtiyacı bir problem, tasarımı ise bir ödev olarak tanımladığımıza göre, probleme ait bir algoritmanın geliştirilmesi en doğru yaklaşım olacaktır. Bu algoritma sistematik olarak her problemde aynı olmakla birlikte, karşılaşılacak her probleme ait kendine has içerik ve çözümleri kapsamalıdır.
Tasarım ödevi yerine getirilirken oluşturulacak algoritma şu adımları içermelidir [76].

1. Problemin tanımlanması
2. Problemin analizi
3. Tasarımın sentezi
4. Tasarımın değerlendirilmesi
5. Tasarımın geliştirilmesi

8.2.1. Problemin Tanımlanması

Tasarım olayı bir problem olarak düşünülürse bu problemin çözümü, birçok problemin karşılıklı kıyaslanmasıyla mümkündür. Tasarımın başlangıcında ürünün ödevi, tasarım ve çalışma şekli ile görünümünün karşılıklı uyumu aranmaksızın bu kavramların kendi içindeki çözümleri ortaya konur. Tasarımın her aşamasında bu üç kavram çerçevesinde ürünün sorgulaması yapılarak son çözüme ulaşılır [76].

8.2.2. Problemin Analizi

Problem iyice tanımlandıktan sonra artık işin analizi yapılabilir. Analiz, bir cihazın üretimine başlanırken göz önüne alınan başlangıç koşulları ile hedef satış fiyatı dahil ürün yelpazesinin uygunluk derecesinin baştan sona incelenmesi olayıdır.
Ürünün başlangıç koşullarına göre bilgi toplanır ve tasarımın her aşamasında üründe herhangi bir değişikliğe gerek olup olmadığına karar verilir [76].

8.2.3. Tasarımın Sentezi

Üretim çalışmaları ve yapılan denemeler sonucu tasarım istekleri uygun şekilde karara bağlanır. Tasarım planlamasının bu üçüncü aşamasında gerekli güç, parçaların şekli ve ölçüsü, malzeme gibi özellikler de göz önünde bulundurularak ilk hesaplamalar yapılır. Bu yolla problemin birçok çözümü elde edilir. Ancak iyi bir sonuca ulaşmak için yapılan bir dizi çözümden en uygun olanı seçilir [76].

8.2.4. Tasarımın Değerlendirilmesi

Değerlendirme işlemi, tasarım sentezi ve seçilen tasarımın geliştirilmesi aşamasında yapılmalıdır. Ürün için ortaya atılan her bir çözümde ödev, şekillendirme ve görünüm gereksinimleri bakımından;
a) Cihaz tasarlandığı şekilde üretilirse birincil ödevini yerine getirecek mi?
b) İstenilen hızda çalışacak mı?

c) Gerçek ortamına konulduğunda düzgün çalışacak mı?

Sorgulamaları yapılır ve her defasında başlangıç koşullarına göre ortaya çıkan değişiklikler yeniden değerlendirilir. Bu değerlendirmeler sonucunda bazı çözümler reddedilir. Her çözümün iyi ve kötü yönleri ele alınarak en iyi (optimum) çözüm için; her bir çözüm diğeri ile veya beklenen bir profille kıyaslanarak sonuca gidilir [76].

8.2.5. Tasarımın Geliştirilmesi

Hedeflenen tasarımın birden fazla alternatifi geliştirilir. Bu alternatif çözümler kendini sorgulama ve değerlendirme yöntemleri ile sonuçlandırılır. Tasarımın geliştirilmesi aşamasında üretim tasarımı ve bunun maliyete etkisi büyük önem taşır. Bu nedenle prototip geliştirme aşamasında tespit edilen eksik taraflar ve yapılacak iyileştirme çalışmalarında detay resimlerinden önce bir seri test yapılır. Alınan sonuçlara göre yapılacak her değişiklik için üretim ve maliyet çalışması yapılır. Bu çalışmalar sonucunda geliştirme konusundaki gerekli adımlar atılır [76].

8.3. Tasarımda Bilgi Toplama

Tasarımcıda bulunması gereken en önemli özelliklerden biri de gözlem yapabilme yeteneğidir. Çünkü tasarım aşamasının başlangıcından sonuna kadar tasarımcı gözlem özelliğinden yararlanacaktır. Bilgi toplama aşaması, tasarımcının gözlemlerine dayanarak ihtiyacı belirlemesinden sonra başlar. Yani problem ortaya konulduktan sonraki hemen hemen bütün aşamalarda bilgi toplama işlemi sürdürülür. Bilgi toplama işlemi, literatür tarama, incelemeler ve sorgulama şeklinde gerçekleştirilebilir. Yani problem ortaya konulduktan sonra, tasarıma yönelik literatür taraması gerçekleştirilir. Yine tasarıma yönelik farklı sistem ve çözümler üzerinde inceleme yapılır. Ve ortaya konulacak tasarıma yönelik bir sorgulama yapılarak bu tasarımın ihtiyaca ne kadar cevap vereceği belirlenmeye çalışılır. Bilgi toplamada önemli adımlardan biri de daha önce yapılmış çalışmaların incelenmesidir. Daha önce yapılan bu çalışmaların tasarlanan sistemle aynı olması gerekmez. Eğer benzer bir çalışma daha önce yapılmış ise bu çalışmanın incelenmesi

sonucunda sistemin bütünü hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Daha önce yapılmış çalışmalarda dikkat edilmesi gerek özelliklerden biride, incelenecek sistemin tasarlanan sistemle bire bir uyuşması beklenmemelidir. İncelenecek farklı sistemler içerisinde tasarıma uygun veya tasarımda kullanılması düşünülen mekanizmalar var ise bu mekanizmaların irdelenmesi ve bu mekanizmalardan faydalanılması da bilgi toplama bakımından önemli olacaktır. Tasarımcı aynı zamanda sorgulayan bir yapıya sahip olmalıdır. Tasarımın her aşamasında tasarımın gelişimini sağlayacak ve yenilikler için, kendi tasarımını sürekli sorgulamalıdır. Ancak bu şekildeki bir işlemden sonra tasarım her geçen sürede daha iyi bir seviyeye gelecektir.

8.4. Tasarımın Özelikleri

Tasarımcı, incelemelerinden, gözlemlerinden ve karşılaştığı aksaklıklardan yola çıkarak tasarım yapma işine başlar. Ve tasarımını geliştirirken yapmak istediklerini(düşündüklerini) en iyi şekilde ortaya koyup en iyi sonuca ulaşmaya çalışır. Ancak tasarlama işlemi esnasında karşılaşacağı birçok kısıtlama nedeniyle istediklerini, düşündüklerini her zaman sistemine aktarması mümkün olmayabilir.

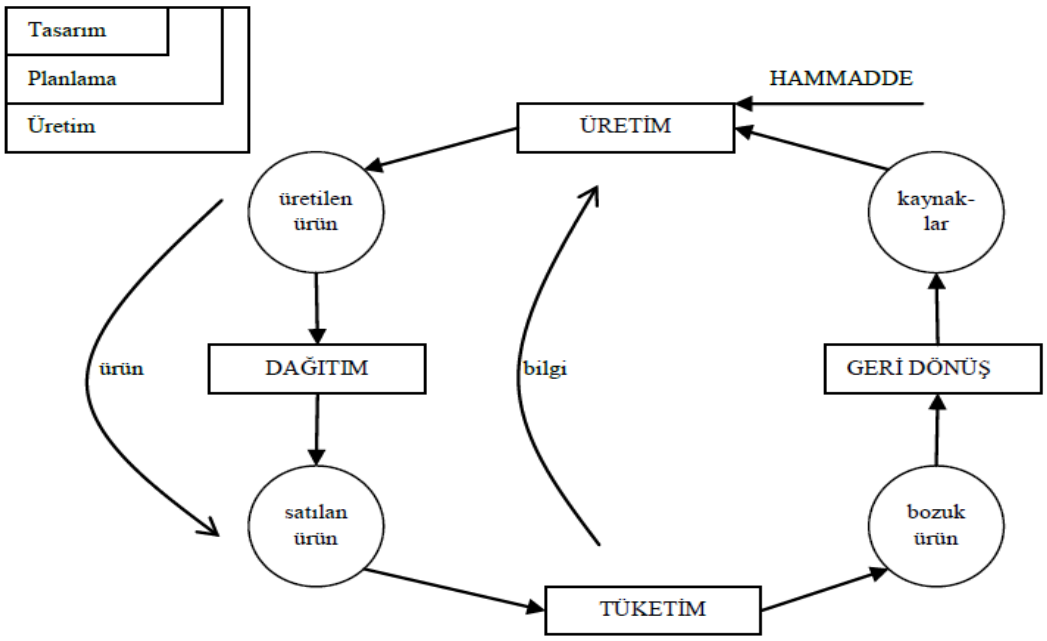
Bunları sınıflandırmak gerekirse tasarım kısıtlamalarını belirleyen bir tablo Şekil.8.1'de yer almaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi tasarımcı, üretici, tüketici ve yasa koyucu açısından belirli kısıtlamalar olacaktır. Bunların bir kısmı esnek-seçime bağlı olabileceği gibi bir kısmı ise değiştirilemez kuralları içerecektir. Bu noktada tasarımcı esnek bölgelerde daha rahat hareket edebilmektedir.

8.5. Ürün Yaşam Döngüsü

Endüstriyel ürünler tasarlanmasından üretilmesine kadar birçok aşamalardan geçerler. Tasarımcı ya da üretici sadece ürünün oluşum aşamasını düşünmekle kalmayıp, aynı zamanda tasarlanan ürünün, üretimden sonra tüketiciye ulaşmasını, tüketicinin kullanımı aşamasında karşılaşabileceği sorunlarını ve çözümlerini, teknik servis koşullarını, ürünün kullanımdan sora atıl hale gelmesiyle bu atıl ürünü tekrar hammadde veya hurda olarak

değerlendirilme aşamalarını da düşünmek ve planlamak durumundadır. Yani tüketiciden çıkan kullanılmaz durumdaki ürün de tasarımcı ya da üretici açısından değerlendirilmesi ve planlanması gereken bir konudur.

Bu bakımdan ürün yaşam döngüsü ile ilgili şöyle bir tanım yapılabilir; Hammaddeden atılana ya da geri dönüp tekrar üretime dahil edilene kadar bir ürünün geçirdiği aşamalara "**Ürün Yaşam Döngüsü**" denir. Ürün yaşam döngüsünü anlatan bir şema Şekil 8.2'de verilmiştir [77]. Özellikle günümüzde çevre kirliliği açısından da düşünüldüğünde geri dönüşümün bir mecburiyet olduğu görülmektedir. Bu nedenle tasarımcı sadece üretmekle değil aynı zamanda bu yaşam döngüsünü planlamakla da yükümlü olmaktadır.



Şekil 8. 2 Ürün Yaşam Döngüsü İçindeki Akış [76]

8.6. Malzeme Seçimi

Mühendislik tasarımında önemli konulardan biri de uygun malzeme seçimidir. Daha önce tasarım tanımında da bahsedildiği gibi, mühendislik tasarımı sadece yetenek işi değil

aynı zamanda bilgi ve tecrübe işidir. Yalnızca şekilsel tasarımlar yeterli olmamaktadır. Oluşturulan çizimlere hayat verecek elemanların iyi belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Oluşturulacak tasarımda malzeme seçimi de önemli bir yer tutmaktadır. Tasarımın boyutundan ağırlığına, dayanıklılığından esnekliğine, fiyata kadar birçok konu malzeme seçimini yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle malzeme seçimi yoğun çalışma ve bilgi gerektirmektedir.

BÖLÜM 9

OTOMOTİV FREN BALATASI TEST CİHAZI

Fren balatasının test cihazının tasarımında Türk standartlarında belirtilen ve SAE-J661 standartlarında belirtilen deney şartlarını sağlamasına ve teknolojinin gerektirdiği veri alma, denetleme ve veri aktarma özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Test cihazı, deneysel çalışmaların verilerinde standartlar doğrultusunda güvenilir sonuçlar alınabilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerek tasarımda ve gerekse üretime geçildikten sonra test cihazında deneysel aşamaların pratik olarak yapılabilmesi için her bir ayrıntı dikkate alınmıştır. Balataların, farklı devir, sıcaklık, basınç vb. gibi faktörlerin etkisinde sürtünme katsayısı incelenebilmektedir. Bu tasarımla sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür.

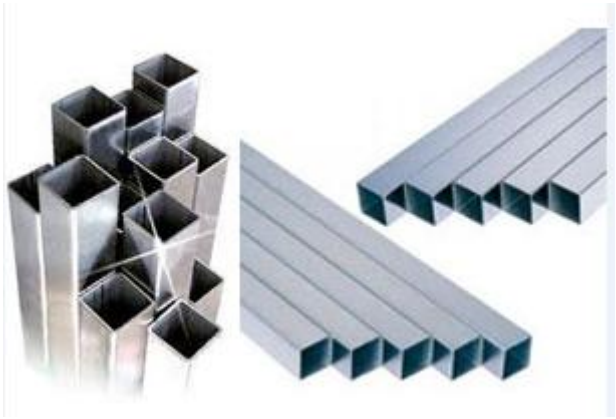
Test cihazının imalatında birinci aşama olarak taşıt üzerindeki fren sisteminin mekanik kısmı oluşturulmaya çalışılmıştır. Mekanik sistemde disk, diskin hareketini sağlamak için elektrik motoru, kaliper, kaliperde fren balatalarının yerleştirileceği balata sacı kullanılmıştır. Söz konusu test cihazının mekanik sistemi test cihazını oluşturan tezgâh üzerine yerleştirilmiştir.

9.1. Otomotiv Fren Balatası Test Cihazının İmalat Aşamaları

Otomobillerde kullanılan fren balatalarının otomatik test sistemi ile test edilebilmesi için gerekli olan mekanik tertibatın hazırlanışı aşağıda anlatılmıştır.

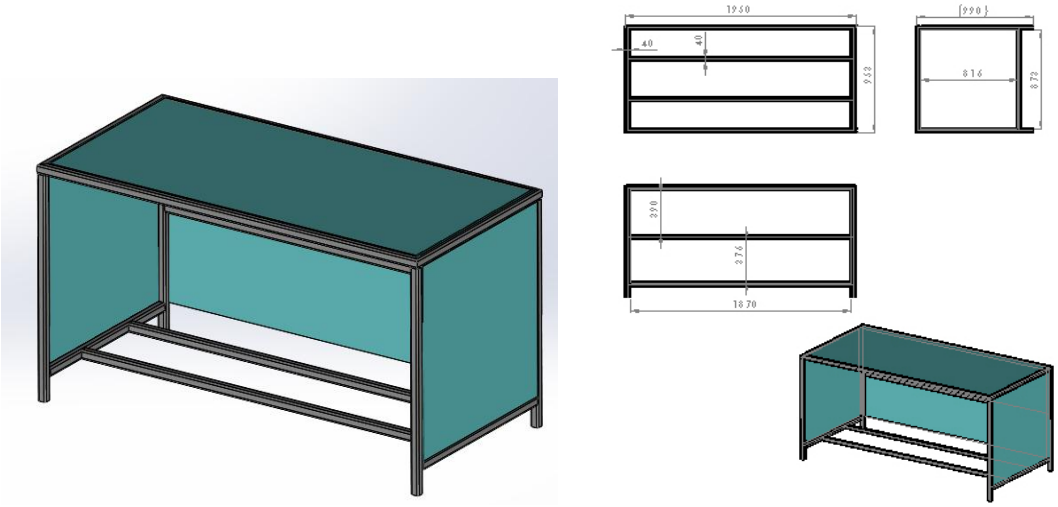
9.1.1. Test Cihazının Tezgâh Tasarımı

Test cihazının mekanik, hidrolik ve elektronik tertibatını üzerinde taşıyacağı masanın imalatı 40x40 kare profiller kullanılarak istenilen ölçülerde yapılmıştır.



Şekil 9. 1 Test Cihazı İçin Kullanılan Profiller

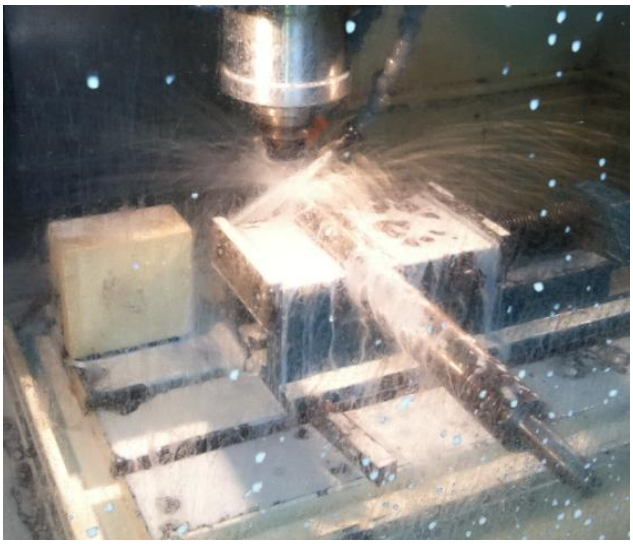
Test cihazının masa tasarımı Solid Works programı kullanılarak yapıldıktan sonra istenilen ölçülerde imalatı hassas bir şekilde yapılmıştır. Test cihazının masa ölçüleri aşağıdaki gibidir. Uzunluk, genişlik, boy 2x1x1 m. olarak imal edilmiştir.



Şekil 9. 2 Test Cihazı Profil Masa Tezgâhı

9.1.2. Fren Aks Milinin Kama Kanalının Açılması

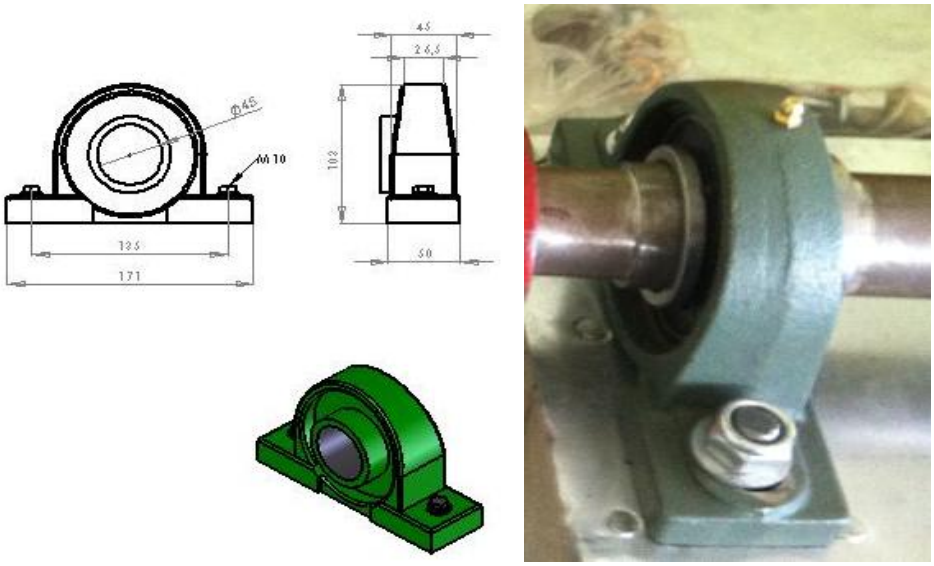
Otomobil diskini motordan çıkan hareket ile döndürebilmek için Çapı 45mm olan aks mili imalatı uygun ölçülerde tasarlanarak yapılmıştır. Aks milinin motor mili ile bağlanabilmesi için uç kısmına kama kanalı açılmıştır. Kırklareli Endüstri meslek lisesinde bulunan Cnc dik işlem merkezinde aks mili kama kanalının açılma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. 3 Aks milinin Cnc Freze Tezgâhında Kama Kanalının Açılması İşlemi

9.1.3 Rulmanlı Yatak Ve Aks Milinin Montajı

UCP210 yataklar için aks miline bağlantı yerleri yapılmıştır.



Şekil 9. 4 UCP 210 Yatak Ve Aks Mili İle Montaj Şekli

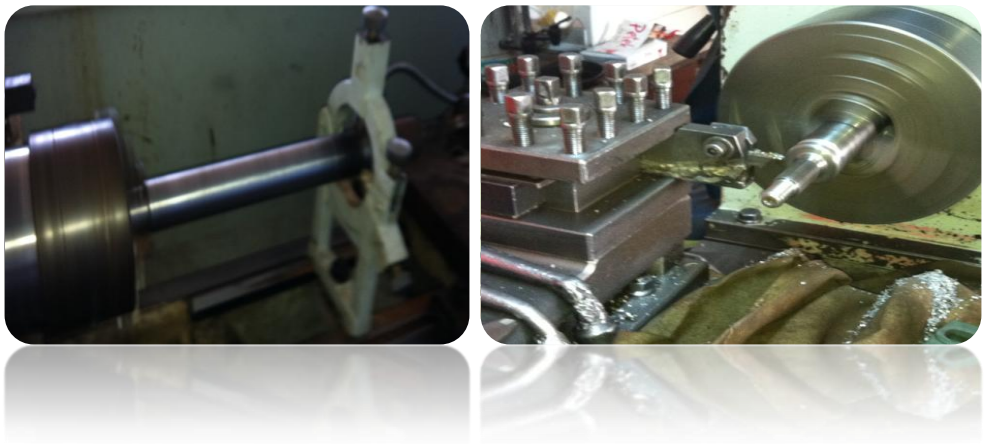
9.1.4 Fren Aks Mili Üzerine Freze Dişlerinin Açılması

Aks milinin disk ile bağlanabilmesi için diskin iç kısmında bulunan freze kanallarına uygun ölçülerde dişler açılmıştır. Şekil 9.5' de görüldüğü gibi aks milinin diş sayısı ve modülü belirlenerek, freze dişlerini freze tezgâhında istenilen ölçülerde boşluksuz olacak şekilde açma işlemi yapılmıştır. Disk içerisinde bulunan bağlantı yerine takılmıştır. Bu işlem gerçekleştiğinde diskin ve milin hareketi komparatör cihazı ile gözlemlenerek diskin salınım yapmadan döndüğü tespit edilmiştir.



Şekil 9. 5 Aks Mili Üzerine Freze Dişlerinin Açılması

Aks mili torna tezgâhına bağlanarak 45 mm ölçüsünde tornalanmıştır.

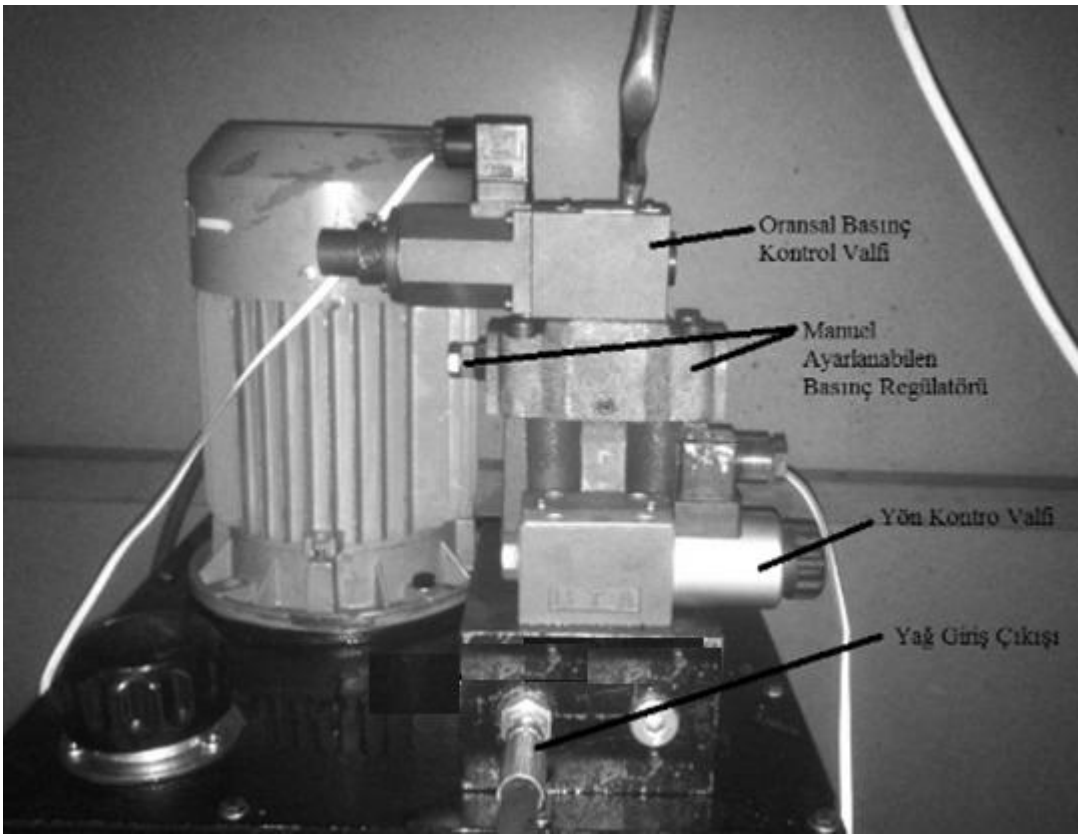


Şekil 9. 6 Aks Milini Torna Tezgâhında İstenilen Ölçülerde İşlenmesi

Test cihazında bulunan aks milinin frenleme esnasında içyapısının daha kararlı denge durumuna gelmesi için tavlama fırının da 900 °C dereceye kadar tavlanması sağlandı ve su verme işlemi yapılarak aks mili sertleştirilmiş oldu. Bu işlemlerin tamamlanmasının ardından aks milinin motor miline kaplin vasıtası ile bağlanıp ucp 210 yatak ile yataklanmış ve diskin içerisine yerleştirilerek çalıştırılmıştır.

9.1.5 Hidrolik Ünitenin Montajı

Mekanik sistemde frenleme sağlanabilmesi için balata üzerinde oluşacak olan pedal kuvvetini oluşturan basınç hidrolik sistemle sağlanmıştır. Hidrolik sistem tezgâhın alt kısmına yerleştirilmiştir. Hidrolik sistem belirli bir hızda dönmekte olan fren diskini 0-1.05 MPa basınç aralığında yavaşlatmaya çalışmaktadır. Diski durdurmak için disk dönme ekseninde kısmi olarak hareket edebilen kaliper frenleme sırasında fren kuvvetinin algılandığı Loadcell'e dayanmaktadır.



Şekil 9. 7 Hidrolik Ünite

Kaliper loadcell'e dayanana kadar disk dönme ekseninde hareket edebilir. Hidrolik sistemin uyguladığı fren kuvveti kaliper üzerinde bulunan iki taraflı fren balatası ile diske iletilir. Durdurma esnasında meydana gelen hidrolik sistem basıncı, sisteme yerleştirilmiş olan on-off ve oransal elektro-hidrolik valfler vasıtasıyla program kontrolü ile sağlanmakta ve basınç göstergesiyle takip edilmektedir.

9.2 Otomotiv Fren Balatası Test cihazının Hareket Kontrolü

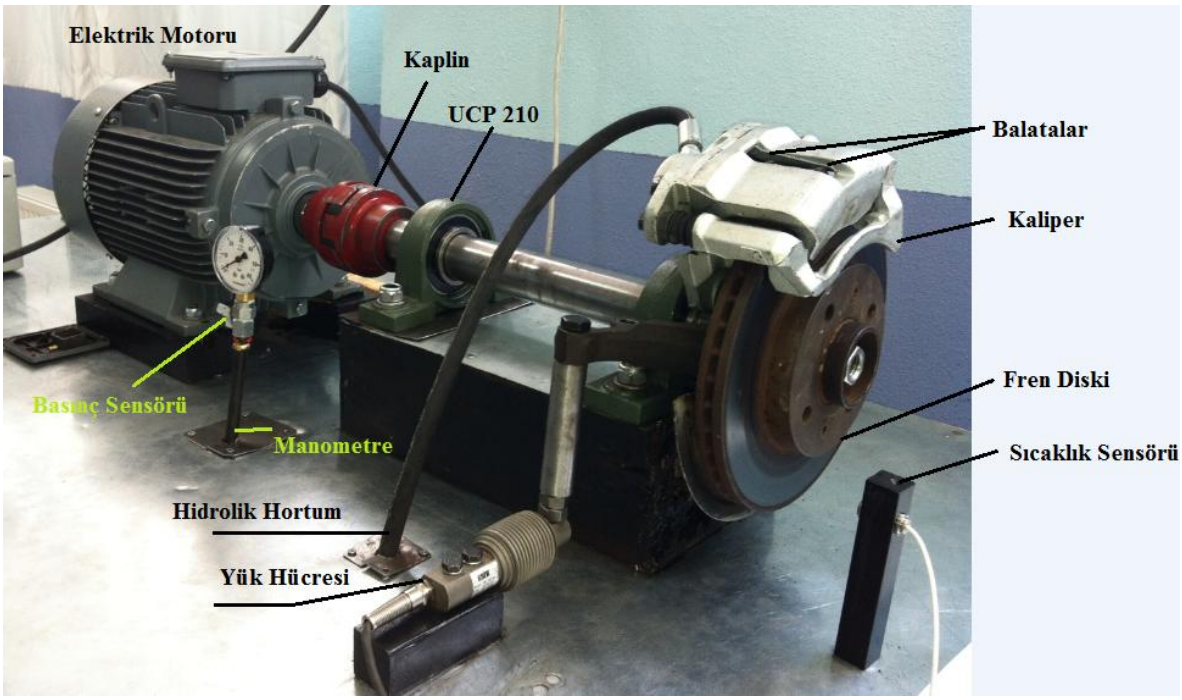
Sistemin imalatı için gerekli işlemler yapıldıktan sonra test cihazı kontrol amaçlı olarak çalıştırılmıştır. Şekil 9.8'de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 7.5 Kw gücünde 1400 dev/dk trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için Ø 45 mm'lik transmisyon miline ihtiyaç duyulmuştur. Bu mil üzerine iki adet UCP 210 yatak yerleştirilerek milin salınımının engellenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu devirler 0–1400 dev/dk arasındadır. Elektrik motorunun devir sayısını bilgisayar programında kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına (μ) sahip olmalıdır. Ancak uygulamada hız ve basıncın artmasıyla sıcaklığın yükselmesi sonucu sürtünme katsayısında düşme görülmektedir.

Şekil 9.8'de Sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısını tespit etmek amacıyla üretilen test cihazının resmi görülmektedir.



Şekil 9. 8 Fren Balatası Test cihazı



Şekil 9. 9 Test Cihazı Mekanik Bağlantı Elemanları

9.3 Otomotiv Fren Balatası Test Cihazında Kullanılan Malzemeler

Otomotiv fren balatası test cihazında kullanılan malzemeler TÜBAP (Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) Birimi tarafından 2012-188 Nolu "Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi" isimli proje ile kaşılanmıştır.

Çizelge 9. 1 Test Cihazı Malzeme Listesi ve Özellikleri

KODU	MALZEMENİN ADI	ADET	ÖZELLİKLERİ
0001	Elektrik Motoru	1	7.5 Kw
0002	Elektrik Motoru Bağlantı civ.	4	M10x25 AKB
0003	Kaplin	2	*
0004	UCP 210 Yatak	2	*
0005	UCP 210 Yatak bağlantı civatası	4	M10X25 AKB
0006	UCP 210 Yatak sabitleyicisi	1	*
0007	50x40 boru	1	Tesisat Borusu
0008	Ana mil	1	*
0009	Mil-disk bağlantısı	1	*
0010	Disk	1	*
0011	Disk kapağı	1	*
0012	Disk kapağı bağ.civ.	4	M12x30 Kare başlı
0013	Disk durdurma kontrol sistemi	1	*
0014	Balata tutucu	1	*
0015	Elektrik panosu	2	50x45x20
0016	İnvertör	1	200-230volt, 6.6 Amper, 50-60 Hz
0017	Loadcell	1	0-10 V. - 100 kg
0018	Loadcell tutucu	1	*
0019	Loadcell bağ.civ.	2	M8X20

0020	Pompa	1	4cc-200 bar
0021	Emiş Flitresi	1	25lt/dk.
0022	Kampana	1	*
0023	Kaplin	1	*
0024	Manuel basınç kontrol	1	GMS 40bar
0025	Valf pleyti	1	*
0026	Yön valfi	1	50lt/dk. 40bar
0027	Manometre	2	0-60 bar aralığı
0028	Yağ deposu	1	40x35x40
0029	Yağ göstergesi	1	*
0030	Havalandırma kapağı	1	*
0031	Oransal basınç kontrol	1	Karta göre basınç kontrol
0032	Oransal basınç kontrol kartı	1	*
0033	Oransal basınç kontrol pleyti	1	*
0034	Rekorlar	9	*
0035	12 mm'lik hidrolik tesisat borusu	*	1mt
0036	Basınca dayanıklı presli hortum	2	30 cm
0037	Motor	1	1.5 Kw

9.4 Test Cihazında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri

9.4.1 Sıcaklık Ölçme Aleti

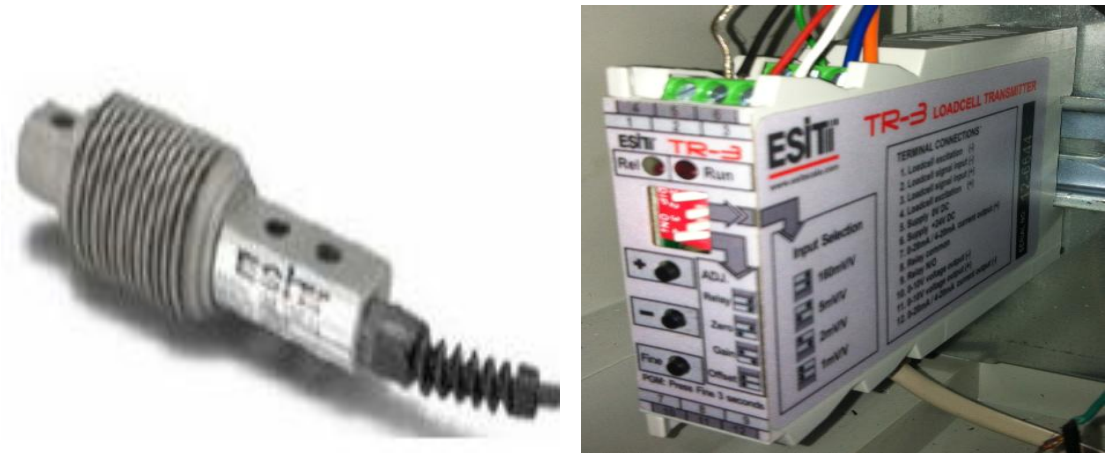
Deneyler sırasında balatanın fren diskine sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artısının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla balatanın diske sürtünme yüzeyinden 10 cm ilerisinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen -40 ile 1030 ºC aralıklarında çalışabilen İnfrared termometre kullanılmıştır. Bu sayede sıcaklık değerleri bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Sıcaklık değerleri RS232 veri aktarma yolu ile bilgisayara aktarılabilmektedir.



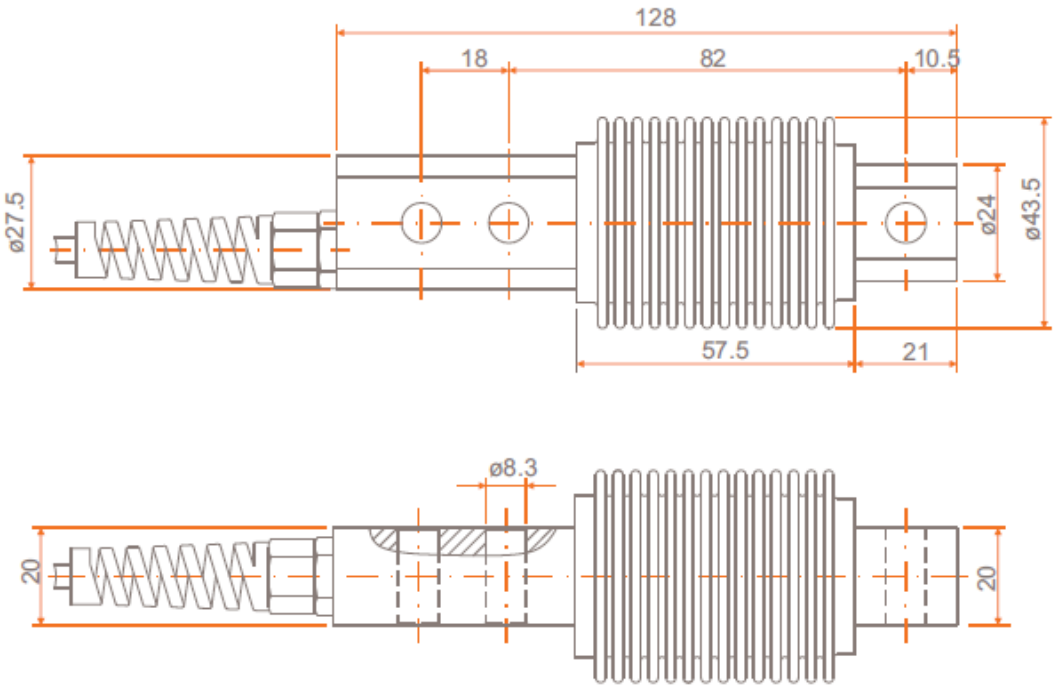
Şekil 9. 10 İnfrared Sıcaklık Ölçüm Cihazı

9.4.2 Loadcell (Yük Hücresi)

Sürtünme kuvveti Fs'i belirlemek için kullanılan yük hücresi (loadcell) elektronikte strain gage olarak adlandırılan manyetoelastik cihazlardır. Yük hücresi, eğme kuvveti prensibi ile çalışan elektronik ağırlık ve kuvvet ölçme uygulamalarında, endüstriyel ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu cihazlar gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. Direnç köprüsü mantığı ile çalışmaktadırlar. Deney setinde kullanılan yük hücresi 100 kg kapasitelidir. Yük hücresinin bir ucu belirli bir noktaya sabitlenir. Diğer ucuna bir noktadan kuvvet uygulandığında oluşan gerilim wheatstone köprüsü üzerinden 0-20 milivolt arasında algılanır ve değer ekrana yansıtılır.



Şekil 9. 11 Loadcell ve Transmitteri

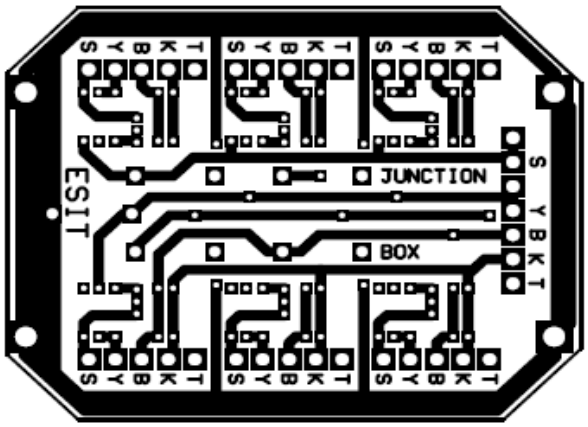


Şekil 9. 12 Loadcell Teknik Resmi

9.4.3 Loadcell'in Bağlantı Kutusuna Ve Cihaza Bağlantı Şekli

Loadcellerin çıkış kablolarında 2 adet besleme ve 2 adet çıkış kablosu, bazı loadcellerde de blendaj (metal kılıf) olmak üzere en az 4 bazen de 5 kablo bulunur. Tüm bu kabloların bağlantı kutusunda bağlanmaları gerekir.

Bağlantı kutusunun içindeki kartlarda loadcelleri bağlamak üzere bulunan çıkışların yanlarında bağlantı yapılması gereken kabloların renklerinin baş harfleri bulunmaktadır.



Şekil 9. 13 Loadcell'de Kullanılan Bağlantı Renkleri

Bağlantı kutusu üzerindeki harfler loadcell'de kullanılan renklerin baş harfleridir. Bağlantı kutusu diğer loadceller markalarında da kullanılabilirler. Bağlantı kutusunu başka marka loadcellerde kullanabilmek için kullanılacak loadcell'in bağlantısı için gerekli çıkış renklerinin öğrenilmesi gerekir.

9.4.3.1 Harf Renk Açıklaması

K Kırmızı - Çıkış -Out

B Beyaz + Çıkış +Out

Y Yeşil + Besleme +Excitation, +Input

S Siyah - Besleme -Excitation, -Input

T Metal Blendaj-metal kılıf Shield

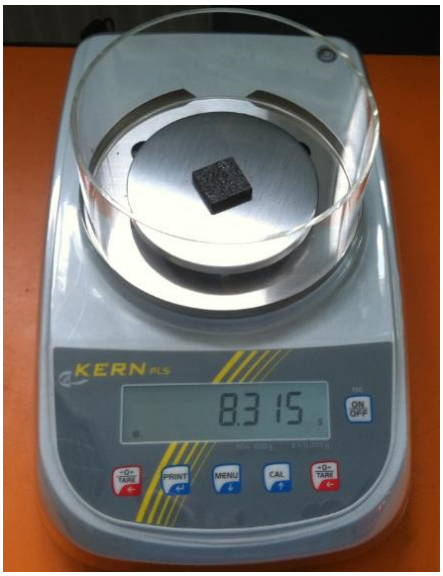
Cihaza bağlantı için kullanılan kablolarda ise 4 ya da 6 canlı uç kullanılmaktadır. 4 uçlu kablo kullanıldığında SENSE olarak adlandırılan kablolar bulunmamakta olduğundan bu uçlar konnektörde besleme uçları ile kısa devre yapılır. 6 uçlu kablo kullanıldığında ise bu uçlar bağlantı kutusu kartı tarafında kısa devre edilir, cihazın arkasındaki konnektöre besleme uçlarından ayrı olarak lehimlenir.

9.4.3.2 Loadcell Amplifikatörü

Test cihazında kullanılan amplifikatör, yük hücresi sinyallerini isleyerek endüstride kullanma olanağı sunan dijital mikroişlemcili bir ağırlık transmitteridir. Tartı, dozaj, seviye kontrol, proses kontrol uygulamalarında PLC ve benzeri endüstriyel kontrol elemanlarına sinyal uyarlayıcı olarak kullanılır. Ayarlanabilir röle çıkısı ile yalnız başına basit tek olaylı açma, kapama, doldurma, boşaltma otomasyonlarını yapabilir. Endüstriyel ortamlar için tasarlanan cihaz, üç yollu galvanik yalıtım özelliği ile üretilmiştir. Bu özelliği sayesinde yük hücresinin kaçak gerilimden bozulma olasılığı azalırken, ortamdaki parazitler cihazın yüksek hassasiyet ve kararlılığını etkilememektedir, Tüm ayarları tuşlarla yapıldığı için çevirmeli ayar elemanlarının oluşturduğu kaymalar önlenmiştir.

9.5 Hassas Terazi

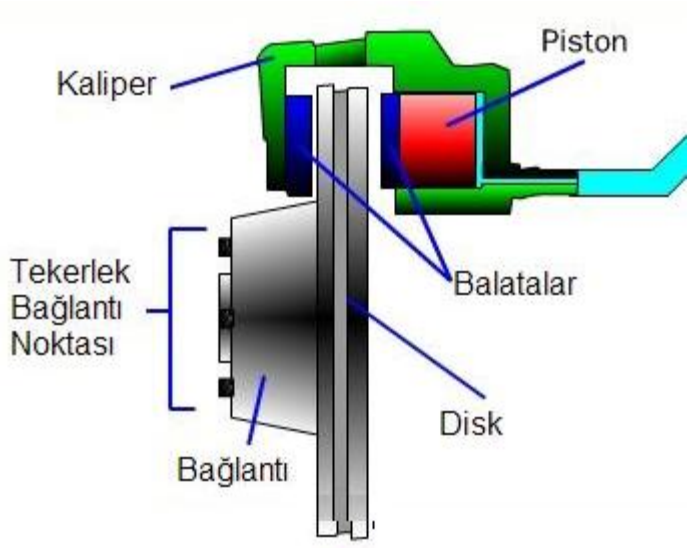
Aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için 0,001gr hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Bu terazi ölçümler sırasında hava akımlarından etkilenmemesi için kefe kısmı sürgülü bir camekân ile kapatılmıştır. Her ölçüm öncesinde terazinin kalibrasyonu yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi ve deney sonrası numuneler tartılarak kütle kaybı, fark değer olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. 14 Hassas Terazi

9.6 Fren Diski ve Balatalar

Fren diskinin mekanik ve ısıl zorlanmalara karşı mukavim olması istenir. Fren sistemlerinde, sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, en kısa zamanda sistemden uzaklaştırılabilmesi için disk malzemenin yüksek ısı iletim katsayısı ile özgül ısıya sahip olması gerekir. Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Genelde disk ve kampana üretiminde perlitik yapılı dökme demir kullanılır. Kullanılan dökme demirde % 3,4 civarında karbon bulunur.



Şekil 9. 15 Fren Diski Görünüşü

9.7 Endüstriyel Tip I/O Kart

Test cihazında yer alan öğelerin bilgisayar ile iletişim kurmak ve bu aygıtları birbirinden ayırt edebilmek için kullandığı Giriş/Çıkış (Input/Output) adreslerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu adreslerin tanımlanacağı kartlar şu şekilde sıralanmaktadır. 4024 Kodlu Kart; 24 Volt DC güç sağlayıcılı, 1.6sn. İçerisinde sistemle iletişim kurabilen 4 terminalli ve analog çıkışlıdır. Sinyal çıkış aralığı ise 4-20 mA'dir. 4117 Kodlu Kart; 24 Volt DC güç sağlayıcılı, 1.6sn. İçerisinde sistemle iletişim kurabilen 2 terminalli ve analog girişlidir. Sinyal giriş aralığı ise 0-10 Volt 'dur. 4561 Kodlu Kart; win.2000/xp (32-64 bit) ile uyumlu bir karttır. 2,0 USB mevcuttur. RS232 bağlantısını RS485'e dönüştürmek için kullanılmaktadır.

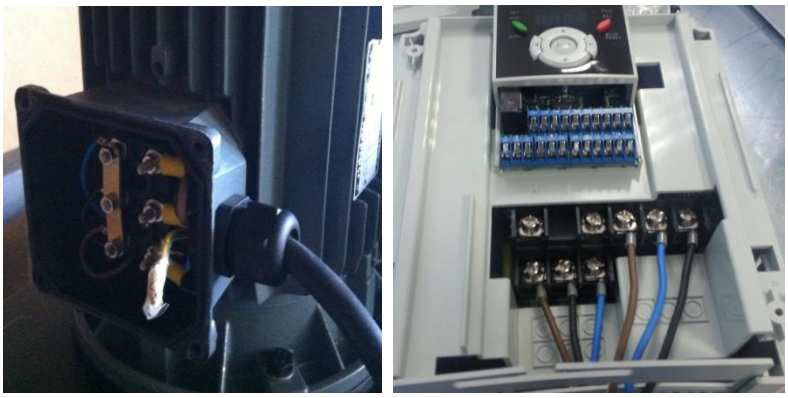


Şekil 9. 16 Endüstriyel Tip IO Kartlar

9.8 İnvertör

Test cihazında İnvertör 7.5 Kw 0-1400 dv/dk aralıklarında çalışmaktadır. İnvertör 200-230volt enerji ile çalışabilmektedir, ayrıca 6,6 Amper akım çekebilmekte ve frekansı 50-60 Hz aralığında değişmektedir. Çalışma sistemi şu şekildedir; elektrik panosundaki pako şartel 1 numaralı konuma getirilerek elektrik motoruna elektrik verilir. İnvertöre enerji girişi yapıldıktan sonra bilgisayar programından invertör ayarlarına girilerek motor devri otomatik veya manuel olarak artırılıp azaltılabilir.

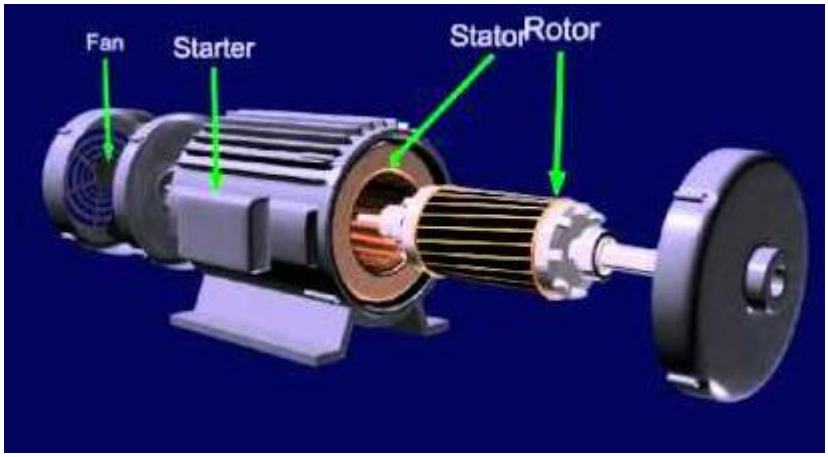
Sistemin bir bütün halde çalışabilmesi ve istenilen devirlere ulaşabilmesi için 7,5 kw elektrik motoru, diskin dönmesini belirli aralıklarda ki hızlara dönüştüren invertör bağlantılarının yapılması sağlanmıştır.



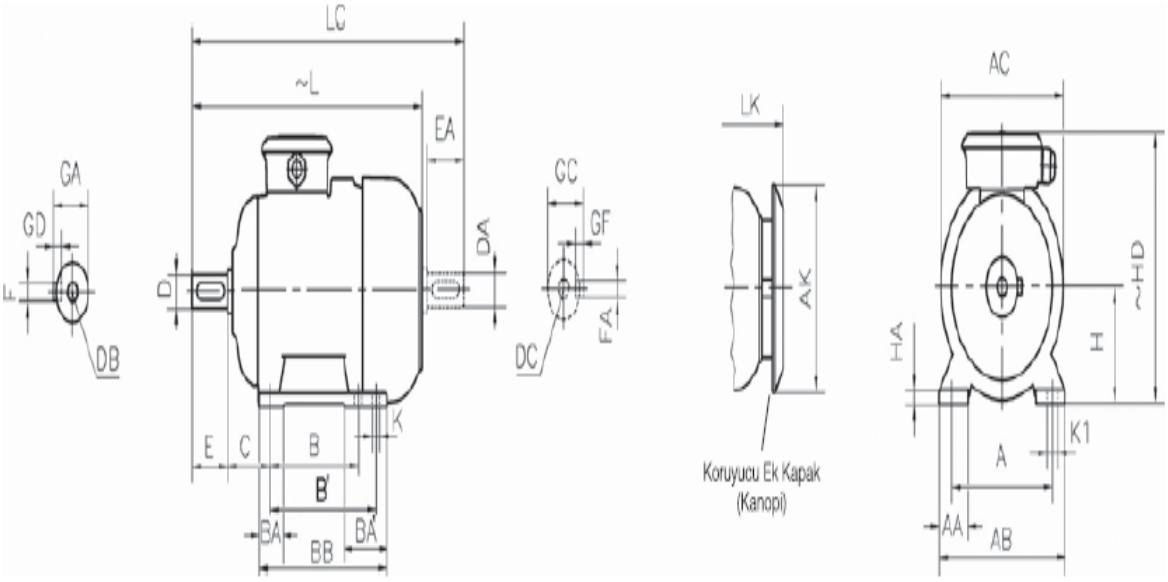
Şekil 9. 17 İnvertör Bağlantısının Yapılışı

9.9 Elektrik Motoru

Test cihazında kullanılan elektrik motoru 7,5 kw 1400 dv/ dk 400 volt, 50 Hz ve IE2 standart teknolojisi ile üretilmiştir. Elektrik motoru Alternatif akım elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çeviren trifaze elektrik motorudur. Elektrik motorunun bağlantıları yapıldıktan sonra invertör ile devir ayarlaması yapılarak fren diski istenilen devir aralıklarında kolaylıkla çalıştırılmıştır.

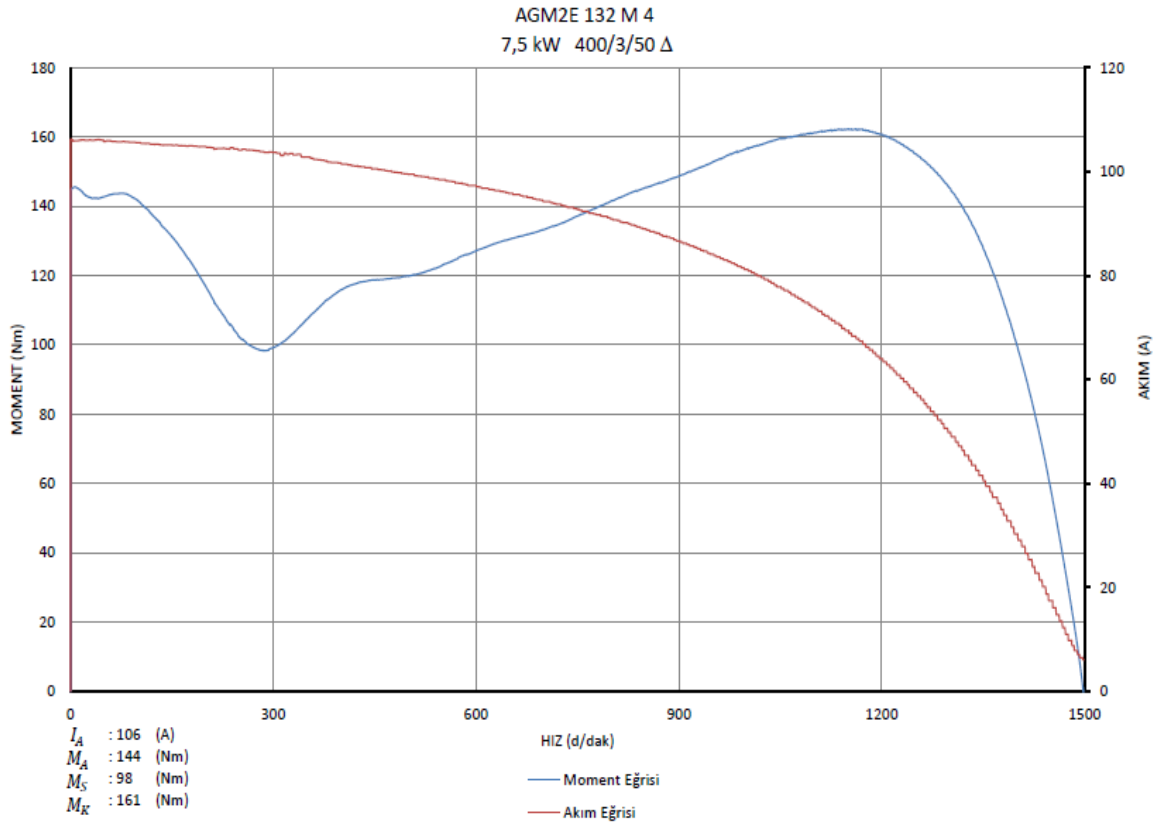


Şekil 9. 18 7,5 Kw 1400 d/dk Elektrik Motoru



Yapı büyüklüğü	Kutup sayısı	Ayaklı motor boyutları : B3, B6, B7, B8 , B15, V5 , V6 yapı biçimlerinde																							
		H	HD ~	HA	A	AA	AB	Ø AC	Ø AK	K	K1	B	B'	BA	BA'	BB	L ~	LC	LK ~	C	E EA	DB[2] DC	Ø D Ø DA	GA GC	FxGD FAxGF
132 S	2-4-6-8	132	300	15	216	49	260	257	239	12	18	140	-	46	-	180	455	546	492	89	80	M12	38	41	10X8
132 M												178	-			218	493	584	530						

Şekil 9. 19 (132 M-4) Elektrik Motoru Teknik Özellikleri



Şekil 9. 20 Elektrik Motoru Moment- Akım eğrisi

Test cihazında kullanılan senkron motor senkron devir sayısında dönen motordur. Devir sayısı yüklü yada yüksüz durumda değişmez hep aynı kalmaktadır. Devir sayısı, uygulanan üç fazlı şebeke geriliminin frekansı ile doğru test cihazının yapıldığı kutup sayısı ile ters orantılıdır. Buna göre senkron motorun devir sayısını şu şekilde ifade edebiliriz.

$$ns = \frac{120.f}{2P}(dev/dk)$$

Ns= Senkron devir (dv/dk)

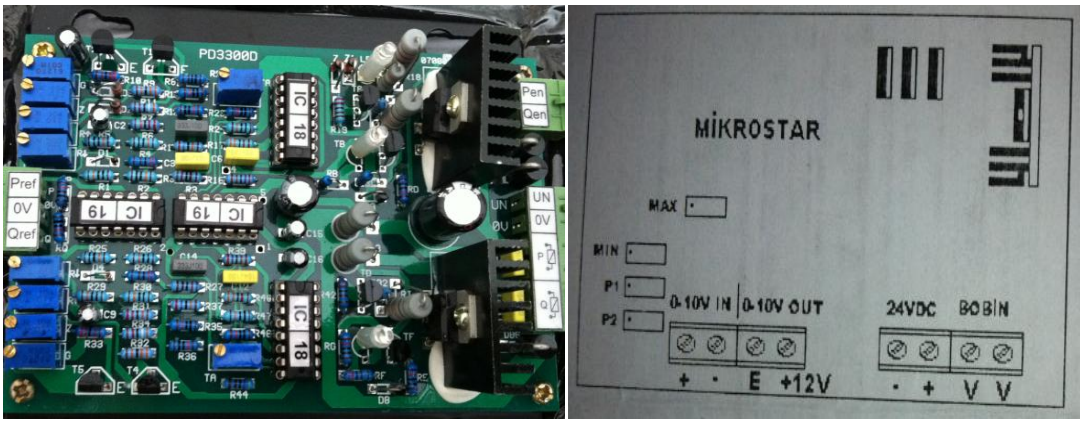
f = frekans (50 hz)

2P = motor kutup sayısı (4 kutuplu)

$$ns = \frac{120.50}{4} = 1500(dev/dk)$$

9.10 Hidrolik Ünite

Elektrik motoruna bağlı olan hidrolik pompa, elektrik motorundan aldığı hareketle depo içerisindeki yağı emerek hidrolik on/off valfe gönderir. On/off valfinden sistemin basınç kontrolü için elektro hidrolik oransal valfe (basınç kontrol valfi) gönderir. On/off valf ve oransal valf kontrol panosundaki elektronik kartlarla kumanda edilmektedir.



Şekil 9. 21 Elektronik Oransal Basınç Kontrol Kartı ve Bağlantı Şeması

Elektronik karta verilen sinyaller 4-20 mA'lik çıkış sağlayarak oransal basınç değerlerini bilgisayara aktarmaktadır. Test cihazı üzerinde bulunan hidrolik ünitenin yerleşim şeması şekil 9.21'de görüldüğü gibidir.

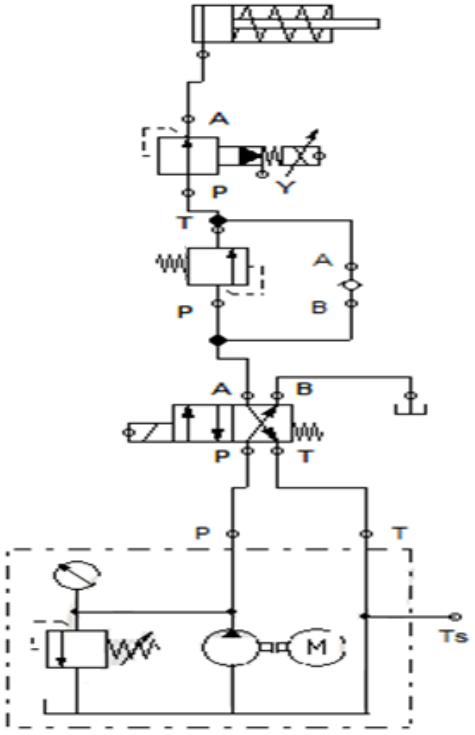
Tanktan çıkan yağın pistonu hareket ettirmesi ve hareket halinde olan fren diskini yavaşlatması valfler sayesinde olmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi yağ basıncının pistona ulaşabilmesi ve tekrar tanka geri dönebilmesi için pistonun ileri hareketini sağlayabilecek oransal basınç kontrol valfi, ve yön kontrol valfi kullanılmıştır. Sistemdeki çek valf yağın tanka dönmesi esnasında kapanarak pistonun geri hareketini de orantısal olarak yapmasını sağlamıştır. Fren diski istenilen devir aralıklarında dönerken hidrolik üniteden gelen basıncın kaç bar olduğunu anlamak için pleytin üzerine basınç sensörü takılmıştır. Basınç sensörü 0-60 bar aralığında çalışma basıncına sahiptir ayrıca 4-20 mA çıkış sinyali üretmektedir. Bu sayede yazılım programında hidrolik ünitenin yapmış olduğu basınç rahatlıkla kaydedilebilmekte ve sonuçlar grafik haline dönüştürülmektedir. Fren balatasının

farklı basınçlardaki performansı da yapılan bu sistem sayesinde deneysel olarak incelenebilmektedir.



(a) (b)

Şekil 9. 22 Oransal Basınç Kontrol Valfi (a) – Yön Kontrol Valfi (b)



Şekil 9. 23 Hidrolik Ünite Devre Şeması

9.11 Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Üretilen numunelerin yoğunlukları, Arşimet terazisi ile belirlenmiştir. Normal terazilerden farklı olarak terazinin alt kefesi saf su içine daldırılarak alt kefesinden de ölçüm alınmaktadır. Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiğinden dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Numune yoğunluk belirlemede aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \tag{9.1}$$

Dh = Numune yoğunluğu (gr/cm³)
Gk = Numune kuru ağırlığı (gr)
Gdh = 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı (gr)
Gds = 48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin saf su doldurulmuş kaptaki Ağırlığı (gr) [78].



Şekil 9. 24 Yoğunluk Ölçüm İşlemi

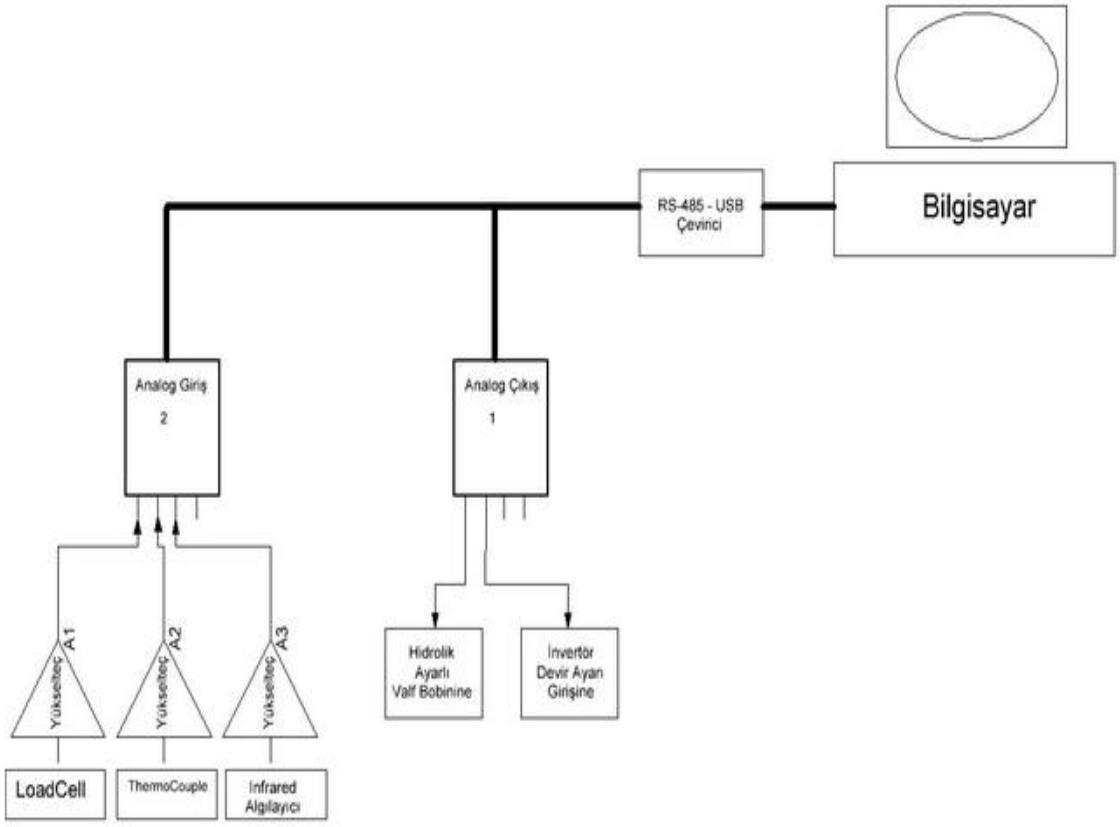
9.12 Test Cihazında Kullanılan Donanımların Giriş-Çıkış Sinyalleri

Test cihazında kullanılan otomatik kontrollü sistem bir veya birden fazla parametrenin ölçülmesi ve bu ölçülen parametrenin istenilen bir değerde, amaca uygun bir şekilde sabit tutulmasını sağlamaktır. Bu nedenle sistemde kullanılacak elektronik malzemelerin elde etmiş olduğu değerleri bilgisayara aktarabilmesi için girişi-çıkış sinyallerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 9.2'de bu sinyaller gösterilmektedir. Deney sisteminde, hız, basınç ve sıcaklık kontrolü, ayarlanabilen değişkenler olarak seçilmiştir. Ölçülen değer set değerinden uzaklaştıkça set değerine yaklaştırılacak şekilde regule edilmektedir. Kapalı bir sistem olan deney düzeneğinde, geri beslemeli kontrol kullanılmaktadır, bu kontrol yöntemi çıkış değişkeni ile istenen set noktasındaki farka göre ayarlanabilen değişkenin

değiştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Giriş-çıkış sinyalleri ile bilgisayar arasındaki bağlantı yazılım sistemi tarafından sağlanmaktadır.

Çizelge 9. 2 Giriş-Çıkış Sinyalleri

Sıra No	**Malzeme Adı**	**Giriş**	**Çıkış**
1	Basınç sensörü	0-60 bar	4-20 mA
2	Loadcell (Yük hücresi)	0-100 kg	0-10 Volt
3	İnfrared (sıcaklık)	0- 400 °C	4-20 mA
4	İnvertör	5.0 Amper 0.1-400 Hz	200-230volt, 6.6 Amper,50-60 Hz
5	Elektrik Motoru	*	400volt 50 Hz 7,5 Kw -1400 dev/dk
6	4024 / 4 Kanal Çıkış modülü	Analog output 4-20 mA	Dijital input
7	4117 /8-Kanal Analog Giriş Modülü	*	Analog İnput 0-10 Volt
8	4561 RS232 /RS 485 Dönüştürücü	*	*



Şekil 9. 25 Elektrik Şeması

9.13 Projede Tasarlanan Test Cihazının, Benzerlerine Göre Farklılıkları

* Test cihazı ile yapılacak testlerden yararlanarak; malzeme seçiminde, teknoloji ve teoride iyileştirme veya ilerleme imkânı sağlanabilecektir,

* Sistemin gerçek zamanlı (real-time) olarak çalışması,

* Ekonomik olarak yeterli hız ve doğruluk oranına ulaşabilmesi,

* Test cihazı ile ölçmek istenilen parametrelerin kontrolü oldukça kolay yapılabilmesiyle birlikte, günümüz şartlarında elektronik ve mekanik malzemelerin hassaslığı sayesinde ulaşmak istediğimiz değerlere doğru bir biçimde ulaşmamız sağlanacaktır,

* Test cihazının bütün parametreleri bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilecek ve bu sayede sonuçların daha güvenilir olması sağlanacak,

* Otomotiv fren balata malzemelerinin durumu hakkında bilgi elde edilebilecek,

* Fren balata malzemesinin frenleme esnasında oluşan sıcaklık dağılımı ve sıcaklık değişimi incelenecek,

* Isı oluşumundan kaynaklanan termoelastik dayanıksızlık, sıcaklık ve frenleme modu altında termal deformasyon değişimi ve balata-disk yüzeyleri arasında basınç dağılımının düzgün olmamasından dolayı balatada oluşan aşınma konuları hakkında detaylı bilgi elde edilebilecektir.

BÖLÜM 10

TEST CİHAZI BİLGİSAYAR YAZILIMI

Test cihazında verilerin bilgisayar ortamında analizinin yapılabilmesi için yazılım programı geliştirilmiştir. Yazılım programında üzerinde çalıştığımız konunun her bir sistemi için ayrı bir detay mevcuttur. Programı delphi yazılım dilinde hazırlanmıştır. Delphi programlama dili, temeli Pascal olan bir programlama dilidir. Özellikle nesne yönelimli programlama anlayışıyla yapılandırılmış Turbo Pascal dilinin görsel sürümü denilebilir. Nesne, sınıf, kalıtım, fonksiyon aşırı yükleme (overloading) gibi temel programlama tekniklerini içeren güçlü ve esnek bir programlama dilidir. Borland firması tarafından geliştirilmiştir. Microsoft Windows platformları üzerinde yazılım geliştirmeye olanak sağlar.

Deney standartlarında SAE-J661 ve TSE 9076'da belirtilen deney sıcaklığının 0-400 ºC arasında olması, basıncın 0-1.05 MPa olması, gibi durumlar yazılım programında belirtilmiştir [79,80]. Bu değişken etkenlerin sürtünme performansına etkilerini belirleyebilmek için farklı deney şartlarının oluşturulması ve hassas sonuçlar alınması gerekmektir. Farklı yüzey basınçlarında yük hücresi ekranından okunan değer ve moment kolu dikkate alınarak program tarafından otomatik olarak belirlenen sürtünme katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\mu = Fs / F \qquad (10.1)$$

$$F = P \times A \qquad (10.2)$$

Burada;

μ = Sürtünme katsayısı

F = Uygulanan kuvvet (kg f)

Fs = Sürtünme kuvveti, Yük hücresinden okunan kuvvet (kg f)

P = Basınç (kg f/mm²)

A= Balata alanı (mm²) [81].

Bu nedenle verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilmesi yapılan işin daha hassas olmasını sağlayacaktır. İstenilen deney şartlarının girilerek deneylerin güvenilir olarak yapılabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı test cihazı için en uygun yazım dilinde program geliştirilmiştir. Şekil 10.3, Şekil 10.4, Şekil 10.5'de yazılım programının ara yüzü gözükmektedir.

10.1 Programın Kullanılışı

Test cihazı ile yazılım programı arasında iletişimi sağlayacak olan port ayarları yapıldıktan sonra Program üst ikonlarından olan Bağlan ikonuna tıklanarak bilgisayar ile test cihazı arasındaki bağlantı yapılmış olur. Bu aşamanın ardından deney şartlarını sağlayacak olan ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Şekil 10.3' de ara yüzü gözükmekte olan programın üzerinde bulunan parametreler büyük bir hassasiyetle oluşturulması gerekmektedir. Programın çalıştırılması için gerekli olan aşamalar;

1.aşama;

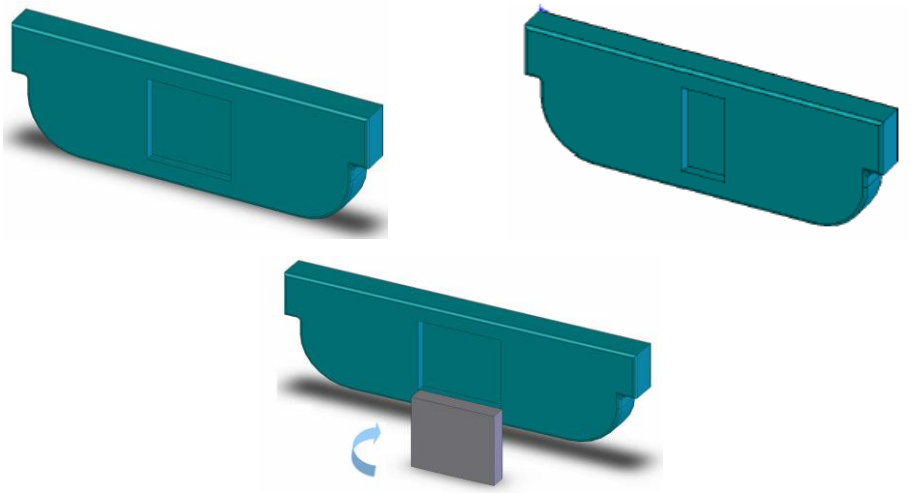
Sistemin düzgün çalışabilmesi için kontrol parametresi süre olarak ayarlanmalıdır. İstenilen süre zarfında test cihazı otomatik olarak çalışacak ve duracaktır. Ayrıca belirtilen süreler içerisinde değerler otomatik olarak bilgisayara kaydedilmektedir.

2.aşama;

Program ara yüzünde bulunan basınç birimi bölmesinde fren balatalarına uygulanan fren basıncı 0-1.05 Mpa (0-10,5 bar) arasında seçilerek aktif basınç elde edilmektedir.

3.aşama;

Deney numunelerinin TSE 555 Standartlarında belirtilen (1")² (25.4mm×25.4mm) yüzey alanı değeri hesaplandıktan sonra, programda alan (mm²) kısmına (1")² balatanın alan değeri yazılarak deneysel çalışma yapılabilir [82]. Fren balataları, balata tutucu saca takılabilmesi için (1")² boyutlarında kesilmişlerdir. Şekil 10.1'de balatanın balata tutucu saca takılışı görülmektedir. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.



Şekil 10. 1 (1")- (½") lik Balata Tutucu Ve Balatanın Takılma İşlemi

4.aşama;

Fren baltalarının deneye başlamadan önce programda bulunan manuel kısmı ile invertör ve basınç değerleri manuel olarak çalıştırılmalıdır. Bu nedenle fren balatalarında sürtünme katsayısı değerleri daha kararlı olacak ve sonuçlar daha hassas çıkacaktır. Test cihazı kaliper içerisine yerleştirilmiş olan fren balatalarının yüzeyi disk ile tam temas etmesi için 5 dk aralığında manuel olarak çalıştırılmalıdır. Şekil 10.5'de görülen program ara yüzünde test cihazı hız ve basınç olarak ayarlanıp çalıştırılabilmektedir. Test cihazı manuel olarak çalıştırıldıktan sonra STOP ikonuna basılarak durdurulmalıdır. Bu aşamadan sonra otomatik olarak kontrole geçilebilir.

5.aşama;

Fren balataları manuel olarak çalıştırılıp test için hazır hale geldikten sonra program ara yüzü üzerinde bulunan deney numunesinin süresi, basınç aralığı, ve devir sayısı standartlarda belirtilen aralıklarında doldurulmalıdır. Bu değerler doğru bir şekilde girildikten sonra START butonuna bas

ılarak sistem otomatik olarak çalıştırılmış olur.

6.aşama;

Deney numunelerinin test için hazır hale getirilip sistem otomatik olarak çalıştırılmasıyla birlikte elde edilen değerlerin bilgisayara kayıt edilmesi işlemide başlamış olur. Bu işlem için EĞRİLER butonu üzerine tıklanarak şekil 10.4'te görüldüğü gibi sürtünme katsayısının zamana karşı ve sıcaklığa karşı durumları incelemiş olur. Fren balatalarının hangi sıcaklıklarda ve sürede değişim gösterdiği programda yer alan grafik özelliği sayesinde tespit edilmektedir. Deneysel çalışma belirtilen sürede tamamlandığında kendiliğinden duracaktır. Aynı zamanda grafikler ve veri akışıda belirlenen süre içerisinde durmaktadır. Sistemde meydana gelecek herhangi kazayı önlemek için acil stop butonuna basılarak sistemin elektrik bağlantısı kesilmiş olur.

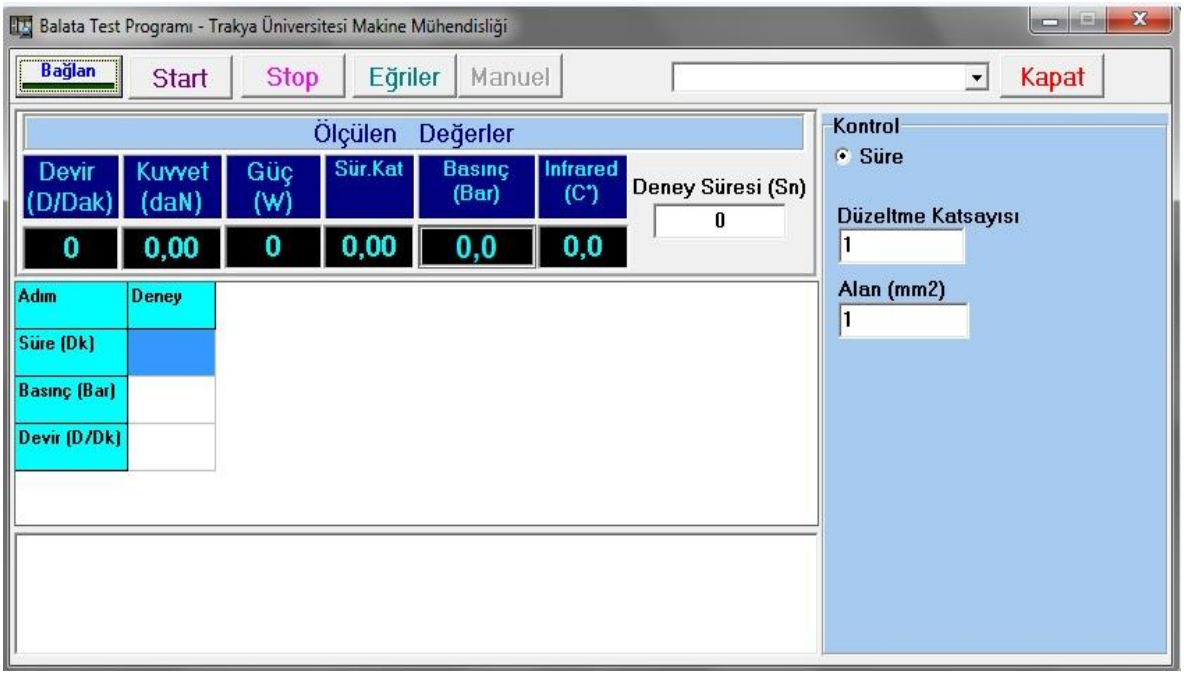
7.aşama;

Bu aşamada test cihazında yapılan deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Sonuçların incelenerek fren balatalarının karakteristik özellikleri yapılan deneysel çalışmalar neticesinde ortaya çıkartılabilir. Yapılan deneyler aşağıdaki şekil 10.2'de tabloda yer alan deney formuna işlenerek deney raporu çıkartılmış olunur.

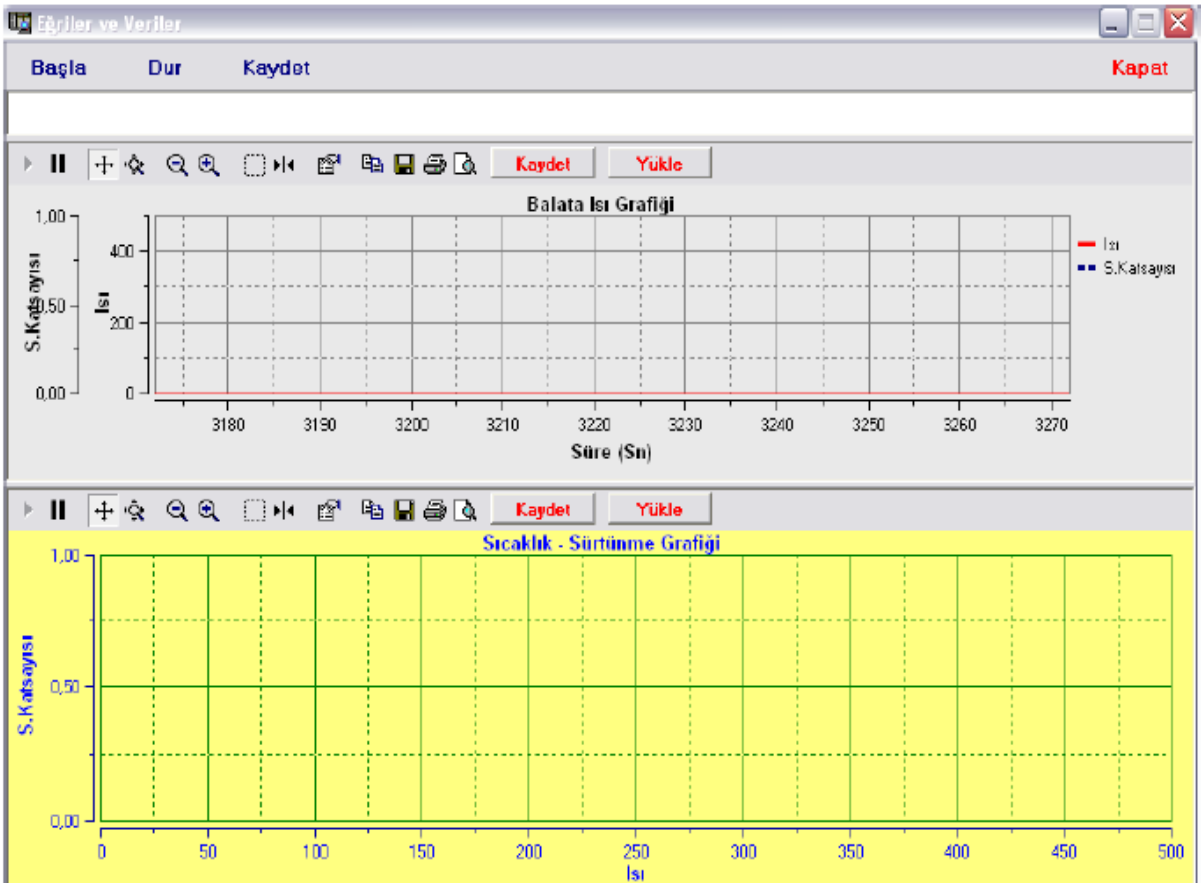
Çalışan kişi	Tarih	Numune numarası	Çalışma Basıncı Mpa	Elde edilen veriler	Saat	Çalışma Süresi (dak)	Ç.Ö. Num. Kal. (mm)	Ç. Sonu Numune Kalınlığı	Devir Sayısı dev/dak	Hız m/sn	Ç önce Ağırlık gr	Ç sonu ağırlık gr
M. TİMUR	12.12.13	Beşer	1050	B.Deney 1	10.40	15	8	6.55	616	6	5.768	

Şekil 10. 2 Deney Numuneleri İçin Örnek Rapor

10.2. Programın Ara yüzü



Şekil 10. 3 Program Ara Yüzü



Şekil 10. 4 Fren Balatası Test Cihazı Otomatik Kontrol Paneli

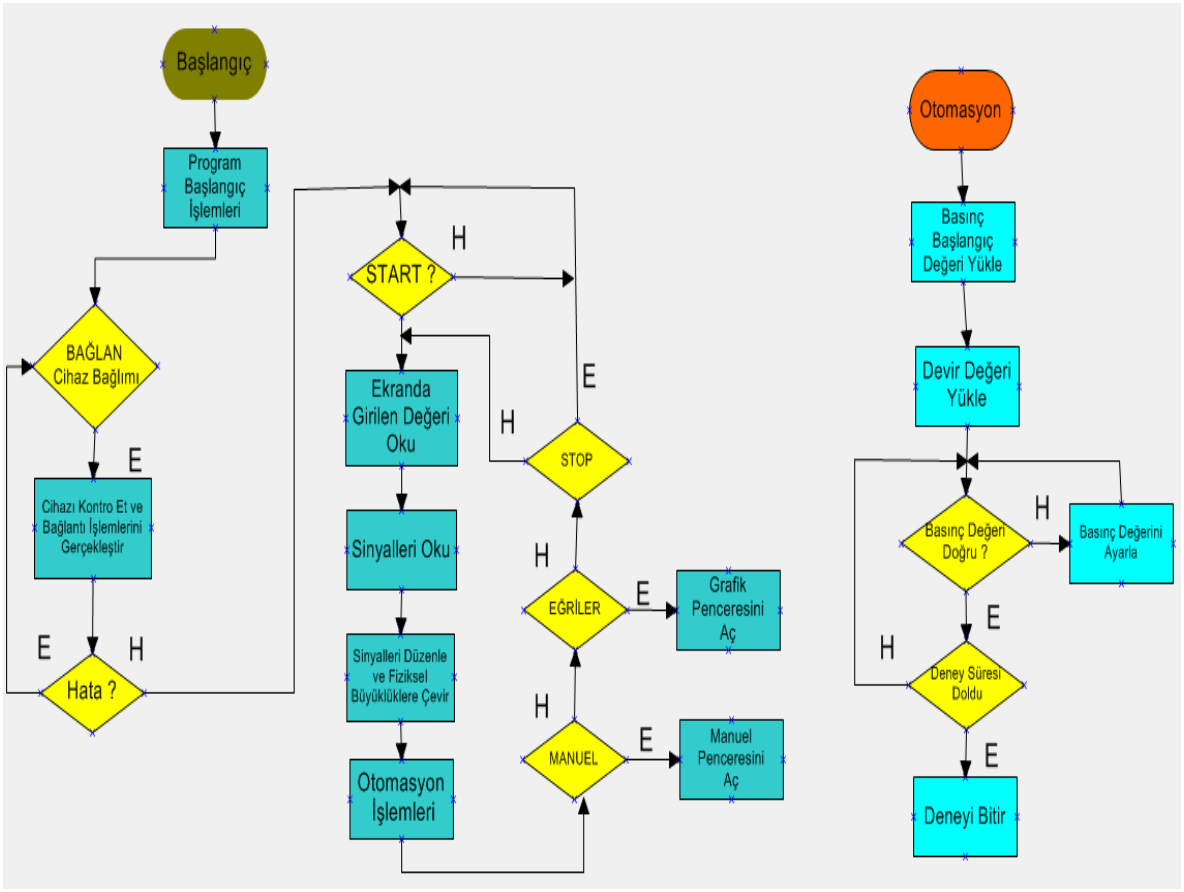
Deney seti tüm deney işlemlerini otomatik olarak yapmaktadır. Ayrıca fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan manuel kısmına girilip devir ve basınç el ile ayarlanarak deneyler manüel olarak yapılabilmektedir.



Şekil 10. 5 Fren Balatası Test Cihazı Manuel Kontrol Paneli

10.3 Yazılımın Blok Diyagramı

Karmaşık sistemler, birçok alt sistemin birbirine uygun şekilde bağlanmasından oluşur. Blok diyagramları, her bir alt sistem arasındaki karşılıklı bağlantıyı göstermek için kullanılır. Blok diyagramlarında her bir alt sistemin fonksiyonu ve sinyallerin akışı grafiksel olarak gösterilir. Blok diyagramları, bir sistemin yapısını ve iç bağlantılarını basitçe ifade eder ve transfer fonksiyonları ile birlikte, sistemdeki neden-sonuç ilişkisini açıklamak için kullanılır. Test cihazının bilgisayar ile kontrolünü sağlayacak yazılım programı için geliştirilmiş olan blok diyagramı şekil 10.6'da görülmektedir.



Şekil 10. 6 Blok Diyagramı

BÖLÜM 11

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

11.1 Fren Balataları İçin Türk Standartlarında Belirlenen Deney Şartları

Mart 1992 tarihli Türk Standartları TS 555' te sürtünme katsayısı, "Disk veya kampana ile disk fren veya kampana fren arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır" şeklinde ifade edilmiştir (TS 555,1992). Nisan 1991 tarihli TS 9076"da, fren balataları için sürtünme katsayısının belirlemesinde uygulanacak deney şartları açıklanmıştır. Bunlar;

Sıcaklık Grubu A: 350 °C"ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 1050 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi,

Sıcaklık Grubu B: 400 °C"ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 3000 kPa basınçta yapılan aşınma deneyi, deney programları belirtilmiştir.

Alıştırma aşamasında 700 kPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200 °C"de yüzey teması en az % 95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmalıdır. Aralıklı olarak 100 °C"de 10 saniye yüklü, 20 saniye yüksüz olmak üzere 1050 kPa basınç altında yapılmalıdır veya 700 kPa basınç altında 100 °C sıcaklıkta sürtünme katsayısı sabitleşinceye ve yüzey teması en az %95 oluncaya kadar 310 1/d döndürülür [83]. Deney cihazında sürtünme yüzeyi gerekli taslama, zımparalama işlemleri yapıldıktan sonra tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile zımparalanır ve tozlar kuru hava veya lif bırakmayan eşdeğeri malzeme ile temizlenir.

Soğuk sürtünme katsayısı: Aşınma deneyi esnasında sıcaklık grubu A şartlarında 100 °C,150 °C, 200 °C"de ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı: Sıcaklık grubu A şartlarında 300–350 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında, sıcaklık grubu B şartlarında 350–400 °C sıcaklıkta yapılan

aşınma deneyi esnasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır [83].

Asbest ihtiva etmeyen kompozit malzemeli demir yolu taşıtları fren pabucuna yönelik olarak düzenlenmiş olan Nisan 1998 tarihli TS 12464'te kompozit malzemeli fren pabucu özellikleri olarak; '"Pabuçların kullanımı esnasında çıkan tozlar, aşınma parçacıkları veya gazlar sağlık açısından olumsuz etki yaptığından, pabuçlar asbest, kursun, çinko gibi sağlığa zararlı maddeler ihtiva etmemelidir" ifadesi yer almaktadır [84].

TS 555'te aksi belirtilmedikçe özgül aşınma deneyi mecburi değildir ifadesi yer almaktadır. Söz konusu standardın ilgili maddelerinde bahsedilen test cihazının kampanalı olması, bu çalışmada numune balataların deneylerinin yapılabilmesi için üretimi yapılan deney düzeneğinde ise aşındırıcı yüzey olarak disk kullanılmış olmasından dolayı standartta istenilen tüm şartlar sağlanamadığından özgül aşınma miktarını belirlemede bu çalışmada yapılan aşınma deneyinin değerleri dikkate alınmıştır. TS 555'te belirtilmiş olan kütle metodu seçilmiş ve aşağıdaki hesaplama yöntemi kullanılarak kütlesel fark metodu ve Aşınma direnci değerleri belirlenmiştir.

Literatür çalışmalarında da anlatıldığı gibi kütlesel fark metoduna göre aşağıda verilen bağıntı kullanılmaktadır.

11.2 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması

Deney numunelerinin temini için internet ortamında firmalara ait bilgilere ulaşılıp mail ile veya telefon ile görüşmeler yapılmıştır. İmalatını yapmış olduğumuz test cihazında test edilmek amacıyla numune balata temin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalarda balata üreten firma kendi üretimini yaptıkları otomobil fren balatalarından değişik numuneler göndererek test cihazında deneysel amaçla kullanmamıza imkân tanımışlardır. Test cihazında fren balatasının istenilen sonuçlar verip vermediğini tespit etmek amacıyla chase machine tarafından test edilmiş fren balatası test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Test cihazında balatanın takılabilmesi için (1")² (25.4mm×25.4mm) ve (½")² yüzey alanı 3mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır.

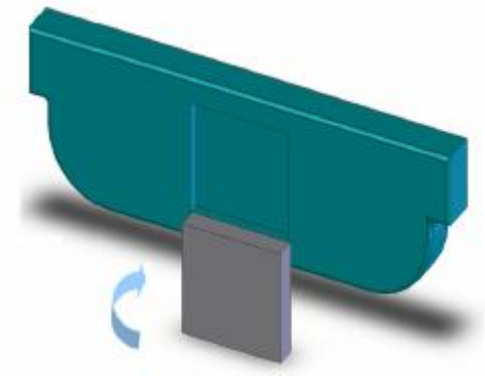


(a) (b)

Şekil 11. 1 Fren Balatası Test Cihazında Kullanılan (a) 1" ve (b) ½" Fren Pabuçları

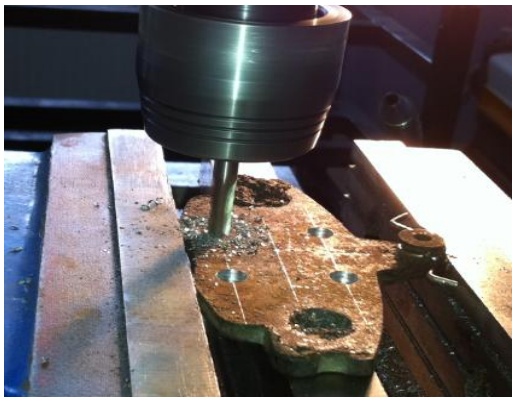
Balataların, balata tutucu saca takılabilmesi için 1" (25.4mm) boyutlarında kesilmişlerdir. TS 9076'da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4x25.4 mm, kalınlık 6 mm eşit

kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır [80]. Şekil 11.2'de balatanın balata tutucu saca takılışı görülmektedir. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 3 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.



Şekil 11. 2 Balatanın Takılma İşlemi

Balata tutucu sacın istenilen ölçülerde işlenmesi ve üzerinden talaş kaldırılması işlemi Şekil 11.3'de görüldüğü gibi freze tezgâhında yapılmaktadır. Freze tezgâhında balata tutucu sac sıkı bir şekilde mengeneye oturtularak parmak freze yardımı ile 3mm derinliğinde işlenmiştir.



Şekil 11. 3 Balata Sacının Freze Tezgâhında İşlenmesi

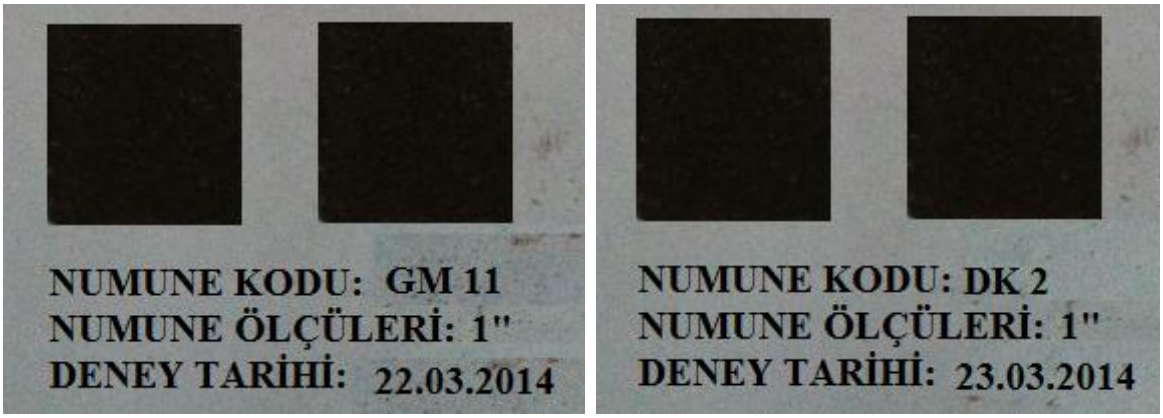
11.3 Deney Şartları

Deney parçası sürekli olarak 0.4 MPa basınçta 310 dev/dk'da sıcaklık 100°C'yi aşmayacak şekilde döndürülür. Böylece balata yüzeyi ile disk yüzeyinin birbirine tam sürtünmesi sağlanarak balata deneye hazır hale gelmiş olur. Her deneyden önce disk yüzeyi bez veya kağıt 320 numara zımpara ile parlatılır. Disk üzerindeki tozlar kuru hava veya lif bırakmayan bezle temizlenir. Test cihazının temizlenmesi için en çok deneye maruz kalan kolayca sökülebilen kısımlar çıkarılarak uygun temizleme malzemeleriyle temizlenmesi sağlanır. Balata tutucu saclar disk durdurma kontrol sistemlerinden çıkartılarak temizlenir. Bu sayede balatanın yuvaya oturması daha güvenli olur. Sürekli frenleme şartlarında 0.7 MPa basınç altında başlangıç sıcaklığı en az 40°C olmak üzere deney başlar. Balata sıcaklığının, öncelikle sürtünmeden doğan kendi ısısıyla 400°C'lere kadar çıkması beklenir. Bu sırada infrared termometre her saniyede disk sürtünme yüzeyinden sıcaklığı kaydetmektedir. Maksimum sıcaklık 400°C'ye ulaşınca sıcaklık etkisiyle sürtünme katsayısındaki değişim belirleme işlemi tamamlanmış olur. Böylece belirlenen değerlerin aritmetik ortalamaları alınır. Ortalama değerlerin bulunmasıyla Türk standartlarında ifade edilen sürtünme katsayısı harf grubu belirlenir. Bu deneysel çalışmalar yürütülürken deney raporları düzenlenir. Deney raporlarında en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

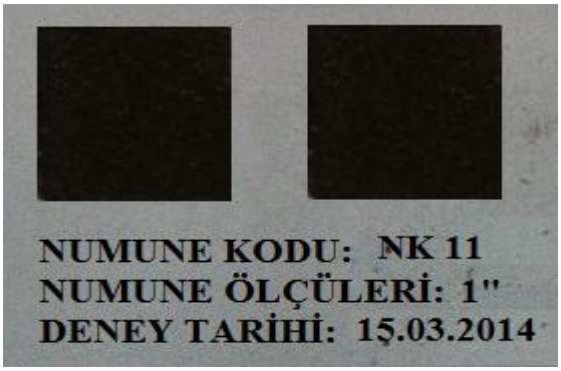
- Deneyin yapıldığı laboratuarın adı, deneyi yapanın veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri,
- Deney tarihi,
- Numunenin tanıtılması
- Deneyde uygulanan standartların numaraları,
- Sonuçların gösterilmesi,
- Deney sonuçlarını değiştirebilecek faktörlerin mahzurlarını gidermek üzere alınan tedbirler,
- Uygulanan deney metotlarında belirtilmeyen veya mecburi görülmeyen; ancak deneyde yer almış olan işlemler,
- Raporun tarihi ve numarası

11.4 Deneysel Çalışmalar

Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TSE 9076"da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4x25.4 mm, kalınlık 6 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır. Bu ifadelere uygun olarak Şekil 11.4'de görüldüğü gibi numuneler hazırlanmıştır.



(a) (b)



(c)

Şekil 11. 4 Üç Farklı Deney Numunesinin Hazırlanışı

Sürtünme katsayısı test cihazında toplam 3 değişik sürtünme malzemesi kullanılmıştır.

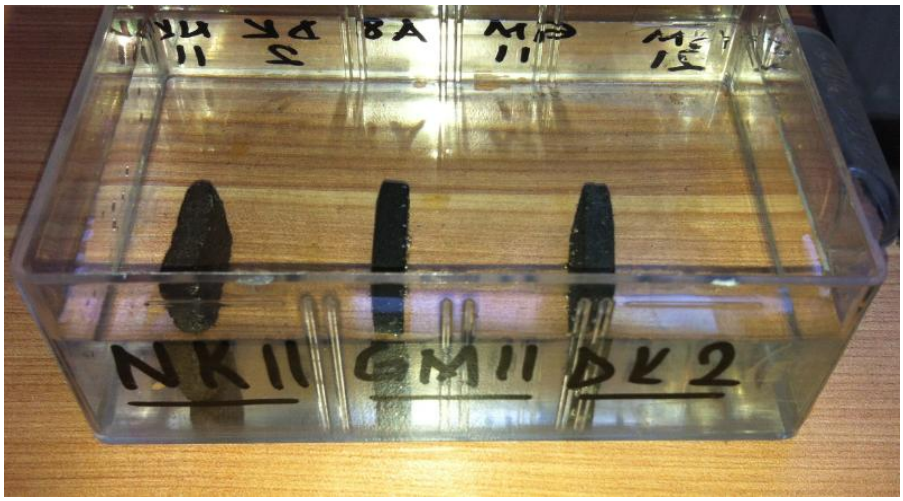
Farklı markaların sürtünme malzemelerinin frenleme karakteristiği, aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

- Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.
- Bütün numuneler 0.4 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır.
- Sıcaklık grubu A için yapılan deneylerde 0-1.05 MPa basınç altında 400 °C sıcaklığa kadar sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimini belirlenmiştir.
- Daha sonra her bir balata numunesinden alınan değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak söz konusu sıcaklıklarda sürtünme katsayısı belirlenmiştir [22].

Farklı markaların fren balatalarının aşınma özellikleri, aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

(1")² olarak belirlenen deney numunelerinin aşıma dirençlerinin belirlenebilmesi için (3.2) ve (3.3)'de verilen formüllere göre işlemler yapılmalıdır,

(9.1) nolu formülde verilen yoğunluk hesaplama yöntemine göre numuneler şekil 11.5'de görüldüğü gibi 48 saat su içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 11. 5 Su İçerisinde Bekletilen Numuneler

Suda bekletme işlemi tamamlandıktan sonra şekil 9.24'de gösterilen yoğunluk ölçme işlemi yapılarak balataların yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunluk belirleme işleminin ardından kütlesel fark metoduna göre hesaplamalar yapılarak her bir numunenin aşınma direnci belirlenmiş olur.

Deney numunelerinin test cihazında istenilen şartlarda sürtünme katsayısı özelliklerini taşıyıp taşımadığını SAE-J661 chase makine tarafından elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

11.5 Deney Sonuçları

Bu çalışmada fren balatasının sürtünme katsayısının, aşınma direncinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin belirlenebildiği yeni tasarlanan ve imalatı yapılan otomatik kontrollü test cihazı kullanılmıştır. Şekil 9.8'de görülen test cihazında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak için sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimleri sabit aralıklı salınım periyoduna girene kadar deneyler yapılmıştır.

Deneylerde otomobil fren balatası üreten firmadan temin edilen üç farklı fren balatası kullanılmıştır. Deneyler 0-1.05 MPa basınç aralığında yapılmıştır. Deneyler esnasında

grafiklerde de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı önce sıcaklık artışı ile yükselmekte sonra belirli miktarda düşüş göstererek birbirine yakın değerler içeren sabit aralıklı salınım periyoduna girmektedir. Bu fren balatalarının sürtünme katsayılarına bağlı olarak sıcaklık artışı daha hızlı veya daha yavaş artış göstermektedir. Yine balataların sürtünme yüzey sıcaklığı 300°C civarına kadar çıkmakta ve sıcaklık değişiminde salınım başlamaktadır. Sürtünme katsayısının TS555'te belirtilen 400°C'ye kadar olan değişimleri izleme olanağı sağlamaktadır.

Deneylerde sürtünme katsayısı ve sürtünme yüzey sıcaklığı, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliklerine ve bu malzemelerin birbirleriyle etkileşimlerine bağlı olarak çok farklı özellikler gösterir. Testin başlangıç safhası, sürtünme katsayısının değişiminde önemli rol oynar. Test başladığı andan itibaren kontak alanındaki artışla birlikte hem sürtünme katsayısı artar hem de yüzeyde sürtünme tabakası gelişir. Bu yüzden testin başlangıç safhasında, başlama anına göre sürtünme katsayısında hızlı bir artış görülür [85].

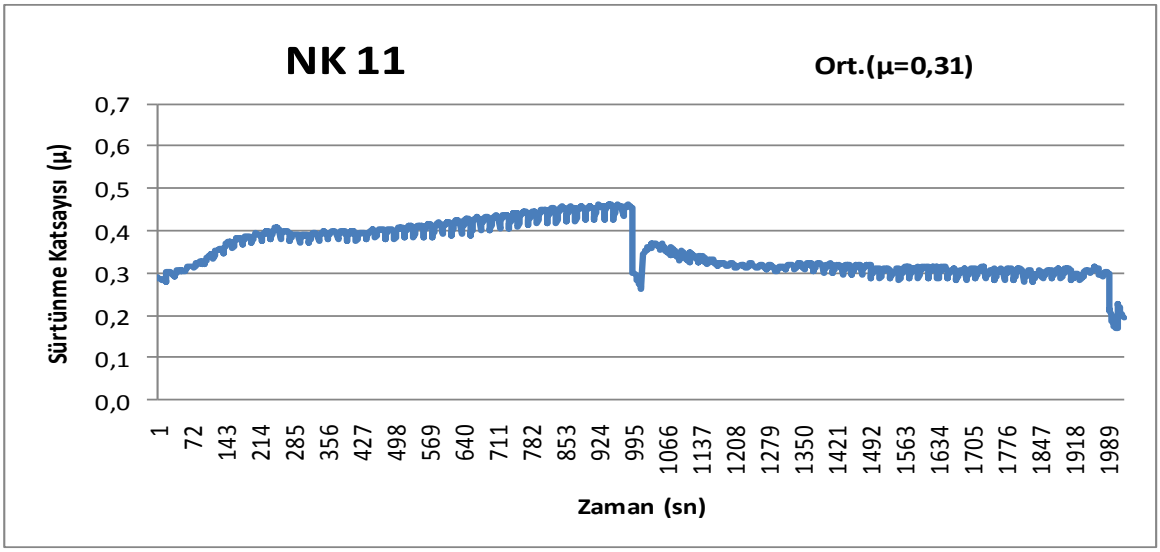
Bu kapsamda balata üreticisi firmanın numuneleri A1 olarak, imalatını yaptığımız test cihazından elde edilen numuneler ise TK1 olarak adlandırılmıştır. Balataların testleri A1 balata firmasının üretim tesisinde yer alan SAE-J661standardına göre imalatı yapılmış olan chase makine tarafından yapılmıştır.

Şekil 11.6 - 11.7,'de A1 balata üreticisinden alınan ve imalatını yapmış olduğumuz TK1 test cihazında NK 11, isimli balata numunesi,

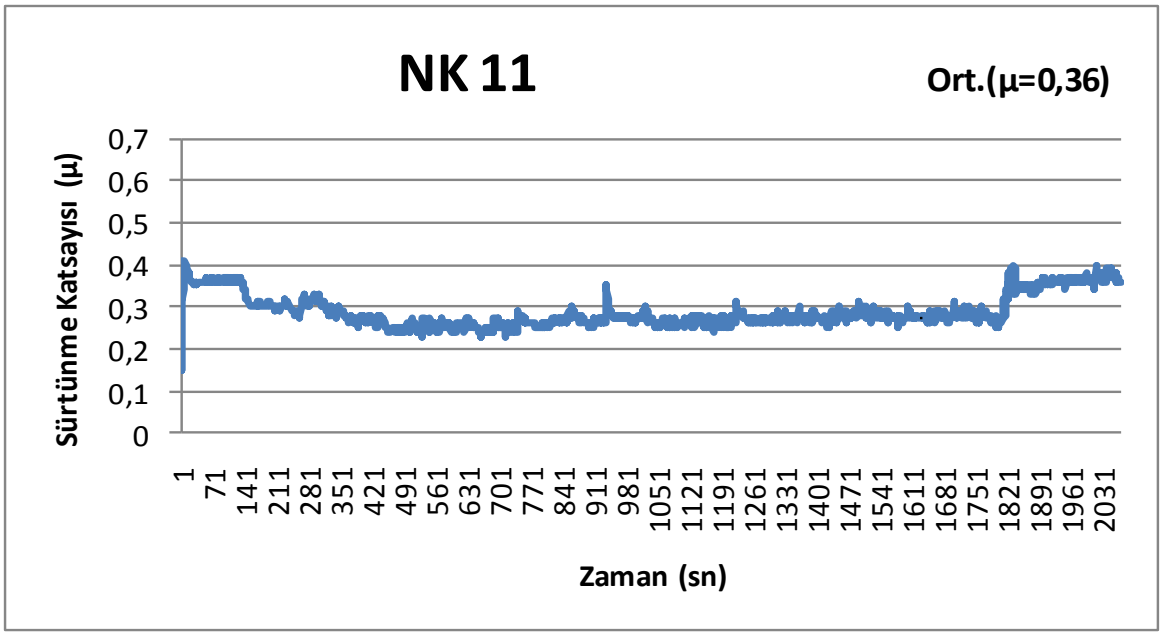
Şekil 11.8 - 11.9,'da A1 balata üreticisinden alınan ve imalatını yapmış olduğumuz TK1 test cihazında GM 11, isimli balata numunesi,

Şekil 11.10 - 11.11,'de A1 balata üreticisinden alınan ve imalatını yapmış olduğumuz TK1 test cihazında DK 2, isimli balata numunelerinin Sürtünme katsayısı-Zaman ilişkileri belirlenmiştir. Sonuçlar üretici firmanın (A1) sürtünme katsayısı değerleri ile TK1 test cihazına ait değerler karşılaştırılarak gerçek zamanlı sonuçlar elde edilmiştir.

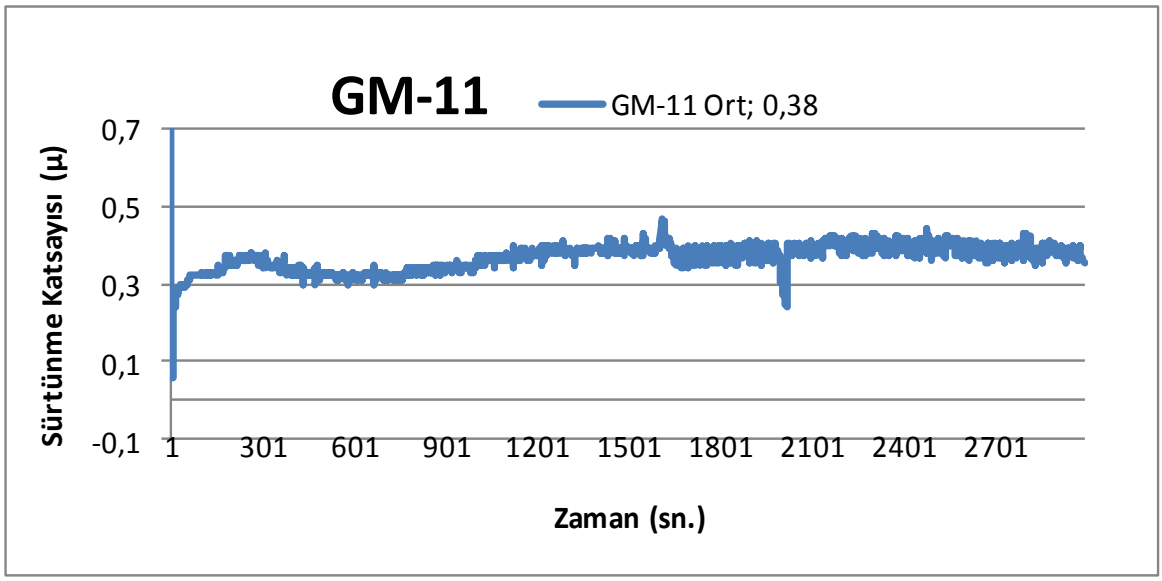
Şekil 11.12, 11.13, 11.14'de ise her bir balata numunesinin Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı- Zaman ilişkisi gösterilmektedir.



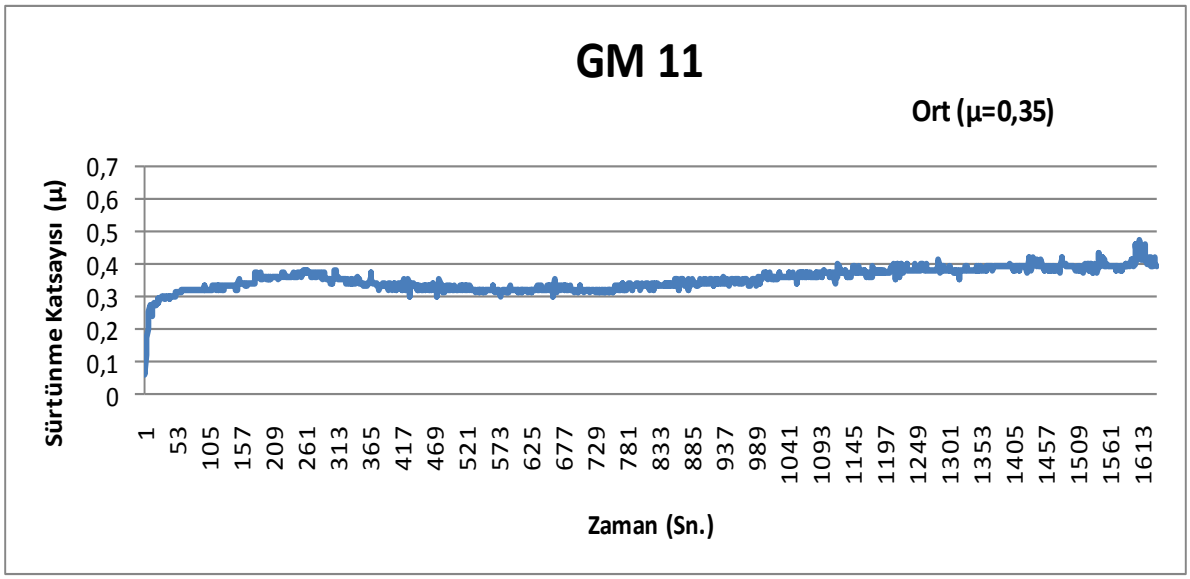
Şekil 11. 6 A1 Firmasına Ait NK 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği



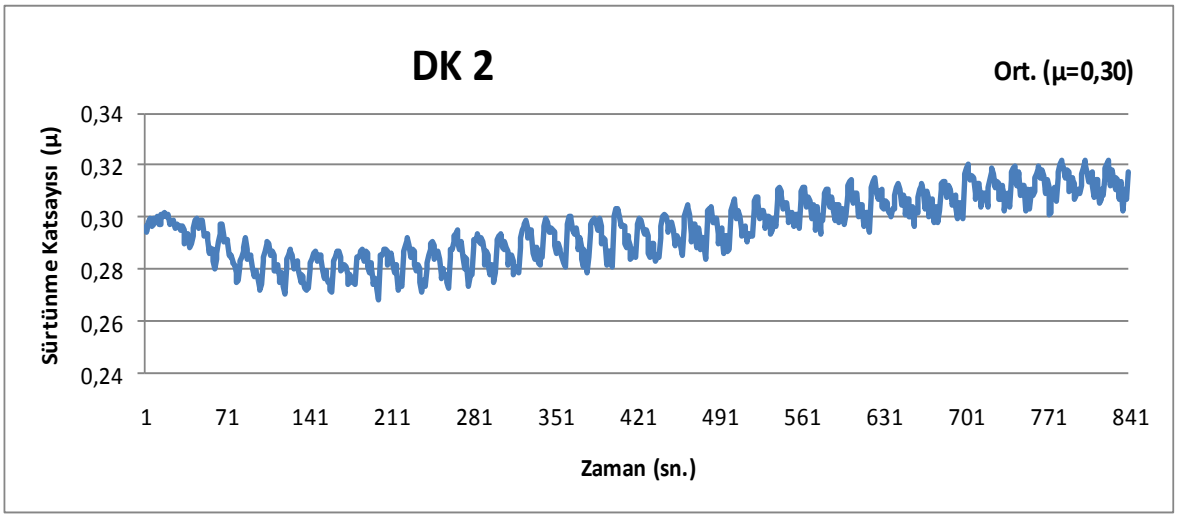
Şekil 11. 7 TK1 Test Cihazına Ait NK 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği



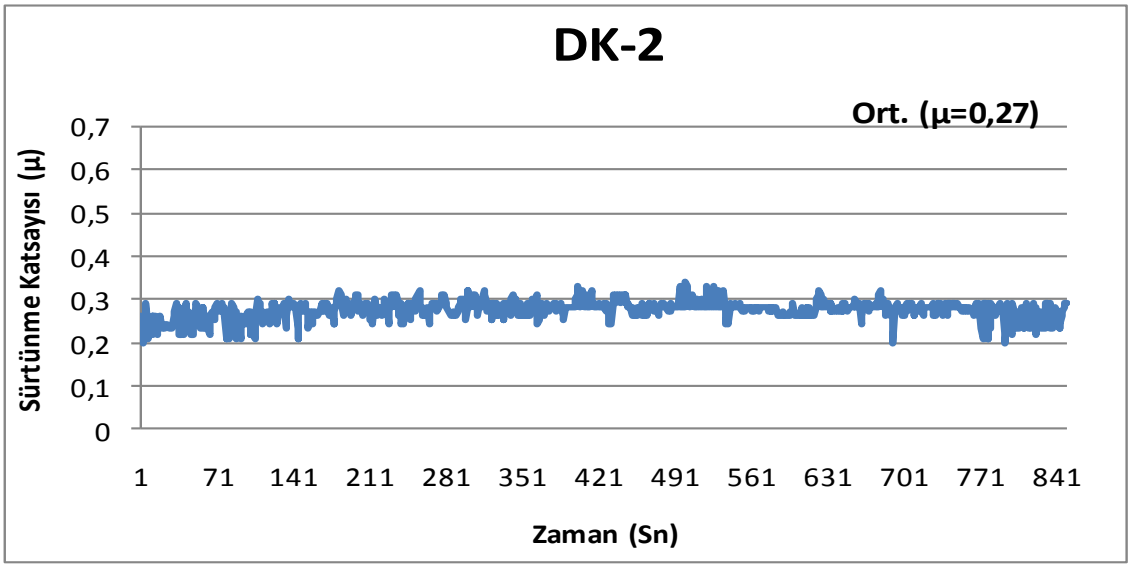
Şekil 11. 8 A1 Firmasına Ait GM 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği



Şekil 11. 9 TK1 Test Cihazına Ait GM 11 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği



Şekil 11. 10 A1 Firmasına Ait DK 2 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği



Şekil 11. 11 TK1 Test Cihazına Ait DK 2 Balatasının Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafiği

Deneysel çalışma sonuçlarına dayanılarak bulunan sürtünme katsayıları ve sıcaklık ile ilgili grafik Şekil 11.6 ve şekil 11.7'de görülmektedir. Grafikler incelendiginde fren balatalarının sürtünme katsayılarının kararlı oldugu anlaşılmaktadır. Şekil 11.6 ve 7'de A1

firmasına ait fren balatası ile TK1 test cihazından elde edilen sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine yakın sürtünme katsayısı değerleri ortaya çıkarttıkları görülmektedir. TK1 de yapılan çalışmalarda NK 11 fren balasında en yüksek sürtünme katsayısı 0,42 endüşük sürtünme katsayısı ise 0,25'dir. Şekil 11.7'de NK 11 balatasının başlangıçta 0,41 olan sürtünme katsayısı, zamanın ilerlemesiyle daha kararlı hale gelerek 2031 saniye sonunda NK 11 balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0,36 olarak belirlenmiştir. TK1 test cihazında deneysel çalışması yapılan NK 11 isimli otomobil fren balatası çizelge 3.1 incelendiğinde F sınıfında olduğu görülmektedir.

Şekil 11.6'da A1 firması tarafından üretilen ve test edilen fren balatasında en yüksek sürtünme katsayısı 0,48 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,19 olduğu görülmektedir. Deney 1989 saniye sürmüş ve bu süre sonunda ortalama sürtünme katsayısı 0,31 olarak belirlenmiştir. Şekil 11.6'da NK 11 numaralı numunenin sürtünme performansı deney sonuna kadar kararlı bir yapı izlediği ve çizelge 3.1'de belirtilen E sınıfı seviyesinde olduğu tespit edilmiştir.

R. Dubrovsky ve A. Titov, Sürtünme katsayısı üzerine yapılan çalışmalarda balataların kararlı bir yapıda olabilmesi için değişkenlik oranlarının minimum seviyede olması gerektiğini ve belirtmişlerdir [10].

Ayrıca sürtünme tabakası oluşumunun tamamlanmasıyla birlikte sürtünme katsayısı yavaş yavaş düşme egilimi göstermiştir. Her iki şekilde de sürtünme katsayısının kararlı bir yapıda olduğu ve sürtünme katsayısında meydana gelen düşme ve yükselme durumlarının sıcaklığın artması ve azalmasından kaynaklanacağı literatürde belirtilmiştir. Anderson [57] sürtünme katsayısının değisiminin, diskin sıcaklığı ve sürtünme yüzeyinde meydana gelen bileşenlerden güçlü bir şekilde etkilendiğini belirtmiştir.

Şekil 11.8 incelendiğinde GM 11 nolu numunenin sürtünme katsayısının ortalama değeri 0,38 olarak belirlenmiştir. Bu değer numunenin Çizelge 3.1'de F grubunu ait olduğunu göstermektedir. Grafik incelendiğinde balatada 2101. saniyede sürtünme katsayısında ani düşme meydana gelmektedir. Bu düşme, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin sürtünme çiftinin karşı yüzeyini oluşturan disk'e tutunma özelligi gösteremedigi, yani ya komponenti oluşturan malzemelerin birbirleri ile iyi uyum sağlamadığından dolayı sürtünme yüzeyine karsı bir direnç olusturamadığı ya da oluşan sürtünme yüzeyi sert

malzemelerden oluşmadıgı için sürtünme katsayısında beklenen artış veya stabil kalamadıgı şeklinde açıklanabilir. Şekil 11.8'de en yüksek sürtünme katsayısı 0,41 iken en düşük sürtünme katsayısı 0,28 dir. Deney süresi 2701 saniye olarak grafikte gösterilmiştir.

Şekil 11.9'da deney süresi 1613 saniye olarak tespit edilmektedir. GM 11 nolu numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,35 en yüksek sürtünme katsayısı 0,41 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,06 dır. Burada deney numunesinin başlangıçta düşük bir sürtünme katsayısı ile başlamasının nedeni balatanın diskin yüzeyinde tam bir baskı yüzeyi oluşturmamasıdır. Fren balatalarında sürtünme katsayının düşük çıkmasının nedenleri arasında balatanın yüzeye tam oturmaması, yüzey basıncının heryerde düzgün dağılım göstememesi, sıcaklığın bütün bölgelerde homojen olmaması gibi durumlar gösterilebilir [85].

Zamanın ilerlemesi ile birlikte sürtünme katsayısı başlangıca göre daha kararlı hale gelmektedir. Sürtünme katsayısının kararlı hale gelemesi iyi bir tutunma yüzeyinin oluştuğu anlamına gelmektedir. Balata diskin yüzeyine tam olarak oturduğunda ve hidrolik ünitenin oransal valf yardımı ile uygulamış olduğu basıncın bütün yüzeylerdeki dağılımının düzgün olması demektir. Sıcaklıkta fren balatasının sürtünme ve aşınma performansını olumlu ve olumsuz yönlerde etkilemektedir. Balata yüzeyindeki basınç ve sıcaklık dağılımı frenleme esnasındaki titreşim ve gürültü etmenlerini oluşturmaktadır.

Şekil 11.8 ve 11.9'da yapılan çalışmaların standartlar doğrultusunda olduğu ve sonuçların çizelge 3.1' e uygun olduğunu göstermektedir.

Şekil 11.10' da DK 2 nolu fren balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0,30 en yüksek sürtünme katsayısı 0,33 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,27 olduğu görülmektedir. Deney 841 saniye süre ile gerçekleşmektedir. Bu süre zarfında standartlarda belirlenen sıcaklık değerlerine ulaşılmış ve sürtünme katsayısı kararlı hale gelmiştir. DK 2 nolu balatanın 71 ve 281 saniyeleri arasında sürtünme katsayısının düştüğü sonrasında zamana bağlı olarak yükseldiği gözükmektedir. Çizelge 3.1'de balatanın E grubunda olduğu gözükmektedir.

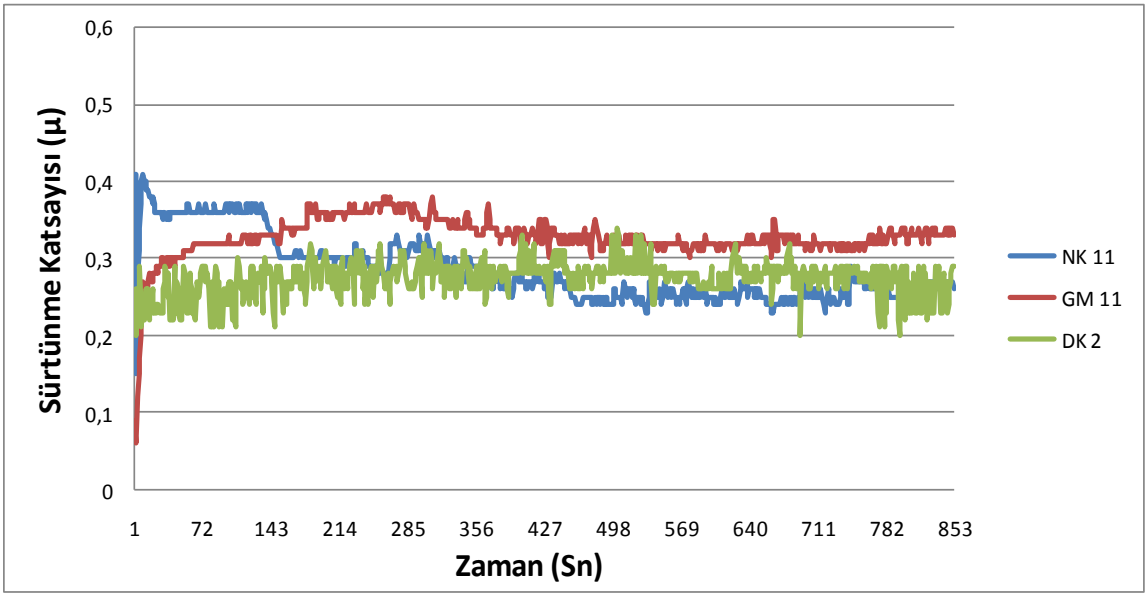
Şekil 11.10'da test edilen fren balatasının şekil 11.11'deki test sonuçları ile karşılaştırıldığında ortalama sürtünme katsayılarının birbirlerine yakın olduğu ancak şekil 11.10'daki balatanın şekil 11.11'dekinden daha çok iniş ve çıkış değişkenliği gösterdiği saptanmıştır. Sürtünme katsayısında inişli çıkışlı sürekli bir değisimin sebebini, Arnold [89]

balata temas yüzeyinde ısıl yükün homojensizliginden oldugu şeklinde yorumlamıştır. Burada deney süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine dogru ısıdaki değişim periyodik olarak degişir. Bu etkiden dolayı sürtünme katsayısında sürekli bir degişim meydana gelir. Ayrıca bu durum sürtünme çiftlerinin yüzeyindeki pürüzlerde birleşme olması ve büyümesi ile açıklar. Bu durumda bir yapışma ve bir bırakma hali sürekli tekrarlanır, bu da sürtünme katsayısında sürekli artma ve azalma olmasına sebep olur [90].

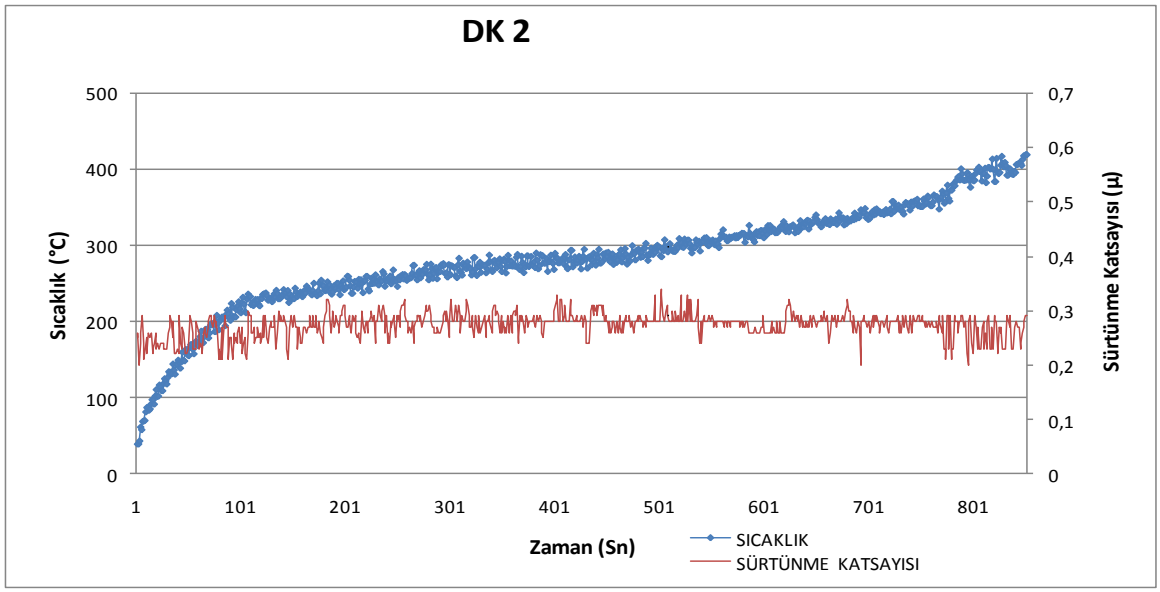
Şekil 11.11'de DK 2 nolu fren balatasının ortalama sürtünme katsayısı 0,27 en yüksek sürtünme katsayısı 0,33 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,20 aralıklarında olduğu görülmektedir. Şekil 11.10' da test sonuçlarına göre balata yüzeyine gelen basınç daha kararlı bir hal almış ve sürtünme katsayısının standartlara uygun olduğunu ispatlamıştır. Şekil 11.11'de testleri yapılan DK 2 nolu otomobil fren balatası TSE 555' in belirlemiş olduğu çizelge 3.1'de E grubunda yer almaktadır. Toplam deney süresi 841 saniye sürmüş ve bu süreler içerisinde 0- 400 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Deney TSE 555'de belirtildiği gibi 40 °C yüzey sıcaklığı ile deneylere başlanmıştır.

Yukarıdaki üç farklı numunenin grafiği incelendiğinde en düşük sürtünme katsayısı değeri Şekil 11.11'de yer alan DK 2 nolu balatadır. Bu durum standartlara uygun olduğu için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Ancak sürtünme malzemesi belirlenirken, yüksek sürtünme katsayısı ve iyi aşınma direnci göstermesi aranan özelliklerindendir. Sürtünme katsayısının düşük olması balatanın iyi bir sürtünme çifti olusturmaması, zor termal ve mekanik etkiler altında kararsız durum göstermesinden kaynaklanmaktadır[86].

Şekil 11.12'de görülen NK 11, GM 11 ve DK 2 nolu üç farklı otomobil fren balatası üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda yapılan incelemeler neticesinde sürtünme katsayılarının farklı olması balataların içeriğinde meydana gelen farklı madde oranlarından kaynaklanmaktadır. Bu grafikte yapılan farklı numuneler için deneysel çalışmaların farklı sonuçlarını göstermektedir. Bu durum tasarım ve imalatı yapılan test cihazının amaca uygun olduğunu göstermektedir.

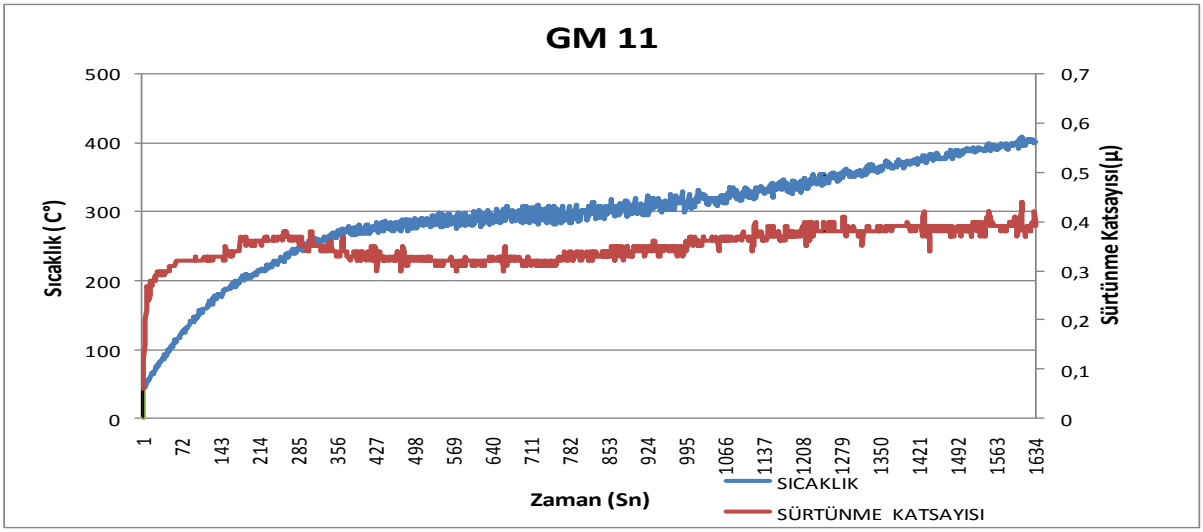


Şekil 11. 12 NK11-GM 11-DK 2 Nolu Balataların Sürtünme Katsayıları



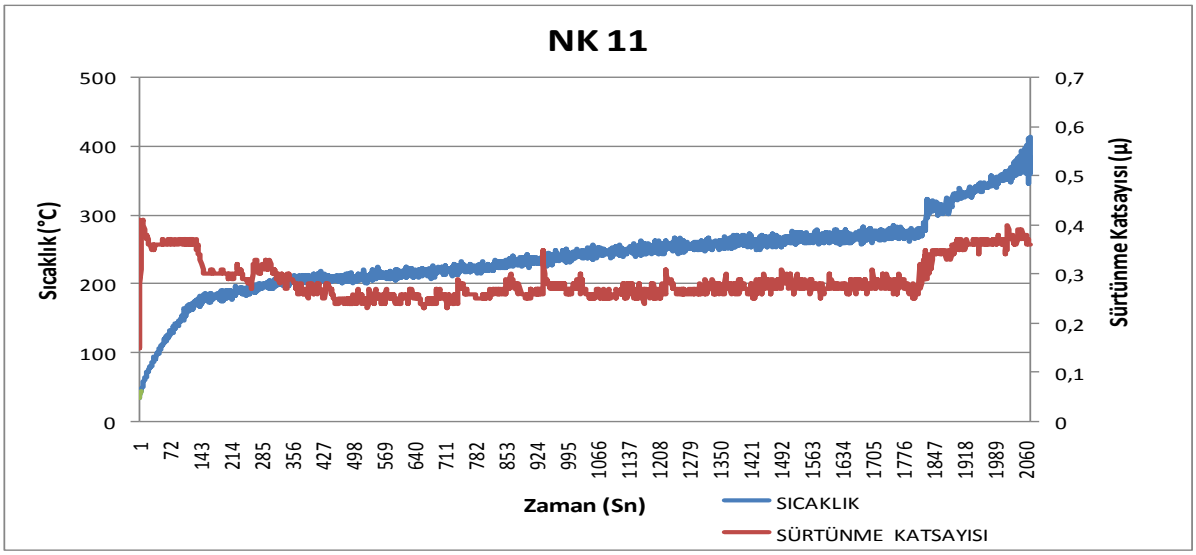
Şekil 11. 13 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre

DK 2 Balatasının Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman İlişkisi



Şekil 11. 14 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre

GM 11 Balatasının Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman İlişkisi



Şekil 11. 15 TK1 Test Cihazının Deneysel Çalışmalarına Göre

NK 11 Balatasının Sıcaklık-Sürtünme Katsayısı-Zaman İlişkisi

Şekil 11.13'de DK 2 otomobil fren balatası TK1 test cihazında deneysel olarak incelenmiş ve sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman ilişkisi gösterilmiştir. Deneyde esnasında

başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır. DK 2 numunesi 0.4 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır. Numunenin disk yüzeyine tam olarak sürtünmesi sağlandıktan sonra deney basıncı 0.7 MPa olarak ayarlanmış ve sürtünmeye tabi olmuştur. Sıcaklık değeri 400 °C oluncaya kadar deney devam etmiştir. Deney süresi 801 saniye sürmüştür. Bu süre içerisinde sıcaklığa bağlı olarak başlangıçta sürtünme katsayısı 0.25, sıcaklık ise 40 °C olarak tespit edilmiştir. Sıcaklığın zamana bağlı olarak düzgün doğrusal hareket ederek ilerlediği gözükmektedir. Sürtünme katsayısının sıcaklığın artmasıyla beraber 301. ve 401. saniyelerde en yüksek seviyelerde olduğu gözükmektedir. Sıcaklık 272 °C' de iken sürtünme katsayısı 0,32 zaman ise 301. saniyededir. 401. Saniyede ise sürtünme katsayısı 0,31 sıcaklık ise 285 °C olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 11. 1 TK1 Test Cihazından Alınan DK 2 Numunesinin Deney Sonuçları

Zaman	S.Katsayısı	Sıcaklık
1	0,25	38,1
101	0,22	230,93
201	0,27	258,61
301	0,32	272
401	0,31	282,69
501	0,28	285
601	0,26	319,69
701	0,28	333,89
801	0,22	363

DK 2 numunesinin deney sonuna kadar sıcaklığın artmasına rağmen lineer bir sürtünme katsayısı sergilemesi içeriğindeki malzemelerin yapısının istenilen düzeyde olduğunun göstergesidir.

Şekil 11.14'de GM 11 otomobil fren balatası TK1 test cihazında deneysel olarak incelenmiş ve sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman ilişkisi gösterilmiştir. Deneyin toplam süresi 1634 saniye sürmüş ve bu süre sonuna gelindiğinde sıcaklığın 400 °C olduğu gözlemlenmiştir. GM 11 numunesinin TK1 test cihazından alınan değerleri çizelge 11.2'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek sürtünme katsayısı 0,4 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,09 olarak belirlenmiştir. Bu aralıklarda sıcaklık değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Başlangıçta sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerinde artma gözlenirken 365. Saniyeden sonra sürtünme katsayısında azalma sıcaklıkta doğrusal olarak artma devam etmektedir. Bu süre zarfında sürtünme katsayısı 0,31 ile 0,38 aralığında değişkenlik göstererek deney sonuna kadar süren periyotta sürtünme katsayısı 0,35 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 11. 2 TK1 Test Cihazından Alınan GM 11 Numunesinin Deney Sonuçları

Zaman	S.Katsayısı	Sıcaklık
1	0,09	41,53
53	0,31	102,23
105	0,32	156,41
157	0,34	188
209	0,36	211,43
261	0,38	231,5
313	0,36	250,91
365	0,34	270,04
417	0,35	267,8
469	0,33	273,55
521	0,33	279,13
573	0,33	290,48
625	0,32	293,29
677	0,32	303,03
729	0,33	296,43
781	0,32	295,88
833	0,32	296,97
885	0,33	302,66
937	0,33	305,72
989	0,34	320,96
1041	0,35	313,64
1093	0,36	319,8
1145	0,37	318,88
1197	0,36	333,81
1249	0,38	345,45

1301	0,38	339,47
1353	0,38	355,75
1405	0,38	361,76
1457	0,4	374,16
1509	0,39	380,86
1561	0,38	387,7
1634	0,4	395,55

Çizelge 11.2'de belirtilen GM 11 numunesine ait değerler incelendiğinde sıcaklığın artması sürtünme katsayısının değerlerinde periyodik bir artış meydana getirmemiştir. Sürtünme katsayısının standartlara uygun bir değerde olması balata numunesinin içeriğinin ve sürtünme performansının sıcaklığa ve zamana göre oldukça iyi olduğunun göstergesidir. Yapılan incelemeler neticesinde diskin maksimum sıcaklığı, balata ile temas kurulan bölgede bulunur. Diskin maksimum sıcaklığı, tekrarlayan frenleme esnasında yükselmiş olur [87].

Şekil 11.15'de NK 11 otomobil fren balatası TK1 test cihazında deneysel olarak incelenmiş ve sıcaklık-sürtünme katsayısı-zaman ilişkisi gösterilmiştir. Deneyin toplam süresi 2060 saniye sürmüş ve bu süre sonuna gelindiğinde sıcaklığın 400 °C olduğu gözlemlenmiştir. NK 11 numunesinin TK1 test cihazından alınan değerleri çizelge 11.3'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek sürtünme katsayısı 0,41 en düşük sürtünme katsayısı ise 0,24 olarak belirlenmiştir. Bu aralıklarda sıcaklık değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Başlangıçta sıcaklık ile sürtünme katsayısı değerlerinin birbirine zıt yönde ilerledikleri görülürken artma gözlenirken 427. ve 1776. Saniyelerde sürtünme katsayısının lineer olarak devam ettiği ve sonrasında sıcaklık arttıkça arttığı gözlemlenmektedir. Toplam 2060 saniye süresince ortalama sürtünme katsayısı 0,36 olarak tespit edilmiştir. Son saniyelere girerken sürtünme katsayısında meydana gelen artış, fren sistemlerindeki sürtünme sonucunda temas bölgesindeki aşınma ve sürtünme karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Sürtünme katsayısının sıcaklık ile birlikte artması fren etkisinin arttığı anlamına gelmektedir.

Ostermeyer, balatanın temas bölgesindeki sıcaklık dağılımının homojen olmadığı, durumlarda disk üzerinde yapılan uzun süreli deneysel çalışmalarda, periyodik sıcaklık değişimlerini incelemiş ve sürtünme katsayısının zamana bağlı sıcaklıkla birlikte artacağını vurgulamıştır. Yapılan laboratuvar çalışmalarında balatanın sıcaklık faktörü altında periyodik değişimlerini incelemiştir [88].

Çizelge 11. 3 TK1 Test Cihazından Alınan NK 11 Numunesinin Deney Sonuçları

Zaman	S.Katsayısı	Sıcaklık
1	0,41	34,13
72	0,36	130,45
143	0,33	167,06
214	0,3	183,32
285	0,31	201
356	0,29	207,92
427	0,26	204,41
498	0,24	209,95
569	0,25	209,83
640	0,26	209,66
711	0,25	220,06
782	0,26	223,43
853	0,27	230,98
924	0,26	239,4
995	0,27	251,13
1066	0,26	249,03
1137	0,25	243,28
1208	0,26	247,38
1279	0,26	255,11
1350	0,27	253,79
1421	0,27	263,88
1492	0,29	266,96
1563	0,27	264,79
1634	0,27	274,68
1705	0,27	281,81
1776	0,28	266,65
1847	0,36	314,82
1918	0,36	323,41
1989	0,36	351,89
2060	0,37	375,25

11.6 Aşınma Direncinin İncelenmesi

Aşınma miktarlarını incelemek için tüm numuneler deneye başlamadan önce hassas teraziyle tartılmış ve ağırlıkları manuel olarak kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler sırasıyla 0.7 MPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutulmuş ve her deney sonucunda numuneler tekrar tartılarak kütle kayıpları bulunmuştur. Çizelge 11.4'de numunelerin çalışma öncesi ve sonrası kütlesel olarak ağırlıkları gösterilmiştir.

Çizelge 11. 4 Deney Raporu

Çalışan kişi	Tarih	Numune numarası	Çalışma Basıncı	Deney Numarası	Çalışma Başlangıç Saati	Çalışma Süresi (dak)	Ç. öncesi Numune Kalınlığı	Ç. Sonu Numune Kalınlığı	Aşınma Miktarı gr	Devir Sayısı dev/dak	Ç önce Ağırlık gr	Ç sonu ağırlık gr
M. TİMUR	18.03.2014	GM 11	0.7 Mpa	Deney 1	16.20	70 dk	6 mm	5.7 mm	2,099	700	10,680	8,581
M. TİMUR	19.03.2014	DK 2	0.7 Mpa	Deney 2	20.08	60 dk	6 mm	5.8 mm	1,413	700	7,872	6,459
M. TİMUR	23.03.2014	NK 11	0.7 Mpa	Deney 3	15.00	60 dk	6 mm	5,6 mm	1,114	700	8,310	7,196

Balataların kalınlık ölçümlerinde 0,01 mm hassasiyetinde mikrometre, kütle farkı belirlemede 0,001 hassasiyetinde hassas terazi kullanılmıştır.

Numunelerin yoğunluğu, Arsimet terazisinde belirlenmiştir. Bu numuneler su ile doldurulmuş kaba daldırılmıştır. Suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiğinden dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş ve cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Tüm balatalarda kütlesel oran esas alınmıştır.

NK 11, GM 11 ve DK 2 nolu otomobil fren balatalarının aşınma özellikleri, aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

(1'')² olarak belirlenen deney numunelerinin aşınma dirençlerinin belirlenebilmesi için (3.2) ve (3.3)'de verilen formüllere göre işlemler yapılmalıdır,

$$Wa = \frac{\Delta G}{dxMxS} \tag{3.2}$$

Burada;

Wa = Aşınma oranı (mm),

ΔG = Ağırlık kaybı (gr), [Deneyden önce ölçülen balata ağırlığı - Deneyden sonra ölçülen balata ağırlığı]

S = Kayma mesafesi (Aşınma yolu) (m), = 2 x π x r x n

Π= 3,14

r = Disk yarıçapı

n= Devir sayısı

M = Yükleme ağırlığı (daN),

d = Aşınan malzemenin yoğunluğu (gr / cm3), olarak verilmiştir.

Yoğunluğun hesaplanması için (9.1) nolu formül kullanılmıştır.

$$Wr = \frac{1}{Wa} \tag{3.3}$$

Aşınma oranının (Wa) ters değeri de aşınma direnci (Wr) olarak gösterilir [12].

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \tag{9.1}$$

Dh = Numune yoğunluğu (gr/cm³)

Gk = Numune kuru ağırlığı(gr)

Gdh = 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı (gr)

Gds = 48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin su doldurulmuş kaptaki ağırlığı (gr) [78].

(9.1) nolu formülde verilen yoğunluk hesaplama yöntemine göre numuneler şekil 11.5'de görüldüğü gibi 48 saat su içerisinde bekletilmiştir. 48 saat sonunda su içerisinde bekletilen numuneler çıkartılarak Arşimet terazisinde tartılmış ve her bir numunenin yoğunluğu hesaplanmıştır.

Numunelerin Aşınma Dirençlerinin Hesaplanması;

GM 11 numunesi;

Aşınma oranının hesaplanması;

$$\mathrm{Wa} = \frac{\Delta G}{\mathrm{dxMxS}}$$

Yoğunluğun hesaplanması;

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}}$$

$$D_h = \frac{10{,}680}{10{,}850 - 6{,}205}$$

$$D_h = \frac{10{,}680}{4{,}645} = 2.3 g / cm^3$$

S = Kayma mesafesinin hesaplanması;

$$S = 2x\pi xrxn$$

$$S = 2x3.14x0.14x700 = 615{,}44$$

M = Yükleme ağırlığı (daN), (Yazılım programından alınan Excel ortalamasıdır)

M=16,140 daN'dur.

Aşınma oranı;

$$\mathrm{Wa} = \frac{10{,}680 - 8{,}581}{2.3 \,\mathrm{x}\, 16.14 \,\mathrm{x}\, 615.44} = \frac{2.099}{22.846} = 0{,}09 \ (\mathrm{cm^3 \ . \ da\, N^{-1} \ m^{-1}})$$

Aşınma direnci;

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{\mathrm{Wa}}$$

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{0{,}09} = 11.1 \ \left(\mathrm{Mpa^{-1}}\right)$$

DK 2 Numunesi

Aşınma oranının hesaplanması;

$$\mathrm{Wa} = \frac{\Delta G}{\mathrm{dxM\,xS}}$$

Yoğunluğun hesaplanması;

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}}$$

$$D_h = \frac{7.872}{8.192 - 4.579}$$

$$D_h = \frac{7.872}{3.613} = 2{,}17 g / cm^3$$

S = Kayma mesafesinin hesaplanması;

$$S = 2x\pi xrxn$$

$$S = 2x3.14x0.14x700 = 615{,}44$$

M = Yükleme ağırlığı (daN), (Yazılım programından alınan Excel ortalamasıdır)

M=17,180 daN'dur.

Aşınma oranı;

$$\mathrm{Wa} = \frac{7.872 - 6{,}459}{2.17 \text{ x } 17.18 \text{ x } 615.44} = \frac{1.413}{22.943} = 0{,}06 \left(\mathrm{cm^3 \text{ . da } N^{-1} \ m^{-1}}\right)$$

Aşınma direnci;

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{\mathrm{Wa}}$$

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{0{,}06} = 16.6 \ \left(\mathrm{Mpa^{-1}}\right)$$

olarak hesaplanır [91].

NK 11 Numunesi

Aşınma oranının hesaplanması;

$$\mathrm{Wa} = \frac{\Delta G}{\mathrm{dxM\,xS}}$$

Yoğunluğun hesaplanması;

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}}$$

$$D_h = \frac{8.310}{8.439 - 5.016}$$

$$D_h = \frac{8.310}{3.423} = 2{,}42 g / cm^3$$

S = Kayma mesafesinin hesaplanması;

$$S = 2x\pi xrxn$$

$$S = 2x3.14x0.14x700 = 615{,}44$$

M = Yükleme ağırlığı (daN), (Yazılım programından alınan Excel ortalamasıdır)

M=17,180 daN'dur.

Aşınma oranı;

$$\mathrm{Wa} = \frac{8.310 - 7.196}{2.42 \text{ x } 17.180 \text{ x } 615.44} = \frac{1.114}{25.587} = 0{,}04 \left(\mathrm{cm^3 \,.\, da\,N^{-1}\ m^{-1}}\right)$$

Aşınma direnci;

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{\mathrm{Wa}}$$

$$\mathrm{Wr} = \frac{1}{0{,}04} = 25 \ \left(\mathrm{Mpa^{-1}}\right)$$

Aşınma üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında balata malzemelerinin içyapısını ilgilendiren durumlar olduğu görülecektir. Deneysel olarak yapmış olduğumuz çalışmalarda numunelerin aşınma oranlarını yoğunluklarını ve aşınma dirençlerini hesaplayarak sürtünme katsayısına göre farklılıkları ortaya çıkarılmıştır. Lu, kompenentin aşınma direnci geliştirmek için malzemelerin bileşenlerini yumuşak ve sert olarak gruplandırmış ve diskin yüzeyine yapışma durumlarına göre gözlemlerde bulunmuştur. Bu sonuca göre aşınma davranışlarını incelemiştir [92]. Matejka ve arkadaşları, yarı metalik sürtünme kompozitlerinin (SMFC) sürtünme ve aşınma özelliklerine silisyum karbürün (SiC) etkisini araştırmışlardır. Silisyum karbür hacimli yarı metalik numune hazırlamışlar, dökme demir diskine karşı kaydırmışlar ve bunların sürtünme-aşınma özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sürtünme katsayısının (T) SiC hacmiyle arttırılmasını incelemişler, yüksek hacme rağmen sürtünme katsayısının değerinde önemli bir değişiklik olmadığını gözlemlemişlerdir. Test ettikleri sürtünme kompozitlerinin aşınma oranının, SiC hacminin artması ve sıcaklık ile biraz arttığını görmüşlerdir [93]. Literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi bilim adamları aşınma üzerine yapılan çalışmalarda balata malzemelerinin bileşenlerine göre aşınma davranışları geliştirmişlerdir. Bu nedenle aşınma üzerine yapmış olduğumuz deneysel araştırmalar otomobil fren balatalarının yoğunlukları, sürtünme katsayıları, aşınma oranlarının birbiri ile karşılaştırılması ile olmaktadır.

Çizelge 11.5'de deney numunelerinin birbirlerine göre aşınma ve sürtünme durumları belirlenmiştir. Aşınma direnci çok yüksek sürtünme malzemeleri karşı malzemenin aşınmasına sebep olur. Bu nedenle sürtünme malzemelerinde aşınma sürecinden ziyade sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi önemli görülür.

Çizelgede görüldüğü gibi balataların yoğunluk değerleri artmış, aşınmaya karşı dayanımları da artmıştır. Aşınmada, sıcaklık artışı sürtünme sebebiyle oluşmaktadır. Sıcaklık düştükçe balataların aşınma direnci artmaktadır.

Çizelge 11. 5 Balata Numunelerinin Deney Sonucu Özellikleri

Numune Kod Adı	Yoğunluk değeri (g/cm^3)	Aşınma Oranları (cm^3 .daN. m)	Aşınma Direnci (Mpa^{-1})	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ)	Ortalama Sıcaklık (°C)
GM 11	2,30	0,09	11,10	0,35	294
DK 2	2,17	0,06	16,60	0,27	280
NK 11	2,42	0,04	25	0,36	240

Tabloda, GM 11 balatasının aşınma direncinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum numuneleri oluşturan kompenentin içeriği ile ilgilidir. NK 11'in aşınma direnci değerinin yüksek çıkması, sürtünme esnasında disk yüzeyinde balata bünyesinde parçacıkların kopmamasından ve balata içeriğinde bulunan bağlayıcı özelliğinde malzemelerin iyi bir tutunma göstermesindendir. İyi bir balatanın özellikleri yüksek sıcaklığa karsı iyi aşınma direnci olmalıdır. Bu özellikleri sağlayacak balatanın bileşimine bağlayıcı, güçlendirme elemanı elyaflar, aşındırıcı elemanlar, dolgu maddeleri, yağlayıcılar ve yanma önleyicilerden oluşan maddeler katılmaktadır.

GM 11 ve NK 11 fren baltalarının ortalama sürtünme katsayısı, birbirine yakın değerler göstermektedir. Ortalama sürtünme katsayısı yüksek olan numunelerin sürtünme sırasında zorlanmanın etkisiyle balata bünyesinden büyük parçacıkların kopmalarının önemli bir etkisi vardır. DK 2 numunesinin yoğunluğu diğer numunelerden düşük seviyededir bu durum şu şekilde açıklanmaktadır. Yoğunlukların düşmesi ise, fırınlama esnasında düşük buharlaşma sıcaklığına sahip malzemelerin bünyeden uzaklaşarak bünyede mikro ölçülerde gözeneklilik oluşturması ve kararlı bir sürtünme performansı sergilerken yoğunluğun düşmesine de sebep olmaktadır [85].

BÖLÜM 12

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı yeni bir yaklaşımla otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direnci ve termal özelliklerini inceleyen test cihazı tasarım ve imalatıdır. İmalatı yapılan otomatik kontrollü test cihazı, otomobil fren balatasının seçimine yön vermekte ve karakteristik özelliklerini deneysel olarak incelemektedir. Test cihazı, deneysel çalışmaların verilerinde SAE-J661 ve TSE 555-9076'da yer alan standartlar doğrultusunda güvenilir sonuçlar alınabilecek şekilde imal edilmiştir.

Cihazda, taşıttaki fren sistem basıncı Türk ve Amerikan standartlarında belirtilen, elektro-hidrolik sistem ile gerçekleştirilmektedir. Fren balatasının disk ile sürtünmesi sonucu oluşacak değerler istenilen aralıklarda algılanarak bilgisayara kaydedilebilmekte daha sonra sürtünme katsayısı-sıcaklık, sıcaklık-zaman, sürtünme katsayısı-zaman vb. gibi grafikler oluşturulabilmektedir.

Devir değişimi ve basınç istenildiğinde otomatik veya mekanik olarak ayarlanmaktadır. Bu otomasyon sistemi için en uygun yöntem incelenmiş olup, girdiler ışığında istenilen sonuçları veren algoritma oluşturulmuştur. Kapsamlı ve Entegre Bir Veri Tabanlı Kontrol Sistemi sayesinde kontrol ve deneysel çalışmalar bilgisayar yardımı ile yapılmaktadır. Bilgisayar programı kontrollü ve sistemdeki elektronik geri besleme donanımları ile kapalı çevrim oluşturulmuştur. Sistem ilk çalıştırılırken istenilen sistem basıncı elektronik kontrol kartı tarafından algılanarak elektro-hidrolik on/off ve oransal valfe yol vermektedir. Sistemin çalıştırılması ile birlikte oluşturulan kapalı çevrim sayesinde geri besleme bilgileri ile sistem basıncı sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Sürtünme katsayısı tespitinde o andaki sistem basıncı ve yük hücresine uygulanan frenleme kuvveti dikkate alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Sürtünme hızı, sisteme girilen dakikadaki devir sayısı ile belirlenmektedir.

Elektrik motorunun devir sayısı invertör kontrolü ile sağlanmaktadır. Frenleme sırasında devir sayısında bir miktar düşme olmaktadır. Ancak bu düşüş kısa süreli dalgalanmalar şeklindedir.

Söz konusu cihazın yeterliliğini tespit etmek için farklı marka sürtünme malzemelerinden numuneler hazırlanarak sürtünme katsayısı tespiti için deneyler yapılmıştır. Balatalar birbirinden farklı içeriklere sahip olduğundan test cihazından farklı sonuçlar alınmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen değerler, doğrudan grafiğe dönüştürüldüğünde değerlerin birbirine yakın salınım değerleri gözlenmiştir. Bu durum normaldir, çünkü bölüm 1'de literatür özetinde belirtildiği gibi [64] sürtünen yüzeylerin her tarafı aynı özelliğe sahip değildir. Üretim aşamalarında hem fren diski hem de balata homojen yapı sağlanacak şekilde üretilmeye çalışılsa da sürtünme yüzeylerinin farklı bölgelerinde yapısal farklılıklar olabilir. Bu durum birbirine yakın salınım değerlerinin oluşmasının sebebi olarak açıklanabilir. Tasarım ve imalatının yapıldığı fren balatası test cihazı yukarıda belirtilen özellikler ile SAE-J661 ve TSE'de belirtilen sürtünme katsayısı, aşınma ve sıcaklık ile ilgili deneyleri rahatlıkla yapılabilmektedir. İstenirse daha küçük sürtünme yüzeyi oluşturarak 3 MPa basınca kadar frenleme basıncı artırılabilmektedir. Sürtünme yüzey hızı 0-14 m/s aralığında çalışabilmektedir.

Tasarımı yapılan ve imal edilen test cihazında kullanılan kontrol sistemi ve yazılım programı otomobil fren balatasının karakteristik özelliklerini belirlemede kullanılan yeni ve farklı bir yöntemdir. Test cihazında diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak aşağıda belirtilen amaçlara ulaşılmaktadır.

* Test cihazı ile yapılacak testlerden yararlanarak; malzeme seçiminde, teknoloji ve teoride iyileştirme veya ilerleme imkânı sağlanabilmektedir,

* Sistemin gerçek zamanlı (real-time) olarak çalışabilmesi,

* Ekonomik olarak yeterli hız ve doğruluk oranına ulaşabilmesi,

* Test cihazı ile ölçmek istenilen parametrelerin kontrolü oldukça kolay yapılabilmesiyle birlikte, günümüz şartlarında elektronik ve mekanik malzemelerin hassaslığı sayesinde ulaşmak istediğimiz değerlere doğru bir biçimde ulaşmamız sağlanmaktadır,

* Test cihazının bütün parametreleri bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilmekte ve bu sayede sonuçların daha güvenilir olması sağlanmaktadır,

* Otomotiv fren balata malzemelerinin durumu hakkında bilgi elde edinilmektedir,

* Fren balata malzemesinin frenleme esnasında oluşan sıcaklık dağılımı ve sıcaklık değişimi incelenebilmektedir,

* Fren sisteminde sürtünme nedeniyle dinamik kararsızlıktan dolayı kaynaklanan gürültü ve titreşim oluşumu incelenebilmektedir,

* Isı oluşumundan kaynaklanan termoelastik dayanıksızlık, sıcaklık ve frenleme modu altında termal deformasyon değişimi ve balata-disk yüzeyleri arasında basınç dağılımının düzgün olmamasından dolayı balatada oluşan aşınma konuları hakkında detaylı bilgi elde edinilmektedir.

Otomotiv sektöründe güvenli bir sürüş için taşıtlarda kullanılan ekipmanların hassasiyetleri ve etki kabiliyetleri iyileştikçe elde edilen değerler de bir o kadar güvenilirlik içermelidir. Bu nedenle üretimini tamamladığımız test cihazında kullanılan mekanik-hidrolik-elektronik donanım, fren balatasının karakteristik özelliklerinin tespitinde yeterli olmuştur. Standartlara uygun deneyler yapılabilmektedir.

Tüm bu deneysel çalışma sonuçları ışığında otomobil fren balatalarının sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve termal özelliklerini belirlemede test cihazının amacına uygun olduğu belirlenmiştir. Sonraki yapılacak olan çalışmalarda mekanik kısım aynı kalmak kaydı ile fren basıncını oluşturmak için elektro-hidrolik sistem yerine elektro-pnömatik sistem kullanılabilir. Ayrıca mekanik sistemde de tasarım değişikliği yapılarak orta ve büyük araç gruplarının fren balatalarının frenleme performansı incelenebilir.

13. KAYNAKLAR

[1] T. Yücelen, "***SIMATIC S7-400 PLC İle Otomasyon ve Buna İlişkin SCADA Yazılımının Gerçekleştirilmesi***", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kontrol Mühendisliği Programı Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, 2005.

[2] A. Çilek, "***PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol Cihazı) ve SCADA (Yönetsel Denetim ve Veri Toplama) ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması***", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.

[3] İ. Ünlü, "***Tarımsal Ürünlerin Bazı Mekanik Özelliklerini Belirlemede Kullanılacak Otomatik Kontrollü Test Cihazı Tasarımı***", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.

[4] A.H. Demirci, "***Teknik Kuru Sürtünmeli Bir Aşınma Deney Düzeneği Tasarım ve İmalatı***" Uludağ Üniv., Makine Müh. Bölümü, Mühendis ve Makine Dergisi Cilt 29, Sayı 330, Temmuz 1987.

[5] E. Atik, "***Triboloji Ders Notları"*** Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa 2006.

[6] Y. Karagöz, ***"Metallerde Aşınma Yorulması",*** İzmir, Mart, 2004.

[7] L. Şişman, ***"Bir Aşınma Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı",*** Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 1999.

[8] O. Koç, ***"Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi"***, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.

[9] G.S. Domaç, ***"Disk frenlerin tasarım ve tribolojik açıdan incelenmesi"*** , Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

[10] S. Soydaş, M. Yılmaz, ***"Universal Asınma Test Cihazı Tasarımı Ve İmalatı"*** , Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli 2006.

[11] İ. Mutlu, R. Koç, ***"Otomotiv Fren Balataları İcin Surtunme Katsayısı Test Cihazının Tasarımı",*** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv., ve Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, Sayfa 79-84, 2005.

[12] Y. Karaoğlu, O. Eldoğan, ***"Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı",*** Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya 2006.

[13] M. Demiral, M. Yaşar, ***"95200-95300 Cu-Al-Fe Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi",*** Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabuk 2006.

[14] M.Eriksson, F. Bergman, S. Jacobson, ***"On the nature of tribological contact in automotive brakes***", Wear 252, pp. 26-36, 2002.

[15] H.Jang, K.Koa, S.J.Kim, R.H.Basch, J.W.Fash, ***"The Effect of Metal Fibers on The Friction Performance of Automotive Brake Friction Materials"***, Wear, Vol.256, pp. 406–414, 2004.

[16] E. Atik, U. Çavdar, "***Demir Esaslı Sinter Metallerine Yapılabilecek Isıl İşlemlerin Belirlenmesi ve Geliştirilmesi",*** Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa 2005.

[17] K. Kondoh, Y. Takano, Y.Takeda, ***"Friction and Wear Properties of Integrated Composite Copper-Based Friction Materials"***, SAE 970979, 1997.

[18] Chase Makine Sürtünme Katsayısı Test cihazı Teknik Özellikleri: http://www.chasemachine.com/ (11.10.2013)

[19] J. Ferrante, P. B. Abel, "***Surface physics in tribology. Chapter 3, Handbook of Micro/Nanotribology",*** 2nd ed, 1999.

[20] G. W. Stachowiak, A.W. Batchelor, **"*Engineering Tribology",*** Heinemann, Boston, Sayfa,1:36-44, 2001.

[21] A.Z.Szeri, H. McGraw, ***"Tribology (Friction,Wear, Lubrication)",*** Hemisphere pab.,Washington ,Sayfa, 1:30-75, 1980.

[22] İ.Mutlu, ***"Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiginin deneysel incelenmesi"***, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya 2002.

[23] F.Yılmaz, ***"Sürtünme ve asınma, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi"***, İstanbul, Türkiye, 229-247, 1997.

[24] M.F.Ashby, and D. R. H.Jones, ***"Engineering materials 1, 2nd edition",*** Butterworth, Heineman, 1996.

[25] D.Hallıday, R.Resnick, ***"Fizigin temelleri"***, Ayrım Yayınları, Ankara, 1999.

[26] M.B. Karamış, ***"Sürtünme teorisi"*** Erciyes Üniv. Makine Müh. Bölümü, Seminer, sayfa 2-3-6-7, Kayseri 1995.

[27] J.Halling, ***"Principles of tribology"***, The Macmillan Process. Ltd. pp.72-92, 2000.

[28] D. Tabor, ***"Friction the present state of our understanding",*** Transactions of the asme, Journal of Lubrication Technology, pp.169-179, 2001.

[29] S.Rigney, M.Hirth, ***"Micro building is friction surfaces and Friction metarials"***, Engineering Publishing, pp. 768-771, 2001.

[30] Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı, www.tubitak.gov.tr (12.10.2007).

[31] F.P.Bowden, and D.Tabor, **"The friction and lubrication of solids"**, pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191, 2004.

[32] A.G.Dönmez, ***"Asbest dışı elyaflarla üretilen balata malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi''***, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 2000.

[33] D.Odabas, ***"Kuru sürtünme şartlarında termomekanik faktörlerin aşınma davranışına olan etkilerinin teorik ve deneysel araştırılması"***, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi, Eylül, Kayseri, 1991.

[34] N.Gemalmayan, ***"Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi"***, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara 1984.

[35] A.Mimaroğlu, M.Çalışkan, I.Çallı, ***"Evaluation of sintering temperature and tribological properties of ceramic materials with Cr2O3, SiO2 and MnO2 additive compounds"***, Industrial Lubrication and Tribology, vol 53, pp 192-197, 2001.

[36] T.C.T. Childs, and I.K.Parker, ***"The friction cutting of sialon and silicon nitride ceramics"***, Proc. Japan Int. Trib. Conf., Nagoya, Japan, pp. 373-378, 12-17 july, 1999.

[37] O.O.Ajayi, K.C.Ludema, ***"The effect of microstructure on wear modes of ceramic materials, proceedings of the international conference on wear of materials",*** American Society of Mechanical Engineers, pp. 307-318, 1998.

[38] K.H.Habig. and M.Woydt, ***"Sliding friction and wear of Al2O3, ZrO2 Si3N4, Proc.",*** 5th International Cong. On Tribology, Finland, Vol 3, pp. 106-113, 1999.

[39] K.Lee, and J.R.Barber, ***"An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application"***, Trans. ASME J. Tribology, pp. 409-414, 1997.

[40] R. J.Wakelin, ***"The friction,lubrication, and wear of moving parts Annual Review of Materials Science"***, 4:221-53, 2004.

[41] D.Bedge, And J.Starcevic, ***"Topographic properties of the contact zones of wear surfaces in disc brakes",*** Wear, 254:195-202, 2003.

[42] M.Gediktas, ***"Sürtünme malzemelerinin deneysel tayini",*** İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüssuyu, İstanbul, 10-80, 2001.

[43] D.F.Moore, ***"Princippless and Application Tribology",*** Pergamon Press, Oxford, 109-156., 2005.

[44] K.C.Ludema, ***"Introduction to Wear. University of Michigan"***, in ASM Handbook, Vol.18, 2004.

[45] D.A.Rigney, ***"Sliding wear of metals",*** Ann. Rev. Mater. Sci., 18:141-63, 1988.

[46] M.Godet, ***"The third-body approach"***, A mechanical view of wear, Wear, 100:437-52, 1984.

[47] T.Sasada, M.Oike, N.Emori, ***"The effect of abrasive grain size on the transition between abrasive and adhesive wear",*** Wear, 97:291-302, 1984.

[48] S.Aslan, ***"SiC ve grafit takviyeli çinko alüminyum hibrid kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi",*** Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

[49] B.Bhushan, ***"Principles of tribology",*** Modern Tribology Handbook, Volume I, CRC Press, 2001.

[50] M. A.Topbaş, ***"Endüstri malzemeleri",*** Yıldız Üniversitesi Matbaası, Cilt. 2, 264, İstanbul 1993.

[51] E.S.Kayalı, ***"Aşınma ve kaplı takımların aşınması",*** Nato-TU PVD kaplamaları projesi, İ.T.Ü. Kimya-Metalürjisi Fakültesi, İstanbul, 5-18, 1996.

[52] V.V.Alision, I.V.Krogelsky, ***"Tribology Handbook",*** Pergamon Press, Oxford, 2:35-56, 1981.

[53] İ.D.Akçalı, Otomatik Kontrol. Ç.Ü. MACTİMARUM Yayın No:9, S:272, Adana 1999.

[54] H.Kuşçu, Otomatik Kontrol. http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/ Otomatik Kontrol/Otomatik Kontrol 2.pdf., 2008.

[55] http://w3.balikesir.edu.tr/~nozdemir/kontrol1.pdf

[56] W.Stringham, ***"Bosch braking systems, bendix drive, south bend",*** IN 46634- 4001, pp. 34-36., 2001.

[57] A.E.Anderson, M., Peterson, W.O. Winer, (Eds.), ***"Wear of brake material",*** Wear Control Handbook, pp. 843–858, New York, 1997.

[58] İ.Anlaş, ***"Şasi Temel Ders Kitabı"***, M.E.B. Yayınları, İstanbul, 1988.

[59] C.Filikçioğlu. ***"Taşıt Frenlerinde Balata Çeşidinin ve Çalışma Şartlarının Frenleme Performansına Etkisi''***, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1998.

[60] A.G.Göktan, A.Güney, M.Ereke, ***"Taşıt Frenleri''***, İstanbul, 1995.

[61] D.Altıparmak, ***"Şasi Donanımları-Fren Sistemleri''***, Ders notları, Ankara, 1998.

[62] M.Boz, ***"Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışlarının incelenmesi''***, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1999.

[63] K.Ersan, ***"Mevcut eski, yeni ve farklı balataların frenleme kuvvetine etkisinin pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlanması"***, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. cilt13, sayı 1, sayfa 75., 1998.

[64] M.Eriksson, J. Lord, S.Jacobson, ***"Wear and contact conditions of brake pads: dynamical in studies of pad on glass"***, Wear, 249, pp. 272–278, 2001.

[65] W.Österle, and I.Urban, ***"Friction, friction materials, and brake, friction layers and friction operational characterstics, short course on the braking of films on PMC brake pads"***, Wear 257, 215-226. Road Vehicles,University of Bradford, p.13.Day,A.J. 28., 2000.

[66] H.Jang, and S.J.Kim, ***"The effects of Sb2S3 and zirconium silicate ZrSiO4 in the automotive brake friction material on friction characteristics",*** Wear 229, 236,239, 2000.

[67] F.Incropera, D.DeWitt ***"Fundamentals of Heat and Mass''***, Purdue Universty School of Machanical Engineering, Book, 14 Chapter, 985s., USA 1996.

[68] H.Yüncü, S.Kakaç ***"Temel Isı Transferi",*** Bilim Yayınevi, Ankara, 1999.

[69] R.Demirsöz, ***"Asansör Kılavuz Rayların Gerilme Analizi",*** Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2005.

[70] O.Koç, ***"Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi"***, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon 2008.

[71] Ji-Hoon Choi, In Lee, ***"Finite element analysis of transient thermoelastic behaviors in disk brakes"*** Wear 257:1-21-2, 47-58, 11pp, Elsevier Science, 2004

[72] Jung ho Hwang, Heung Seob Kim, Young Choi, Byeong Soo Kim and Ki Weon Kang, ***"The Thermal Analysis of Brake Disc with 3-D Coupled Analysis"*** Key Engineering Materials Vols. 297-300 (2005) pp 305-310, 2005.

[73] Josef Voldrich, ***"Frictionally excited thermoelastic instability in disc brakes Transient problem in the full contact regime"*** International Journal of Mechanical Sciences 49,129–137, 8pp, 2007.

[74] Koç, O.; Mutlu, İ.; Taşgetiren, S. "***Analysis of the friction brake lining including heat transfer system and thermal analysis",*** Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT) Vol: 1, No: 2, 89 (1). 9-20., 2009.

[75] Solid works Simulation Solutions. Software Engineering Version 2013. Istanbul (TR): User's Manual, 2013.

[76] İ.Cürgül, H.Yetiştiren, T.Sınmazçelik, ***"Makina Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği"*** Birsen Yayınevi, Kod No: Y.0029, Kocaeli 2002.

[77] N.Bayazit, ***"Endüstri Ürünlerinde ve Mimarlıkta Tasarlama Metodlarına Giriş"***, Literatür Yayınları:4, S:288, İstanbul 1994.

[78] H.Kılıç, ***"Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması"*** , Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Afyonkarahisar2010.

[79] http://standards.sae.org/j661_199702/

[80] TSE 9076, ***"Fren balataları-malzeme sürtünme özelliklerinin küçük deney parçaları ile değerlendirilmesi''***, T.S.E., 1. Baskı, Ankara 1991.

[81] D.Altıparmak, ***"Şasi Donanımları-Fren Sistemleri''***, Ders notları, Ankara, 1998.

[82] TSE 555, ***"Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin"***, T.S.E., 1. Baskı, Ankara 1992.

[83] İ.Pektaş, ***"Yüzyıl Malzemeleri, Karbon-karbon Kompozit Malzemeler, Teknik Gelişim"***, Sayı11-12-13., 1995.

[84] TSE 12464, ***"Demiryolu Taşıtları-Fren Pabucu-Kompozit Malzemeli-Asbest ihtiva Etmeyen"***, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan 1998.

[85] İ.Sugözü, ***"Bor katkılı asbestiz fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin incelenmesi"*** Fırat Üniversitesi, Makine Eğitimi, Doktora tezi, Elazığ 2009.

[86] İ.Sugözü, İ.Mutlu, ***"Fren balata malzemelerinin sürtünme ve aşınmaya etkisinin incelenmesi"*** Teknolojik araştırmalar ISSN:1304-4141, Sayfa 33-40, 2008.

[87] L.Valvano, K. Lee and, ***"An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application"***, Trans. ASME J. Tribology, pp. 409- 414., 2000.

[88] G.P.Ostermeyer, ***"Friction and Wear of Brake Systems",*** Forschungim Ingenieurwesen vol. 66, pp. 267-272, 2001.

[89] E. A.Arnold, ***"Friction, lubrication and wear technology",*** ASM handbook, 18:569-577., 1983.

[90] G.W.Stachowiak, A.W.Batchelor, ***"Engineering Tribology",*** Heinemann, Boston, 1:36-44. 2001.

[91] L.ŞİŞMAN, ***"Bir Aşınma Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı",*** Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz,1999.

[92] Y.Lu ***"Combinatorial Approach for Automotive Friction Materials",*** Effects of Ingredients on Friction Performance, Composites Science and Technology, Vol.66, pp.591–598., 2006.

[93] V.Matejka, Y.Lu, Y.Fan, G.Kratosova, J.Leskova, ***"Effects of Silicon Carbide in Semi-Metallic Brake Materials on Friction Performance and Friction Layer Formation",*** Wear, Vol.265, pp. 1121–1128., 2008.

14. ÖZGEÇMİŞ

MUSTAFA TİMUR

Adres : Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
39100 Merkez /Kırklareli
E-Mail : mustafatimur@klu.edu.tr
Telefon : 05547971138
Web : http://personel.kirklareli.edu.tr/mustafa-timur-3/

Eğitim /Kurum	**Durumu/Yıl**		
Lise	1996-2000	Seyyid Burhaneddin Anadolu Teknik Lisesi	Makine Bölümü
Lisans	2001-2005	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Makine Eğitimi
Yüksek Lisans	2005-2008	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Makine Eğitimi

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Ahmetoğulları Makine San.Tic.Ltd.Şti
2005-2006 AR-GE Afyon
Çapar Makine San.Tic.Ltd.Şti
2006-2008 AR-GE Kayseri
Mesa Mühendislik
2008-2009 AR-GE Kayseri
Kırklareli Üniversitesi
2009-……. Makine Prog.Kırklareli

15. DOKTORA ÇALIŞMALARI İÇERİSİNDE YAPILAN BİLİMSEL FAALİYETLER

SCI, SCI Expended, SSCI veya AHCI Index Kapsamındaki Yayınları

TİMUR M., KUŞÇU H.: "Heat transfer of brake pad used in the autos after friction and examination of thermal tension analysis", ISSN 1392 - 1207. MECHANIKA. 2014 Volume 20(1): pp.17-23 (Ocak 2014)

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar

TİMUR M., KUŞÇU, H.:"The mould desing and analysis of the ballistic protective cap used in military field with solidworks program- Askeri alanda kullanılan balistik koruyucu başlığın Solid Works programı ile kalıp tasarımı ve analizi", Technical university of Gabrova / Unitech 11, pp. 126-130,International Scientific Conference Proceedings Gabrova, Bulgaria 18-19 November 2011,ISSN 1313-230X

TİMUR M., KUŞÇU, H.: "The Mould Design and Analysis of Centrifuge Pomp Body Used in Milking with Solidworks Program - Süt Sağımında Kullanılan Santrifüj Pompa Gövdesinin Solid Works Programı ile Kalıp Tasarımı ve Analizi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), MTE-1,pp. 1-6, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011

Ulusal Konferans ve Sempozyumlar

TİMUR M., KUŞÇU, H.: "Fren Balatalarının Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı Tasarımı", 12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu, MMO Yayın no:E/2011/556, ISBN: 978-605-01-0108-9, S. 170-174, 13 - 14 Mayıs 2011,BURSA

Projeler

KUŞÇU H., TİMUR M., "Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi" Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Merkezi., 2012-188,EDİRNE

16. EK A- TEST CİHAZI BAKIM ONARIM VE KULLANMA KLAVUZU

İÇİNDEKİLER

1. Sürtünme Katsayısı Test Cihazı Teknik Özellikleri 175
2. Sürtünme Katsayısı Test Cihazı ve Ekipmanları 176
3. Test Cihazı İle Deneye Hazırlık 177
3.1 Test Cihazını Çalıştırma Aşamaları 177
4. Balataları Takma İşlemi 178
5. Ayarlar 179
5.1 Hidrolik Ünite Ayarları 179
5.2 İnvertör Ayarları 180
5.3 Sıcaklık Ayarları 180
6. Bakım 180
7. Sürtünme Katsayısı Test Cihazı Temizlenmesi 181
8. Test Cihazı İçinTavsiyeler 182
9. Arıza Nedenleri-Bulunması-Giderilmesi 183

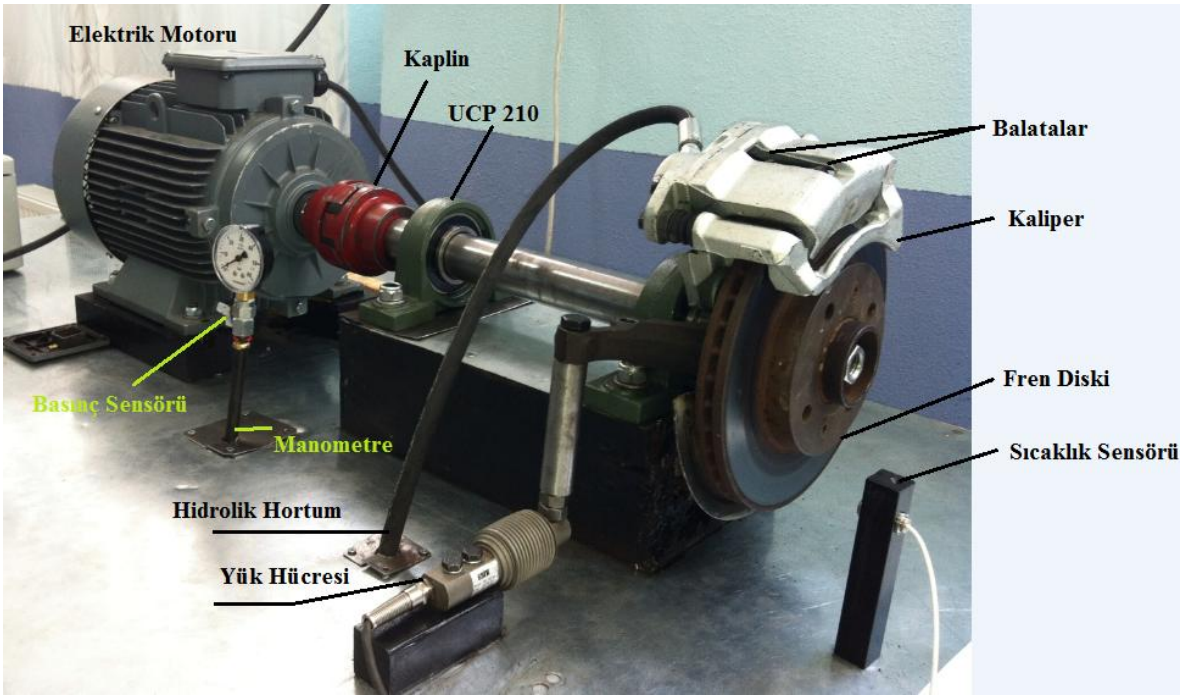
Şekiller Dizini

Şekil 2.1 Sürtünme Malzemelerindeki Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı 176
Şekil 3.1 Elektrik Motoru ve Hidrolik Ünite 178
Şekil 4.1 (1" lik Balata Tutucu) 178
Şekil 4.2 (½" lik Balata Tutucu) 178
Şekil 4.3 Balatanın takılma işlemi 179

1. TEST CİHAZI TEKNİK ÖZELLİKLER

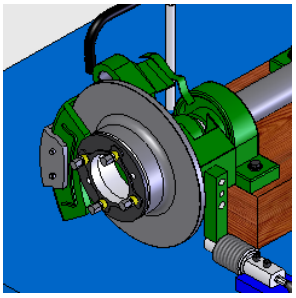
ELEKTRİK MOTORU	Gücü	: 7.5 Kw
	Devir Sayısı	: 1400 d/dk
	Renk	: Gri
İNVERTÖR	Marka GLS	
	Gücü : 7.5 Kw / 7.5 HP – 380 / 500V	
LOADCELL	Type: BB100	
	Kapasite:100 kg	
	Max. Yük: 150 kg	
HİDROLİK ÜNİTE	Pompa	: 200 bar
	Manuel Basınç Kontrol	: 400 bar
	Oransal Basınç Kontrol	: 0-60 bar
	Yağ deposu	:40x35x40
	Motor	: 1.5 Kw
PANO	Ölçüler	: 40 x 40 x 45
GENEL ÖLÇÜLER	Boy	:200 (cm)
	Genişlik	:100 (cm)
	Yükseklik	:100 (cm)

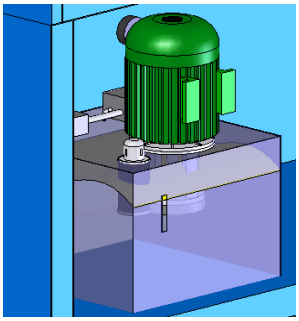
2. TEST CİHAZI VE EKİPMANLARI



Şekil 2.1 Otomobil Fren Balatalarındaki Sürtünme Katsayısını Tespit Eden Test Cihazı

3. TEST CİHAZI İLE DENEYE HAZIRLIK



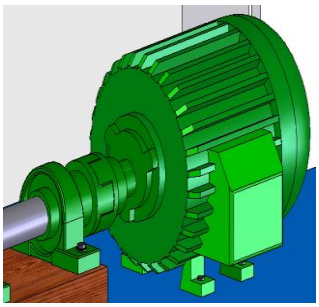


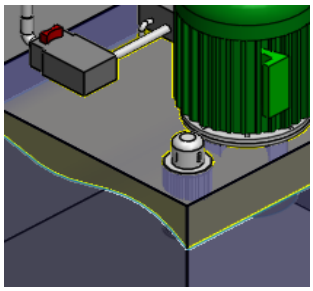
Test cihazında malzeme olarak yüzeyi 1"mm² (25.4mm×25.4mm) ve 1/2"mm² (25.4mm×12.7mm)'lik disk fren balataları kullanılmıştır. Deney parçası sürekli olarak 0-0.7 MPa basınçta 310 dev/dk'da sıcaklık 100°C'yi aşmayacak şekilde sürtünme katsayısı sabit hale gelinceye kadar döndürülür. Böylece balata yüzeyi ile disk yüzeyinin birbirine tam sürtünmesi sağlanarak balata deneye hazır hale gelmiş olur. Uygulanmakta olan yöntemlerden malzeme üzerinde meydana gelebilecek olan basınç, sıcaklık ve hız değerleri şu şekildedir. Sıcaklığın 0-400 ºC arasında olması basıncın 1050 kpa ile 4500 kpa arasında değişmesi, devir sayısının 0-1400 dev/dk olması sistemde her bir veri için değişik hassas sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Sürekli frenleme şartlarında 0-1.05 MPa basınç altında başlangıç sıcaklığı en az 40°C olmak şartıyla deneye başlanmalıdır.

3.1 TEST CİHAZINI ÇALIŞTIRMA AŞAMALARI

- Şalteri açarak, motoru çalıştırınız.
- Motor çalışır durumdayken basınç göstergesi manuel olarak ayarlanır.
- Gösterge istenilen düzeye ayarlandıktan sonra hidrolik ünite kontrol edilebilir.
- Sistem ilk çalıştırılırken istenilen sistem basıncı elektronik kontrol kartı tarafından algılanarak elektro-hidrolik on/off ve oransal valflere yol vermekte olduğu kontrol edilir.

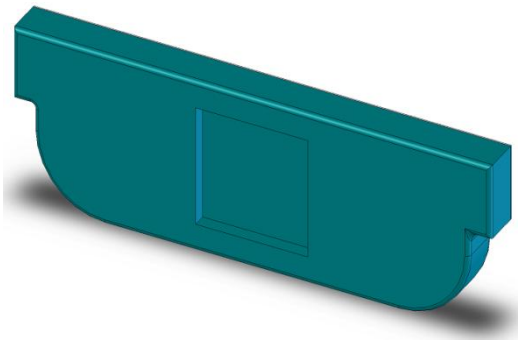




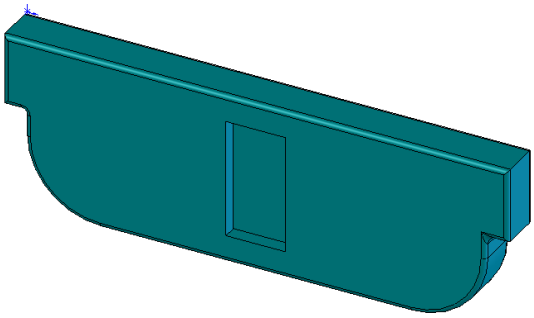
Şekil 3.1 Elektrik Motoru ve Hidrolik Ünite

4. BALATALARI TAKMA İŞLEMİ

Test cihazında balatanın takılabilmesi için 1” (25.4mm×25.4mm) ve ½” (25.4mm×12.7mm)’lik yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu sac kullanılmaktadır. Balata malzemesi şekildeki parçanın orta kısmında bulunan 1”mm² ve ½” mm² ‘ lik alana sıkı geçme yapılarak geçirilmesi sağlanır.



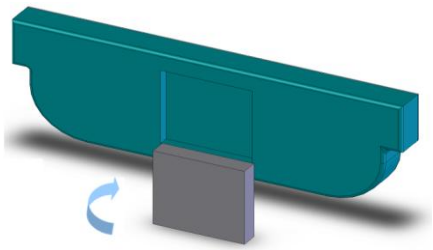
Şekil 4.1 (1” lik Balata Tutucu)



Şekil 4.2 (½” lik Balata Tutucu)

- Balata malzemesi şekil 4.3’ deki parçanın orta kısmında bulunan 2 mm derinliğindeki alana sıkı geçme yapılarak tutunma sağlanır.

- İstenilen düzeyde sıkılık sağlandıktan sonra balata tutucu sistemdeki yerine takılarak elde etmek istediğimiz verilere ulaşmamız sağlanır.
- Takılan balatalar dikkatlice kontrol edildikten sonra deney aşamasına geçilmelidir.



Şekil 4,3 Balatanın Takılma İşlemi

5. AYARLAR

5.1 Hidrolik Ünite Ayarları

- Yön valfini kontrol eden basınç ayar vidalarıyla manuel olarak ayarlanır.
- Bilgisayar programından otomatik olarak istenilen basınç değerlerini istenilen düzeyde ayarlanır.
- Sistemin çalışması için kullanılan basınç değerleri (0-1.05) barlık basınca kadar sistem basınç altında tutulur.
- Hidrolik Ünitenin çalışması elektrik panosundaki butonlar ile kontrol edilir.

5.2 İNVERTÖR AYARLARI

Elektrik panosundaki pako şartel 1 numaralı konuma getirilerek motora elektrik verilir.

Bilgisayar programında invertör ayarları otomatik veya manuel olarak yapılarak istenilen devire kolaylıkla ulaşılması sağlanır.

5.3 SICAKLIK AYARLARI

Sistemde kullanmış diskin yüzey sıcaklığı, disk yüzeyine gönderilen infared ışınlarla ölçülmektedir.

6. BAKIM

1- Hidrolik ünitenin daha sağlıklı bir şekilde görevini yapabilmesi için hidrolik kazan içerisindeki yağı 6 ayda bir değiştiriniz.

2- Basınca dayanıklı presli hortumların çalışma esnasında gevşemesini önlemek için sık sık kontrol edilmelidir.

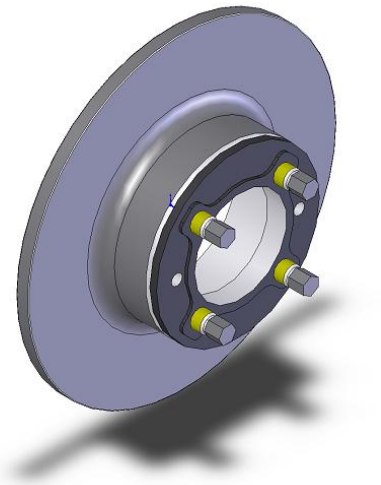
3- Basınçtan dolayı meydana gelen yük ile birlikte gerek milde gerekse yataklarda zorlanmalar meydana gelebilir. Bu nedenle deneysel çalışmalar bittikten sonra tehlikeye maruz kalan elemanlar kontrol edilmelidir.

4- Elektrik panosunda meydana gelen arızaların önlenmesi için uzman kişilerden bakımı için yardım alınmalıdır.

5- Test cihazından daha verimli sonuçlar alabilmek için uygun zaman aralıkların da bakımı yapılması tavsiye edilir.

7. TEST CİHAZININ TEMİZLENMESİ

- Test cihazının temizlenmesi için en çok deneye maruz kalan kolayca sökülebilen kısımlar çıkarılarak uygun temizleme malzemeleriyle temizlenmesi sağlanır.
- Balata tutucular disk durdurma kontrol sistemlerinden çıkartılarak temizlenir. Bu sayede balatanın boşluğa oturması daha güvenli bir hal alır.
- Sürtünme esnasında meydana gelen aşınmalardan dolayı Disk yüzeyinde oluşan tabaka temizlenerek uygun ortamda çalışması sağlanır. Disk yüzeyini temizleme işlemi ince zımpara ile istenilen yüzey kalitesi oluşana kadar yapılır. Ayrıca disk yüzeyine yapışan malzemenin temizlenmesinde zımpara yetersiz ise pirinç malzemeden yapılmış ince uçlu temizleme aparatı kullanılır.
- Test cihazının temizlenmesi esnasında elektrikle ilgili olan kısımlarına su girmemesine dikkat ediniz.



8. TEST CİHAZI İÇİN TAVSİYELER

- Test cihazını her zaman temiz tutunuz.
- Test cihazında topraklı priz kullanınız.
- Gerekli yağlama işlemlerini zamanında yapınız.
- Elektrik motorunda veya elektrik panosunda bir arıza olursa uzman kişilere kontrol ettiriniz.
- Balata tutucunun boşluk kısmını herhangi bir yere çarpmamaya dikkat ediniz aksi takdirde boşluk genişleyecek ve istenilen standartlarda deney gerçekleşmeyecektir.
- Sürtünme mekanizmasındaki baskı ucunun loadcell'e vurmamasına dikkat edilmelidir.
- Hidrolik ünitede meydana gelen problemler için uzman kişilerden yardım alınız.
- Deney sonucunda uygun ve hassas sonuçlara ulaşmak için gerekli bakım, onarım temizlik, prosedürlerine uymaya özen gösteriniz.
- Test cihazını sık sık kontrol ediniz. Kullanmakta güçlük çekilen parçaları değiştiriniz.

9. ARIZA NEDENLERİNİN BULUNMASI GİDERİLMESİ

Arıza	Muhtemel sebebi	Arızayı giderme
Diski durdurma esnasında uygun basınç oranları sağlanamıyor boşluk meydana geliyor.	a)Diskte aşırı yalpa vardır b)Sistemde hava vardır. c)Hidrolik yağ kalitesi uygun değildir d)Mil yatağı gevşektir e)Güç ünitesi çalışmıyordur	Disk yalpası kontrol edilir, gerekirse değiştirilir Sistemdeki kaçak ve sızıntılar kontrol edilir Hidrolik boşaltılır, uygun hidrolik kullanılır Yatak boşluğu ayarlanır Güç ünitesi kontrol edilir
Çalışma esnasında titreşime maruz kalıyor.	a)Diskte yalpa fazladır b)Diskin paralelliği bozulmuştur c)Mile desteklik yapan yataklar gevşektir.	Yalpa fazla ise disk değiştirilir Gerekirse disk değiştirilir UCP 210 Yatakların boşluk ayarı yapılır
Diski durdurmak için büyük basınç kuvvetine ihtiyaç duyuluyor	a)Güç ünitesi çalışmıyor b)Balatalar greslenmiş veya yağlanmıştır c)Balatalar aşınmıştır d)Yanlış balata kullanılmıştır	Onarılır veya değiştirilir Balatalar ve yağ keçeleri değiştirilir Değiştirilir Uygun balata takılır
Çalışma esnasında ses geliyor	a)İlk çalışma esnasında meydana gelen çıtırtı seslerin sebepleri b)Kazıma sesinin sebepleri 1)Bağlantı cıvataları uzundur 2)Disk kalipere sürtüyordur 3)Balatalar aşınmıştır ve pabuç üniteleri diske sürtüyordur	Diski yavaşlatma esnasında kısmi basmalarda çeşitli sesler gelebilir. Daha kuvvetli basıldığında bu ses kesiliyorsa bir onarım gerektirmez. Düşük hızlarda ve diski yavaşlatma esnasında gelen çıtırdama sesi, kaliper ile pabuç arasındaki boşluktan dolayıdır. Balata ve pabuç değiştirilir.

		Uygun cıvata kullanılır Kaliper yüzeyi temizlenir, tespit cıvataları kontrol edilir Balata ve pabuçlar değiştirilir