

**T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI SICAKLIKTA ÜRETİLEN T/M YATAKLARIN
DİNAMİK YÜK ALTINDA AŞINMASININ ARAŞTIRILMASI VE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

RECAİ FATİH TUNAY

Danışman: Prof. Dr. Cahit KURBANOĞLU

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2007**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği/oyçokluğu ile DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Bedri TUÇ

Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof.Dr. Cahit KURBANOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof.Dr. Mustafa BAYHAN

Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç.Dr. Abdullah ÖZSOY

Süleyman Demirel Üniversitesi Tek.-Eğt. Fak. Makina Eğitimi Bölümü

Üye: Doç.Dr. M.Cengiz KAYACAN

Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü

ONAY

Bu tez 12/07/2007 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../2007

Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Toz Metalurjisinin Tarihçesi	4
1.2. Aşınma	7
1.2.1 Adezyon Aşınması	9
1.2.2 Abrasyon Aşınması.....	10
1.2.3 Yorulma Aşınması(Pitting).....	10
1.2.4. Mekanik Korozyon.....	11
1.3. Yapay Sinir Ağları	11
1.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Tanımı	11
1.3.2. Biyolojik Nöron	13
1.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	15
1.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları.....	16
1.3.5. Yapay Sinir Alanlarının Kullanım Alanları.....	17
1.3.6. Yapay Sinir Ağı Yapıları.....	18
1.3.6.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	18
1.3.6.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	19
1.3.6.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları	20
1.3.6.4. Hopfield Yapay Sinir Ağları.....	21
1.3.6.5. Kohonen Yapay Sinir Ağları	22
2. KAYNAK ÖZETLERİ	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Metal Tozları.....	37
3.1.2. Tozların Fiziksel Özellikleri	37
3.1.2.1 Toz Tane Boyutu ve Dağılımı	37

3.1.2.2. Tane Şekli	37
3.1.2.3. Görünür Teorik ve Ham Yoğunluk	37
3.1.2.4. Sıkıştırılabilirlik	38
3.1.2.5. Ham Mukavemet.....	39
3.1.3. Tozların Kimyasal Özellikleri	39
3.1.4. Metalik Tozların Üretim Yöntemleri	39
3.1.4.1. Kimyasal Üretim Yöntemleri.....	40
3.1.4.2. Elektroliz Teknikleri.....	42
3.1.4.3. Atomizasyon	43
3.1.4.4. Mekanik Öğütme.....	45
3.1.5. Tozların Preslenmesi ve Sinterlenmesi	46
3.1.5.1. Toz Sıkıştırma Yöntemleri	47
3.1.5.2. Sinterleme	51
3.1.6. Toz Metalurjisi Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	53
3.1.6.1. Avantajlar	53
3.1.6.2. Dezavantajları	53
3.1.7. Toz Metalurjisi Uygulama Alanları	54
3.1.7.1. Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makina Parçaları	54
3.1.7.2. Takım Çelikleri	55
3.1.7.3. Sert Metaller	55
3.1.7.4. Gözenekli Metaller ve Filtreler.....	56
3.1.7.5. Sürtünme Elemanları.....	56
3.1.7.6. Elektrik Manyetik Uygulamaları	57
3.1.7.7. Kaymalı Yataklar	57
3.1.8. Yükleme Şekilleri	64
3.2. YÖNTEM.....	67
3.2.1 T/M Kaymalı Yatak Numuneleri.....	67
3.2.2. Yatak Kalıbının İmalatı	68
3.2.3. Tozların Karıştırılması	69
3.2.4. Tozların Preslenmesi	69
3.2.5. Numunelerin Sinterlenmesi	74
3.2.6. Numunelere Yağ Emdirme İşlemleri	75
3.2.7. Aşınma ve Sürtünme Deney Düzenegi	76
3.2.8. Aşınma Deneyleri	85

3.2.9. Metalografik İncelemeler	86
3.2.10. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme	86
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	87
4.1. Tozların Sıkıştırılması Sırasında Elde Edilen Bulgular	87
4.2. Yağ Emdirme Sonunda Elde Edilen Bulgular	87
4.3. Aşınma Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Veriler	88
4.3.1. Oda Sıcaklığında Yapılan Aşınma Deneyleri.....	88
4.3.2. 75°C Sıcaklıkta Yapılan Aşınma Deneyleri	107
4.4. Sürtünme Katsayıları.....	126
4.4.1. Grafitsiz Kompozisyondaki Numunelerin Sürtünme Katsayıları.....	126
4.4.2. Grafitli Kompozisyondaki Numunelerin Sürtünme Katsayıları	132
4.5. Metalografik İncelemeler	137
4.6. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modelleme Yapılması.....	143
4.6.1. Grafitsiz Kompozisyona Sahip Numunelerin Aşınma Değerlerinin Modellenmesi.....	143
4.6.2. Grafitli Kompozisyona Sahip Numunelerin Aşınma Değerlerinin Modellenmesi.....	147
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	152
5.1. Sonuçlar.....	152
5.2. Öneriler.....	157
6. KAYNAKLAR.....	158
EKLER.....	166
EK-1 Metal Tozlarının Analiz Raporları	166
EK-1.1 Bakır Tozu Analiz Raporu	166
EK-1.2 Kalay Tozu Analiz Raporu	167
EK-2 Oda Sıcaklığında Yapılan Aşınma Deney Grafikleri	168
EK-2.1 Grafitsiz Kompozisyon Sahip (90Cu10Sn) Numunelerin Aşınma Deney Grafikleri.....	168
EK-2.2 Grafitli Kompozisyona Sahip (90Cu9Sn1C) Numunelerin Aşınma Deney Grafikleri.....	176
EK-3 75°C Sıcaklıkta Yapılan Aşınma Deney Grafikleri	184
EK-3.1 Grafitsiz Kompozisyona Sahip (90Cu10Sn) Numunelerin Aşınma Deney Grafikleri.....	184

EK-3.2 Grafitli Kompozisyona Sahip (90Cu9Sn1C) Numunelerin Aşınma	
Deney Grafikleri	192
EK-4 Farklı Şartlardaki Aşınma Miktarları	200
ÖZGEÇMİŞ.....	212

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI SICAKLIKTA ÜRETİLEN T/M YATAKLARIN DİNAMİK YÜK ALTINDA AŞINMASIIN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

Recai Fatih TUNAY

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri: Prof.Dr. Bedri TUÇ
Prof.Dr. Cahit KURBANOĞLU(Danışman)
Prof.Dr. Mustafa BAYHAN
Doç.Dr. Abdullah ÖZSOY
Doç.Dr. M.Cengiz KAYACAN

Bu çalışmada gözenekli yatakların farklı çalışma şartları altındaki aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiş ve deney sonuçları Yapay Sinir Ağları kullanılarak modellenmiştir. Yatak malzemeleri %90Cu+%10Sn ve %90Cu+%9Sn+%1C olmak üzere iki farklı kompozisyonda üretilmiştir. Kendi kendini yağlayan yataklar %80 ve %85 son yoğunluklarda üretilmiştir. Yataklar oda sıcaklığı ve 140°C sıcaklık olmak üzere iki farklı sıcaklıkta preslenerek parçalanmış Amonyak Gazı atmosferinde 20 dakika sinterlenmiştir. Preslenmiş ve sinterlenmiş yataklara iki farklı yağ emdirilmiştir. Numune yatakların aşınma özellikleri iki farklı sıcaklık, üç farklı yük ve 26.6m/d, 44.9m/d ve 57.2m/d hızlarda incelenmiştir. Aşındırıcı olarak SAE 1050 çeliği kullanılmıştır. Aşınma deney sonuçları kullanılarak kayma mesafesi(yol)-ağırlık kaybı grafikleri, farklı çalışma şartları için çizilmiştir. Testlerde aynı zamanda sürtünme katsayısının değişimi de incelenmiştir. Son olarak Yapay Sinir Ağları kullanılarak, test sonuçları iki farklı ağ da modellenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Kendi Kendini Yağlayan Yataklar, Aşınma, Sürtünme, Yapay Sinir Ağları

2007, 212 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATING THE WEAR PROPERTIES OF P/M BEARINGS PRODUCED AT DIFFERENT TEMPERATURES UNDER DYNAMIC LOADING AND MODELLING THE RESULTS USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Recai Fatih TUNAY

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering

Thesis Committee: Prof.Dr. Bedri TUÇ
Prof.Dr. Cahit KURBANOĞLU(Supervisor)
Prof.Dr. Mustafa BAYHAN
Assoc.Prof.Dr. Abdullah ÖZSOY
Assoc.Prof.Dr. M.Cengiz KAYACAN

In this study, the wear performances of porous bearings under different operating conditions were experimentally investigated and test results were modeled using Artificial Neural Networks. Two different bearing material compositions of self lubricating bearings were chosen as follows: 1) 90%Cu+10%Sn, 2) 90%Cu+9%Sn+1%C. Two different types of bearings were produced with their final densities at 80% and 85%. Bearings were pressed under room temperature and 140°C. The specimens were sintered for 20 minutes under dissociated ammonia atmosphere. Pressed and sintered bearings were oil impregnated with two different oils. Wearing properties of sample bearings were determined at two different temperatures, three different loads and three different sliding speeds as follow 28.6m/min, 44.9m/min and 57.2m/min. All wearing tests were performed under dynamic loading. As an abrasive material SAE 1050 steel bar was used. Sliding distance-weight loss curves were plotted for different test conditions using wearing experiment results. In the tests, the variations of friction coefficients were also investigated. Lastly, test results were modeled at two different networks using Artificial Neural Networks.

Key Words: Powder Metallurgy, Self-Lubricating Bearings, Wear, Friction, Artificial Neural Networks,

2007, 212 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın başlangıcından bitimine kadar benden hiçbir desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Cahit KURBANOĞLU'na, katkıları için teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım esnasında bilgilerinden yararlandığım tüm değerli hocalarıma ve sorumluluklarımı benimle paylaşma nezaketi gösteren Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan teknisyenlerimiz Şadi SALDANLI, Abdullah SAĞLAM ve Kudret BENEK' e teşekkür ederim.

Numunelerin hazırlanması aşamasında gerek metal tozu temini gerekse sinterleme işlemleri aşamasında yardımcı olan TOZMETAL A.Ş. Proses ve Kalite Kontrol Müdürü Cengiz BOZACI ve Sinter Planlama ve İmalat Müdürü Aytaç ATAŞ' nezdinde tüm TOZMETAL A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmayı 04-D-829 no'lu projeye maddi olarak destekleyen S.D.Ü. Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederim.

Ve son olarak, bugünlere gelmemde en çok emeği bulunan annem, babam ve kardeşlerimle, çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini sürekli hissettiğim değerli eşime teşekkür etmeyi borç bilirim.

Recai Fatih TUNAY
Isparta, 2007

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Toz Metalurjisi üretim aşamaları	3
Şekil 1.2. Zamanla oluşan aşınma	8
Şekil 1.3. Adezyon aşınması	10
Şekil 1.4. Biyolojik nöron	14
Şekil 1.5. Bir sinir sisteminin blok gösterimi.....	15
Şekil 1.6. İleri beslemeli YSA yapısı.....	19
Şekil 1.7. Geri beslemeli YSA yapısı	20
Şekil 1.8. Radyal tabanlı fonksiyon ağ yapısı	21
Şekil 1.9. Hopfield Ağ Yapısı	22
Şekil 1.10. Kohonen ağ yapısı	23
Şekil 3.1. Hall ve Scott akış aparatları.....	38
Şekil 3.2. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz hücre şeması	42
Şekil 3.3. Su atomizasyonunun şematik gösterimi	44
Şekil 3.4. Gaz atomizasyon yönteminin şematik gösterimi	44
Şekil 3.5 Mekanik alaşımlamada Atritör	46
Şekil 3.6. Tek yönlü sıkıştırma.....	48
Şekil 3.7. Çift yönlü sıkıştırma.....	49
Şekil 3.8. Soğuk izostatik presleme işlem akışı	50
Şekil 3.9. Sinterleme aşamaları	51
Şekil 3.10. T/M ile üretilmiş çeşitli makina parçaları.....	54
Şekil 3.11. Sert metaller	55
Şekil 3.12. Filtreler	56
Şekil 3.13. Sürtünme elemanları.....	56
Şekil 3.14. Toz Metalurjisi ile üretilmiş elektrik elemanları	57
Şekil 3.15. Kendinden yağlamalı T/M yataklar	61
Şekil.3.16. Yağlama mekanizması.....	62
Şekil.3.17. Yükleme çeşitleri	65
Şekil 3.18. Üretilen numunelerin katı modeli ve ölçüleri	67
Şekil 3.19. Numunelerin sıkıştırıldığı kalıp ve boyutları.....	68
Şekil 3.20. Konik karıştırıcı	70
Şekil 3.21. Üniversal çekme-basma cihazı.	70
Şekil 3.22. Farklı sıcaklıkta numune sıkıştırılmasına imkan veren fırın	71

Şekil 3.23. Kalıp duvarı	71
Şekil 3.24. Sıcaklık kontrol paneli.....	72
Şekil 3.25. Fırın ve kontrol paneli	72
Şekil 3.26. 140°C sıcaklıkta numune sıkıştırma için kullanılan sistem.....	73
Şekil 3.27. Sıkıştırma ortamına Argon gazı gönderilmesi	73
Şekil 3.28. Sinterleme fırını	74
Şekil 3.29. Sinterleme fırınından bir görünüş	75
Şekil 3.30. Sinterleme aşamaları	75
Şekil 3.31. Deney setinden genel bir görünüş	77
Şekil 3.32. Deney düzeneğinin kesit resmi	78
Şekil 3.33. Frekans değiştirici ve mil tahrik motoru	78
Şekil 3.34. Yatak ana gövdesi	79
Şekil 3.35. Isıtıcılar, termocupl ve digital sıcaklık ölçer	80
Şekil 3.36. Hidrolik donanım sistem	80
Şekil 3.37. Dinamik yükün değiştirilmesi.....	81
Şekil 3.38. Eksantriklik mesafesi “e” ile yatağa uygulanan F_n kuvvetine ait kalibrasyon eğrisi	82
Şekil 3.39. Dinamik yükün uygulanması.....	83
Şekil 3.40. Sürtünme kuvvetinin ölçülmesi için kullanılan sistem	84
Şekil 3.41. Strain-gaugelere ait kalibrasyon eğrisi	85
Şekil 3.42. SEM cihazı.....	86
Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluğa göre yağ emme miktarları	88
Şekil 4.2. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	89
Şekil 4.3. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	91
Şekil 4.4. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	92
Şekil 4.5. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	93

- Şekil 4.6. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 94
- Şekil 4.7. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 95
- Şekil 4.8. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 96
- Şekil 4.9. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 97
- Şekil 4.10. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 98
- Şekil 4.11. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 99
- Şekil 4.12. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 100
- Şekil 4.13. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 101
- Şekil 4.14. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 102
- Şekil 4.15. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 103
- Şekil 4.16. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 104
- Şekil 4.17. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 105
- Şekil 4.18. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 106
- Şekil 4.19. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları 107

Şekil 4.20. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	108
Şekil 4.21. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	109
Şekil 4.22. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	110
Şekil 4.23. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	111
Şekil 4.24. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	112
Şekil 4.25. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	113
Şekil 4.26. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	114
Şekil 4.27. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	115
Şekil 4.28. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	116
Şekil 4.29. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	117
Şekil 4.30. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	118
Şekil 4.31. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	119
Şekil 4.32. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	120

Şekil 4.33. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	121
Şekil 4.34. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	122
Şekil 4.35. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	123
Şekil 4.36. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	124
Şekil 4.37. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları	125
Şekil 4.38. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	126
Şekil 4.39. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	127
Şekil 4.40. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	128
Şekil 4.41. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	128
Şekil 4.42. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	129
Şekil 4.43. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	130
Şekil 4.44. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	131
Şekil 4.45. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	131
Şekil 4.46. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	132
Şekil 4.47. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	132
Şekil 4.48. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	133
Şekil 4.49. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin $75^{\circ}C$ sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	134

Şekil 4.50. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	135
Şekil 4.51. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	135
Şekil 4.52. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	136
Şekil 4.53. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları	136
Şekil 4.54. 90Cu10Sn kompozisyona sahip numunelerin SEM görüntüleri (a) 0.80 yoğunluk, (b) 0.85 yoğunluk	137
Şekil 4.55. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip numunelerin SEM görüntüleri (a) 0.80 yoğunluk, (b) 0.85 yoğunluk	137
Şekil 4.56. Oda sıcaklığında, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	138
Şekil 4.57. Oda sıcaklığında, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	139
Şekil 4.58. Oda sıcaklığında, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	139
Şekil 4.59. Oda sıcaklığında, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	140
Şekil 4.60. 140°C sıcaklıkta, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	141
Şekil 4.61. 140°C sıcaklıkta, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	141
Şekil 4.62. 140°C sıcaklıkta, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	142
Şekil 4.63. 140°C sıcaklıkta, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) ±100N, (b) ±300N	142
Şekil 4.64. Oluşturulan yapay sinir ağının özellikleri	144
Şekil 4.65. Eğitim ve test amaçlı kullanılan verilerin MATLAB ortamına aktarılması	144

Şekil 4.66. YSA'nın Eğitim-Giriş ve Eğitim-Çıkış verileriyle eğitim aşamasına hazırlanması	145
Şekil 4.67. Kurulan YSA'nın eğitilmesi	145
Şekil 4.68. Kurulan ağın test edilmesi	146
Şekil 4.69. Eğitilen ağdan Test-Çıkış verilerinin alınması	146
Şekil 4.70. Kurulan ağdan elde edilen sonuçlarla deneysel yolla elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	147
Şekil 4.71. Oluşturulan yapay sinir ağının özellikleri	148
Şekil 4.72. Eğitim ve test amaçlı kullanılan verilerin MATLAB ortamına aktarılması	148
Şekil 4.73. YSA'nın Eğitim-Giriş ve Eğitim-Çıkış verileriyle eğitim aşamasına hazırlanması	149
Şekil 4.74. Kurulan YSA'nın eğitilmesi	149
Şekil 4.75. Grafitli kompozisyon için kurulan ağın test edilmesi	150
Şekil 4.76. Eğitilen ağdan Test-Çıkış verilerinin alınması	150
Şekil 4.77. Kurulan ağdan elde edilen sonuçlarla deneysel yolla elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	151

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kendi kendini yağlayan yatakların kimyasal kompozisyonu	59
Çizelge 3.2. Bronz yatakların yoğunluklara göre sınıflandırılması.....	60
Çizelge 3.3. Bronz yatakların içerdiği yağ miktarları(%).....	60
Çizelge 3.4. Demir-bakır karbon sinter yatakların kimyasal kompozisyonu.....	60
Çizelge 3.5. Gözenekli yatakların tipik özellikleri	63
Çizelge 3.6.a Numunelerin ve deney milinin bazı özellikleri	68
Çizelge 3.6.b. Deney milinin kimyasal bileşenleri	68
Çizelge 3.7. Kalıp duvarı, alt zımba ve üst zımbanın sertlik değerleri.....	69
Çizelge 3.8. Emdirilen yağların fiziksel özellikleri.....	76
Çizelge 4.1. Oda sıcaklığında yapılan sıkıştırma ve kalıptan çıkarma basınçları	87
Çizelge 4.2. 140°C sıcaklıkta yapılan sıkıştırma ve kalıptan çıkarma basınçları.....	87

KISALTMALAR

T/M	Toz Metalurjisi
YSA	Yapay Sinir Ağları
A_i	İlk ağırlık
A_s	Son ağırlık
Z	Radyal veya aksenal gerilme
U	Kalıp duvarı sürtünme katsayısı
H	Basılacak tozun kalıp içindeki yüksekliği (mm)
D	Sıkıştırılacak alanın çapı (mm)
P	Yatak kesit alanına düşen basınç, (MPa)
V	Milin çevresel hızı, (m/d)
W	Yatak yükü, (kg)
L	Yatak uzunluğu, (mm)
n	Dönme sırasında milin hızı, (d/d)
d	Yatağın iç çapı, (mm)
pV	Yük taşıma kapasitesi, (MPa.m/d)
σ_{max}	Maksimum gerilme
σ_{min}	Minimum gerilme
σ_o	Ortalama gerilme
σ_g	Gerilme genliği
R	Zorlanma faktörü
MA	Mekanik Alaşımlama

1. GİRİŞ

Toz Metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında farklı bir üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık elemanların ekonomik olarak üretilebilmesi, Toz Metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M ile üretimde farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozları; sağlam, hassas ve yüksek performanslı elemanlara dönüştürülür. T/M ile üretim işlemi; şekillendirme maksadı ile veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içermektedir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip; otomatikleşmiş işlemleri verimli bir şekilde kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırmaktadır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve son zamanlarda geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır.

T/M'nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, kendinden yağlamalı yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor elemanları metal tozlarından üretilen elemanlara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, patlayıcılar, kaynak elektrodları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır. T/M parçaların dünya genelindeki pazar payına bakılacak olursa, pazarın %75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7kg, Japon yapımı arabalar ise 5kg T/M elemana sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16kg'dan daha fazla T/M eleman içermektedir (www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm).

Yağ emdirilmiş gözenekli yataklar kendi kendini yağlayan yataklar, yağlamasız yataklar veya yağ beslemesiz yataklar olarak bilinmektedirler. Bu tip yataklar çalışmaları esnasında neredeyse hiçbir bakım gerektirmemektedir (Kasahara, 1997). Bu yataklar T/M ile üretilmektedir ve maliyetleri oldukça düşüktür. Gözeneklerde bulunan yağlar, milin çalışmasıyla birlikte sürtünme yüzeyini yağlar ve mil durunca

tekrar gözeneklere geri döner. Böylece az bir miktar yağla etkili bir şekilde yağlama gerçekleştirilmektedir (Kaneko, 1993).

Toz Metalurjisi(T/M) metalurjinin, metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterlenmesiyle yapılan ürünlerin imalatı ile ilgili bölümüdür (Anonim, 1978).

Toz Metalurjisi, metal ve metalsel alaşımların tozlarını ergitmeden; basınç ve sıcaklık altında dayanıklı cisimler haline getirebilen bir imalat yöntemidir (Ersümer, 1970).

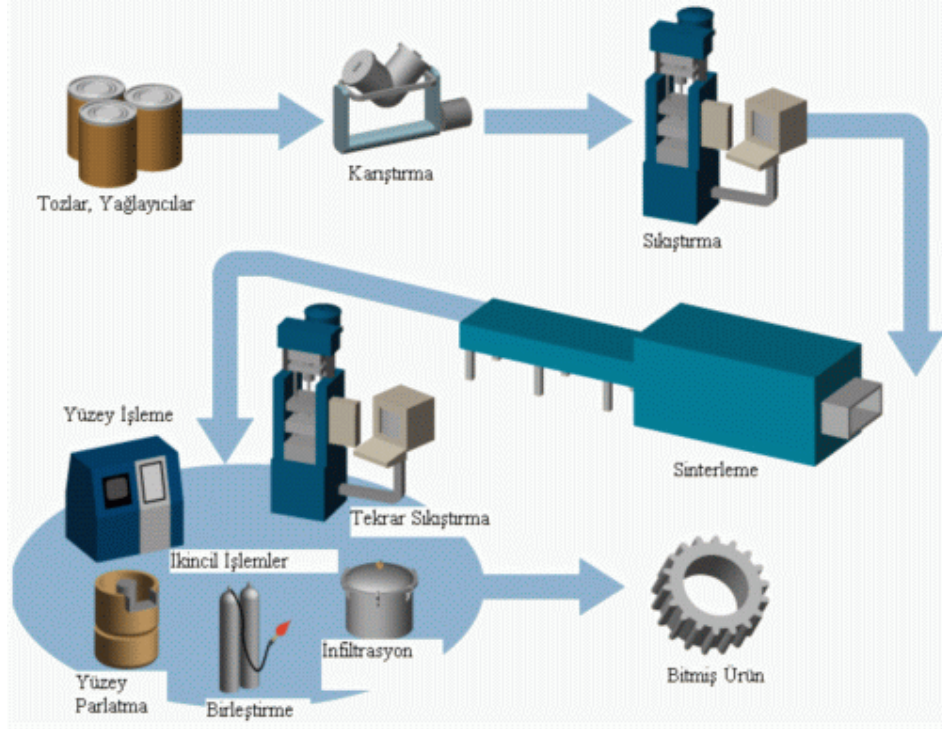
Toz Metalurjisi farklı profillerde ve mukavemette, şekillendirilmiş elemanların üretimi için metal tozlarının kullanıldığı bir üretim sanatı olarak tanımlanmaktadır (Dixon ve Clayton, 1971).

Toz Metalurjisi; metal tozlarından kütleli gereçler ve şekillendirilmiş parçalar üretme teknolojisi ve sanatıdır (Sarıtış, 1994).

Toz Metalurjisi üretim yöntemleri diğer metal üretim yöntemlerinden tamamen farklıdır ve seramik parça üretim teknolojisine benzer (Karataş, 1997). Üretim her iki durumda da ilk önce toz elde edilmesi ve tozların bir kalıp içinde sıkıştırılmasıyla başlar. Oluşan şekil, sinterleme (pişirme) yoluyla gerekli mukavemete kavuşturulur (Sarıtış, 1995).

Toz Metalurjisi (T/M); çeşitli üretim süreçlerini kullanarak farklı boyut, şekil ve paketleme özelliğine sahip metal ve alaşım tozlarını dayanıklı, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştüren modern bir üretim yöntemidir

Toz Metalurjisi üretim yöntemi metal tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların imalatı istenilen parçaların şekline dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb..) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur (Şekil 1.1)(www.makinamuhendisi.com).



Şekil 1.1 Toz Metalurjisi üretim aşamaları

Bu doktora çalışmasının amacı pratikte yaygın olarak kullanılan T/M esaslı kendinden yağlamalı kaymalı yatakların aşınma özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaçla hem oda sıcaklığında hem de 140°C’de; iç çapı 13mm, dış çapı 22mm ve uzunluğu 8mm olan bronz yatak numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, %90Cu+%10Sn ve %90Cu+%9Sn+%1C kompozisyonlarında olmak üzere iki farklı kompozisyondadır. 140°C’lıkta presleme yapabilmek için bir fırın tasarlanmış ve imal edilmiştir. Numunelerin sıkıştırma esnasında oksitlenmelerini önleyebilmek için ortama Argon Gazı gönderilmiştir. Numuneler sıkıştırıldıktan sonra 20 dakika süreyle 820°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Yağ emdirme işlemi iki farklı yağ kullanılarak yapılmıştır. Aşınma deneyleri 3km mesafe için hem oda sıcaklığında hem de 75°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri $\pm 100N$, $\pm 200N$ ve $\pm 300N$ yüklerde; 28.6m/d, 44.9m/d ve 57.2m/d kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yola bağlı olarak aşınma miktarları grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak verilmeye çalışılmıştır. Aşınma deneyleri sırasında aynı zamanda sürtünme katsayısı değişimleri de incelenmeye çalışılmıştır. Son olarak aşınma deneylerinden elde

edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla modelleme yapılmaya çalışılmıştır.

1.1. Toz Metalurjisinin Tarihçesi

İnsanlığın çok eski zamanlarında metal toz parçalarının çekiçle dövüldüğü, bir araya getirilebildiği ve sonuçta bir kütsel yapının elde edildiği görölmektedir. Zaman içinde insanoğlu fırınlarda, ergitme için yeteri kadar yüksek sıcaklıklara çıkararak, bronz yapımı için gerekli olan bakır ve kalay gibi düşük sıcaklık alaşımları elde etmiştir.

Metallerin ergime noktalarına çıkabilen fırınlar geliştirilmeden önce, Toz Metalurjisi prensipleri kullanılmıştır. Yaklaşık M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'lılar tarafından aletlerin yapımında, günümüz Sünger Demir'ine benzer toz ve parçacıkların kullanıldığı bilinmektedir. Sünger Demir tozları, ateşte ısıtılmış ve sonra çekiçle dövülmüştür. Nihai şekiller basit dövme işlemleri ile elde edilmiştir. Ürün genelde metalik olmayan empüriteler içermesine rağmen olağanüstü sağlam yapılar meydana gelmiştir (Avner, 1994).

Toz Metalurjisi, tarihçesi M.Ö. 5000 yıllarına dayanan en eski ve en modern metal parça üretim metodudur. İnkalar altın tozlarını bu metotla mücevhere dönüştürmüşlerdir.

Toz Metalurjisi eski bir sanat olarak isimlendirilmektedir. Kil ve diğer seramik malzemelerinden farklı olarak, kayıtlı tarihin ilk bölümleri boyunca kalıplama ve pişirme sanatı zaman zaman pratik veya dekoratif nesnelerin yapılmasında kullanılmıştır. Metallerin sinterlenmesi, birbirini izleyen yüzyıllarda tamamıyla unutulmuştur. Platin tozu üretiminin gerçekleşmesiyle 18yy.'ın sonlarında Avrupa'da tekrar canlanmıştır.

Altın, bakır, bronz gibi metal tozları ve özellikle demir oksit ve renk veren diğer oksitler gibi birçok toz oksitler dekoratif amaçlı olarak boyalarda ve mürekkeplerde seramikler için ve de kozmetik sanayinde kayıtlı tarihin başlangıcından beri kullanılmaktadır.

İlk insanlar, tesadüfen, dövme yoluyla metal zerrecelerini birbirlerine eklemişler ve sonuçta katı bir yapı oluşturmayı başarmışlardır. O zamanlarda insanlar ocakları nasıl inşa edeceklerini ve düşük ergime sıcaklığına sahip bakır ve kalaydan meydana gelen bronz alaşımı gibi alaşımlar için yeterli sıcaklığa nasıl çıkabileceklerini öğrenmişlerdi (Anonim, 1998).

Metalin ergime noktasına ulaşabilmek için gerekli ocakların geliştirilmesinden çok önceleri Toz Metalurjisi esasları uygulanmaktaydı. M.Ö 3000 yıllarında Mısırlılar sünger demiri takım yapmak için kullanmışlardı. Bu ilk uygulamada demir oksit, odun kömürü ve ufalanmış kabuk ateşinde ısıtılmış ve bir körükten geçen yoğun hava akımı ile oksit azaltılarak, metalik bir sünger demir üretilmiştir. Sonuçta sıcak sünger demir dövüldükten sonra partiküller birbirine kaynamıştır. Son şekil basit dövme süreci neticesinde elde edilmiştir. Ürün, büyük miktarlarda metalik olmayan yabancı maddeler içerse de, dikkat çekecek değerde bazı katı ve kusursuz yapılar da gözlenmiştir (Carpenter ve Robertson, 1930).

W.D. Jones Afrikalı kabilelerin geliştirdiği bir süreç değişikliğinden bahsetmiştir. İndirgmeden sonra, sünger toz haline getirilmekte ve mümkün olduğunca cüruf ve diğer kısımlar olarak sınıflandırılmaktadır. Toz, sonra ya sıkıştırılmakta ya da gözenekli bir materyal içinde dövülerek sinterlenmektedir (Jones, 1960).

Modern anlamda T/M yöntemlerinin ilk uygulaması ancak yüzyıllar sonra 18. ve 19. yüzyıl Avrupa'sında değerli bir metal olan platinin işlenmesi sırasında oluşmuştur. Platin sünger tozundan kompakt platin üretimi, modern T/M'nin başlangıcı olarak düşünülmektedir. Toz Metalurjisi'nin ilk ticari uygulamaları Karbon ve daha sonra Zirkonyum, Vanadyum, Tantalum, Tungsten'in akkor lamba flamları için kullanılmasıyla oluşmuştur (Ünlü ve Öveçoğlu, 1995).

İlk olarak 1755'te Lewis, kurşun-platin alaşımından kurşun oksidin giderilmesi sonucu, süngerimsi bir platin kütesinin kaldığını keşfetti. Buna benzer, ısıtmaya bağlı olarak arseniğin uçurulması ile dövülerek toz haline getirilebilen, platin süngerinin kaldığı tespit edildi. Bu gelişmeyi takiben 1798'de Rochon ve 1805'te Tilloch platin tozlarından tam pekişmiş kompakt kütleler üretmeyi başardılar. Bu gelişmenin devamında 1829 yılında Wollaston tarafından sıvı çözeltilerde amonyak-

platin klorür çökmesi ile başlayan ve son olarak katı platin külçesine ulaşılan aşamalar modern anlamda Toz Metalurjisi tekniklerinin ilk uygulamaları olmuştur (Öveçoğlu, 1997).

Refrakter malzemeler ve karbürlerin gelişimine ilave olarak T/M'nin diğer önemli alanı, 1900'lerin başında önem kazanan poroz metal yataklarıdır. Metalik filtreler poroz metallerin gelişiminde bir sonraki basamağı oluşturmaktadırlar.

Kütle üretiminin otomotiv endüstrisine geçmesi, büyük tonajlarda demir ve bakır tozlarının ve modern T/M'nin teknolojik birçok avantajının doğmasına neden olmuştur. 1940 ve 1950'lerin başlarına kadar, otomotiv endüstrisinde kullanılan bakır tozu ve kendinden yağlamalı yataklar, Toz Metalurjisinin temel ürünleri olmuştur. Özellikle uzay teknolojisinin ve nükleer teknolojinin gelişmesiyle reaktif ve refrakter metallerin Toz Metalurjisi yöntemiyle üretilmesi yaygın hale gelmiştir.

1970'lerin ortalarından itibaren hemen hemen tüm ikili, üçlü ve daha fazla metal sistemlerini içine alan yeni bir metalurji dalı olan Toz Metalurjisi, endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ergime döküm süreçleri ile eldesi mümkün olmayan ve şekillendirilemeyen bu tür sistemlerde gerçekleştirilen çeşitli Toz Metalurjisi yöntemleri ile tam olarak homojen, segragasyonsuz, yoğun, ince taneli ve yüksek mukavemetli malzemeleri üretmek mümkün olmuştur (Ünlü ve Öveçoğlu, 1995).

19. asrın sonlarında, endüstride platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılması denenmiştir. Kimyasal bir usulle platin, toz haline getirilmekte, bu toz çok yüksek basınçta sıkıştırılmakta ve sonra ısıtılmaktadır. Böylece tozlar, masif bir kütle haline gelmektedir. 1826 yıllarında Rusya'da tedavüle çıkarılan platin para, T/M'nin ilk endüstriyel uygulaması olmuştur (Ersümer, 1970).

Tüm metal işleme teknolojileri içerisinde Toz Metalurjisi, sunduğu çeşitlilik açısından en kapsamlı şekillendirme ve üretim süreçlerine sahip teknolojidir. T/M'ni çekici kılan en önemli unsur; karmaşık şekillerdeki parçaların istenilen toleranslarda kayıpsız ya da çok az kayıpla, yüksek kalitede ekonomik olarak imal edilebilmesidir. T/M, elemental metal tozların tam ve/veya yarı ön alaşımlanmış metal tozların

bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte harmanlanarak uygun pekiştirme yöntemleri ve sıcaklıklar kullanılarak, arzu edilen şekillerde üretilmeleri süreçlerini içeren oldukça kapsamlı ve çok disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir. Günümüzde T/M' ni endüstriyel üretim aşamalarının hemen tümünde uygulanabilir hale getiren zorlayıcı nedenler vardır. Bu nedenler arasında; malzemeden tasarruf edilmesi, üretilen parçanın mikro yapısında ince tane boyutları ile kimyasal olarak homojenizasyonunun sağlanması, karmaşık şekilli parçaların nispeten ekonomik olarak üretilmesi ve tam yoğunluk ile yüksek dayanım performansı gibi faktörler sayılabilir. Üretim aşamalarında metal tozlarının şekillendirilip, pekiştirilmesi ve ısıtılarak sinterlenmesi temel adımlardır.

A.B.D'de 2000 yılında ortalama bir arabada yaklaşık 17kg'dan fazla T/M parça kullanılmıştır (Pease ve West, 2002).

T/M, düşük enerji tüketimi ve maliyetlerde, yüksek verimde malzeme kullanımı içeren otomasyon üretim süreçlerinden yararlanır. Bu özellikleri itibariyle T/M, günümüz teknolojilerinde önemli kavramlar olan verimlilik, enerji ve hammadde üçlüsü ile uyum içerisindedir. Bu yüzden, T/M dünyada giderek yaygınlık kazanmakta olup, gerek teknolojik gerekse ekonomik açılardan diğer metalurjik üretim süreç ve teknolojilerine alternatif oluşturan bir uygulamadır.

1.2. Aşınma

Elemanların aşınması malzemelerin cinsine, birbirlerine temas şekline ve yüzeylerin pürüzlülük durumlarına göre değişmektedir. Genellikle elemanların yüzeyleri kimyasal bir absorpsiyon tabakası ile kaplıdır. Temas eden yüzeyler arasında bu tabaka devamlı vardır. Yük altında, bu tabakaların temas yüzeylerinde kaynamalar meydana gelmekte; sürtünme ve aşınma sonucunda elemanların yüzeylerinden malzeme kaybı meydana gelmektedir (Kurbanoglu, 2006).

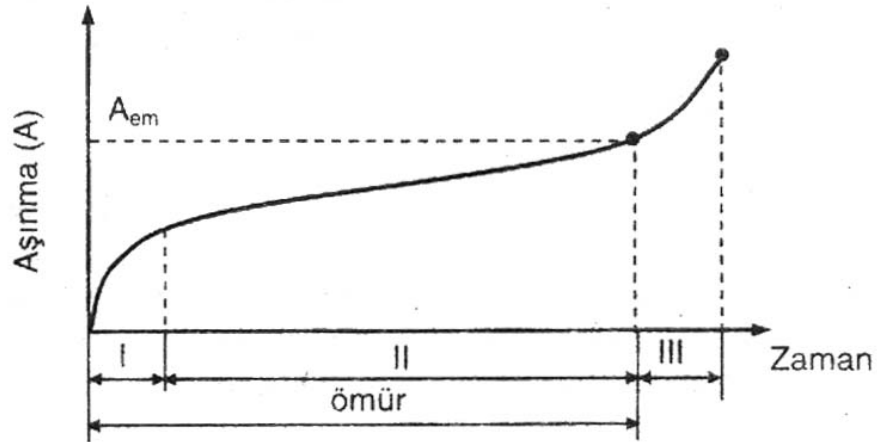
Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin, istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır. Bu şekilde, yüzeyler ilk şekillerini kaybederler; elemanlar

arasındaki boşluklar büyür ve buna bağlı olarak; makinanın hassasiyeti azalır, dinamik kuvvetler büyür, gürültü ve titreşimler oluşur, verim azalır (Akkurt, 1990)

Aşınma sürtünen yüzeylerden malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır. Büyük ekonomik kayıplara neden olduğundan üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. (Onaran, 1999).

Aşınma genel olarak, çok sayıdaki küçük parçacıkların hareketleri nedeniyle yüzeyde meydana gelen erozyon olarak tanımlanmaktadır. Etkileşen faktörlerin çokluğu, olayın mekanik karakterinin yanında, fiziksel ve kimyasal karakterlerinin de bulunması genel bir aşınma teorisinin tanımlanmasına olanak vermemektedir (Cürgül, 2005).

Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin, mekanik etkilerle istenmeyen bir şekilde kopması ve ana parçalardan ayrılması şeklinde tanımlanmaktadır. Böylece yüzeylerin ilk şekilleri bozulmakta, parçalar arasındaki boşluklar büyümekte ve istenilen fonksiyon yerine getirilememektedir. Aşınma, zamanla gelişen ve aniden olan aşınma olarak iki gruba ayrılabilir. Zamanla oluşan aşınmada aşınma miktarı zamana göre değişmekte olup üç bölge söz konusudur (Şekil 1.2) (Koç, 2004)



Şekil 1.2. Zamanla oluşan aşınma (Koç, 2004)

Birinci bölgede (I), parçaların ilk çalışması sırasında şiddetli aşınma meydana gelmektedir. Rodaj denilen bu bölge parçaların birbirine alıştırılmasını karakterize etmektedir. Genellikle rodaj, yüksüz ve normal hızdan daha küçük hızlarda yapılmaktadır. İkinci kısımda (II) ise esas çalışma sırasındaki aşınma söz konusudur. Aşınma hızının fazla olduğu bölge(III) şiddetli aşınma bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

Elemana ait çalışma şartlarına bağlı olarak bir emniyetli aşınma veya emniyet sınırı (A_{em}) belirlenirse, bu diyagramdan elemanın normal çalışma zamanı veya ömrü tayin edilebilir. Bu çalışma süresinden sonra parça tamir edilmeli veya değiştirilmelidir.

Ani oluşan aşınmada parça yüzeyleri aniden bozulmakta, bazı hallerde kilitlenmekte ve çalışamaz hale gelmektedir. Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması zorunludur:

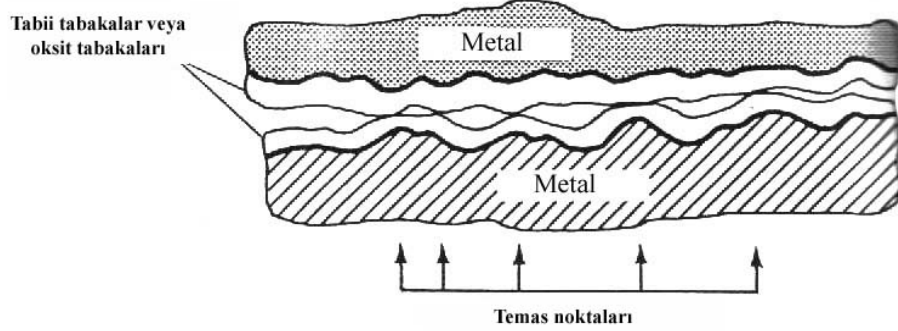
- Mekanik bir etkinin olması,
- Sürtünmenin olması,
- Yavaş fakat devamlı olması,
- Malzeme üzerinde değişiklik meydana gelmesi
- İsteğimiz dışında oluşması (Koç, 2004)

Dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerin çokluğu nedeniyle pratikte bir aşınma hali değil, birçok aşınma halleri karşımıza çıkmaktadır. Bunlar: Adezyon (adeziv) veya kaynama aşınması, abrazyon(abrasiv) aşınma, yorulma aşınması(pitting) ve mekanik korozyondur (Akkurt, 1990; Koç, 2004).

1.2.1 Adezyon Aşınması

Adezyon aşınmasının esası kaynak bağı teorisi ile açıklanmaktadır. Yüzeyler arasındaki gerçek temas alanı çok küçük olduğundan temas noktaları büyük bir basınç altında bulunmaktadır. Normal olarak yüzeylerde adsorbe edilmiş olan tabii veya yağ tabakaları basınç altında parçalanmakta; malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temasa geçmekte ve bölgesel kaynak bağları oluşmaktadır (Akkurt, 1990). Temas yüzeyleri birbirlerine göre bağıl hareket ettiklerinde bu bağlar

kırılmakta ve malzeme kayıpları oluşmaktadır. Meydana gelen bu duruma adezyon aşınması denmektedir (Şekil 1.3.)



Şekil 1.3. Adezyon aşınması (Anonim, 1990)

1.2.2 Abrazyon Aşınması

Uygulanan yük ve hareketin etkisiyle sürtünen iki cisimden daha sert olanının pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırılması olayıdır. Dışarıdan yüzeyler arasında giren toz, talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi altında oluşmaktadır (Koç, 2004). Bu sert parçacıklar bir zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı bir etki yaparak eğelemeye ve taşlamaya benzeyen bir malzeme kaybının meydana gelmesine neden olurlar. Abrazyon aşınmasında önemli olan yüzeylerin sertliğidir. Abrazyon aşınmasını önlemek için alınacak önlemler şöyle sıralanabilir:

- Yüzeyler sertleştirilmelidir,
- Dışarıdan sert maddelerin yüzeyler arasında girmemesi için iyi bir sızdırmazlık sağlanmalıdır.
- Makinalar ve sistemler talaştan ve diğer pisliklerden sık sık temizlenmelidir (Akkurt, 1990).

1.2.3 Yorulma Aşınması(Pitting)

Bu tip aşınma temas yüzeylerinde çok küçük çukurcukların oluşması şeklinde kendini gösterir. Bu aşınma türü özellikle yuvarlanmalı yataklar, dişli çarklar ve kam mekanizmaları gibi makina elemanlarında, yani yuvarlanma hareketi yapan

parçaların yüzeylerinde ortaya çıkar ve esas olarak bir malzeme yorulması sonucudur. Bu elemanlarda temas alanı küçük olduğu için yüzeylerde Hertz yüzey basınçları meydana gelir. Bu çeşit basınçların etkisi altında yüzeylerin hemen altında kayma gerilmeleri oluşur. Değişken zorlanma nedeniyle malzemenin yüzeyinde yorulma başlamaktadır. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına da bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Zamanla bu boşluklar yüzeye doğru hareket etmekte, büyümekte ve yüzeyde küçük çukurcuklar meydana getirmektedir. Bu durumda yüzeyler arasındaki yağın etkisi de önemli olabilmektedir. Yüksek basınç altındaki yağın çatlaklara girmesi, çukurcukların büyümesinde önemli rol oynamaktadır. Yorulma aşınmasını önlemek için en önemli tedbir temas yüzeylerinin sertleştirilmesidir (Akkurt, 1990).

1.2.4. Mekanik Korozyon

Kimyasal bir aşınma türüdür. Birbiri üzerinde kayan veya yuvarlanan yüzeyler arasında küçük temas alanlarında daima plastik deformasyonlar olmaktadır. Plastik deformasyon sonucu kristal kafes bozulmakta; buna bağlı olarak yüzey kimyasal bakımdan aktifleşmekte ve ortamda bulunan oksijen ile okside olmaktadır. Oksit tabakası hareketin devamında kırılmakta ve oksit parçacıkları düşerek aşınmayı meydana getirmektedir (Koç, 2004). Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar bir sert tabaka oluşmakta, yük altında tekrar kırılmakta ve olay bu şekilde devam etmektedir.

Mekanik korozyonu önlemek için yüzeyler fosfat veya sülfid ile kaplanmaktadır veya oksidasyonu önleyen özel yağlayıcılar kullanılmaktadır (Akkurt, 1990).

1.3. Yapay Sinir Ağları

1.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Tanımı

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki sinir hücrelerinden esinlenerek geliştirilen yapay sinir hücrelerinin değişik bağlantı geometrileri ile birbirlerine bağlanarak, meydana gelen karmaşık sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bilgi işlem

süreçleri olarak nitelendirilebilen yapay sinir ağları, verilen girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutuya benzetilebilir (Kohonen, 1988).

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları, programlanabilmesi çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilim dalı olduğu söylenebilir (Öztemel, 2003).

Yapay sinir ağları, insan beyninin bazı fonksiyonlarına benzer işlevleri gerçekleştirmek amacıyla oluşturulmuş sistemler bütünüdür (Lin vd., 1996).

Yapay sinir ağları, insan beyninin varsayılan çalışma prensiplerine göre tasarlanmış olup, öğrenme ve paralel çalışma özellikleri sayesinde hacmi geniş ve karmaşık sistemlerde kısa sürede sonuçlar üretebilmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan tasarım problemlerini de çok iyi modelleyebilmektedir (Toktaş, 2003).

Yapay sinir ağları, beynin bazı fonksiyonlarını ve özellikle öğrenme yöntemlerini benzetim yolu ile gerçekleştirmek için tasarlanmakta ve geleneksel yöntem ve bilgisayarların yetersiz kaldığı sınıflandırma, kümeleme, duyu-veri işleme, çok duyulu makine gibi alanlarda başarılı sonuçlar vermektedir (Kurt, 2003).

Yapay sinir ağı teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. Yapay sinir ağları, paralel hesaplama tekniğinin bütün avantajlarını kullanabilen ve algoritmik olmayan bir metottur. Belirli bir problemi, programlama yerine direkt olarak mevcut örnekler üzerinden eğitilerek öğrenmektedirler. Ayrıca yapay sinir ağları, klasik bilgisayar belleği gibi belirli bilgileri belirli yerlerde saklama yerine, öz şeklindeki bilgileri nöronlar arasındaki bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklamaktadırlar (Baylar vd., 1999).

İnsan beyni dünyanın en karmaşık makinesi olarak kabul edilmektedir. İnsan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapabilmesine karşılık, idrak etmeye yönelik işlemleri ise çok kısa bir sürede yapabilmektedir. Yağışlı bir havada araba kullanan

bir sürücü, yolun sürtünme katsayısının ne olduğunu, önündeki araçların kendisinden ne kadar uzakta olduğunu net bir şekilde bilememesine rağmen daha önce edindiği tecrübelerle dayanarak yavaşlaması gerektiğini bilmektedir. Çünkü saniyelerle ölçülebilecek kadar kısa bir zaman dilimi içerisinde tehlikeyi sezerek bir tepki göstermektedir. Bilgisayarlar ise çok karmaşık sayısal işlemleri anında çözümleyebilmelerine karşılık, idrak etme ve deneyimlerle kazanılmış bilgileri kullanabilme noktasında çok yetersiz kalmaktadırlar. Bu olayda insanı ya da insan beynini üstün kılan temel özellik, sinirsel algılayıcılar vasıtası ile kazanılmış ve görelî olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanabilmesidir (Elmas, 2003).

İnsan beynindeki hücrelerin çalışma prensibini modelleyen bir teknik olarak ele alınmaktadır. Birçok problemin, özellikle örüntü ve görüntü işleme problemlerinin çözülmesinde çok iyi sonuçlar vermektedir. Bir kez eğitilen ağ sonradan işlemleri çok daha çabuk yapabilmektedir (Allahverdi, 2002).

Bilgisayarlar, büyük ölçüde seçim (tarama) gerektiren hesaplama problemlerinde insandan daha hızlı ve güvenli olarak çalışmaktadır. Makineler, doğal dili anlayıp bir sonuç üretiyorsa veya satranç oynuyorsa bu, insan davranışlarının bilgisayara aktarılmasına değil, bilgisayarların güçlü hesaplama yeteneğine dayanmaktadır. Oldukça zor matematiksel hesaplama gerektiren uygulamalarda, bilgisayarın insandan her zaman üstün ve hata olasılığı çok düşük olmasına karşın, gerçek zamanlı doğal dil ve görüntü işleme gibi uygulamalarda, insanın bilgisayara karşı ezici bir üstünlüğü vardır (Nabiyev, 2005).

1.3.2. Biyolojik Nöron

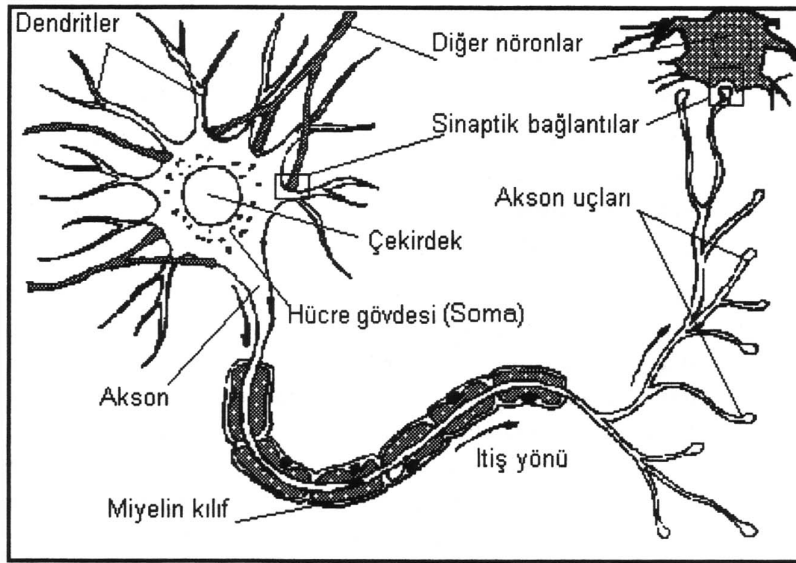
İnsan beyni, nöron olarak adlandırılan yaklaşık 10^{11} hesap elemanından oluşmaktadır. Nöronlar, büyüklük ve görünüş bakımından birbirlerinden önemli ölçüde farklı olsalar da bazı ortak özellikler taşımaktadırlar. Biyolojik sinir ağını oluşturan nöronlar temelde üç bölgeye ayrılırlar. Bunlar

- Soma
- Akson
- Dendrit'lerdir.

Bu değişik bölgelerin her biri, bilgilerin girişinde ve iletiminde belirli rol oynamaktadır (Nabiyev, 2005).

İnsanın merkezi sinir sisteminde bulunan nöronların yaklaşık 10^{10} kadarı beyinde yer alır. Herhangi bir zamanda, bu nöronların bir kısmı ateşleme yapmakta, yani peş peşe gelen uyarı (kısa süreli işaret) katarı üretmektedir. Bu elektriksel aktivitede yaklaşık 10W enerji tüketilmektedir. Uyku sırasında bile saniyede yaklaşık 5×10^7 uyarı, beyin ve vücudun diğer parçaları arasında gidip gelmektedir. İnsan uyanıkken bu sayı önemli bir biçimde artmaktadır. Bir nöronda soma adı verilen ve kabaca küresel bir biçimi olan hücre gövdesi bulunur (Şekil 1.4).

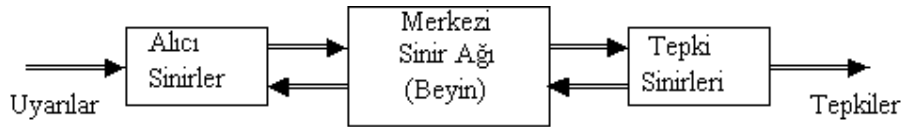
Soma tarafından üretilen işaretler akson adı verilen uzantılar aracılığı ile diğer nöronlara iletilmektedir. Soma etrafındaki çalı dalları gibi gözüken diğer uzantılar ise dendrit olarak adlandırılmaktadır (Pruitt, 1996). Dendritler bilgiyi, iletim hatları olarak kullanılan uzun fiberlerden oluşmuş aksonlar boyunca diğer nöronlardan alır ve hücre gövdesine taşırlar. Aksonlar ise gövdedeki bilgiyi diğer nöronların dendritlerine taşımakla sorumludur. Aksonun son bölümü ağaçsal bir yapıya sahiptir. Bu dalların sonunda sinaptik terminaller denilen küçük ve yuvarlak uçlar vardır. Bir nöron diğeri ile doğrudan temas etmemektedir.



Şekil 1.4. Biyolojik nöron (Nabiyev, 2005)

Sinaptik terminal ve diğer hücre dendritleri arasında küçük sinaptik aralıklar bulunmaktadır. Akson boyunda iletilen bir sinir hareketi sinaptik terminallere ulaştığında, nörotransmitter denilen kimyasal madde salgılanmaktadır. Bu maddeler sinaptik aralık boyunca yayılır ve sonraki nöronu uyararak diğer nöronları da hareketlendirir. Akson sonları ile dendritler arasında, sinaps ya da kavşak adı verilen küçük boşluklar bulunur. Sinyal, aksonun ucuna ulaştığında, özel kimyasal maddeler salgılanır ve bu boşluğa yayılır. Bu kimyasallar karşı tarafa ulaştıklarında, dendrit bir elektriksel hareket başlatır. Her sinir hücresi, diğer nöronlarla, sinir başına yaklaşık 10 000 sinaps yardımı ile haberleşir. Aksonla dendritlerin bağlantı noktası olan bu sinapslar, bilgilerin uzun süre saklandığı bilgi saklama yerleri olarak düşünülmektedir. Dolayısıyla sinapslar, nöronun kendi sinyalini komşu nörona tanıttığı bağlantı noktasıdır (Nabiyev, 2005).

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beyin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürmektedir. Şekil 1.5’de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmektedir. (Yüce, 2005)



Şekil 1.5. Bir sinir sisteminin blok gösterimi

1.3.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretileceğini belirleyebilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları;

- Öğrenme
- Doğrusal Olmama

- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Özellik belirleme
- Optimizasyon

gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Örneklerden elde ettiği bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturarak; daha sonra benzer konularda karar verebilmektedir (Öztemel, 2003).

Bir sinir ağının en temel görevi, kendisine gösterilen bir girdi setine karşılık gelebilecek bir çıktı seti belirlemektir. Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek, genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulmaktadır. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı setleri belirlenmektedir.

Yapay sinir ağlarının özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmekle birlikte genel özellikler aşağıdaki şekilde sayılabilmektedir (Öztemel, 2003):

1. Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirmektedir.
2. Programları çalışma metodu bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir.
3. Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenmektedirler.
4. Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmeleri için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir.
5. Daha önce denenmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilmektedirler.
6. Eksik bilgi ile çalışabilirler.
7. Hata toleransına sahiptirler.
8. Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
9. Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler.
10. Dağıtık belleğe sahiptirler.

1.3.4. Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları

Yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti ve farklı öğrenebilme kabiliyetleri gibi avantajları bulunmasına karşın bir takım dezavantajları da bulunmaktadır.

- Bazı ağlar hariç kararlılık analizleri yapılamamaktadır (Elmas, 2003).

- Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yoluyla yapılmaktadır.
- Bazı ağlarda ağın parametre değerlerinin(öğrenme katsayısı, her katmanda olması gereken proses elemanı sayısı, katman sayısı vs.) belirlenmesinde bir kural olmaması.
- Ağın öğreneceği problemin ağa gösterilmesi.
- Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için geliştirilmiş bir yöntemin olmaması.
- Ağın davranışlarının açıklanamaması (Öztemel, 2003).

1.3.5. Yapay Sinir Alanlarının Kullanım Alanları

Yapay sinir ağları, bilgi sınıflama ve bilgi yorumlamanın da içinde bulunduğu çok değişik problemlerin çözümünde ve de özellikle çok sayıda veriyi değerlendirme gerektiren işlemlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir problemin yapay sinir ağları ile çözülebilmesi için aşağıdaki şartlardan birinin sağlanması gerekmektedir (Öztemel, 2003).

- Problemlere, sadece yapay sinir ağları metodunun pratik çözümler üretebilmesinin söz konusu olması,
- Başka çözüm yolları olmasına rağmen, yapay sinir ağlarının daha kolay ve daha etkin çözümler üretebilecek olması.

Uygulamalar incelendiğinde yapay sinir ağlarının, doğrusal olamayan, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, çok boyutlu, eksik ve problemin çözümü için matematiksel bir modelin olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Yapay sinir ağlarının mühendislikten tıbbı, endüstriden iktisada kadar yaygın kullanımı olmakla birlikte bunlar sınıflandırma, tahmin ve modelleme olmak üzere üç grupta toplanabilir. En çok kullanıldığı alanların bazıları şu şekildedir:

- Mekanik parçaların ömürlerini ve kırılmalarının tahmin edilmesi,
- Veri madenciliği
- Zeki araçlar ve robotlar için optimum rota belirleme

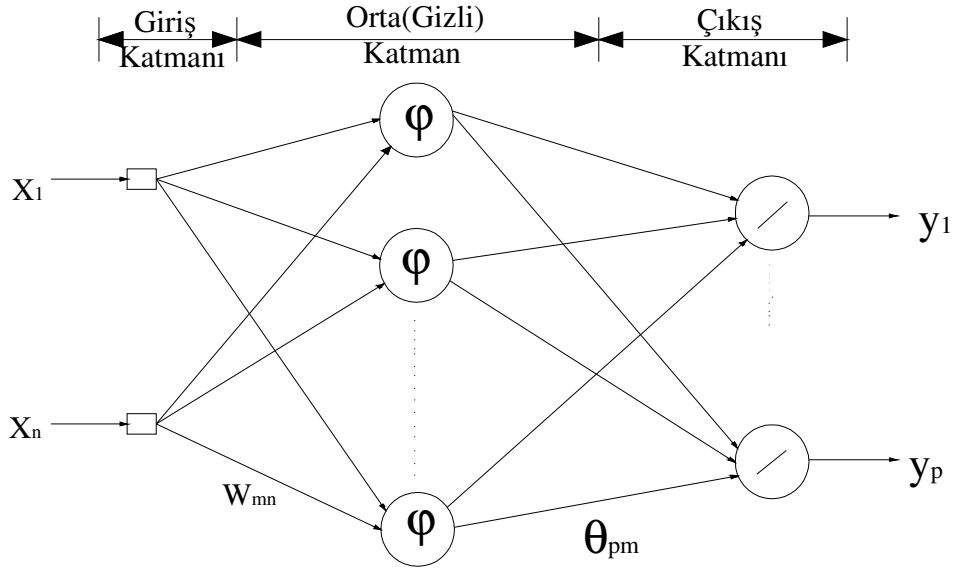
- Robot hareket mekanizmalarının kontrol edilmesi
- Üretim planlama ve çizelgeleme
- Kalite kontrolü
- Elektrik işareti tanıma
- Radar ve sonar sinyalleri sınıflandırma
- Optik karakter tanıma vs.(Öztemel, 2003; Elmas, 2003)

1.3.6. Yapay Sinir Ağı Yapıları

Yapay sinir ağlarını sınıflandırmak için birçok yaklaşım vardır. Örneğin, yapay sinir ağları öğrenme yöntemlerine veya eğitilme yöntemlerine göre; eğitimde kullanılan tekrarlanan veya tekrarlanmayan temel fonksiyonun aktivasyon fonksiyonu ile değişimine göre sınıflandırılabilir (Ham vd., 2001). Yapay sinir ağları, hücrelerin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmalarından oluşmaktadır. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden diğer hücelere ya da kendisine giriş olarak bağlanabilmekte ve bağlantılarda gecikme birimi de kullanılabilir. Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir. Çeşitli problemlerin çözümünde kullanılan ve kabul görmüş bazı YSA yapıları genel özellikleri ile şunlardır.

1.3.6.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

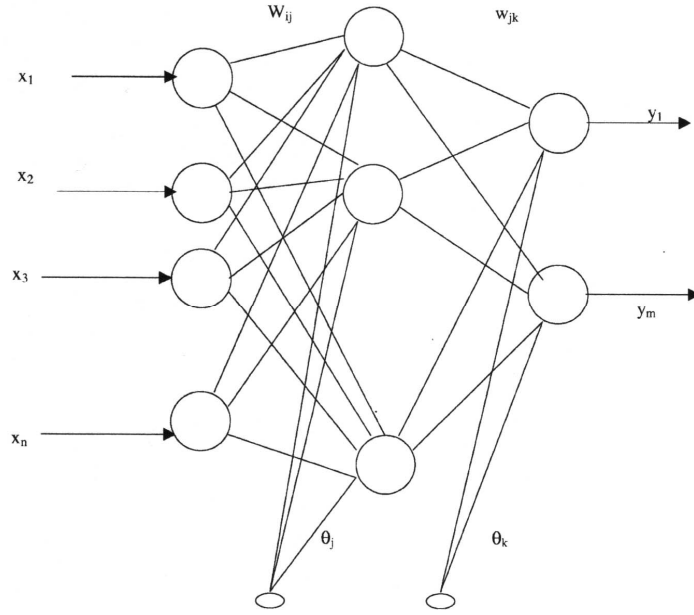
İleri beslemeli YSA' da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenmektedir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA' nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. En çok bilinen geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA ların eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. Şekil 1.6'da giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmektedir.



Şekil 1.6. İleri beslemeli YSA yapısı

1.3.6.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli YSA' da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücelere giriş olarak verilmekte ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılmaktadır. Geri besleme, bir katmandaki hüceler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hüceler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilmektedir. Şekil 1.7'de giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir.

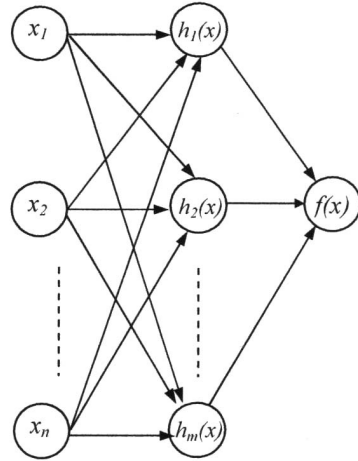


Şekil 1.7. Geri beslemeli YSA yapısı (Ohdar, 2003)

1.3.6.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları

Radyal tabanlı fonksiyon ağlarının amacı, bir grup radyal taban fonksiyonu, istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktan ibarettir (Verleysen, 1994). Radyal tabanlı fonksiyon ağları üç katmanlı bir yapıdır (Şekil 1.8). Giriş katmanı giriş vektör uzayı ile, çıkış katmanı da örüntü sınıfları ile ilişkilidir. Böylelikle tüm yapı, gizli katmanın yapısı ve gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların belirlenmesine indirgenmektedir (Bolat, 2005).

RTF ağlarının eğitilmesi geleneksel çok katmanlı ileri beslemeli YSA'ndan farklıdır. Temel RTF ağında, radyal tabanlı fonksiyonun merkezleri ve genişlikleri sabittir. Bunlar öğrenme işlemi sırasında değişmezler, öğrenme işlemi sırasında sadece ağırlıklar ayarlanabilir parametrelerdir. Bununla birlikte genelde RTF ağlarının doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyon parametreleri (radyal tabanlı fonksiyonun merkezleri ve genişlikleri) ve doğrusal çıkış ağırlıkları olmak üzere üç parametresi bilinmemektedir. Tüm bu parametrelerin öğrenilmesi gerekmektedir (Batar,2005).



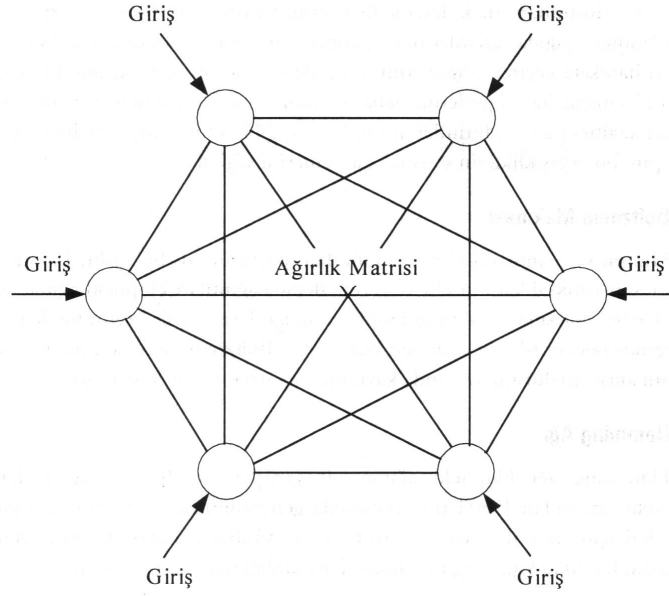
Girdi Katmanı Gizli Katman Çıktı Katmanı

Şekil 1.8. Radyal tabanlı fonksiyon ağ yapısı (Hacıoğlu, 2006)

1.3.6.4. Hopfield Yapay Sinir Ağları

1982’de John J. Hopfield tarafından California Institute of Technology ve AT&T Bell Laboratories’de çalışırken eş zamanlı olmayan doğal bir biyolojik nörona uyarlayarak tasarladığı bir modeldir. Genel olarak Hopfield ağı, düğümlerin tek bir katmanda bulunduğu, birbirleriyle ilişkili ve tam bağlantılı bir ağıdır (Kartalopoulos, 1996). Hopfield Ağı, hem birbiriyle ilişkili olaylarda hem de optimizasyon görevlerinde oldukça faydalıdır (Fu, 1994).

Hopfield ağ topolojisi diğer ağlardan farklıdır. Bir giriş süzme katmanı, bir Hopfield katmanı ve bir çıkış katmanı olmak üzere üç katman kullanılmasına rağmen farklı katmanlar bulunmamaktadır. Bu ağda her düğüm diğer düğümlere bağlıdır. Bilgi her iki yönde de gezer ve simetriktir. Şekil 1.9’da Hopfield ağının yapısı görülmektedir (Elmas, 2003).



Şekil 1.9. Hopfield Ağ Yapısı

Hopfield ağı, bir geri yayımlı ağın eğitildiği gibi eğitilmemektedir. Örnek desen grupları seçilmekte, ağın ağırlıklarının başlangıç değerlerini saptamak için kullanılmaktadır. Bu işlem bir kere yapıldıktan sonra herhangi bir desen ağa sunulmakta ve bu da giriş desenine en çok benzeyen örnek desenlerden biriyle sonuçlandırılmaktadır. Çıkış deseni, birimlerin durumlarına bakılarak ağdan okunabilmektedir (Elmas, 2003).

1.3.6.5. Kohonen Yapay Sinir Ağları

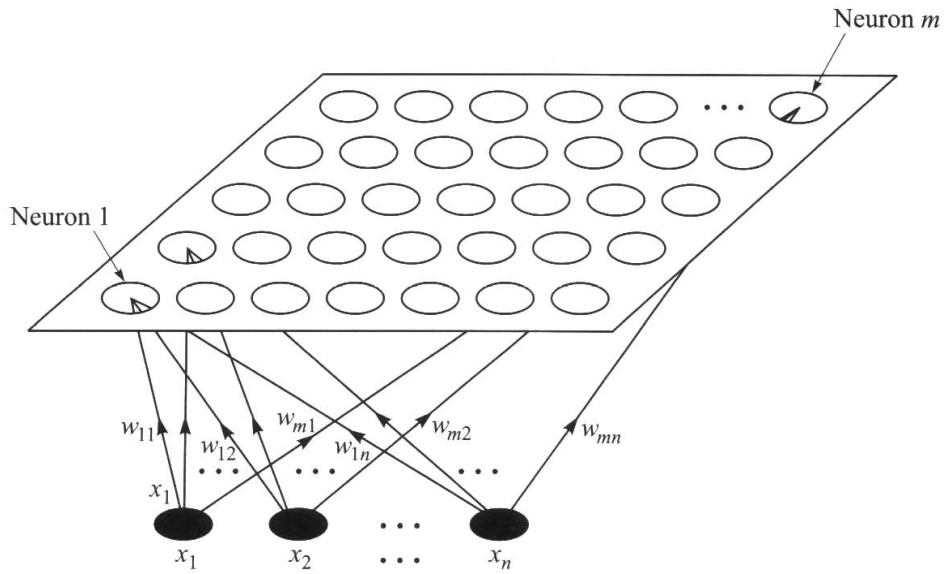
Kohonen ağı, bir giriş katmanı ve bir de çıkış katmanı olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Çıkış katmanındaki nöronlar genellikle düzenli iki boyutlu aralıklar olarak düzenlenir. Çıkıştaki her nöron bütün giriş düğümlerine bağlıdır. Bağlantıların ağırlıkları verilen çıkış elemanı ile ilgili olan referans vektörünün elemanlarını oluşturur.

Kohonen ağının öğrenme adımları aşağıdaki gibidir:

- Çıkış nöronlarının bütün referans vektörlerinin küçük rasgele değerlere çekilmesi.

- Bir giriş örüntüsünün alınması.
- Giriş örüntüsüne en yakın referans vektörüne sahip nöronun belirlenmesi.
- Belirlenen nöronun ve onun komşularının, referans vektörlerinin güncelleştirilmesi. Bu referans vektörleri giriş vektörüne yaklaştırılmaktadır. Bu yaklaştırma (ayarlar), belirlenen nöron için en fazla ve bu nörondan uzaklaştıkça daha azdır. Öğrenme ilerledikçe komşuların sayısı azalmakta ve öğrenme sonunda belirlenen nöronun referans vektörü ayarlanmaktadır.

Öğrenmeden sonra bir etiketleme işlemine başlanmaktadır. Bilinen sınıfların giriş örüntüleri ağı giriş olarak verilmekte ve bu giriş örüntüleri tarafından aktif hale gelen çıkış nöronlarına, bu sınıf etiketleri verilmektedir (Batar, 2005). Şekil 1.10'da Kohonen ağı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Kohonen ağı yapısı (Ham vd., 2001)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yataklar, Toz Metalurjisi uygulama alanlarının geniş bir bölümünü oluşturmaktadır. Toz Metalurjisinde kullanılan malzemelerin gözenekli oluşları yatak malzemesi olarak kullanılmalarında önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Bu gözenekler yataklarda yağ deposu olarak görev yapmaktadır. Toz metal parçaların kullanma sahaları gözeneklilik oranlarına göre değişmektedir. Kendinden yağlamalı yataklar %17–30 arasında gözenekliliğe sahiptir.

Sinter bronz kaymalı yataklar hakkında son elli yıl içerisinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. 1960'ların başında su atomizasyonunun geliştirilmesi ile bakır tozu üretiminde artma meydana gelmiştir. Bu durum bronz esaslı malzeme üretiminin ve çeşitli parçaların çoğalmasına sebep olmuştur. Sinter kaymalı yatak üretiminde zararlı parametrelerin belirlenmesi ve önceden giderilmesi, hatasız yatakların üretimini sağlamıştır.

Cusano vd. (1973), yaptıkları çalışmada gözenekli bronz yatakları deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı basınç ve hızlarda yaptıkları deneylerde PV değerinin 33000 psi ft/min değerlerinde en düşük sürtünme katsayısını elde etmişlerdir. PV=50000 psi ft/min değerinde ise yatağın kendi bünyesinde bulunan yağın, yağlama işlemi için yeterli olmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca yine yaptıkları deneylerden sınır yağlama şartlarında farklı dönme hızı ve yük miktarına göre sürtünme katsayısını belirlemişlerdir.

Peissker (1974), farklı kompozisyonlardaki ön alaşımlanmış ya da elementel kalay tozlarını artırarak veya azaltarak üretilen bronz yatakların yağlama özelliklerini diyagramlarla göstermiştir.

Yong-Xin vd.(1985), yaptıkları çalışmada sinterlenmiş bronz yatakların sürtünme katsayısı üzerine düşük yük ve yüksek hızın etkisini incelemişlerdir. Deneyler süresince sıcaklık artışı, yağ kaybı ve aşınma miktarını 69000r/min hızda ve farklı yükler altında; yağlı veya yağsız çalışma ortamlarında ölçmüşlerdir. Teorinin aksine, sonuçların sinter bronz yataklarda hidrodinamik şartlar altında uzun süre(4000 saatin üzerinde) çalıştıklarını belirtmişlerdir. 5000-50000r/min hız aralığı ve 2.34kgf/cm²

yükte farklı yağların performans üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, gözenekli yataklar için doğru yağ seçiminin son derece önemli olduğunu göstermektedir.

Murali vd. (1988) çalışmalarında, elektrolitik ve atomizasyon metoduyla üretilmiş bronz numunelere pin-on deney setinde aşınma deneyleri uygulamışlardır. Yağlayıcı olarak kullanılan sentetik grafitin, MoS₂ kullanılan yataklara göre aşınmasının üç kat daha az olduğunu belirlemiştir.

Kurt ve Sarıtış (1992) yaptıkları çalışmada, toz metal bronz yatak malzemelerin özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada bronz tozundan üretilen kendi kendini yağlayan yatak malzemelerinin üretimi gerçekleştirilmiş ve mekanik-tribolojik özellikleri incelenmiştir. Malzemelerden hazırlanan aşınma numuneleri pin-disk tipi aşınma deney setinde test edilmiştir. Çalışmanın son kısmında, toz metal bronz yatak malzemeleri eşdeğer döküm bronzu ile karşılaştırılmış ve aşınma davranışının daha üstün olduğu görülmüştür.

Kurt (1992), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında bronz yatakların üretim parametreleri ve aşınma özellikleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada, toz metal bronz yataklar ile tam yoğun bronz yatakların, aşınma ve mekanik özelliklerini karşılaştırmış ve sonuçta toz metal bronz yatakların aşınma özelliklerinin, tam yoğun bronz yataklara nazaran daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Haşhimato ve Kaneko (1995), %90Cu-%8Sn-%2C kompozisyonundaki bronz yatakların statik yük altında karışık ve hidrodinamik yağlama şartlarında sürtünme parametresi olan μ ile Sommerfeld sayısını incelemiştir. Deneyleri, basınçlı yağ ortamında ve düşük PV şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Hidrodinamik yağlamada Sommerfeld sayısı ile birlikte karışık sürtünme bölgesinde düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Deney sonuçları ile teorik hesaplama sonuçları çok yakın bulunmuştur.

Kurt vd. (1996), Toz Metalurjisi metodu ile bakır tozlarından ASTM B438'de belirtilen standartlara göre grafitli ve grafitsiz olmak üzere iki tür yatak üretmişlerdir. Kullanılan bakır tozları ortalama 38 μ m tane büyüklüğüne sahiptir. Grafitsiz yatakları üretebilmek için 250-500 MPa basınçlarda ve her bir basınç değeri için üç

adet numune üretmişlerdir. Grafitli yatakları üretebilmek için ise bakır tozlarına ağırlıkça %1.75 oranında grafit ilave etmişler ve karışımın homojen olabilmesi amacıyla tozları çelik bilyalı karıştırıcıda karıştırmışlardır. Grafitli numunelerin sıkıştırma işlemleri de yine 250-500 MPa basınçları kullanılmıştır. Preslenen numuneleri azot kontrollü tüp fırında 830°C'da 30 dakika süre ile sinterlemişlerdir. Sinterlenmiş ve sinterlenmemiş numunelerin basınç-yoğunluk grafiklerini çizerek karşılaştırma yapmışlardır. Sinterleme işleminden sonra yataklara 72 saat süre ile 20 numara SAE yağ emdirmişlerdir. Aşındırıcı olarak C1050 malzemeden yapılmış, 24HRC sertliğine sahip, 1µm yüzey pürüzlülüğüne sahip mil kullanmışlardır. Aşınma deneylerini torna tezgahında gerçekleştirmişlerdir. Mil torna tezgahına bağlanmıştır. Yataklar mile geçirilmiş ve üzerine 2.5kg yük asılmıştır. Aşındırıcı milin dönme hızı 380d/d dir. Aşınma kayıplarını mesafeye bağlı olarak tespit etmişler ve grafikler olarak sunmuşlardır. Çalışmalarının neticesinde yağ emdirilmiş ve grafitli olarak üretilen yatakların aşınma kayıplarının, grafitsiz türlere oranla daha az olduğunu belirlemişlerdir.

Arslan vd. (1996) yaptıkları çalışmada, gözenekli bronz yatak imalinde üretim parametrelerinin yatak özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada saf bakır tozuna saf kalay ve ön alaşımli kalay tozu katarak iki farklı alaşım elde etmişlerdir. Her iki karışıma da %0.5 grafit eklemişlerdir. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için piyasada hazır karışım olarak bulunan tozlardan da numuneler hazırlamışlardır. Çalışmalarında presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin üretilen yatakların özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Presleme basıncı olarak 100-350 MPa aralığını kullanmışlardır. Sinterleme işlemleri için numuneler, boru tip fırında iki ucu kapatılan çelik boru içerisinde odun kömürüne gömülmüşler ve 780°C-830°C sıcaklıklarda pişirilmiştirlerdir. Sinterleme süresi 30 dakika olarak alınmıştır. Sinterleme süresinin etkisini de inceleyebilmek amacıyla süre 15-60 dakika arasında değiştirilmiştir. Deneyler neticesinde presleme basıncının artmasıyla ham yoğunluk, sinterlenmiş yoğunluk ve radyal kırılma dayanımının arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca presleme basıncının artmasıyla sinterleme sonrası boyut değişiminin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Boz ve Kurt (1999), “T/M Bronz Balata Malzemelerinin Aşınma Özellikleri” başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bronz tozlarını 350, 500 ve 600MPa basınç değerleri altında preslemişler ve daha sonra preslenmiş numuneleri dikdörtgen kesitli bant(konveyör) taşınmalı bir fırında 810°C’da Amonyak gazı atmosferinde 75 dakika süre ile sinterlemişlerdir. Sinterleme sonrası yoğunluklarda %0.1-%0.7 oranlarında artış olduğunu belirlemişler ve bunun sebebini “sinterleme sonrası yoğunluk artışı, taneler arası metalurjik bağ oluşumu sırasında büzölmeye bağlı hacimsel küçülme” olarak açıklamışlardır. Yaptıkları aşınma deneyleri sonucunda toz metal balatalarda aşınma kayıplarını azaltmak için yüksek yoğunluklara çıkılması gerektiğini belirlemişlerdir.

Sinha vd. (2000) yaptıkları çalışmada uygun olmayan yağlamanın makinalara hasar verici düzeyde zarar verdiğini belirtmektedirler. Bununla birlikte bir ürünün toplam maliyeti içerisinde yağlamanın %10-12 oranında maliyet getirdiğini bildirmektedirler. Bunun için de yağlamanın optimum bir düzeyde yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Yazarlar bu optimizasyonu sağlayabilmek amacıyla Matlab 5.0’ın yapay sinir ağları araç menüsünü kullanarak geri yayımlı bir ağ kurmuşlardır. Kurmuş oldukları bu ağ giriş katmanı, orta(gizli) katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş verileri olarak viskozite, parlama noktası ve su miktarını; çıkış katmanında ise yine değiştirme süresi sonunda ölçülen viskozite, parlama noktası ve su miktarını kullanmışlardır. Kullandıkları bu değerlerin hepsi deneysel verilerdir. Öncelikle kurdukları ağı eğitmişlerdir. Eğitim işleminden sonra her bir özellik için limit değerleri belirlemişler ve bunu çalışma saatiyle ilişkilendirmek için giriş değeri olarak sunmuşlardır. Böylece yağlayıcı için en kısa değiştirilme süresini öngörmeye çalışmışlardır. Yazarlar sonuçta, yapay sinir ağları metodunu, yağlayıcıların çalışma ömürlerini belirleyebilmek için kullanılabileceğini ve bu yöntemin diğer istatistiksel metotlara göre daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Velten vd.(2000) yapay sinir ağlarını kullanarak kısa fiber takviyeli polimerik yatakların aşınma davranışlarını incelemeye çalışmışlardır. Yazarlara göre yapay sinir ağlarının triboloji bilimine uygulanması 1997 yılında Jones tarafından başlatılmıştır. Yazarlar toplam 72 adet aşınma ölçümü gerçekleştirmiş ve bunun 60

tanisini eğitim için kullanmışlardır. Ağ türü olarak ise ileri beslemeli yapay sinir ağını seçmişlerdir. Sonuç olarak ise yapay sinir ağları ile elde ettikleri değerlerin deneysel yolla elde ettikleri aşınma değerlerinden farklı olduğunu belirlemişler ve bunu, Jones vd. yayınlarına da atıfta bulunarak eğitim veri sayısının azlığına bağlamışlardır. Bunun yanında aşınma değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenebilmesi için yardımcı bazı tribolojik özelliklerin de kullanılması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

Chandrasekaran vd. (2000) Fe, ağırlıkça %4.5 Cu, %1.75 Sn ve %1 MoS₂'den oluşan sürtünmeye dayanıklı malzemeye %0-12,5 arasında Pb ekleyerek geleneksel Toz Metalurjisi metoduyla numuneler üretmişlerdir. Bu numuneleri 800, 850 ve 900°C sıcaklıklarda 20-50 dakika boyunca sinterlemişlerdir. Sıcaklık artışı 10°C/dakika olarak belirlemişlerdir. Çalışmalarında 0.58, 0.76 ve 2.68 MPams⁻¹ olmak üzere üç farklı PV değeri kullanmışlardır. Sürtünme ve aşınma deneylerini pin-on-disk cihazını kullanmışlardır. Numunelerin mekanik ve sürtünme özelliklerini belirlemişlerdir. Kurşunun %7.5'e kadar eklenmesi sürtünme direncini ve mekanik özellikleri iyileştirirken; %7.5'dan daha fazla Pb eklenmesi bu özellikleri kötüleştirmiştir. En düşük sürtünme katsayısını 0.76 MPams⁻¹ PV değerinde 0.08 olarak belirlemişlerdir. Yine maksimum sertlik değerini ağırlıkça %7.5 Pb içeren 850°C sıcaklıkta 30 dakika boyunca sinterlenen kompozisyonda 254 VHN olarak belirlemişlerdir.

Tunay (2001), yaptığı yüksek lisans çalışmasında T/M esaslı radyal kaymalı yatakların tam değişken gerilme altında aşınma ve sürtünme özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada kaymalı yatakların aşınma ve sürtünme özelliklerini farklı yüklerde, farklı sıcaklıklarda, farklı hızlarda vs. inceleyebilecek bir deney düzeneği tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen deney düzeneği yardımıyla yaptığı deneylerde T/M esaslı bronz radyal kaymalı yatakların dışarıdan yağ beslemesi yapılmadığı durumlarda da düşük sürtünme katsayısına sahip olduklarını tespit etmiştir. Elde ettiği verileri grafikler halinde sunmuştur.

Varol, (2001) T/M yöntemiyle üretilen bronz ve demir esaslı kendi kendini yağlayan yatakların statik yük altındaki aşınma özelliklerini incelemiştir. Deneylerinde, %85

yoğunluğa sahip %90Cu+%10Sn kompozisyonundaki bronz ve %1Fe+%kalanı Fe kompozisyonundaki T/M radyal kaymalı yataklar kullanmıştır. Aşınma deneyleri için yataklara 25N ve 40N'luk yükler uygulamıştır. Yatakların çevresel hızları 0.48, 0.68 ve 0.96m/s'dir. Yaptığı deneyler neticesinde demir ve bronz yataklarda çevresel hızın sabit tutulması durumunda, yatak yükünün artmasıyla aşınma miktarının arttığını belirlemiştir. Ayrıca 25N yük altında bronz esaslı yatakların aşınma direncinin demir esaslı yataklara oranla daha iyi olduğunu da belirlemiştir.

Karadere (2001), kendinden yağlamalı yatak olarak da isimlendirilen sinterlenmiş bronzdan imal edilen kaymalı yatakların performans karakteristiklerinin sürtünme katsayısına etkilerini incelemiştir. Çalışmasında farklı hızlar ve basınçlar için yatağa belirli debilerde ilave yağ gönderilen ve gönderilmeyen durumlarda sürtünme katsayısının değişimini incelemiştir. Ayrıca diğer parametrelerin sabit tutulduğu durumlarda hızın, basıncın ve sıcaklığın sürtünme katsayısına etkilerini belirlemiştir. Neticede çalışma esnasında yatağa ilave yağ gönderilmesinin özellikle yüksek hızlarda ve basınçlarda sürtünme katsayısını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Genel olarak çok yağlama halinde diğer parametrelerin sabit tutulduğu deneyler sonucunda, basıncın iki kat artırılması halinde sürtünme katsayısının ortalama değerler cinsinden %50 azaldığı; hızın iki kat artırılması halinde sürtünme katsayısının %35-40 arttığı ve sıcaklığın iki kat artması halinde ise sürtünme katsayısının %55 azaldığını belirlemiştir.

Smith vd.(2002) yaptıkları çalışmada, Toz Metalurjisi yönteminde kullanılan malzemelerin seçimi için yapay sinir ağı yaklaşımını uygulamışlardır. Sinir ağları yaklaşımını uygularken "ters problem" kavramını belirtmişlerdir. Bu kavramı, son ürünü elde edebilmek için uygun giriş bilgilerinin kullanılması olarak belirtmektedirler. Örneğin bir T/M parçanın üretilebilmesi için toz kompozisyonu, sıkıştırma yöntemi ve miktarı, sinterleme koşullarının kontrol edilebilmesi giriş parametreleri açısından önem teşkil etmektedir. Yazarlar daha önceki çalışmalarda soruna yaklaşımın istatistiksel metotlarla yapıldığını söylemekte ve çözüm eşitliklerinin de kural tabanlı genel malzeme seçimi için geçerli olduğunu bildirmektedirler. Toz Metalurjisi yöntemi ise çoklu giriş ve çıkış süreçleri içermektedir. Çoğu ilişki lineer değildir ve deneysel veriler hatalar içerebilmektedir.

Dolayısıyla kullanılan modeller ve regresyon analizi verilerdeki hataları uygun bir şekilde eyleyemeyebilmektedir. Bu hususlar yazarları, T/M malzeme seçimi için uygun bir model oluşturmaya sevk etmiştir. Yazarlar oluşturdukları ağ modeliyle standart sapmalardan kaynaklanan hataları %36 oranında azalttıklarını ve bu haliyle süreçlere uygulanabileceğini bildirmektedirler. Sonuç olarak da geliştirdikleri ağın üzerinde çalışıp geliştirilerek T/M malzeme seçimi için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yanase ve Miyasaka (2002) küreyici tip ekskavatörlerde kullanılan yüksek temas basıncı ve düşük kayma hızları altında çalışan sinterlenmiş Fe-Cu-C malzemelerinin kayma özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, günümüz yataklarının 80MPa temas basıncı ve 0.03m/s kayma hızı şartlarında çalıştıklarını belirterek, bu özellikleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için Fe-Cu-C kompozisyonundaki bakır oranı, emdirilen yağ cinsi ve katı yağlayıcı miktarı üzerinde çalışmışlardır. Deneylerinde aşındırıcı eleman olarak ısıl işlem görmüş C45 malzeme kullanmışlardır. Ürettikleri yatakların içi çapı 10mm, dış çapı 16mm ve uzunluğu 10mm'dir. Yağ emdirme işleminde dişli yağı kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda bakır oranını ağırlıkça %14-%18 miktarlarına getirdiklerinde temas basıncını 85MPa'a çıkarmışlardır. İkinci olarak, yağ yerine parafin kullandıkları zaman yataklardaki durabilitenin arttığını gözlemlemişlerdir.

Ohdar ve Pasha (2003), yapay sinir ağlarını, metal tozlarının kalıpta dövme ile ön şekillendirilmesi sürecindeki parametreleri belirleyebilmek için kullanmışlardır. Kurdukları model geri yayılmalı bir model olup, üç katmanlıdır. Bu katmanlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanlarıdır. Giriş katmanında sıkıştırma basıncı, sinterleme sıcaklığı % kısalma miktarı bulunmakta olup çıkış katmanında ise yoğunluk bulunmaktadır. Eğitim verilerini laboratuarda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalardan toplamışlardır. Yapay sinir ağları yardımıyla tahmin edilen yoğunluk ile deneysel çalışmalarda elde ettikleri yoğunluk birbirine oldukça yakındır. Aradaki fark maksimum %0.42 kadar olup, bu farkın yapay sinir ağları için göz ardı edilebilecek bir miktar olduğunu belirtmektedirler. Sonuç olarak yazarlar, yapay sinir ağlarını ve kurdukları modeli, metal tozlarının ön şekillendirilmesinde dövme kalitesinin artırılması ve süreç parametrelerinin optimizasyonu için önermektedirler.

Ünlü vd. (2003), bakır esaslı bronz ve pirinç yataklar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada CuSn10 bronzu ile CuZn30 pirincinden kaymalı yataklar üretmişlerdir. Üretilen yatakların sürtünme ve aşınma davranışlarını belirlemişler ve birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Aşındırıcı olarak SAE 1050 malzemeden çelik mil kullanmışlardır. Deney setinde 25N yük, 1500d/d hız ve 2.5 saatte aşınma deneyleri yapmışlardır. Sonuçta kuru ortamda yapılan testlerde oldukça yüksek sürtünme katsayıları elde edilirken, yağlı ortamda yapılan testlerde sürtünme katsayısının oldukça azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yağlı ortamda pirinç yataklardaki sürtünme katsayısı ve aşınma kayıpları bronz yataklara göre daha düşük çıkmıştır.

Kato vd. 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında yağlayıcı grafit ve MoS₂ tozlarının, sinterleme esnasında kompozitlerdeki bakır partiküllerine kendilerini bağlamaları için Cu tozlarıyla kaplamışlardır. Sertlik, mikroyapı ve eğilme mukavemeti gibi sinterleme özelliklerini incelemişlerdir. Malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri pin-on-disk cihazında, oda sıcaklığında ve kuru şartlarda incelenmiştir.

Kompozitlerin mekanik özellikleri, eklenen grafit veya MoS₂ miktarının artmasıyla azalmasına rağmen, bakır kaplı yağlayıcı tozların eğilme mukavemetini iyileştirmiştir. Grafit, kompozitlerin aşınma ve sürtünmesini azaltmada oldukça etkilidir. Özellikle hacimce %40 grafit içeren kompozitler 0.15'den çok daha düşük sürtünme katsayıları göstermişlerdir. Bakır kaplı grafit türlerinin aşınma oranı bakır kaplanmamış grafit türlerinden çok çok daha azdır.

Buna karşılık, MoS₂ eklenen kompozitlerin aşınma oranı eklenen MoS₂ miktarıyla birlikte oldukça artmıştır. Bu davranış sinterlenmiş kompozitlerin içinde MoS₂ olmadığını ve CoMo₂S₃ bulunduğunu düşündürmektedir.

Miyasaka vd. (2003) yağ emdirilmiş sinter bronz (Cu-Sn) yatakların ilk çalışmaları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yatağın ilk çalışması esnasında mikroyapısal homojenliğin etkisini ve ilk çalışmadan sonra yatakların iç çaplarındaki sürtünme yüzeylerinde oluşan ara yüzey basıncı ve dönme hızı gibi kayma şartlarının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları mikroyapısal incelemelerden, görünen sertlikleri aynı kabul edilen yataklarda, malzemelerin heterojen iç yapıya sahip olmaları halinde alıştırma (rodaj) süresinin homojen iç yapıya sahip olan malzemelere nazaran daha kısa

olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışma sonucunda yatak yüzey gözenekliliği ile Sommerfield Sayısı arasındaki ilişki için bir eşitlik önermişlerdir. Bu eşitlik yardımıyla Sommerfield Sayısı'ndan rodaj sonrasındaki yatak yüzey gözenekliliğini belirlemenin mümkün olabileceğini belirtmektedirler.

Shikata, (2003) yağ emdirilmiş sinter yataklardaki teknolojik gelişmelerle ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada yataklardaki PV değerlerinin sürtünme katsayısı üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmasında değişik kompozisyonlara sahip sinter yatakların sürtünme katsayılarını $\eta_{Nd/PC}(x10^6)$ parametresine bağlı olarak ifade etmektedir. Çalışmasının sonuç bölümünde yağ emdirilmiş sinter yataklardaki gelişmelerin, PV faktörüne bağlı olarak yüksek basınç altında düşük hız ve yüksek hız kombinasyonlarını içerisine alacak bir süreçte oluşabileceğini bildirmektedir.

Durak (2003) yapmış olduğu bir çalışmada gözenekli yatakları farklı yağ ve yağlama şartları altında deneysel olarak incelemiştir. Deneylerinde ticari olarak satılan %80 yoğunluğa sahip, %90Cu ve %10Sn'den oluşan bronz yataklar kullanmıştır. Deneylerinde yataklara, SAE 20W50 ticari yağ ve ayrıca %3 oranında iki farklı ticari katkı maddesi eklenmiş yağları emdirerek deneyler gerçekleştirmiştir. Deneylerini statik ve titreşimli yük altında gerçekleştirmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda statik yük altında oluşan sürtünme katsayısının, titreşimli yük altında meydana gelen sürtünme katsayısından daha düşük olduğunu belirlemiştir.

Durak vd. (2004) yaptıkları bir çalışmada Toz Metalurjisi ile üretilmiş, ticari olarak satılan bakır esaslı ve %80 son yoğunluğa sahip numunelerin sürtünme katsayılarını ve aşınma miktarlarını, dinamik yük altında belirlemeye çalışmışlardır. Deneylerini, ortama yağ göndererek gerçekleştirmişlerdir. Yağlayıcı olarak baz yağın yanında iki adet ticari yağ kullanmışlardır. İki farklı hızda testler gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta 1500d/d hızda yaptıkları deneylerde elde edilen sonuçların sürtünme katsayısı açısından daha stabil olduğunu belirtmişler ve en büyük aşınmanın baz yağla 1500d/d hızda yapılan testlerde meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Jia vd. (2004) Toz Metalurjisi yöntemini kullanarak Bronz-Grafit kompozitler elde etmişlerdir. Elde edilen kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını kuru ve su ile yağlama durumunda, paslanmaz bir çeliğe karşı MM 200 silindir-bilezik sürtünme ve aşınma deney düzeneğinde gerçekleştirmişlerdir. Bronz-Grafit kompozitlerin aşınma mekanizmaları hem kompozit numunelerin hem de paslanmaz çelik bileziğin aşınmış yüzey morfolojisini temel alan SEM cihazı yöntemi ile; enerji dağıtım spektrometresi ve aşınmış yüzeylerdeki bazı tipik elementlerin belirlenmesi de X-ray fotoelektron spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. Su ile yağlama şartlarındaki sürtünme katsayısının kuru kayma şartlarındaki sürtünme katsayısından daha büyük olduğu belirlenmiş ve her iki kayma şartında da yükün artmasıyla sürtünme katsayısının, marjinal bir değişime gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada önemli miktarda yükün artırılmasına rağmen, su yağlamalı kayma şartlarındaki bronz-grafit kompozitin aşınma oranı, kuru kayma şartlarında çalışan numunelerin aşınma oranlarına göre önemli ölçüde azalmıştır. Bu, bir yağlayıcı olarak suyun soğutma etkisine ve partiküllerin su ile yağlama altında, eş çalışan çelik yüzeyine transferinin engellenmesine bağlanmaktadır. Böylece su yağlamalı kayma altındaki bronz-grafit kompozitlerin paslanmaz çeliğe karşı aşınma direnci, kuru kayma şartlarındaki kompozitlerinkinden daha iyi olmaktadır. Sonuçta Bronz-Grafit kompozitlerin, sulu şartlarda kullanılmaya aday potansiyel bir tribo-malzeme olarak görülebileceği sonucuna varmışlardır.

Civalek vd.(2004) yapay sinir ağlarını kullanarak elastik kirişlerin statik ve dinamik analizini gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında kirişin maksimum deplasmanı için her iki ucun ankastre mesnet, ankastre mesnet-sabit mesnet ve iki ucun mafsallı mesnet durumları için yapay sinir ağlarını eğitmişler, ankastre mesnet-boşta uç sınır şartı için ise test etmişlerdir. Kurdukları ağ geriye yayılma öğrenme algoritmalı, tek gizli katmanlı bir ağ olup, gizli katmanın nöron sayısını deneme-yenilme yoluyla bulmuşlardır. Ağın eğitimi sırasında hata miktarının iterasyon ile değişimini grafik halinde vermişlerdir. İterasyon sayısı arttıkça öğrenme oranı titreşim analizinde 0.86, deplasman analizinde ise 0.92 değerine ulaşıncaya istenilen hassasiyete ulaşmışlardır. Yazarlar sonuçta yapay sinir ağlarını kullanarak elastik kirişlerin çeşitli mesnet durumları için statik ve dinamik analizini sunmuşlar ve diğer konvansiyonel metotlar ile elde ettikleri sonuçlarla yapay sinir ağlarından elde

ettikleri sonuçları karşılaştırmışlar ve yapay sinir ağlarının yeter hassasiyette olduğunu bildirmişlerdir.

Ripa vd. (2004) “Aşınma ve Üretim Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulamalarının İncelenmesi” başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın amacını, yapay sinir ağlarını kullanarak mekanik sistemlerin ömürlerini ve performanslarını önceden belirleyebilmek olarak açıklamışlardır. Yazarlar daha önce Jones ve arkadaşlarının yapmış olduğu deneysel çalışmaları kullanmışlardır. Buna göre kurdukları ağda giriş parametreleri olarak hız, yük, viskozite, kayma mesafesi, sürtünme katsayısı ve sıcaklığı; çıkış parametresi olarak da aşınma oranını kullanmışlardır. Yazarlar kurdukları yapay sinir ağı ile aşınma oranını büyük doğruluk oranıyla tahmin ettiklerini belirterek, yapay sinir ağlarının bu amaçla kullanılabileceğini belirtmektedirler.

Ceschini vd. (2005) yaptıkları çalışmada Fe-C-Mo ve Fe-C-Cr tozlarını farklı mikroyapılar ve yoğunluklar elde edebilmek amacıyla farklı sıcaklık ve basınç şartları altında T/M yöntemiyle üretmişler ve sinterlemişlerdir. Düz numunelerin hem kuru kayma hem de abrasiv aşınma şartlarındaki davranışlarını belirleyebilmek için bir takım tribolojik testler yapmışlardır. Abrasyon testleri için micro-scale ball cratering yöntemi kullanılırken, kayma testleri için ise bir levha-silindir aşınma cihazını kullanmışlardır. Toz metal çelik parçaların kuru kayma durumundaki aşınma dirençleri başlıca, kompozisyon ve sinterleme şartlarından etkilenmiştir. Bu açıdan en iyi aşınma davranışı Mo miktarının artmasıyla Fe-Cr-Mo çeliklerinde görülmüştür. Bunun sebebini sinterleme şartları altında beynitik mikroyapının artması olarak açıklamışlardır. Diğer bir belirleyici rol de gözenek miktarı ve şeklidir. Gözenek şeklindeki yuvarlaklığın artması kadar gözenekliliğin azalması da kayma aşınması direncinde kayda değer bir iyileşme meydana gelmesine yol açmaktadır. Uygulanan yükteki bir artış delaminasyon aşınma rejimine yol açarken, göreceli olarak uygulanan yükün daha az değerlerinde tüm sinterlenmiş çeliklerde hafif bir oksitleyici aşınma rejiminin gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Ghorbani vd.(2005), yaptıkları bir çalışmada soğuk haddelenmiş bir çelik üzerine elektrodepozit yöntemiyle grafit-bronz kompoziti kaplamışlar ve bu malzemenin

aşınma ve sürtünme karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları grafit-bronz kompozit kaplamanın kalınlığının 20µm ve bu kompozitte kullanılan grafit partiküllerinin ortalama büyüklüğünün 10µm'den küçük olduğunu belirtmişlerdir. Bronz-grafit kompozit kaplamalardaki aşınma direnci ve sürtünme katsayısına; kompozit kaplamadaki grafit miktarının, yapıdaki kalay miktarının, yükün, hızın ve mesafenin etkilerini çalışmışlardır. Çalışmalarında, en iyi tribolojik özellikleri, yaklaşık olarak hacimce %5.4 grafit ve ana yapıda ağırlıkça %14.8 Sn içeren kompozit kaplamanın gösterdiğini belirtmişlerdir. En düşük sürtünme katsayısını spesifik bir grafit yüzdesinde elde ederken, sinterlemenin de hem sürtünme katsayısı hem de aşınma direnci üzerine faydalı olduğunu görmüşlerdir. Çalışmalarında bundan başka bronz-grafit kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü de çalışmışlar ve kompozit kaplamaların yüzey pürüzlülüğünün bronz alaşımli kaplamaların yüzey yüzey pürüzlülüğünden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Ünlü vd. (2005) yaptıkları çalışmada dört farklı kompozisyonda ürettikleri T/M esaslı kaymalı yatakların aşınma ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deney numuneleri CuSn10 bronz, Fe-Grafit (%1 Grafit), FeCu-Grafit(%3Cu-%1Grafit) ve CuSn10-Grafit(%45Cu-%5Sn-%49Fe-%1Grafit) kompozisyonlarındadır. Ürettikleri numuneleri, imalini yine kendilerinin gerçekleştirdiği radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında aşındırılmışlar; sürtünme katsayısı ve aşınma kayıplarını belirlemişlerdir. Deney numunelerini 360MPa basınçta preslemişler ve 1120°C'da sinterlemişlerdir. Deney parametreleri olarak 20N kuvvet, 1500d/d mil hızı ve 150 dakika aşındırma süresi belirlemişlerdir. Aşınma deneylerini yağlı ortamda gerçekleştirmişlerdir. Yağlama için SAE 90 dişli yağı kullanmışlardır. Yatakların iç çapı 12mm, dış çapı 16mm ve genişliği 12mm'dir. Bu şartlarda yapılan deney sonuçlarına göre en düşük yatak ağırlık kaybının Fe-Grafit yatakta meydana geldiğini belirlemişler; içerisine bakır ilave edildiğinde ise yatağın kendisinin fazla, milin ise daha az aşındığını tespit etmişlerdir.

Tüfekci vd. (2006) yaptıkları çalışmada bakır ve demir esaslı T/M yatak malzemelerinin sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada %90Cu+%10Sn bronz ve %1C+%kalani Fe esaslı kendi kendini yağlayan yataklar kullanmışlardır. Yataklar %85 yoğunluktadır. Deneylerini, daha önce üretilen(Tunay,

2001) deney setinde bir takım değişiklikler yaparak gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri beş farklı hız ve beş farklı yükte gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarını grafikler halinde sunmuşlardır. Sonuç olarak genellikle düşük yatak yükü ve düşük hızlarda bronz burçlar ile demir esaslı burçların birbirine yakın; yüksek yatak yükü ve yüksek hızlarda ise bronz yatakların demir esaslı yataklardan daha iyi tribolojik özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Metal Tozları

Toz metalurji üretim sürecinde elde edilecek ürünlerin; mekanik özellikleri, yüzey kalitesi, boyut hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü, presleme basınçları... vb. özellikler, kullanılacak metal tozunun özellikleri ile değişiklik gösterdiğinden, metal tozlarının özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Genel olarak metal tozunun özellikleri fiziksel ve kimyasal olarak sınıflandırılabilir.

3.1.2. Tozların Fiziksel Özellikleri

Tozların fiziksel özellikleri metal tozlarının tane boyutu, tane şekli, görünür yoğunluk ve akış hızı özelliklerini içerir.

3.1.2.1. Toz Tane Boyutu ve Dağılımı

Metal tozlarının tane boyutları elek analizi, mikroskopik yöntem, sedimentasyon, ışık hızı gibi toz boyutu ölçüm yöntemleri ile elde edilmektedir. Çoğunlukla toz tane boyutunu belirlemede izdüşümü alanı, maksimum boyut, minimum kesit alanı, hacim, boy, en, çap gibi boyut parametreleri dikkate alınmaktadır. Karmaşık şekilli tozların boyut belirlemede bu parametrelerden birkaçı birden kullanılmaktadır.

3.1.2.2. Tane Şekli

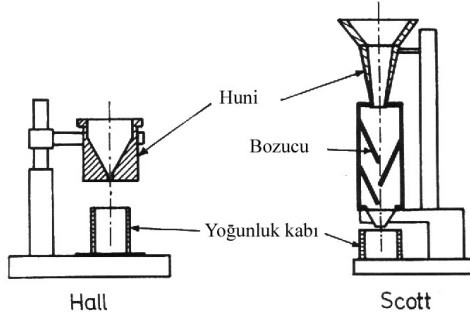
Tozların tane şekillerinden anlaşılan tanelerin yüzeysel yapılarıdır. Toz tane şekli tozun akıcılığı, görünür ve ham yoğunluk değerleri, ham mukavemet, sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür.

3.1.2.3. Görünür Teorik ve Ham Yoğunluk

Görünür Yoğunluk: Belli bir hacimdeki gerçek toz kütlelerinin yoğunluğu olup g/cm^3 olarak ifade edilmektedir. Pres kalıplarının tasarımında en önemli toz özelliğidir. Görünür yoğunluk toz şekline, toz tane büyüklüğüne ve metalin

yoğunluğuna bağlıdır. Toz taneleri küçüldükçe ve şekilleri küresel halden uzaklaştıkça görünür yoğunluk azalmaktadır (Saritaş, 1995).

Görünür yoğunluğu ölçmek için genellikle ASTM standartlarında Hall ve Scott olmak üzere iki akış hunisi kullanılır (Şekil 3.1). Bu hunilerden serbest olarak, standart akış aparatının hassas hacimli kabına dolan tozun kütesinin, kabın hacmine oranına görünür yoğunluk denir. Görünür yoğunluğu etkileyen faktörlerin başında toz tane büyüklüğü, dağılımı ve yüzey alanı gibi parametreler gelmektedir.



Şekil 3.1. Hall ve Scott akış aparatları (German, 1984)

Teorik yoğunluk: Ergitilerek dökülmüş toz metalin katılaşmadan sonraki metal kütesinin hacmine oranıdır.

Ham yoğunluk: Kalıp içerisinde şekillendirilen toz metal parçası kütesinin, hacmine oranıdır. Bu yoğunluk sinterleme öncesi yoğunluk değeridir. Son yoğunluk ise sinterleme sonrası parçanın yoğunluğudur (German, 1984).

3.1.2.4. Sıkıştırılabilirlik: Belirli bir metal tozu kütesinin, basınç altında yoğunlaşma kabiliyetinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Sıkıştırılabilirlik, tozun biçimlendirme sırasındaki davranışını belirlemektedir. Tozların sıkıştırılabilirlik özellikleri şu faktörlere bağlıdır:

- Tozun sertliğine,
- Tozun şekline,
- Toz tane büyüklüğü dağılımına,
- Kullanılan yağlayıcılara(Saritaş, 1995)

3.1.2.5. Ham Mukavemet: Sıkıştırılmış toz kütlesinin sinterlemeden önceki mukavemetidir. Ham mukavemet tozların birbirlerini kitlemelerinden ve kısmen de soğuk kaynak meydana gelmesinden oluşmaktadır. Ham mukavemete etki eden faktörler; toz tane şekli, toz tane büyüklüğü, sıkıştırılabilirlik ve toz yığına eklenen katıklardır (Saritaş, 1995).

3.1.3. Tozların Kimyasal Özellikleri

Tozların saflıkları ve kimyasal bileşimleri kimyasal özelliklerini oluşturur. Özellikle tozların üretimi esnasında toz taneleri oksitlenmeye karşı duyarlıdır. Bu yüzden metal tozları üretim esnasında veya daha sonra hava ile temastan dolayı oksitlenirler. Bu oksitler genellikle tane sınırlarında yer alarak, tozun daha sonraki üretim süreçlerinde tozdan istenen sonuçların alınmasına engel olur. Metal tozları indirgenerek oksitlerden temizlenmeye çalışılır.

Tozların kimyasal özelliğinin tespiti için mevcut analiz yöntemleri uygulanabilir. Örneğin, tozdaki oksijeni tespit edebilmek için belli ağırlıktaki kurutulmuş toz yaklaşık bir saat süre ile hidrojen altında, 550-1150°C sıcaklıkta indirgenerek tartılır. İndirgenen bileşikler için:

$$\%O_2 = [(A_i/A_s)/A_i] \times 100 \quad (1.1)$$

ile bulunur. Burada A_i , ilk ağırlık ve A_s , son ağırlıktır. İndirgenemeyen SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , BeO , TiO , dengeli oksitler için başka deneyler yapılır (Kurt, 1992).

3.1.4. Metalik Tozların Üretim Yöntemleri

Tüm malzemeleri toz haline getirmek mümkünse de toz üretimi için seçilen yöntem ve üretim süreçleri malzemenin bazı spesifik özelliklerine bağlıdır. Metal tozu üretiminde dört temel yöntem vardır. Bunlar:

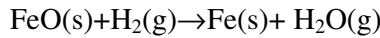
- A) Kimyasal tepkimelerle toz üretimi
- B) Elektroliz yöntemi
- C) Atomizasyon yöntemi
- D) Mekanik öğütme ve mekanik alaşımlamadır.

Herhangi bir üretim süreci çoğunlukla iki veya üç farklı üretim yönteminin birleşimidir. Örneğin, atomize olmuş ve elektrolitik tozlara atomizasyon/elektrolitik süreç sonrası indirgeme uygulanabilir veya bu işlem öncesi ve sonrası öğütülebilir/pülverize edilebilir. Yani atomizasyon ve öğütme dışındaki diğer metotlar da aynı zamanda uygulanabilir (Öveçoğlu, 1997).

3.1.4.1. Kimyasal Üretim Yöntemleri

Genelde tüm metal tozları kimyasal tekniklerle üretilebilir. Kimyasal yöntemlerle sentezlemede katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleştirilebilir. Bu sentezleme yöntemlerini gaz altında katının ayrışması, termal ayrışma, sıvıdan çöktürme ve gazdan çöktürme olmak üzere dörde ayırmak mümkündür.

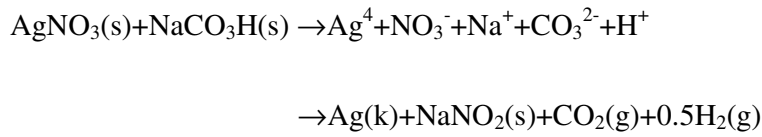
Gaz Altında Katının Ayrışması: Metal toz üretiminin en klasik şekli, metal oksitleri indirgeyici gaz ortamında indirgeyerek ayrıştırmaktır. Bu yöntemde saf metal oksit tozları gerek karbon monoksit gerekse hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak, yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir. Gaz altında metal oksit indirgemesine en çok kullanılan örneklerden birisi demir oksidin (FeO) indirgenmesi için geçerli olan tepkimedir.



Termal Ayrışma: Buhar fazında ayrışma ve yoğuşma süreçlerinin birleşimi ile metal tozlarını üretmek mümkündür. Bu süreçlerin birleşimdeki en temel örnekleri demir karbonil $\text{Fe}(\text{CO})_5$ veya Nikel karbonil $\text{Ni}(\text{CO})_4$ tepkimelerini içeren üretim yöntemleridir. Bu örneklerden ilkinde, nikel metali karbonmonoksit ile tepkimeye sokularak nikel karbonil oluşturulur. Gaz molekülünün oluşumunda, otoklav ortamında aynı anda yeterli basınç ve sıcaklık gereklidir. Moleküler haldeki karbonil 43°C ' de ve yüksek basınçlarda sıvı haline gelinceye kadar soğutulur. Bir tepkime katalitiğinin etkisi ile yeniden ısıtıldığında buhar fazında ayrışır. Sonuçta metalik nikel tozu 2 ila $4\mu\text{m}$ boyutlarında ve yaklaşık %99,6 saflığında çökerek üretilir. Diğer metallere bakır, krom, platin, rodyum, altın ve kobalt, karbonil üretimi için aday metallere dir. Ancak bu metallere termal ayrışması için gereken yüksek enerji gereksinimi ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel

tehlikelerden ötürü dünyada daha çok nikel ve demir karbonil üretimi tam olarak benimsenmiştir (Öveçoğlu, 1997).

Sıvı Fazdan Çöktürme: Sıvı çözeltilerde nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan metalik tuzlar, metalik çözeltiler veya çökelti oluşturan metali oluşturmak için işleme tabi tutulabilirler. Çökeltilen ya da çökelti fazı haline getirilen metalik tuzlar, toz üretimi için uygun kaynak teşkil ederler. Tuz suda eritilir ve ikinci bileşik tarafından çökeltir. Örnek olarak aşağıda gümüş nitratin potasyum karbonhidrat ile tepkimesini ele alalım.



Son ürün olan katı gümüş çökeltisi öğütülerek toz ürün haline getirilir. Metalik tuzların sıvı çözeltiler içerisinde ayrışması ile elde edilen toz üretimine alternatif olarak metalik iyonlar, hidrojen ile tepkimeye sokularak metalik çözeltiler oluşturulabilir. Bu tür metalik çözeltilere örnek olarak bakır, nikel ve kobalt tozları verilebilir. Kimyasal çökelti fazında elde edilen tozların tipik boyutları 1µm dolayında olup yüksek derecede saflığa sahiptirler.

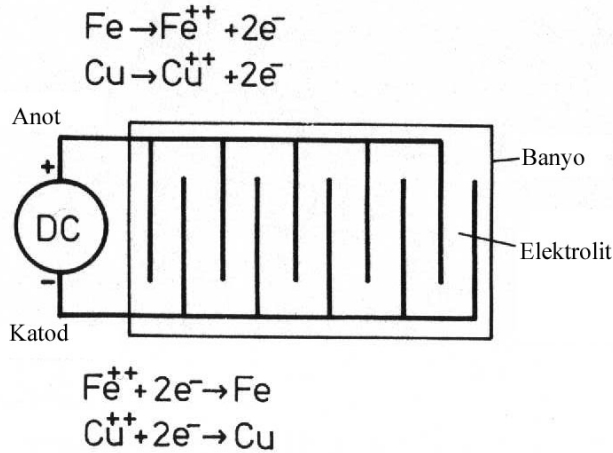
Sıvı fazdan çökelti ile geliştirilen toz üretim teknikleri özellikle kompozit tozların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit çözeltiler yönteminde çökelti tepkimesi sırasında, çekirdeklendirici bir faz kullanılır. Bu tür çekirdek fazlara örnek olarak kobalt, nikel veya demir ile kaplanmış torya (ThO₂), titanyumoksit (TiO₂) ve volfram karbür (WC) verilebilir. Bu tür kompozit tozların en önemli uygulama sahası dispersiyonlarla pekiştirilmiş süper alaşım malzemeleridir. Çökelti tepkimelerinin bir başka uygulaması, zirkonyum ve titanyum gibi oldukça reaktif metal tozlarının üretimidir (Öveçoğlu, 1997).

Gazdan Çöktürme: Gaz bileşiklerin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallere ve nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı, tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden kullanılabilmesidir. Bu tür üretim

sürecine en uygun örnek, molibden trioksitin saf hidrojen ile tepkimeye girerek metalik molibden tozunun üretimidir. Gazdan çökertme süreçleriyle vanadyum, niobyum, volfram, hafniyum, gümüş, nikel ve zirkonyum metallerinin klorürleri, florürleri ve hatta oksitleri işleme sokularak çok küçük tane boyutlarında metalik tozlar üretilir (Öveçoğlu, 1997).

3.1.4.2. Elektroliz Teknikleri

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi de elektroliz hücresinin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektir. Bu yöntemi kullanarak yüksek saflıkta Cu, Fe, Zn, Mn ve Ag üretmek mümkündür. Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilen bir elektroliz hücresinde, uygulanan voltaj altında Fe ve Cu anot-katot tepkimeleri gerçekleşir. Sülfat esaslı bir elektrolit içerisinde anot malzemesi çözümlenerek eksilir ve katotta artma veya depolanma gerçekleşir (German, 1984).



Şekil 3.2. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz hücre şeması (German, 1984)

Elektrolitik süreçlerin sonunda gözenekli katot dışarı alınır, yıkanır, kurutulur ve ince taneli toz haline gelinceye dek öğütülür. Elektroliz hücresinde üretilen tozlar genellikle süngerimsi ve dentritik yapılara sahiptir. Tozların herhangi bir şartnameye uygun istenilen özellikleri, elektrolitik birikme sırasındaki banyo şartlarına bağlıdır.

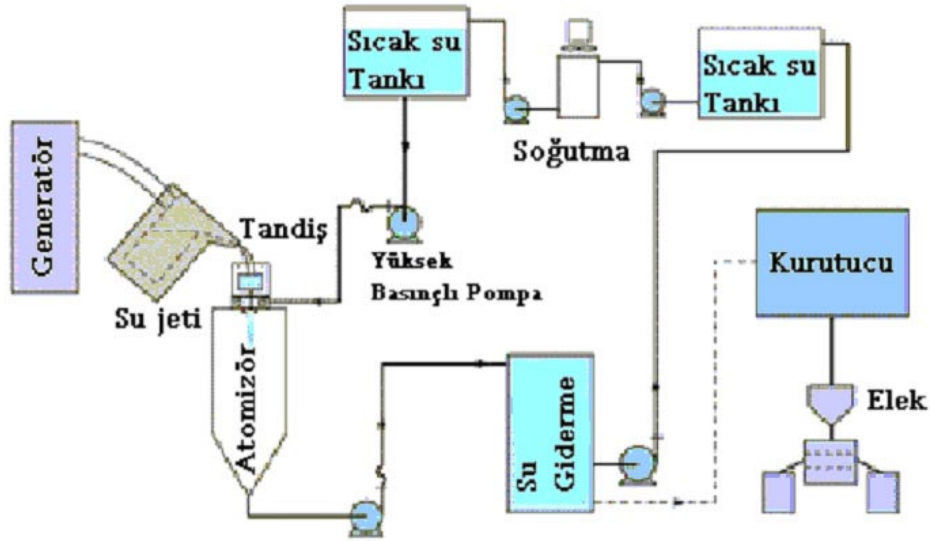
Örneğin yüksek akım yoğunluğu ve asidik banyo şartları, katotta birikmesi istenen gözenekli toz şeklindeki oluşumlara yol açar. Yüksek saflıktaki metal tozların

üretimlerinde kullanılan elektrolitik tekniklerin uygulanmasında bir takım zorluklar vardır. Bunların arasında katottaki birikmede kirlenmenin olması ve bundan dolayı işlemden hemen sonra katot ürününün hemen yıkanması ve öğütülmesi belirtilebilir (Öveçoğlu, 1997).

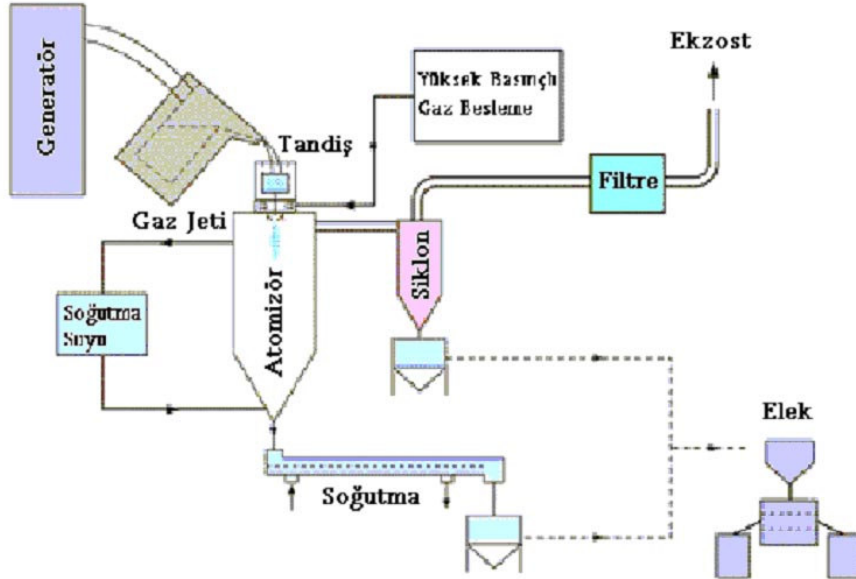
3.1.4.3. Atomizasyon

Ergimiş metalin bir ergime potasından (tandiş) akıtılması esnasında yüksek basınçlı su veya gazın etkisi altında ani ve aşırı soğutulması ile 100-150 μ m'den daha küçük boyutlarda toz haline gelmesine atomizasyon denir. Su ve gaz atomizasyon yöntemlerinin haricinde döner disk atomizasyonu ve döner elektrot metodu gibi yöntemler de vardır. Bu yöntemlerde kullanılan atomizasyon teknikleri farklıdır. Atomizasyon tekniği ortaya çıkmadan önce, tozların kimyasal bileşimi ile şekil ve biçimlerini kontrol etmek mümkün değildi. Atomizasyon tekniği ile bu tür sorunlar ortadan kalkmış ve hem elementel hem de ön alaşımlanmış tozlar bu teknikle üretilmeye başlanmıştır. Bunun yanında bu yöntemin ekonomikliği diğer toz üretim metotlarına karşı üstünlük sağlamış ve endüstride büyük oranlarda tercih edilen bir toz üretim metodu olmuştur.

Metalik ergitme işlemi başka bir potada yapılabileceği gibi tandişin etrafına sarılan indüksiyon bobinleri ile hatta ark yardımıyla da gerçekleştirilebilir. Su atomizasyonu ile (Şekil 3.3) üretilen tozlar düzensiz fleykler şeklinde olup önemli miktarlarda oksit içerirler. Gaz atomizasyonunda (Şekil 3.4) ise hava, azot, helyum veya argon gazları kullanılır. Bu yöntemle üretilen tozlar genellikle küresel şekle sahiptirler. Gaz atomizasyonu ile Al, Ni, Mg, Co, Pd, Fe, Au, Zn ve Be gibi alaşım metalleri üretilmektedir (Öveçoğlu, 1997).



Şekil 3.3. Su atomizasyonunun şematik gösterimi (Baksan ve Gürler, 2003)



Şekil 3.4. Gaz atomizasyon yönteminin şematik gösterimi(Baksan ve Gürler, 2003)

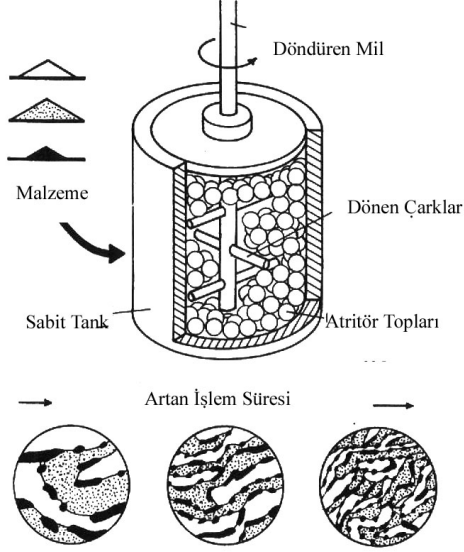
3.1.4.4. Mekanik Öğütme

Öğütme ya da tanım itibariyle sert metal tozların çarpması sonucu darbe etkileri altında özellikle gevrek ve kırılğan esaslı malzemelerin ufalanarak toz haline getirilmesi işlemi, toz üretim yöntemleri içerisinde en eski ve en klasik olanıdır. Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu ve pirinçtir. Bunlardan başka Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe esaslı ve Cu esaslı tozlar da üretilir. Mekanik öğütme yöntemleriyle özellikle oksitleri indirgenmiş ve sünger biçimindeki metalik keklerden toz üretimi gerçekleşir. Mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametreler öğütmede kullanılan top/toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve öğütmede kullanılan sıvı ya da öğütme atmosferidir (Öveçoğlu, 1997).

Öğütme işlemi sırasında toz parçacığının üzerine darbe, aşındırma, kesme ve basma olmak üzere dört tür kuvvet etki eder. Darbe, öğütme ortamında kullanılan topların ya da diğer tozların herhangi bir toz parçacığı üzerine anlık çarpmasıdır. Aşınma top/toz etkileşimi ile olabileceği gibi, toz/toz etkileşimleri sonucu da oluşur. Bu iki tür kuvvet etkisinin yanı sıra daha az önemli olan kesme ve basma kuvvetleri de topların tozlar üzerine olan etkileri sonucu oluşurlar. Klasik öğütme süreçlerinde toz boyutunun ufaltılması, boyut homojenizasyonunun sağlanması ve/veya çeşitli tozların birlikte öğütülmeleri ile kompozit üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenir. Bu amaçla düşük enerjili tambur değirmenler ve titreşimli değirmenler kullanılır.

Klasik öğütme süreçleri ile mümkün olmayan katı halde alaşımlama işlemi yüksek enerjili öğütme ortamı sağlayan atritör, gezegen top değirmeni, bazı titreşimli değirmenler ile laboratuvar ölçekli Spex değirmenlerinde mekanik alaşımlama (MA) ile gerçekleştirilir. 25 yıllık bir geçmişe sahip mekanik alaşımlama, çok ince mikro yapılar üretmek için tozların normal ve/veya inert ortamlarda sürekli kırılma ve soğuk kaynama ve yeniden kırılma ile yeniden kaynamaya maruz bırakıldığı bir düşük sıcaklık sentezleme yöntemidir. Bu yöntem sayesinde geleneksel ergitme ile üretimi mümkün olmayan alaşımların üretimi gerçekleşir. Şekil 3.5’de gösterildiği gibi, mekanik alaşımlama sırasında başlangıç tozları sürekli olarak kırılır, parçalanır ve bu parçacıklar başka toz parçacıkları ile birleşerek son aşamada kompozit tozları oluştururlar. Gerçek anlamda mekanik alaşımlanmış tozların kimyasal bileşimleri ve

parçacık boyutları birbirlerine oldukça yakın olduğu gibi biçimleri eş akselidir. (Öveçoğlu, 1997).



Şekil 3.5. Mekanik alaşımlamada Atritör (German, 1984)

3.1.5. Tozların Preslenmesi ve Sinterlenmesi

Birçok hallerde, metal tozların preslenmesinden önce 400°C ile 800°C arasında bir ön redükleme işlemi gerekir. Böylece tozların yüzeyinde oluşan oksitler, rutubet, adsorbe edilmiş gazlar, karbon, kükürt ve fosfor oranı azalır. Ayrıca bu ısıl işlem ile tozların sertlikleri azalır, sıkıştırılabilirlik özelliği iyileşir. Tozun sıkıştırılabilirlik özelliği yetersiz ise sentetik reçineler, kolofan, aseton, eterparafin solüsyonları gibi bileşimler ilave edilir (Ersümer, 1970).

Metal tozlarının, üretilecek parçanın istenen yüzey kalitesine ve boyutlarına göre hazırlanan kalıp içerisinde, basınç etkisi ile yeterli yoğunluğa getirilmesi işlemine sıkıştırma işlemi denir. Toz tanecikleri, oldukça kompleks yüzeylere sahip olmalarının yanında, havada çok molekülü oksit ve gaz tabakalarıyla da kaplıdır. Presleme işleminin başlangıcında kalıp içerisindeki toz, yaklaşık olarak görünür yoğunluğa sahip, boşlukların çok fazla olduğu bir toz yığını halindedir. Presleme

basıncı artarak, gözenekli tane yapısı bozulup gözeneklilik azalmaya başlar. Artan basınç etkisi ile birçok tanecik birbirine sürtünerek toz taneciklerinin yüzeyinde bulunan oksit ve gaz tabakaları yırtılır. Böylelikle toz tane yüzeylerinin birbirine teması sağlanmış olur. Tanelerin temas noktalarında, lokal olarak plastik deformasyona maruz kalmaları sonucunda, temas yüzey alanları büyür ve temas noktalarında meydana gelen iş sertleşmesi gerçekleşir. Yüzeylerin atomik temasta olduğu noktalara, kohezyon kuvvetleri etki ederek, zayıf bağların oluşması sağlanır. Burada mekanik kilitleme, ham mukavemete büyük katkı sağlamaktadır. Karmaşık şekilli tozların preslenmesinde, mekanik kilitlemeye fazlaca rastlanır. Bu sebepten dolayı yuvarlak karmaşık şekilli tozların ham mukavemeti daha yüksektir. Tozun sıkıştırılmasında kalıp duvarı ile toz taneleri arasında meydana gelen sürtünme, presleme basıncının tozun içindeki derinlik mesafesi ile azalmasına sebep olmaktadır. Tozun sıkıştırılmasında basınç, mukavemet, yoğunluk ilişkilerini etkileyen çok sayıda önemli iç ve dış etkenler vardır. İç etkenler tozun sertliği, şekil değiştirme sertleşmesi, yüzey sürtünmesi ve malzeme özellikleridir. Dış etkenler arasında ise toz tane boyutu, şekli, yağ ve yağlama türü, sıkıştırma yöntemi gibi özelliklerdir.

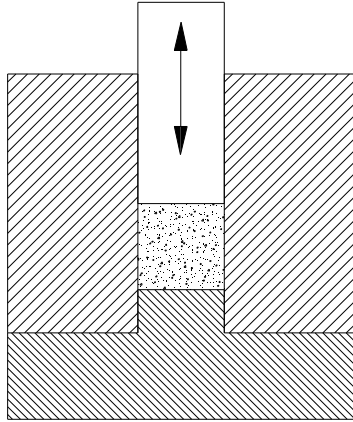
3.1.5.1. Toz Sıkıştırma Yöntemleri

T/M'de farklı sıkıştırma yöntemleri geliştirilmiştir. Sıkıştırılan toz kütlelerinde istenen en önemli özellik ekonomik olarak mekanik özellikleri iyi parça üretmek olmuştur. Sıkıştırma yöntemleri şu şekilde sıralanabilir:

- a) Kalıpta sıkıştırma
- b) Haddeme ile sıkıştırma
- c) İzostatik sıkıştırma
- d) Enjeksiyonla sıkıştırma
- e) Ekstrüzyonla sıkıştırma
- f) Yüksek enerjili sıkıştırma

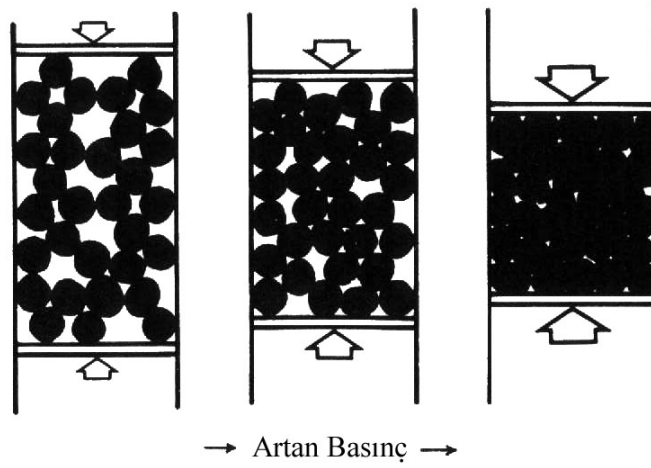
Kalıpta Sıkıştırma: Kalıpta sıkıştırma en çok kullanılan biçimlendirme metodudur. Bu şekillendirmede 10MPa ile 500-2000MPa arasında basınç kullanılmaktadır. Tespit edilen basınç şekillendirilecek kalıp içindeki toz kütlesinin tek ya da çift tarafından dikey doğrultuda uygulanır. Basınç uygulama şekline göre; tek yönlü sıkıştırma ve çift yönlü sıkıştırma diye ikiye ayrılır (Kurt, 1992).

Tek yönlü sıkıştırma işleminde pres tek yönlü kuvvet uygular (Şekil 3.6). Üst zımba kalıp boşluğuna giderek sıkıştırılacak tozu, sabit olan alt zımbaya kalıp boşluğuna sıkıştırır. Bu işlemin kolay olması, fazla yatırım maliyeti gerektirmemesi avantajlarındandır. Fakat parçanın ham yoğunluğunda, üst zımbadan uzaklaştıkça azalmalar söz konusudur. Bunun sebebi ise üst zımba tarafından uygulanan kuvvetin zımbaya daha yakın tozlara nazaran daha alt tarafta kalan tozlara az iletilmesidir.



Şekil 3.6. Tek yönlü sıkıştırma (Kurt, 1992)

Çift yönlü sıkıştırmada toz, hareketli alt ve üst zımba tarafından sıkıştırılmaktadır (Şekil 3.7). Bu yöntemin tek yönlü sıkıştırmaya göre avantajı, basılan parçanın alt ve üst yüzelerindeki yoğunlukların aynı olması ve yoğunluk değişiminin parça yüksekliğinin yarısındaki düşey ve yatay eksenlere göre simetrik olmasıdır. Bu yöntemde kalıp duvarları ile tozlar arasındaki sürtünme kuvveti, kalıp tabanında bulunan yay gibi esnek elemanın kuvvetini yenerek kalıbın aşağı doğru hareket etmesini sağlar. Böylelikle tozun alt kısmına, alt zımbanın üst zımbaya eş değer bir kuvvet uygulayarak sıkıştırmasını sağlar. Sıkıştırma işlemi sonrası alt zımbanın yukarı hareketi ile T/M parça kalıptan çıkarılır (Büyükdavraz, 2000).



Şekil 3.7. Çift yönlü sıkıştırma (German, 1984)

Sıkıştırma işleminde önemli parametreler vardır. Bunlar H/D ile ZUH/D oranıdır. H/D oranı kalıp içerisindeki toz yüksekliğinin üretilecek parçanın çapına oranı olup, homojen sıkıştırma özelliklerinin elde edilmesi için oldukça önemlidir. Eğer H/D oranı 5'den büyük ise basılan parçanın ham yoğunluğunda önemli eşitsizlikler görülür. Bu ise parçada sinterleme sonrası mekanik özelliklerin heterojen olmasına sebep olur. ZUH/D oranı ise; sıkıştırma işlemine, aksel gerilme ve kalıp duvarlarındaki sürtünmenin etkisini gösteren bir orandır. Burada

Z: Radyal veya aksel gerilme

U: Kalıp duvarı sürtünme katsayısı

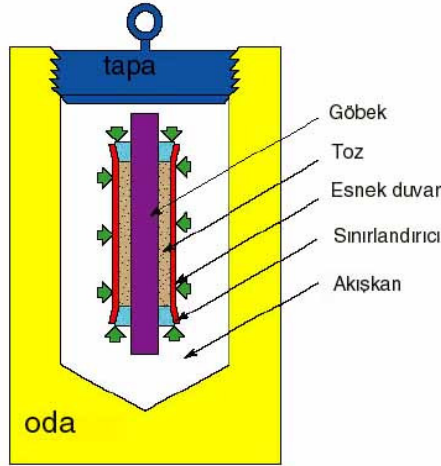
H: Basılacak tozun kalıp içindeki yüksekliği

D: Sıkıştırılacak alanın çapıdır.

En iyi presleme sonuçları ZUH/D oranının küçük olduğu durumlarda elde edilir. Tozun yağlanması Z'yi yükseltirken, sürtünme katsayısını (U) düşürmektedir. Bu nedenle preslemenin homojenliğini artırmak için toz içerisine az miktarda yağlayıcı ilave etmek gerekmektedir (Büyükdavraz, 2000).

İzostatik Presleme: Bu işlemde Şekil 3.8’de gösterildiği gibi parçanın şeklinde esnek bir kalıp hazırlanmakta ve içi tozla doldurulmaktadır. İçindeki hava boşaltılarak, gerekli sızdırmazlık sağlandıktan sonra basınç kazanına atılır. İzostatik preslemede kalıp sürtünmeleri olmadığından ve basınç her yönde eşit olduğundan yoğunluk dağılımı ve mekanik özellikler izotropik elde edilmektedir (James, 1983). Özellikle $H/D > 2.5$ olan parçalarda istenilen ham yoğunluklar ancak izostatik presleme ile homojen olarak elde edilmektedir (Öveçoğlu, 1997).

Soğuk izostatik presleme süreçleri kullanılarak, basılmış numunelerin bünyelerinde herhangi bir yoğunluk farkı oluşmadığı için sinterleme sırasında parçanın tüm bünyesinde yoğunluk ve yapısal açıdan homojenizasyon sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. Soğuk izostatik presleme işlem akışı (Colton, 2001)

Haddeleme İle Sıkıştırma: Tozlar bir besleyiciden haddelerin arasına sıkıştırılmakta ve böylece sürekli biçimlendirme gerçekleştirilmektedir. Hadde silindirinden sonra yerleştirilecek bir fırınla sürekli pişirme ve onu takiben sıcak haddeleme işlemleri kullanılarak sac malzeme üretilmektedir.

Enjeksiyonla Sıkıştırma: Plastik polimer üretim endüstrilerindeki uygulamalardan esinlenerek, enjeksiyonla sıkıştırma yönteminin T/M malzemeler için de uygulanabileceği anlaşılmıştır. Tozlara plastik ve akışkan özellikler kazandırmak amacıyla hacim olarak %8 ila 20 mertebelerinde termoplastik polimer bağlayıcılar ve sentetik mumlar eklenir. Bağlayıcı katkılı tozlar 140°C ila 150°C sıcaklıklarına kadar

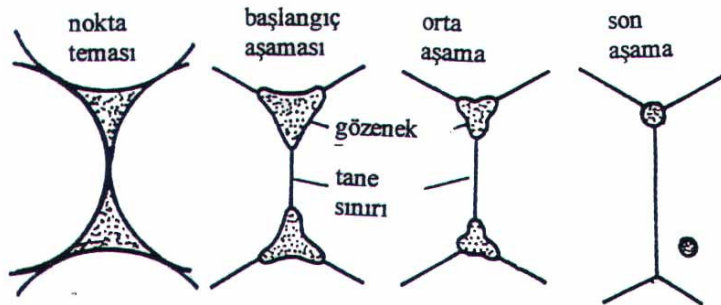
ısıtılıp, akışkan ve homojen bir bulamaç haline getirilir. Daha sonra plastik nitelikli bu bulamaç hareket halindeki bir piston/dalgıç vasıtasıyla küçük bir açıklıktan geçirilmeye zorlanarak bir kalıba doldurulur. Enjeksiyondan sonra malzemeler, 300–400°C sıcaklıklarda uzun süreler tutularak polimer bağlayıcıların parçayı terk etmesi sağlanır. Bu parçaların sinterlenmesiyle T/M parça üretimi yapılmış olmaktadır (Büyükdavraz, 2000).

Ekstrüzyonla Sıkıştırma: Enjeksiyonla kalıplamada olduğu gibi bulamaç haline getirilen polimer-toz karışımı, ekstrüzyon matrisinden geçirilerek yüksek ham yoğunluğa sahip çubuk veya profillerin imalatı gerçekleştirilir. Daha sonra parçalara, bağlayıcı giderme ve sinterleme uygulanır. Sınırlı ölçüde kullanılan ekstrüzyon yönteminde, tozlar kapalı bir kaba doldurulduktan sonra, kabın içindeki hava vakumla boşaltılmaktadır. Kap içindeki tozlar ısıtılarak ekstrüzyon yoluyla parça üretimi gerçekleştirilir.

3.1.5.2 Sinterleme

Sinterleme, dayanımı artırmak amacıyla toza veya sıkıştırılmış kütleye, esas bileşenin ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta uygulanan ısı işlemidir (TSE, 1978).

Soğuk olarak şekillendirilmiş toz metal malzemeler çok kırılımandır. Toz taneleri basınç altında mekanik olarak kilitlenirler ve kısmen de soğuk kaynak oluştururlar. Bu mekanizmalar parçaya yük taşıma kabiliyeti vermez. Soğuk şekillendirilmiş metal tozları arasında metalurjik bağ oluşur (Şekil 3.9). Parça, mukavemetini belli bir sıcaklıkta sinterlendikten sonra kazanır.



Şekil 3.9. Sinterleme aşamaları (German, 1984)

Sinterleme sonrası parçanın mukavemeti ham mukavemetin 100 katından daha yüksek değere ulaşmaktadır (Sarıtaş,1994).

Sinterleme, preslenmiş ve ham kompaktlardaki toz parçacıkların yüksek sıcaklıklar kullanılarak birleştirilmesi işlemi olarak da tanımlanır. Sinterleme süreçlerinde kullanılan sıcaklıklar, genellikle sinterlenecek olan parçanın katı halde kalacak tarzda, yayınma ve ergime sıcaklığının altında seçilirse de özellikle çok sistemli alaşımlarda sıvı faz sinterlemesi olarak bilinen bir fazın varlığında da gerçekleşebilir.

Endüstriyel sinter parça üretiminde geleneksel Toz Metalurjisi sinterleme süreçleri, birkaç bölümü olan sürekli uzun konveyör ya da band fırınlarında gerçekleştirilir. Bu tür fırınların ilk bölümü; presleme için tozlara karıştırılan katıkların, yakılarak uçurulduğu bölümdür. Bu bölümde kullanılan en yüksek sıcaklık 400°C dolayındadır. Bu bölümden hemen sonra sinterleme bölümü gelir. Burada sinterlenecek malzemenin cinsine göre 1180°C sıcaklığına kadar herhangi bir sıcaklıkta sinterleme gerçekleşir.

Birden fazla alaşım elemanı içeren metal tozları, genellikle ana metalin ergime sıcaklığının altında, bağlayıcı metallerin ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta sinterleme yapılır. Böylelikle ergime sıcaklığı düşük olan alaşım elemanı, ana metalin tozlarını bağlamada kullanılmış olur.

Sinterleme süresi, metal tozların türüne ve yapıdaki birleşmenin tamamlanmasına göre belirlenir. Sinterleme süresinin kısa tutulması difüzyon olayının tam olarak tamamlanmamasına sebep olur. Sinterleme süresinin uzun seçilmesi, yapıdaki bazı elementlerin yanmasına sebep olabilir. Bu gibi durumlar sinterleme sonrası elde edilecek olan mekanik özelliklerin düşmesine ve istenen yoğunluk değerlerinin elde edilememesine yol açar. Sinterleme sıcaklıklarında parça oksitlenmeye karşı çok aktiftir. Dolayısıyla oksitlenmeyi önlemek amacıyla sinterleme işlemi, koruyucu gaz atmosferi altında yapılır. Koruyucu gaz atmosferi olarak genellikle kırılmış amonyak, hidrojen, azot gibi indirgeyici gaz atmosferleri kullanılır.

3.1.6. Toz Metalurjisi Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

T/M yönteminde yapılan üretimin birçok avantajları olduğu bilinmektedir. Buna karşılık bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar maddeler halinde aşağıda özetlenmektedir.

3.1.6.1. Avantajlar

1. Toz Metalurjisinin üretim hızı oldukça yüksektir. Fazla iş gücü gerektirmez.
2. Dişliler, kamlar, vb. karmaşık şekilli parçaların üretimi yapılabilir.
3. Üretimde malzeme kaybı yoktur. Talaşlı işlemler elimine edilmiştir.
4. Yakın toleranslar, düzgün yüzeyler elde edilir. Sinterleme işleminden sonra parça kullanıma hazırdır.
5. T/M yönteminde elde edilen parçaların mekanik özellikleri, parça yoğunluğu ile çok büyük değişiklikler göstermektedir. Dolayısıyla parçadan istenen özelliklere göre malzemenin özellikleri çok kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Bunun yanında sinterlenmiş parçaların yoğunlukları toz dövme ile %99'a kadar çıkarılabilmekte ve elde edilen özellikler bazen tam yoğun malzemelere yakın, hatta bu değerlerin üzerinde olabilmektedir.
6. T/M yöntemi ile birbiri içinde çözünmeyen farklı karakterdeki malzemeler bir araya getirilebilmektedir.

3.1.6.2. Dezavantajları

1. İlk yatırım; yani takımlar, presler, sinter teçhizatı oldukça pahalıdır. Seri üretim yapılmazsa amortisman değerleri yüksektir. T/M yönteminin diğer üretim yöntemlerinden avantajlı olabilmesi için üretilecek parça sayısının en az 10000 adet olması gerekir.
2. Mekanik ve fiziksel özellikler bazı iyileştirme işlemleri yapılmadıkça sınırlıdır. Bunun sebebi yapı içinde gözeneklerin bulunmasıdır.
3. Metal tozlarının maliyeti, ingot halinde üretilen malzeme maliyetlerinden daha yüksektir.
4. T/M yönteminde üretilen parçaların yüzey kalitesi, kalıbın yüzey kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Dolayısıyla üretilecek parçanın yüzey kalitesinin iyi olabilmesi

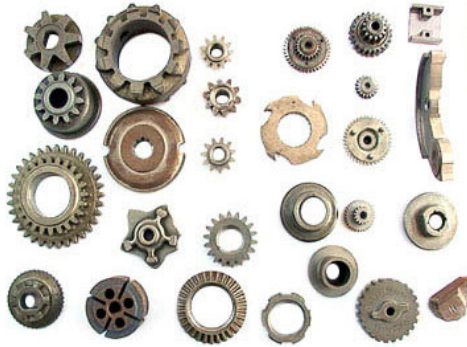
için, kalıp yüzey kalitesinin de iyi olması gerekir. Yüksek yoğunluklu parçalar için gereken presleme basınçları büyük olduğundan, kalıp malzemesi mukavemetinin yüksek olması gerekmektedir. Kalıp malzemesinin mukavemetini artırmak için yüzey sertleştirme işlemi uygulanabilir. Bu olaylar maliyeti artırıcı yönde rol oynar (German, 1984; Sarıtaş, 1992; ASM, 1998).

3.1.7. Toz Metalurjisi Uygulama Alanları

T/M yönteminde modern gelişmeler I. Dünya Savaşı yıllarında başlamıştır. Gözenekli gereçler, mıknatıslar ve emdirilmiş demir tozu parçalar bu yıllarda üretilmiştir. Otomobil sanayindeki büyük gelişmeler T/M yöntemlerini de beraberinde geliştirmiştir. 1940'lı yıllarda T/M ürünü olarak en çok bakır esaslı kendi kendini yağlayan yataklar üretilmiştir. 1960'larda dövme çelik parçalar, takım çelikleri ve izostatik preslenmiş süper alaşımlar gibi tam yoğun T/M gereçleri üretilmiştir. 1975'li yıllarda toz enjeksiyon kalıplama ile MX güdümlü roketlerin Niobyumlu, radyasyon soğutmalı roket motorları üretilmiştir.

3.1.7.1. Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makina Parçaları

Bu tip makina elemanları çoğunlukla otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Bu parçalar tozun sıkıştırılıp pişirilmesiyle doğrudan son şekillerine getirilmektedir. Yakıt pompa elemanları, araba kapısı parçaları, amortisör pistonu, kilit parçası, hız kutusu senkromeşleri vs. gibi parçalar bu gruba dâhildir (Karataş, 1997). Şekil 3.10'da T/M ile üretilen çeşitli makine parçaları görülmektedir.



Şekil 3.10. T/M ile üretilmiş çeşitli makina parçaları (www.sino-metalparts.com)

3.1.7.2. Takım elikleri

T/M yöntemi ile üretilen takım çelikleri, döküm ile üretilen takım çeliklerine göre daha tok ve uzun ömürlüdür. Bu stnlğn sebebi; döküm ile üretilen çelikte karbürler belirli bölgelere toplanıp irileşirken, T/M çelikte ince ve homojen olarak dağılmaktadır (Sarıtaş, 1994).

3.1.7.3. Sert Metaller

Çok sert ve aşınmaya dayanıklıdırlar. Sert metaller bugün kesici takım, kaya delici, taş kesici ve şekillendirme kalıbı olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.11).

Sert metal takımlar ile elmas kesici takımlar karşılaştırıldığında, elmas kesicilerin maliyetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak mkemmел iş parçası kalitesi, azalan kesme kayıpları, artan verimlilik, düşen tezgah vuruş süresi, bazı uygulamalarda ara işlemlerin eliminasyonu ile toplam maliyet düşmesi, birçok üreticiyi elmas kesici takımlara yönlendirmektedir (Karagöz vd., 1996).



Şekil 3.11. Sert metaller

3.1.7.4. Gözenekli Metaller ve Filtreler

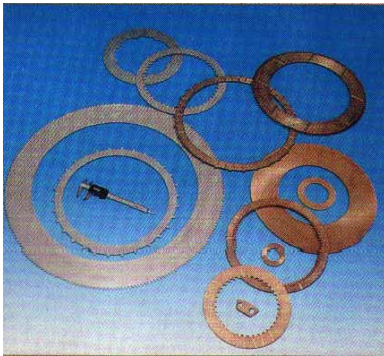
Bu gruba gözenekleri birbirine bağı olan filtreler, alev engelleyiciler, sıvı depolayıcılar girmektedir (Şekil 3.12). Kullanılması gerekli toz, uygulamaya göre değişmektedir. En çok bronz, paslanmaz çelik, nikel, titanyum ve alüminyum tozları kullanılmaktadır (Karataş, 1997).



Şekil 3.12. Filtreler

3.1.7.5. Sürtünme Elemanları

Sürtünme elemanları, makina parçalarının temaslarında oluşan mekanik enerjiyi ısıya çevirmektedir (Şekil 3.13). Isı enerjisi emilerek ya da iletilerek o bölgeden uzaklaştırılmaktadır. Isıyı iletici toz olarak bakır ve kalay, sürtünme sağlayıcı toz olarak silikon karbür ya da alümina kullanılmaktadır. Ayrıca sürtünme katsayısını istenen değerde ayarlamak için kurşun, çinko ve grafit tozları eklenmektedir. Uçak, tank, iş makinaları ve büyük preslerin fren ve debriyaj balataları örnek olarak verilebilir (Sarntaş, 1994).



Şekil 3.13. Sürtünme elemanları

3.1.7.6. Elektrik Manyetik Uygulamaları

Bu grubun içerisine direnç kaynağı elektrotları, tungsten ve molibden filamanlar, elektrik kontak malzemeleri, metal-grafit fırçalar, süper iletkenler ve çeşitli mıknatıslar girmektedir (Şekil 3.14).

Metal-grafit fırçalar, elektrik motorları ve jeneratörlerde sabit ve dönen elemanlar arasında elektrik akımının transferini sağlayan elemanlardır (Yavuz, 1996).



Şekil 3.14. Toz Metalurjisi ile üretilmiş elektrik elemanları

3.1.7.7. Kaymalı Yataklar

Kendi kendini yağlayan yataklar, T/M' nin 1920'lere kadar uzanan endüstrideki en eski uygulamalarından bir tanesidir. Toz Metalurjisi ile üretilen parçalar arasında en büyük yeri kendi kendini yağlayan yataklar almaktadır. Bu yatakların en büyük avantajları, bünyelerinde bulunan gözeneklerin yağ deposu görevini üstlenmeleridir (Anonim, 1998).

Dönme hareketinin gerektiği her yerde T/M esaslı kendi kendini yağlayan yataklara rastlamak mümkündür. Bu yatakların geniş kullanma alanlarından bazıları şöyledir:

Otomotiv Sektöründe: Isıtıcı motorlar, cam kaldırma motorları, klimalar vd.

Portatif El Aletleri: Matkap, oyma testereleri vd.

Ev Aletleri: Kurutma makinaları, yıkayıcılar, buzdolapları, mikserler, karıştırıcılar, fanlar, saatler vd.

Ofis Makinaları: Bilgisayarlar, yazıcılar, fotokopi makinaları,

Elektronik Eşyalar: Müzik çalarlar, kameralar vd.

Tarım Makinaları: Biçerdöverler, traktörler, elektrikli testereler (Anonim, 1998)

Toz Metalurjisi'ndeki gelişmeler, ekonomiklik ve kendi kendine yağlama kabiliyetlerinden dolayı günümüzde Toz Metalurjisi yöntemiyle üretilen radyal kaymalı yataklar oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır ve döküm metoduna göre tercih edilmektedirler.

Ekonomiklik, çevrecilik ve hatta teknik sebeplerden dolayı birçok yıldan beri kendi kendini yağlayan malzemelere eğilim bulunmaktadır. Bu yolla yağ ve gres gibi yağlayıcıların kullanımı azalmakta ve bu sayede konstrüksiyonlar sadeleşmektedir (L. Zsidai vd., 2002).

Kaymalı yatakların T/M metodu ile üretilmelerinin ana sebepleri şöyle sıralanabilir:

_Şekillendirilmelerinin göreceli olarak basit olması,

_Gözenekliliğin(porozite) kontrol edilebilir olması,

_Üretilen tüm yataklar için boyutsal hassasiyetin hemen hemen aynı alması,

_Ergime yoluyla karıştırılmayan malzemelerin, karıştırma ve sinterlemeyle bir araya getirilebilmesi (Dixon ve Clayton, 1971).

Kaymalı yataklar, dışarıdan gelen yükleri karşılarken kuvvet yönündeki hareketleri engellemek ve diğer yönlerdeki harekete izin vermekle görevlidirler. Bunu gerçekleştirirken sürtünme neticesinde ortaya çıkan enerji kaybını da en aza indirmelidirler. Kaymalı yatak malzemelerinden istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir (Schatt, 1997; Akkurt, 1990):

- Düşük sürtünme katsayısı,

- İyi bir basma ve yorulma mukavemeti
- Yüksek aşınma direnci,
- Yüksek yük kapasitesi,
- İyi ısı iletkenlik özelliği,
- İyi korozyon dayanımı,
- Statik ve dinamik yüklere karşı mukavemet,
- Yabancı parçacıkları gömme kabiliyeti,
- Düşük ısı genleşme,
- Kolaylıkla işlenebilme,
- Mümkün olduğu kadar ucuz olma.

Endüstride burç olarak adlandırılan bakır ve bronz yataklar genelde döküm metodu ile imal edilmektedir. T/M ile üretilen yataklar gerek ekonomiklik gerekse kendinden yağlama görevi yapmalarından dolayı döküm metodu ile elde edilen yataklara tercih edilir hale gelmiştir. Gözenekli kendi kendini yağlayan yataklar dört gruba ayrılmaktadır:

1. Sinterlenmiş bronz yataklar
2. Demir esaslı sinter yataklar
3. Demir-bronz sinter yataklar
4. Demir-grafit sinter yataklar

Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı %90Cu-%10Sn karışimli bronz yataklardır. Bu yataklara grafit de eklenebilir. Sinterlenmiş bronz yataklar American Society for Testing and Materials(ASTM)' B 438 de standartlaştırılmıştır. Buna göre yataklar öncelikle içerdikleri bakır, kalay ve grafit miktarlarına göre üç sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflar Çizelge 3.1'de gösterilmektedir (ASM, 1998).

Çizelge 3.1. Kendi kendini yağlayan yatakların kimyasal kompozisyonu(Anonim, 1998)

Element	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
Bakır	87.2-90.5	85.7-90.2	83-88.5
Kalay	9.5-10.5	9.5-10.5	9.0-10.0
Grafit	0-0.3	0.5-1.8	2.5-5.0
Demir, max	1.0	1.0	1.0
Diğer elementler	1.0	1.0	1.0

Bu sınıflardan bir ve ikinci sınıf kendi içinde yoğunluklarına göre dört; üçüncü sınıf ise iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Bronz yatakların yoğunluklara göre sınıflandırılması(Anonim, 1998)

Sınıf 1 ve Sınıf 2			Sınıf 3		
Tip	Yoğunluk (g/cm ³)	Minimum yağ kapasiteleri Hacim %	Tip	Yoğunluk (g/cm ³)	Minimum yağ kapasiteleri Hacim %
1	5.8-6.2	27	1	5.8-6.2	25
2	6.4-6.8	19	2	6.2-6.4	17
3	6.8-7.2	12			
4	7.2-7.6	9			

Bundan başka bronz yatakların yoğunluklarına bağlı olarak içerdikleri minimum yağ miktarları Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Bronz yatakların içerdiği yağ miktarları(%) (Anonim, 1998)

Tip	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
1	27	25	11(a)
2	19	17	...(b)
3	12	9	
4	9	7	

(a) %3 Grafit içeren tip 1 min.%14 yağ içerir

(b) %3 Grafit içeren tip 2 min.%8 yağ içerir. %5 Grafitte tip 2 sadece minimum düzeyde yağ içerir.

Demir esaslı sinter yataklar ise ASTM B 439’da içerdikleri karbon ve bakır miktarına göre dört sınıfta standartlaştırılmışlardır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Demir-bakır karbon sinter yatakların kimyasal kompozisyonu(Anonim, 1998)

Element	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4
Demir	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan
Bakır	0-1.5	0-1.5	9-11	18-22
Diğer Elementler, Max	2	2	2	2
Karbon, Max	0.3	0.3-0.6	0.3	0.3

Anti-sürtünme özelliği bulunan kalay, bakır esaslı malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozisyonunda kalay bulunan bakır esaslı malzemeler, yüksek aşınma direncine sahip oldukları için yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır (Prasad, 1997).

Uygulamada kaymalı yataklar hidrostatik veya hidrodinamik olarak yağlanmaktadır. Yataklara montaj sonrası yağ gönderme olanağı yoksa montaj

öncesi yağ emdirilmeli ya da yağlayıcı yatak malzemesi içinde bulundurulmalıdır. Eğer yağlama eksikliğinden dolayı yataklarda kuru sürtünme meydana gelirse büyük konum hataları, dinamik kararsızlıklar, enerji kaybı, aşınma ve beraberinde yatak bölgesinde sıcaklık artışları meydana gelmektedir (Schatt, 1997). Yataklarda oluşan ısıl gerilmeler uygun olmayan yağlama ve uygun olmayan yatak malzemesi seçiminden kaynaklanmaktadır. Uygun olmayan sürtünme şartları ve yatağın ısı iletim katsayısının düşük olması çalışma esnasında aşırı zorlanmalar meydana getirmektedir. Bu durum özellikle, yatakların yorulma ömürleri açısından önem taşımaktadır (Kurban, 1999).

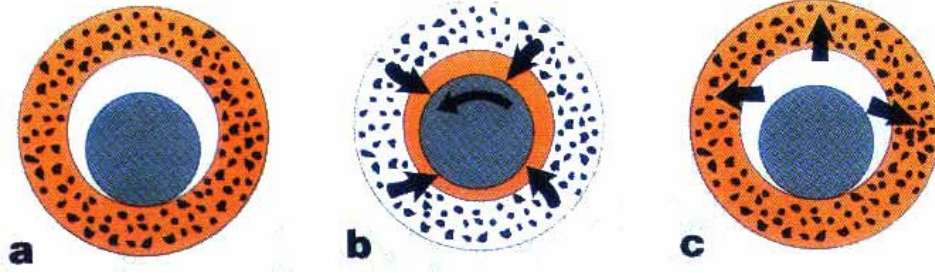
Gözenekli toz metal yataklar tam yoğun bir malzeme gibi görünseler de sinterleme sonrası toz tanecikleri arasında binlerce küçük kanalcık ve gözenek mevcuttur. Bu gözenekler parça hacminin %15-30'u kadardır. Sinterleme sonrası gözeneklere, yağ banyolarında vakum altında sıvı veya gaz yağlayıcılar emdirilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Kendinden yağlamalı T/M yataklar(www.tozmetal.com)

Yatakların çalışması esnasında, yatakla mil arasındaki sürtünmeden dolayı, yatak bölgesinde sıcaklık yükselir. Yağın metale göre ısıl genişmesi daha büyük olduğundan ve milin yatağa oturduğu bölgede yağ filminin hidrodinamik basınç değişimi nedeniyle, gözeneklerdeki yağ, mile doğru emilir (Şekil 3.16.b). Dönme

işlemi bittiğinde ise yatak soğur ve kılcallık etkisi ile yağ geri emilir (Şekil 3.16.c) (Norbert, 1998).



Şekil.3.16. Yağlama mekanizması

Toz metal bronz kaymalı yataklar, genellikle 800°C civarında sinterlenirken, demir esaslı yataklar 1100°C ve alüminyum esaslı yataklar ise 600°C–610°C sıcaklıklarında koruyucu atmosfer altında sinterlenirler.

Sinterleme sonrası 80°C–100°C yağ banyolarında vakum altında 6–8 saat süre ile yağ emdirilir. Emdirilecek yağın cinsi yatağın porozite oranına, toz tane büyüklüğü ve şekline, sıkıştırma basıncına ve yatağın çalıştırılacağı ortama göre değişmektedir. Eğer yatağın çalışacağı yerde maruz kalacağı yükler büyükse kalın yağlar; yükler küçük ise ince yağlar kullanılır. Gözenekli toz metal yatakların yağ emme miktarı şöyle tarif edilir (Morgan, 1970):

$$\% \text{Yağ Miktarı} = \frac{\text{Yağ Hacmi}}{\text{Parça Hacmi}} \times 100 \quad (1.2)$$

$$\text{Yağ Emdirme Faktörü} = \frac{\text{Yağ Miktarı}}{\text{Gözeneklilik}} \quad (1.3)$$

Kendi kendine yağlayan yatak malzemelerinin yük taşıma kapasitesi pV formülü ile bulunur (Norbert, 1998).

$$pV = \frac{W \cdot \pi \cdot D \cdot n}{L \cdot D \cdot 1000} \quad (1.4)$$

Burada;

p: Yatak kesit alanına düşen basınç, (MPa)

V: Milin çevresel hızı, (m/d)

W: Yatak yükü, (kg)

L: Yatak uzunluğu, (mm)

n: Dönme sırasında milin hızı, (d/d)

D: Yatağın iç çapı, (mm)

pV: Yük taşıma kapasitesi, (MPa.m/d)

Yağ emdirilmiş bronz ve demir esaslı yatakların bazı özellikleri Çizelge 3.5’de verilmektedir (Sands ve Shakespeare, 1966).

Çizelge 3.5. Gözenekli yatakların tipik özellikleri

Özellikler	Birim	Bronz	Demir	Demir-Bakır
Yoğunluk	g/cm ³	5.7-6.7	5.7-6.7	5.3-6.3
Max.Çekme	MPa	82.7-96.5	-	82.7-206.8
Max.Basma	MPa	457.7	-	-
Basmada Orantı Sınırı	MPa	72.5	84.1	120.7
Basmada 0.0254 mm Deformasyon	MPa	86.2	103.4	155.6
Basmada 0.0762 mm Deformasyon	MPa	100	127.6	213.7
Sertlik	BHN	30-40	40-50	-
Max.Statik Yük	MPa	51.7-68.9	55.1-68.9	-103.4-137.9
Max.Hız	m/d	457.2	243.8	-
Max. pV	MPa.m/d	105-126	84-105	73.5-126
Max. Çalışma Sıcaklığı	°C	65	65	-
Isı İletkenliği	s/°C	0.1	0.1	-
Lineer Genleşme Katsayısı		15.10 ⁻⁶	15.10 ⁻⁶	-

Yağlamada en iyi performansın alınabilmesi; gerek yatağın yeterince yağ emmesi, gerekse ısı dağılımının uygun olabilmesi için yatağın dış çapının iç çapından en az %25 daha büyük olması gerekir. Gözenekli toz metal yataklarda yağ kaybı çok küçüktür. Genellikle ilave yağlama gerektirmezler. Bu yataklar, yatak ömrüne yetecek kadar yağ bulundurlar (Norbert, 1998).

Sinterlenmiş kaymalı yatakların ömürleri yatak dizaynı ve üretim yöntemlerine bağlı olarak değişmekle birlikte yağ emdirilmiş kendi kendini yağlayan yatakların ömürleri 3000-5000 saate kadar çıkabilmektedir. Ayrıca ilave yağlamalarla ve tekrar yağ emdirme işlemleriyle yatakların ömürleri daha da artırılabilir (Kurt vd., 1996).

3.1.8. Yükleme Şekilleri

Makina elemanına etki eden yükler, elemanda çeşitli gerilmelere yol açar. Bu gerilme, birim alana düşen yük olarak tanımlanır. Kuvvetin etkilediği noktadan yeter derecede uzaklıktaki bir kesitte, gerilme eşdeğer bir dağılım gösterir (Babalık, 1997).

Hangi tarz zorlama altında deney yapılırsa yapılsın, sonucu etkileyen iki önemli faktörün önceden saptanması gerekmektedir:

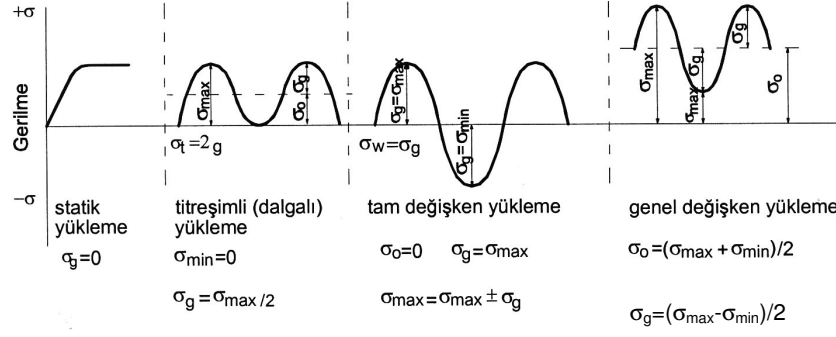
a) Yükleme durumu

b) Deney süresi veya yükün etki süresi

Elemana gelen yük çeşitli şekillerde olabileceğinden, oluşturduğu gerilmeler de farklı karakterde olabilecektir. Gerilme analizi yapılırken tüm bu gerilmelerin, temel gerilmeler denilen çeki, bası, eğilme, kesme, kayma veya burulma gerilmesi şeklinde olduğu görülür (Babalık, 1997).

Bir makina elemanının mukavemetine gerilme birikimi, yorulma, değişken yükleme, yüzey kalitesi ve parça boyutları etki etmektedir.

Kuvvet ve momentin elemana etki etme şekline göre meydana gelen gerilmeler zamana göre statik veya değişken olabilirler. Statik gerilmeler, zamana göre sabit kuvvet veya moment etkisinde çok uzun zaman aralığında çok az değişen gerilmelerdir (Şekil 3.17). Değişken gerilmeler maksimum ve minimum iki değer arasında periyodik olarak değişen gerilmelerdir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Yükleme çeşitleri (Kurbanoglu, 2006)

Değişken gerilmelerin maksimum ve minimum değerleri sırası ile σ_{\max} ve σ_{\min} ile ifade edilirse, bu değerlere bağlı olarak, değişken gerilmeleri karakterize eden

$$\sigma_o = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad \sigma_g = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilen ortalama gerilme (σ_o) ve gerilme genliği (σ_g) değerleri vardır.

Bu bağıntılara göre maksimum ve minimum gerilmeler;

$$\sigma_{\max} = \sigma_o + \sigma_g \quad ; \quad \sigma_{\min} = \sigma_o - \sigma_g \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntılara göre değişken zorlanmalar sabit bir σ_o gerilmesine değişken bir σ_g gerilmesinin eklenmesi ile meydana geldiği düşünülebilir. Bu bakımdan değişken zorlanmaların en tehlikeli faktörü σ_g gerilme genliğinin büyüklüğüdür. Gerilme genliği ne kadar büyük olursa, zorlanma o derece tehlikelidir.

Değişken zorlanmalar σ_o değerine göre tam değişken ($\sigma_o=0$) ve genel değişken ($\sigma_o \neq 0$) zorlanma olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Statik zorlanmalar da göz önüne alınırsa, üç çeşit zorlanma veya yüklenme şekli vardır: Statik, tam değişken ve genel değişken yüklenme.

Statik yüklemelerde sadece ortalama gerilme vardır ve değeri de sabittir. Yükün şiddeti sıfırdan başlayarak tamamen düzgün bir artışla belirli bir değere yükselmiş ve bundan sonra değişmeden sabit kalmıştır (Çakmak, 1986).

Titreşimli yükleme ve tam değişken yüklemelerde ise gerilme zamanla sabit bir değer almayıp üst, alt, ortalama gerilme ve gerilme genliği değerlerine sahiptir.

Titreşimli yükleme halinde alt (veya üst) gerilme sıfır; tam değişken gerilmelerde ise ortalama gerilme sıfırdır (Babalık, 1997).

Statik zorlanma;

$$\sigma_{\max}=\sigma_{\min} , \sigma_o=\sigma_{\max}=\text{Sabit} , \sigma_g=0 \quad (1.7)$$

Tam değişken zorlanma;

$$\sigma_{\max}=-\sigma_{\min} , \sigma_o=0 , \sigma_g=\sigma_{\max} \quad (1.8)$$

Genel değişken zorlanma;

$$\sigma_{\max}\neq\sigma_{\min} , \sigma_o=(\sigma_{\max}+\sigma_{\min})/2 , \sigma_g=(\sigma_{\max}-\sigma_{\min})/2 \quad (1.9)$$

Genel değişken zorlanmalar; yalnız çekme, yalnız basma, çekme ağırlıklı veya basma ağırlıklı olabilir. Tam değişken zorlanmalar ise eşit çekme ve basma gerilmelerinden meydana gelmektedir. Pratikte bu zorlanma iki şekilde gerçekleşir. Eleman ardışık eşit çekme ve basma gerilmelerine veya döner bir eleman, eğilmeye zorlanır. Birinci duruma çekme-basma, ikincisine ise döner- eğilme denir. Zorlanma halleri zorlanma faktörü denilen

$$R=\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \quad (1.10)$$

faktörü ile de ifade edilir. Buna göre statik zorlanma, genel değişken zorlanma ve tam değişken zorlanma sırasıyla

$$R=1; 1>R>-1 ; R=-1 \quad (1.11)$$

şeklinde gösterilir. Titreşimli zorlanmada ise $R=0$ dır.

Bu bağıntılardan görüldüğü gibi, değişken zorlanmaların en tehlikeli faktörü $\sigma_g=0$ (statik zorlanma) ile σ_{\max} (tam değişken zorlanma) arasında değişmektedir. Bu

durumda en tehlikeli zorlanma tam değişken zorlanmadır; onu genel değişken zorlanma takip eder.

Makina elemanları genellikle değişken gerilmelere maruz kalırlar. Bu bakımdan, değişken zorlanmaların özelliklerinin bilinmesi ve makina elemanlarının hesap tarzlarının bu özelliklere göre yapılması, teknik ve ekonomik bakımdan büyük önem taşımaktadır (Akkurt, 1990).

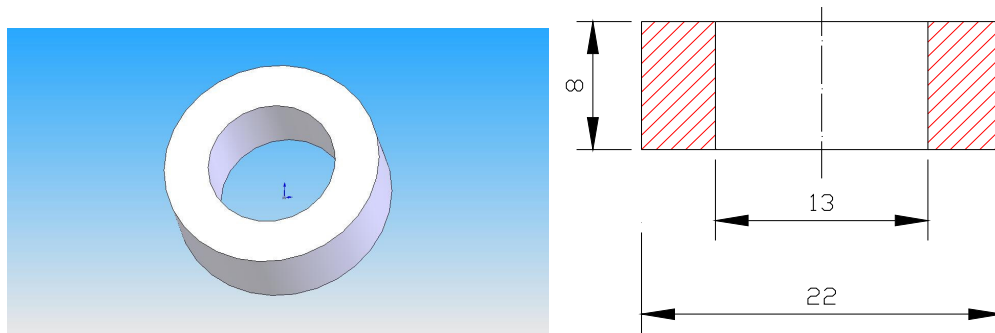
3.2. YÖNTEM

3.2.1 T/M Kaymalı Yatak Numuneleri

Yatak numunelerinin hazırlanabilmesi amacıyla ticari olarak satılan elementel halde Bakır Tozu(Cu), Kalay Tozu(Sn), Çinko Stearat(Zn-Stearat) ve Grafit Tozu(C) satın alınmıştır. Bakır ve Kalay tozları için analiz raporları Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir. Yatak numuneleri iki farklı kompozisyonda ve iki farklı yoğunlukta üretilmiştir.

1. Kompozisyon: %90Cu+%10Sn; Bu kompozisyon esas alınarak %80 ve %85 son yoğunluklarda numuneler üretilmiştir.
2. Kompozisyon: %90Cu+%9Sn+%1C; Bu kompozisyon için %80 ve %85 son yoğunluklarda numuneler üretilmiştir.

Üretilen numunelerin katı modeli ve teknik resmi Şekil 3.18’de verilmektedir.



Şekil 3.18. Üretilen numunelerin katı modeli ve ölçüleri

Çizelge 3.6.a. Numunelerin ve deney milinin bazı özellikleri

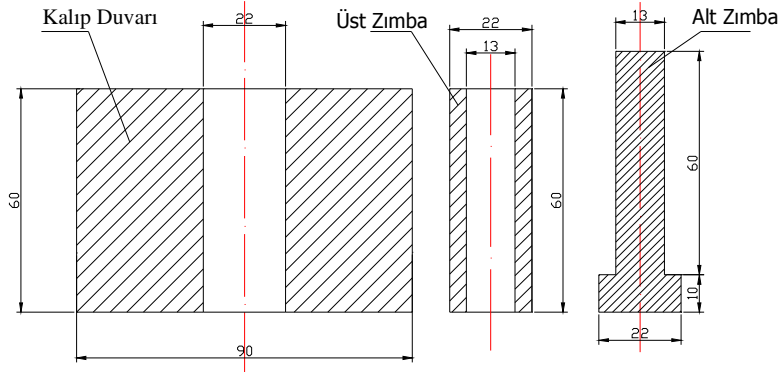
Yatak iç çapı	13,011mm
Yatak dış çapı	22mm
Mil çapı	13mm
Yatak genişliği	8mm
Bronz yatak yüzey pürüzlülüğü (R_a)	0,968
Mil yüzey pürüzlülüğü (R_a)	0,318
Mil yüzey sertliği	HRC26

Çizelge 3.6.b. SAE 1050 Deney milinin kimyasal bileşenleri(www.hurcelik.com.tr)

C	Si	Mn	P	S
0.45-0.55	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.035

3.2.2. Yatak Kalıbının İmalatı

Numunelerin sıkıştırılabilmesi için Şekil 3.19’da verilen kalıp tasarlanmış ve üretilmiştir. Kalıp malzemesi olarak Ç1050 kullanılmıştır. Yatak numunelerinin sıkıştırılması esnasında yüksek yüzey basınçları oluşacağından; kalıp duvarı ile alt ve üst zimbalar, su verme ve temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Su verme işlemi 860°C–870°C’ da 20 dakika bekleme, temperleme işlemi de 150°C’ da 1 saat bekleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Soğutma ortamı olarak su kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Numunelerin sıkıştırıldığı kalıp ve boyutları

Su verme ve temperleme işleminden sonra kalıp duvarı ile alt ve üst zimbaların sertlik değerleri, Bulut Makine Hardness Tester Type BMS 200-RB cihazında ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kalıp duvarı, alt zımba ve üst zımbanın sertlik değerleri.

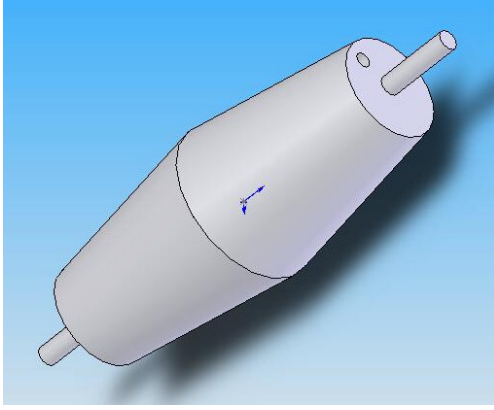
Deney No:	Kalıp Duvarı	Alt Zımba	Üst Zımba
1	HRC 54	HRC 58	HRC 56
2	HRC 55	HRC 57	HRC 56
3	HRC 54	HRC 56	HRC 57
4	HRC 55	HRC 57	HRC 56
5	HRC 56	HRC 57	HRC 57
6	HRC54	HRC 56	HRC 57
7	HRC 55	HRC 57	HRC 56
Ortalama	HRC 55	HRC 57	HRC 56

3.2.3. Tozların Karıştırılması

Ağırlık olarak %90Cu+%10Sn kompozisyonunu hazırlayabilmek için belirlenen oranlarda dentritik bakır tozu ile kalay tozu ile katı yağlayıcı olarak %0.8 Zn-Stearat; %90Cu+%9Sn+%1C kompozisyonunu hazırlayabilmek için belirlenen oranlarda dentritik bakır tozu, kalay tozu ve grafit tozu ve katı yağlayıcı olarak %0.8 Zn-Stearat çift taraflı konik karıştırıcıya konarak 20 dakika süre ile 22d/d hızda, torna tezgâhı yardımıyla karıştırılmıştır. Eğer karıştırma işlemi yüksek hızlarda ve uzun sürelerde gerçekleştirilirse toz tanecikleri soğuk deformasyona maruz kalmakta ve tozların sıkıştırılması için gerekli olan kuvvet artmaktadır (Hallhagen, 1997). Tozların karıştırılması işlemi farklı şekil ve boyutlara sahip karıştırıcılarda yapılmakla birlikte, en uygun karıştırıcı tipi çift taraflı konik karıştırıcılardır (German, 1984). Şekil 3.20’de gösterilmekte olan konik karıştırıcının doluluk oranı, hacminin yaklaşık olarak %60’ı olacak şekilde ayarlanmıştır.

3.2.4. Tozların Preslenmesi

Tozların sıkıştırılma işlemi, Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde bulunan 40 ton kapasiteli universal çekme-basma cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21).

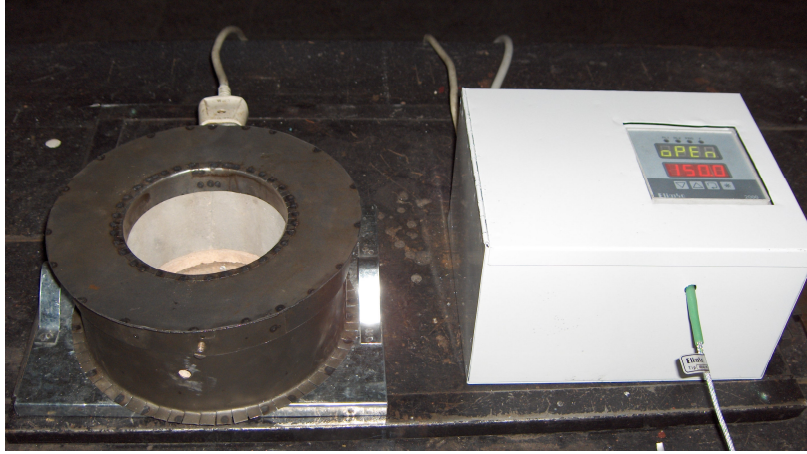


Şekil 3.20. Konik karıştırıcı

Belirlenen her iki kompozisyon ve her iki yoğunluk değerleri için sıkıştırma işlemi, hem oda sıcaklığında hem de 140°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. 140°C sıcaklıkta tozları sıkıştırabilmek amacıyla kalıbı çepeçevre saran ve Şekil 3.22’de gösterilen fırın tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

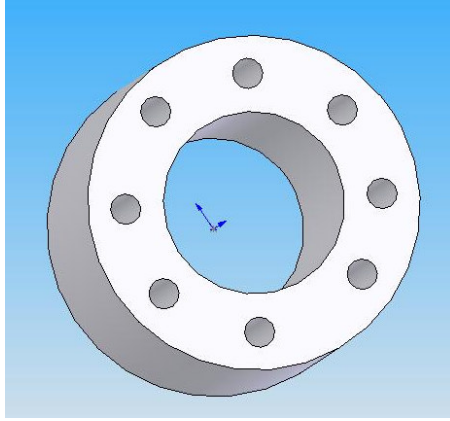


Şekil 3.21. Üniversal çekme-basma cihazı



Şekil 3.22. Farklı sıcaklıkta numune sıkıştırılmasına imkân veren fırın

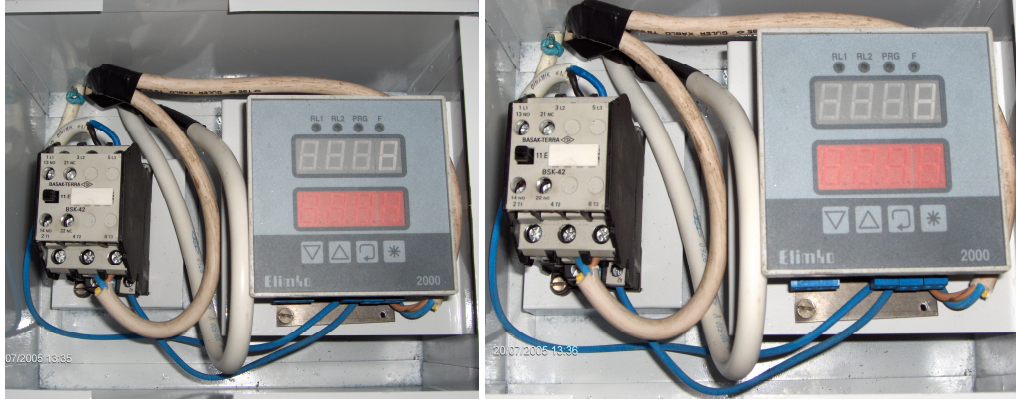
Fırın duvarlarını imal etmek amacıyla ateş tuğlası kumu satın alınmıştır. Daha sonra ateş kumu+su+bağlayıcı kullanılarak harç elde edilmiştir. Elde edilen bu karışım, hazırlanan sac kalıplar arasına dökülerek katılaşması beklenmiştir(Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Kalıp duvarı

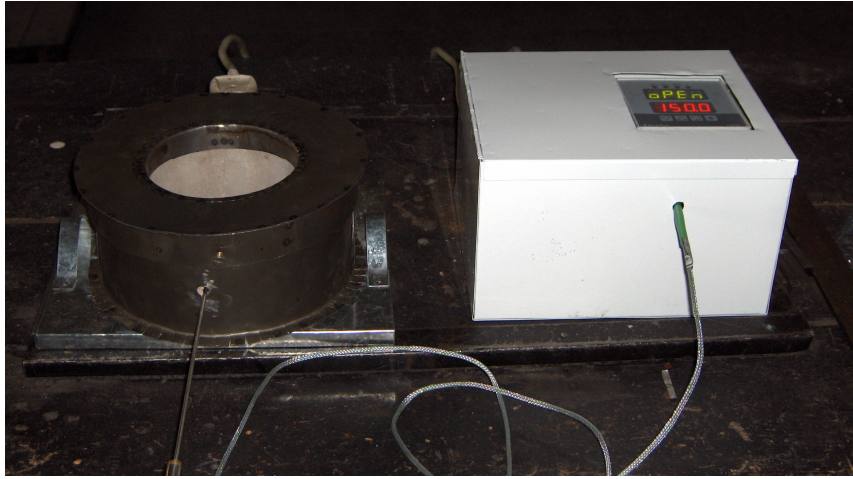
Kalıbın katılaşmasının ardından Şekil 3.23’de gösterilen küçük deliklere, 0.5mm kalınlığındaki Cr-Ni telden rezistans sarılarak yerleştirilmiştir. Rezistansların iki ucuna elektrik akımı verilmiş ve kalıp duvarının ısınması sağlanmıştır. Kalıp sıcaklığının belirli bir sıcaklıkta sabit tutulması gerektiğinden rezistanslara gelen elektrik, otomatik kontrol elemanlarıyla kontrol edilmiştir. Bunun için Elimko marka E2000M proses kontrol cihazı ve bir kondaktör kullanılmıştır. Bu iki cihaz ve

bağlantı kablolarından oluşan kontrol sistemi bir koruyucu kutu içine alınmış ve Şekil 3.24’de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sıcaklık kontrol paneli

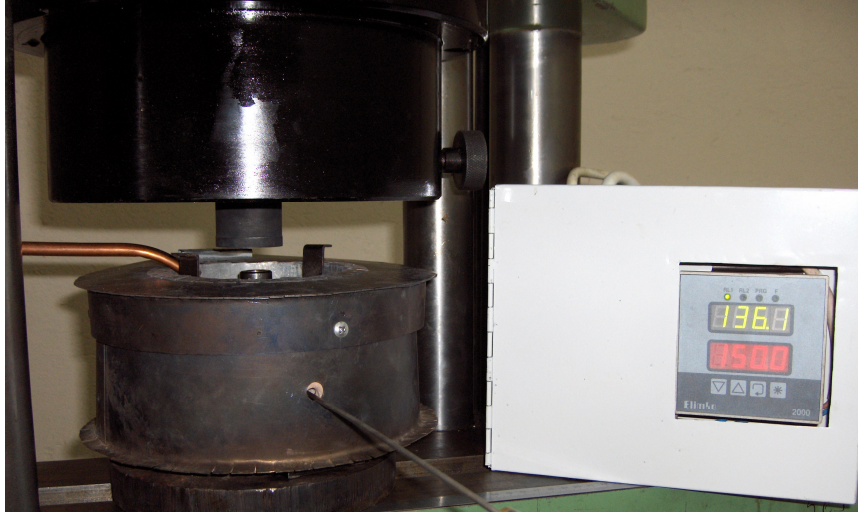
Kontrol paneline ayrıca tozların sıkıştırıldığı ortamın sıcaklığını ölçebilmek amacıyla Elimko marka MI04-1K30-30 tip, NiCr-Ni Termocupl bağlanmıştır. Sıkıştırma kalıbını gösteren fırın, sıcaklığı ölçen termocupl ve elektriğin devreye girip çıkmasını sağlayan kontrol panelinin resmi Şekil 3.25’de verilmektedir.



Şekil 3.25. Fırın ve kontrol paneli

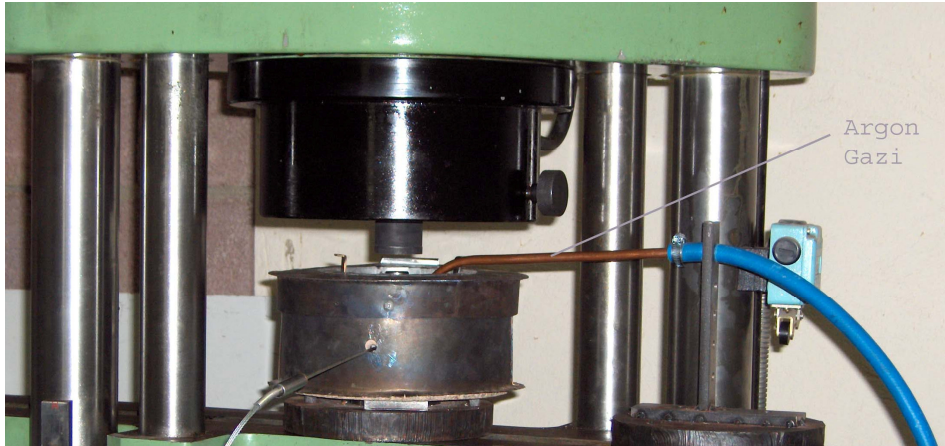
Yatak imalinde kullanılacak tozlar karıştırıldıktan sonra bir numune için belirlenen miktarı, 0.001g hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra kalıba doldurulmuştur. Daha

sonra kalıp fırının ortasındaki boşluğa yerleştirilerek sıkıştırma işlemine geçilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. 140°C sıcaklıkta numune sıkıştırma için kullanılan sistem.

Tozlar, ısınma esnasında oksitlenebileceklerinden ortama Şekil 3.27’de gösterilen bir düzenek yardımıyla 5 l/d debiyle Argon gazı gönderilmiştir.



Şekil 3.27. Sıkıştırma ortamına Argon gazı gönderilmesi

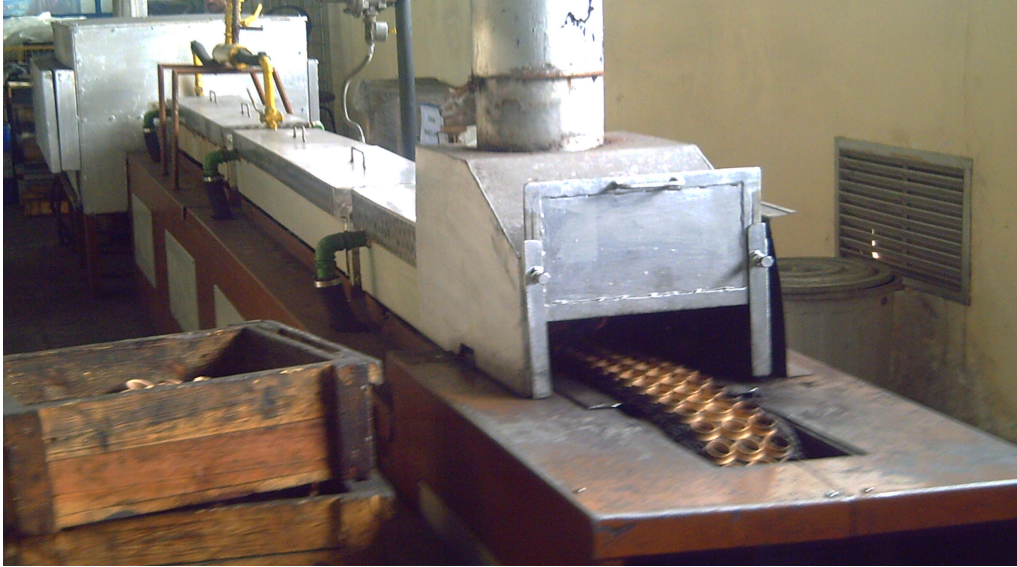
Tozların oda sıcaklığında preslenmesi esnasında fırın ve diğer yardımcı elemanlar kullanılmamıştır.

Metal tozlarının sıkıştırılması ile elde edilen numunelerin kalıp içerisinde çıkarılması ise ham yoğunluğa kavuşan numunelerin zarar görmemesi için elle kontrollü bir pres yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Numunelerin Sinterlenmesi

Sıkıştırma sonucunda elde edilen yatak numunelerinin sinterleme işlemleri, İstanbul'da bulunan ve Toz Metalurjisi metodu ile parça üretimi gerçekleştiren Tozmetal A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.28). Sinterleme işlemi 820°C'da, parçalanmış Amonyak Gazı ortamında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.29.) Koruyucu atmosfer kullanılmasının sebebi numunelerin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı aktif olmalarıdır.

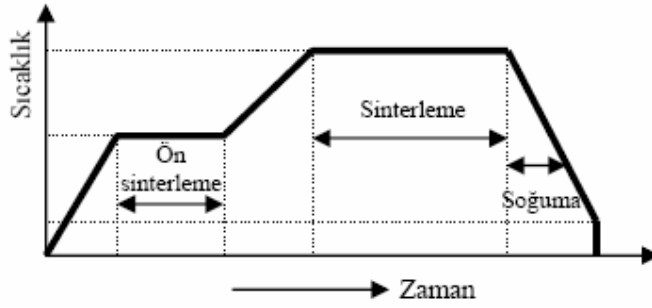
Sinterleme işlemi, Şekil 3.30'de gösterildiği gibi ön sinterleme, sinterleme ve soğutma bölgeleri olmak üzere üç farklı sıcaklık bölgesinden oluşmaktadır. Sinterlenen numuneler fırından alındıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmaktadırlar (Boz vd., 2006).



Şekil 3.28. Sinterleme fırını



Şekil 3.29. Sinterleme fırınından bir görünüş



Şekil 3.30. Sinterleme aşamaları

3.2.6. Numunelere Yağ Emdirme İşlemleri

Sinterlenen numunelere iki farklı marka yağ emdirilmiştir. Emdirilen yağların viskozite dereceleri SAE 20W50 ve SAE 90'dır. Yağların diğer bazı özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Emdirilen yağların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	A Yağı	B Yağı	Açıklama
Kinematik Viskozite			
40°C cSt	161	-	Katalog Değeri
80°C cSt	29.1	47.98	Ölçüldü
100°C cSt	18.1	18-26	Katalog Değeri
Viskozite İndeksi	120	93	Katalog Değeri
Yoğunluk 15°C (g/ml)	0.891	0.90	Katalog Değeri
Parlama Noktası (°C)	218	258	Katalog Değeri
Donma Noktası (°C)	-24	-12	Katalog Değeri

Yağ emdirme işlemi 80°C’da 8 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Yağ emdirme işlemi öncesinde bütün numuneler temizlenmiş ve Hegzan ile yıkanmıştır. Yıkanma işleminden sonra numuneler kurutulmuş ve 0.0001 hassasiyetli terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Yağ emdirme işleminden sonra numuneler tekrar tartılarak son ağırlıkları bulunmuştur. Belirlenen yoğunluklara göre yağ emme miktarının nasıl değiştiği belirlenmiştir.

3.2.7. Aşınma ve Sürtünme Deney Düzenegi

Hazırlanan T/M esaslı kaymalı yatak numuneleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde bulunan, Tunay(2001) tarafından imal edilen, Tüfekci(2003) tarafından geliştirilen deney setinde aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Deney seti bu çalışma esnasında tekrar elden geçirilerek kalibre edilmiştir.

Mevcut deney seti yardımı ile radyal kaymalı yatakların sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı, aşınma gibi tribolojik özelliklerinin araştırılması mümkündür. Deney setinin genel bir görünüşü Şekil 3.31’de verilmektedir.

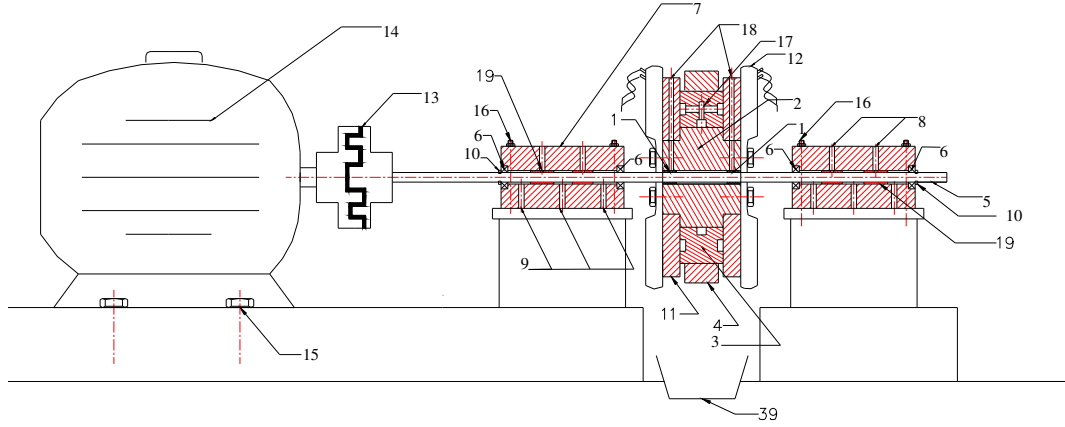


Şekil 3.31. Deney setinden genel bir görünüş

Deney setinde, tribolojik özelliklere etki eden yatak yükü, yatak yükünün uygulanma hızı, ortam sıcaklığı, çalışma hızı, yağlama hızı gibi parametreler belirli sınır değerleri arasında istenildiği gibi değiştirilebilmektedir.

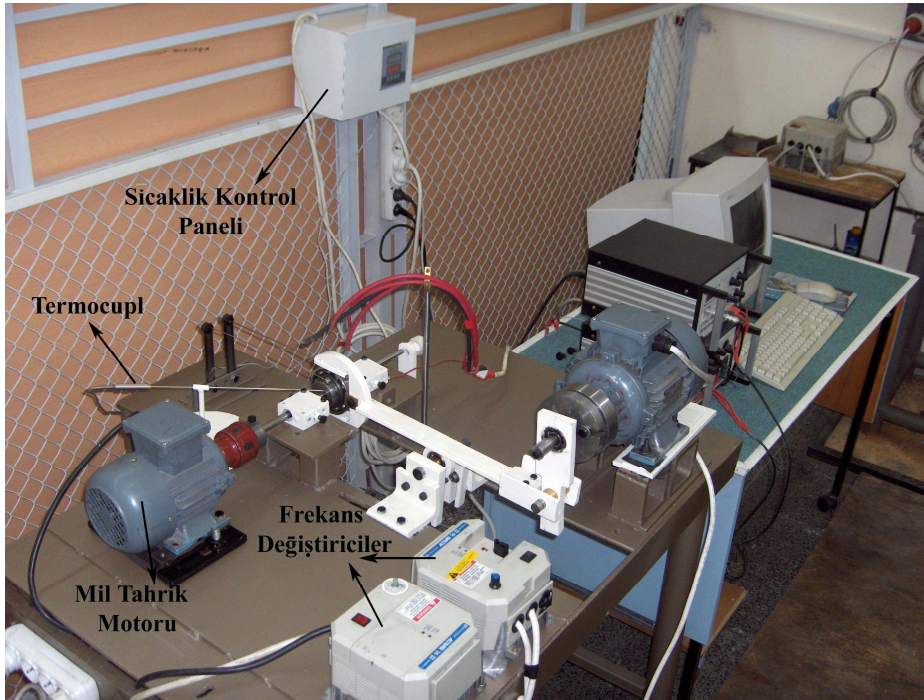
Şekil 3.32’de deney setinin mil eksenini boyunca enine kesiti gösterilmektedir. Deney mili(5) SAE 1050 malzemesinden hassas taşlanarak imal edilmiştir. Deney milini direkt olarak tahrik eden 0.9kW güç ve 1400d/d hıza sahip elektrik motoru(14) tezgâha civatalarla tespit edilmiştir(15). Mil(5) ve mil tahrik motoru(14) oluşacak titreşimlerden etkilenmemeleri veya çok az etkilenmeleri için birbirlerine elastik kavrama(13) ile bağlanmıştır.

Şekil 3.33’de gösterilen Schneider marka frekans değiştirici ile mil tahrik motorunun devri 0–1400 d/d aralığında istenilen bir değerde sabitlenebilmektedir.



- | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1- Test yatağı | 2- Yatak kepi | 3- Yükleme bileziği |
| 4- Yükleme kolu | 5- Mil ($\phi 13$) | 6- O-ring (40171) |
| 7- Destek yatak gövdesi | 8- Destek yatağı yağ girişleri | 9- Destek yatağı yağ çıkışları |
| 10- Segman | 11- Kuvvet ölçüm diskleri | 12- Isıtıcılar |
| 13- Elastik kavrama | 14- Deney mili tahrik motoru | 15- T. Motoru tespit civataları (M14) |
| 16- Destek yatağı tespit civataları (M6) | 17- Squeeze film yağ kanalları | 18- Sıcaklık ölçüm kanalları |
| 19- Destek yatağı bronz burcları | 36- resistanslar | 39- Yağ toplama kabı |

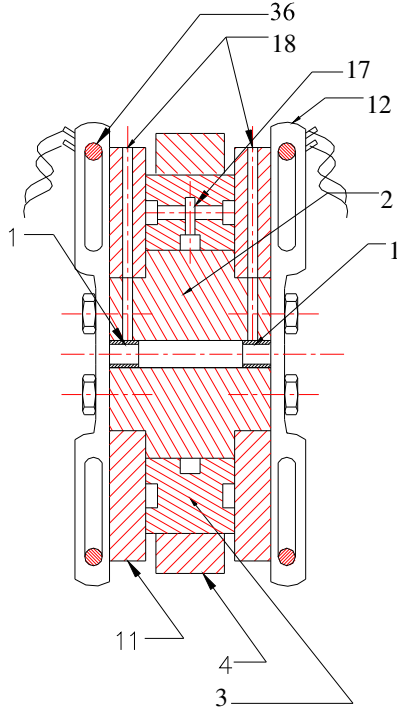
Şekil 3.32. Deney düzeneğinin kesit resmi(Tüfekci, 2006)



Şekil 3.33. Frekans değiştirici ve mil tahrik motoru

İkişer adet bronz burç(19) mili her iki taraftan destekleyen, yatağı besleyen iki yağ giriş(8) ve yatak bölgesinden yağları tahliye eden üç yağ çıkış(9) kanalına sahip destek yatak gövdelerinin(7) içerisine yerleştirilmiştir. Destek yataklarının her iki tarafına, yağ sızmalarını önlemek amacıyla O-ring'ler(6) yerleştirilmiştir. Ayrıca deney miline, destek yatağına giriş ve çıkış noktasında segman kanalları açılmış olup bu kanallara, çalışma sırasında milin aksenal olarak yer değiştirmesini engellemek için segmanlar(10) yerleştirilmiştir.

Ana gövde, içerisine gözenekli test yataklarının yerleştirildiği yatak kepi(2), yükleme bileziği(3) ve yatak kepine sıkı geçirilen iki adet kuvvet ölçüm diskinden(11) meydana gelmiştir. Yükleme bileziği(3), yükleme kolundan(4) gelen normal kuvvetin, squeeze yağ filmi tabakası üzerinden test yataklarına iletilmesini sağlar. Squeeze yağ filmini oluşturmak için yükleme bileziğinin iç ve yan yüzeylerine yağ kanalları açılmıştır. Kuvvet ölçüm diskleri ve yatak kepine açılan 3mm derinliğindeki kanallara(18), digital sıcaklık ölçüm cihazının termokupl uçları sokularak yatak sıcaklıklarını takip etmek mümkün olmaktadır(Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Yatak ana gövdesi

Deney yataklarının bulunduğu ortamı ısıtmak için içerisine rezistanslar(36) yerleştirilmiş, 1200W ısıtma gücüne sahip kapalı kalıplı ısıtıcılar (12) kullanılmıştır. M5 civatalarla yatak kepine tespit edilen bu ısıtıcılar, daha önce tozların 140°C’da sıkıştırılmasına imkan veren digital sıcaklık kontrol paneli ile $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ hassasiyet ile kontrol edilmektedir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Isıtıcılar, termocupl ve digital sıcaklık ölçer

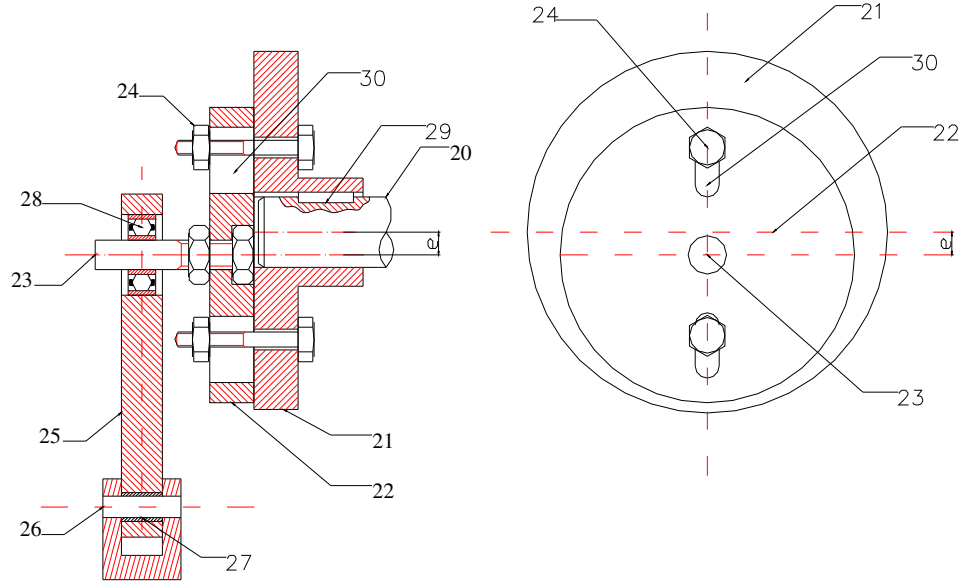
Destek yatakları ve squeeze yağ filmi için gereken yağ, hidrolik donanım sisteminden sağlanmaktadır (Şekil 3.36). Hidrolik donanım sistemi beş litre kapasiteli bir yağ deposu, 1.5kW gücünde 1390d/d hızlı AC elektrik motoru, 16litre/dakika debili bir dişli pompa, filtre ve debi ayar vanalarından meydana gelmektedir.



Şekil 3.36. Hidrolik donanım sistemi(Tüfekci, 2003)

Tasarlanan ve imal edilen deney seti vasıtasıyla kaymalı yataklar üzerine statik veya dinamik yükleme yapmak mümkün olmaktadır.

Yataklar üzerine dinamik yük uygulayabilmek için bir eksantrik kavrama(Kurbanoglu, 1997) imal edilmiştir. Eksantrik kavrama; eksantrik disk(22), destek diski(21) ve öngerilmeli civatalardan(24) meydana gelmektedir. Destek diski(21), yükleme motoru miline(20) bir feder (29) ile bağlanmıştır. Üzerine eksantrik ayar kanalları(30) açılmış olan eksantrik disk, destek diskine iki adet eksantrik ayar civatasıyla(24) tespit edilmiştir. Destek diski ile eksantrik diskinin merkezleri arasındaki mesafe “e” ile gösterilmiş olup dinamik yükün büyüklüğü “e” mesafesi ayarlanarak değiştirilebilmektedir. (Şekil 3.37). Yatak üzerine uygulanması gereken yükün büyüklüğüne göre, kalibrasyonu Şekil 3.38’de verilen “eksantriklik mesafesi-yatak kuvveti” arasındaki bağıntıya bağlı olarak “e” mesafesi tayin edilir. Sistemde “e” mesafesi 0-15mm arasında istenilen bir değere ayarlanabilmektedir.



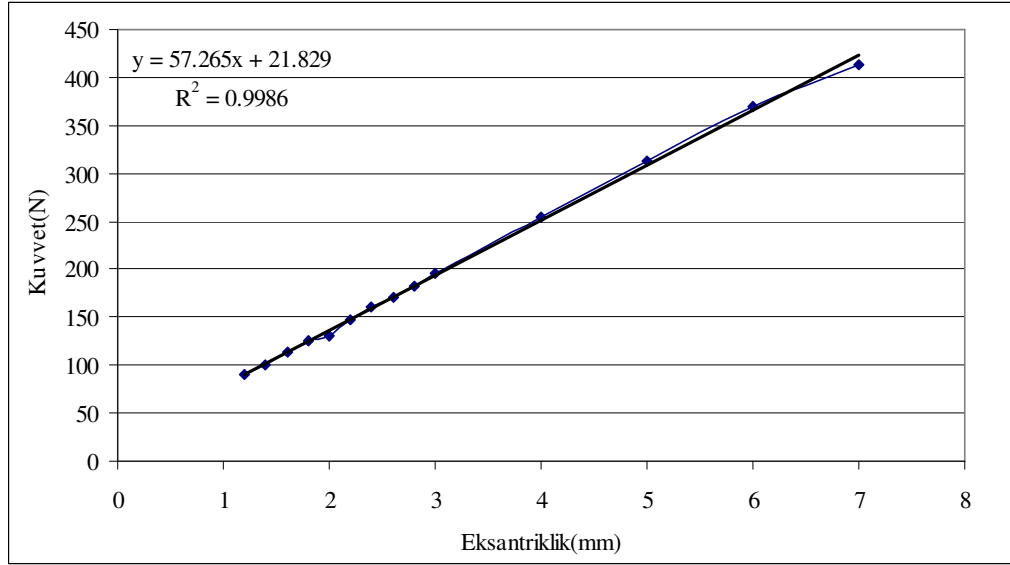
20- Yükleme motoru mili
23- Yükleme pimi (φ16)
26- Perno (φ16)
29- Feder

21- Destek diski
24- Eksantrik ayar civataları (M8)
27- Bronz burç
30- Eksantrik ayar kanalı

22- Eksantrik disk
25- Eksantrik yükleme kolu
28- Rulman (830702)

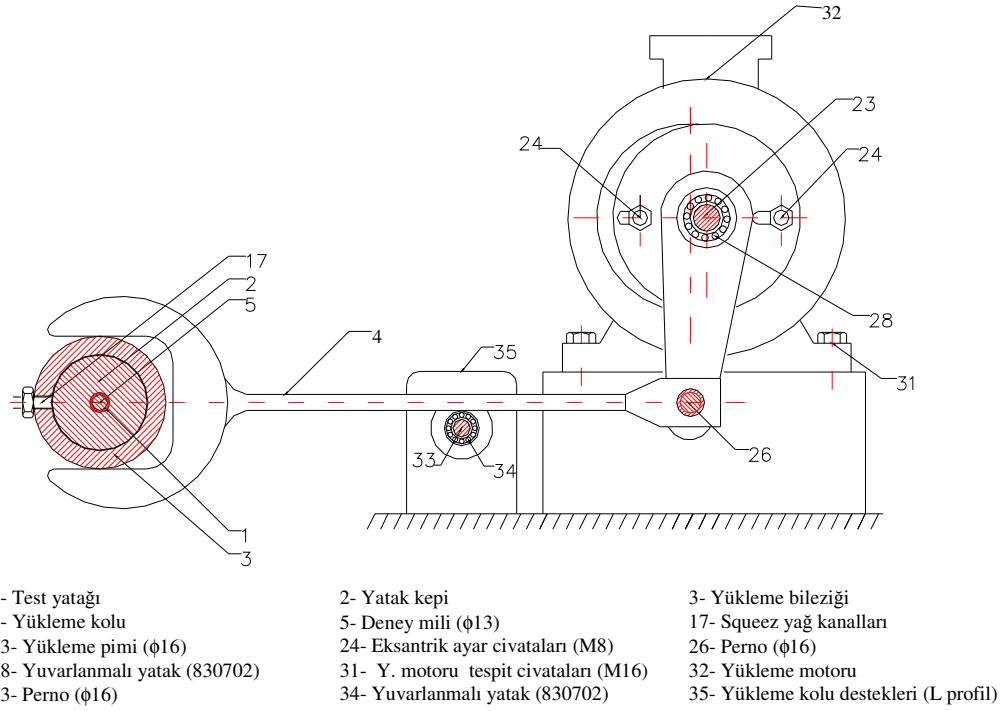
Şekil 3.37. Dinamik yükün değiştirilmesi(Tüfekci, 2003)

Yükleme sisteminin tamamı Şekil 3.39’da gösterilmiştir. Yüklem piminin(23) bir ucu eksantrik diske rijit olarak bağlanmıştır. Diğer ucu ise; bir yuvarlanmalı yatağın(28) iç bileziğine sıkı geçirilmiştir. Yuvarlanmalı yatağın(28) dış bileziği ise eksantrik yüklem(25) koluna sıkı geçmektedir. 1380 d/d hız ve 1.1kW güce sahip yük tahrik motoru(32) çalıştırıldığında oluşan moment, destek disk(21) ve eksantrik disk(22) üzerinden yüklem pimine(23) iletilir.



Şekil 3.38. Eksantriklik mesafesi "e" ile yatağa uygulanan F_n kuvvetine ait kalibrasyon eğrisi

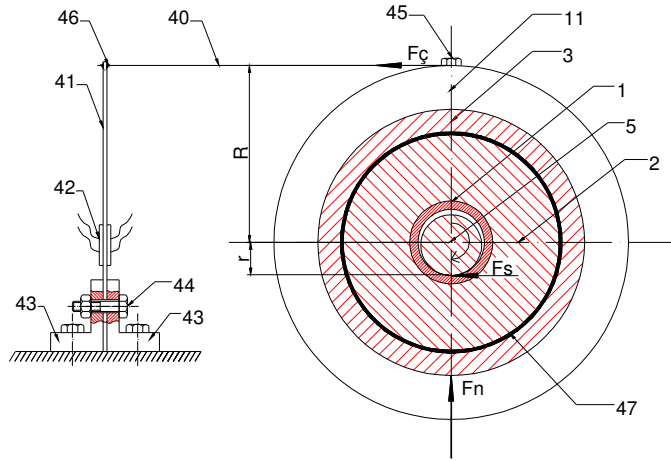
Yüklem pimi, mil merkezleri arasındaki "e" eksantrikliğinden dolayı yüklem motoru milinin merkezi etrafında e yarıçaplı bir yörünge üzerinde dairesel harekete zorlanır. Bu hareket; piston-biyel mekanizmalarında olduğu gibi, eksantrik yüklem kolunu(25) yüklem koluna(4) bağlayan pernoyu(26) yukarı-aşağı yönde öteleme hareketine zorlayarak test yatakları üzerinde tam değişken yüklem oluşturur. Tam değişken yüklemeyi oluşturmak için imal edilen ve Şekil 3.39’da gösterilen yüklem kolu(4) L profilli plakalar(35) arasında boşluksuz olarak mesnetlenmiştir. Yüklem kolunda gerekli değişiklikler yapılarak statik ve titreşimli yükler uygulamak da mümkün olabilmektedir.



Şekil 3.39. Dinamik y¼k¼n uygulanması

S¼rt¼nme kuvvetinin ¼l¼lmesi i¼in tasarlanan sistem Şekil 3.40’da verilmektedir. Sistem ¼alıřmaya başlayıp, Şekil 3.40’daki gibi F_n kuvveti uygulandığında mil ile test yatağı arasında s¼rt¼nme kuvveti (F_s) meydana gelir. F_s kuvveti, yatakla(1) birlikte yatak kepini(2) ve bunlara rijit bağlı kuvvet ¼l¼m diskini(3) milin d¼nme y¼n¼nde harekete zorlamaktadır. Kuvvet ¼l¼m diski ince bir tel(4) ile yay ¼eliđi malzemesinden yapılmış ¼l¼m plakasına(41) bağlanmıştır. Mil ile yatak arasında oluşan s¼rt¼nme kuvveti bu tel ¼zerinde “ $F_ç$ ” ile isimlendirilen bir kuvvetin doğmasına neden olur. $F_ç$ kuvveti, ¼l¼m plakasına yapıştırılmış strain-gaugeleri(42) eğmeye ¼alıřır. Strain gaugeler Kenkyujo Co. Ltd. tarafından ¼retilen FLA-10-11 tipindeki 2.11 gauge fakt¼rl¼d¼r ve temizlenmiş ¼l¼m plakası y¼zeyine ¼zel yapıştırıcılarla yapıştırılmıştır. Strain gaugeler tam Wheaston K¼pr¼s¼ oluşturmuştur. (Tunay, 2001). Strain-gaugelerden gelen sinyaller, Tec Quipment marka E18/I7828/12 tip kuvvetlendiriciye oradan da Tec Quipment marka E10/I7844/42 tip strain-gauge indikat¼r¼ne g¼nderilerek mili-volt (mV) cinsinden okunur. Şekil 3.41’de, ¼l¼m plakasına uygulanan kuvvet ile strain-gauge indikat¼r¼nden okunan ϵ değerleri arasındaki ilişki g¼sterilmiřtir. İndikat¼r¼den okunan ϵ değerleri “12 bitlik

AD-DA” bir kart yardımıyla ve çok kısa zaman aralıklarında bilgisayara aktarılabilmektedir.



- | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 40- Çektirme teli | 41- Ölçüm plakası | 42- Strain-gauge |
| 43- L profilli destekler | 44- Ölçüm plakası tespit civatası | 45- Çektirme teli tespit civatası |
| 46- Yapıştırma bağlantısı | 47- Squeeze yağ filmi | |

Şekil 3.40. Sürtünme kuvvetinin ölçülmesi için kullanılan sistem(Tüfekci, 2003)

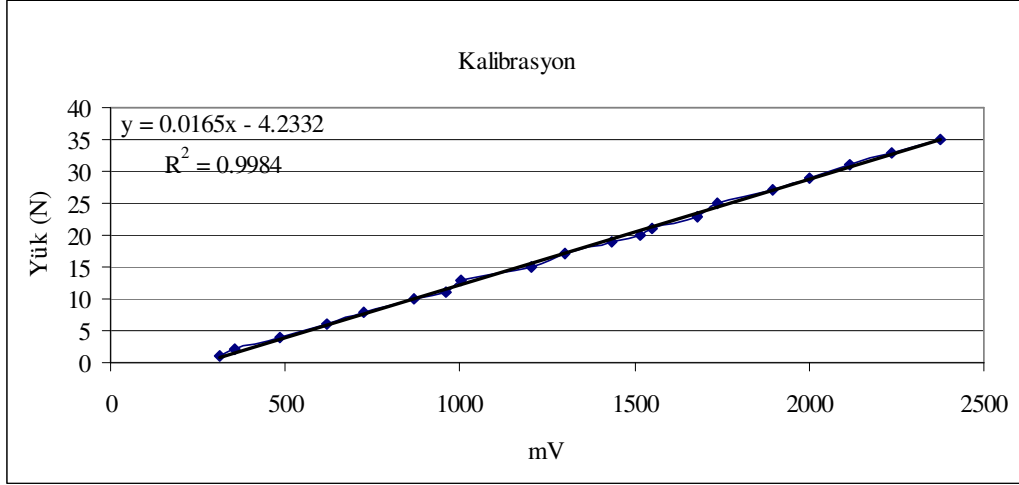
F_c ve F_s kuvvetlerinin milin merkezine göre oluşturdukları momentler eşit olacağından;

$$M_c = M_s \Rightarrow F_c \cdot R = F_s \cdot r \Rightarrow F_s = \frac{F_c \cdot R}{r} \quad (3.1)$$

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (3.2)$$

bağıntıları ile sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı hesaplanmaktadır(Tüfekci, 2003).

Sistemde kasılma ve titreşimden dolayı meydana gelebilecek ölçüm hatalarını minimuma indirebilmek için konstrüksiyonun her iki tarafında iki adet çekme kolu kullanılmıştır.



Şekil 3.41. Strain-gaugelere ait kalibrasyon eğrisi

Sürtünme kuvvetinin doğru ölçülebilmesi için, uygulanan F_n kuvvetinin yükleme bileziği(3) ile yatak kepini(2) bloke etmemesi gereklidir. Bunun için; yüzeyleri hassas taşlanmış yatak kepi ile yükleme bileziği ve kuvvet ölçüm diskleri arasında 0.04mm kalınlığında squeeze film tabakası oluşturmak üzere basınçlı yağ gönderilir.

3.2.8. Aşınma DeneYleri

Aşınma deneyleri, yukarıda konstrüksiyon özellikleri ve çalışma şekli anlatılan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan gerilme tam değişken gerilmedir. Aşınma deneyleri üç farklı yük ve üç farklı dönme hızında gerçekleştirilmiş olup, deneyler hem oda sıcaklığında hem de 75°C'da gerçekleştirilmiştir. T/M ile üretilen kaymalı yatakların dışarıdan yağ beslemesiz olarak çalışabilecekleri maksimum sıcaklık Çizelge 3.5'den de görüleceği üzere 65°C'dır. Bu çalışmada bu sıcaklık 10°C artırılarak yatakların aşınma davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Deneylerde uygulanan yatak yükleri $\pm 100N$, $\pm 200N$ ve $\pm 300N$ 'dur. Hızlar ise 28.6m/d, 44.9m/d ve 57.2m/d'dır. Aşınma deneyleri 3km mesafe için gerçekleştirilmiş ve her 200m aralıkta ve 0.0001g hassasiyetli terazi yardımıyla aşınma değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur.

3.2.9. Metalografik İncelemeler

Aşınma deneylerine geçilmeden önce hazırlanan numunelerden örnekler alınarak, sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 numara zımparalarla zımparalama işlemi gerçekleştirilmiş, daha sonra Alümina ve elmas pasta ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatılan numuneler daha sonra $FeCl_3+10mHCl+40mH_2O$ solüsyonunda 30 saniye süre ile dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin içyapı fotoğrafları, Kırıkkale Üniversitesi'nde bulunan Jeol JSM-5600 marka SEM cihazında (Şekil 3.25) çekilmiştir.



Şekil 3.42. SEM cihazı

Aşınma deneylerinden sonra da bazı numunelerin yüzey fotoğrafları için Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan SEM cihazından yararlanılmıştır.

3.2.10. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme

Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçları değerlendirmek ve aşınma miktarını önceden kestirebilmek amacıyla MATLAB 7.0TM'in Toolboxes'ında bulunan Neural Network aracından yararlanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen aşınma değerlerinin %80'i eğitim ve %20'si test amaçlı olarak ayrılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Tozların Sıkıştırılması Sırasında Elde Edilen Bulgular

Bu çalışmada iki farklı kompozisyon çalışılmıştır. Bunlar, ağırlıkça %90Cu+%10Sn ve %90Cu+%9Sn+%1C(Grafit) dir. Kullanılan bu her iki kompozisyon için de %80 ve %85 gibi iki farklı yoğunlukta numuneler üretilmiştir. Her iki numune grubu için de hem soğuk sıkıştırma esnasında hem de 140°C’da gerçekleştirilen sıkıştırma esnasında sıkıştırma basınçları kaydedilmiş ve yoğunluğa bağlı olarak sıkıştırma basıncının değişimi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Oda sıcaklığında yapılan sıkıştırma ve kalıptan çıkarma basınçları

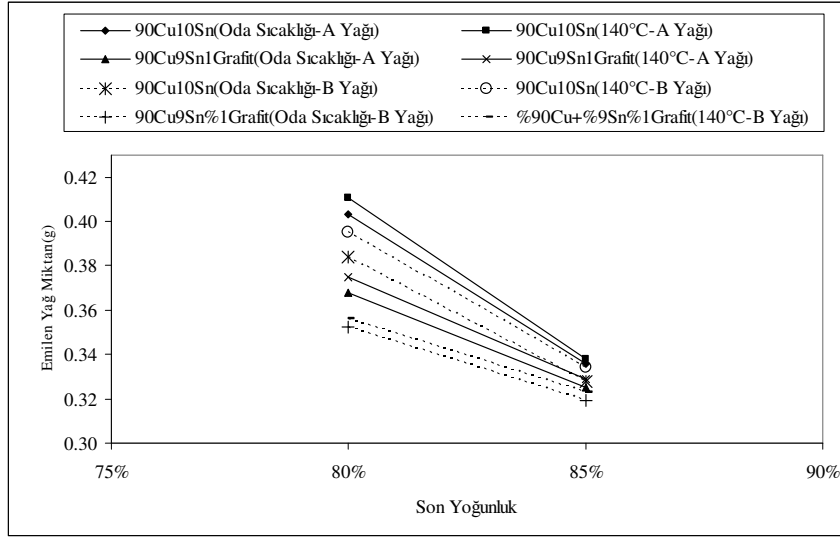
Kompozisyon	Yoğunluk	Sıkıştırma Basıncı(MPa)	Kalıptan Çıkarma Basıncı(MPa)
%90Cu+%10Sn	%80	440.14	25.77
%90Cu+%10Sn	%85	670.12	37.70
%90Cu+%9Sn+%1C	%80	415.35	20.81
%90Cu+%9Sn+%1C	%85	610.65	30.73

Çizelge 4.2. 140°C sıcaklıkta yapılan sıkıştırma ve kalıptan çıkarma basınçları

Kompozisyon	Yoğunluk	Sıkıştırma Basıncı(MPa)	Kalıptan Çıkarma Basıncı(MPa)
%90Cu+%10Sn	%80	396.52	24.78
%90Cu+%10Sn	%85	610.65	35.68
%90Cu+%9Sn+%1C	%80	388.59	18.83
%90Cu+%9Sn+%1C	%85	570.91	28.74

4.2. Yağ Emdirme Sonunda Elde Edilen Bulgular

Hazırlanan ve sinterlenen numunelere 80°C sıcaklığındaki yağ banyosunda 8 saat süre ile iki farklı yağ emdirilmiştir. Yağ emdirme işleminden önce ve sonra numunelerin ağırlıkları tartılarak ne kadar yağ emdikleri tespit edilmiş ve Şekil 4.1’de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluğa göre yağ emme miktarları

Grafikler incelendiğinde artan yoğunlukla emilen yağ miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bundan başka Çizelge 3.8’den de görüleceği gibi 80°C sıcaklıkta A Yağının kinematik viskozitesi, B Yağının kinematik viskozitesinden daha düşüktür. Bu sebeple 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilen yağ emdirme işlemlerinde A yağının B yağına göre emiliminin daha iyi olduğu görülmektedir. Bir diğer sonuç da 140°C sıcaklıkta basılan numunelerin oda sıcaklığında basılan numunelere göre çok az da olsa daha fazla yağ emdiği görülmüştür. Yine grafik incelendiğinde grafitli numunelerin grafitsiz numunelere göre daha fazla yağ emdiği görülmüştür.

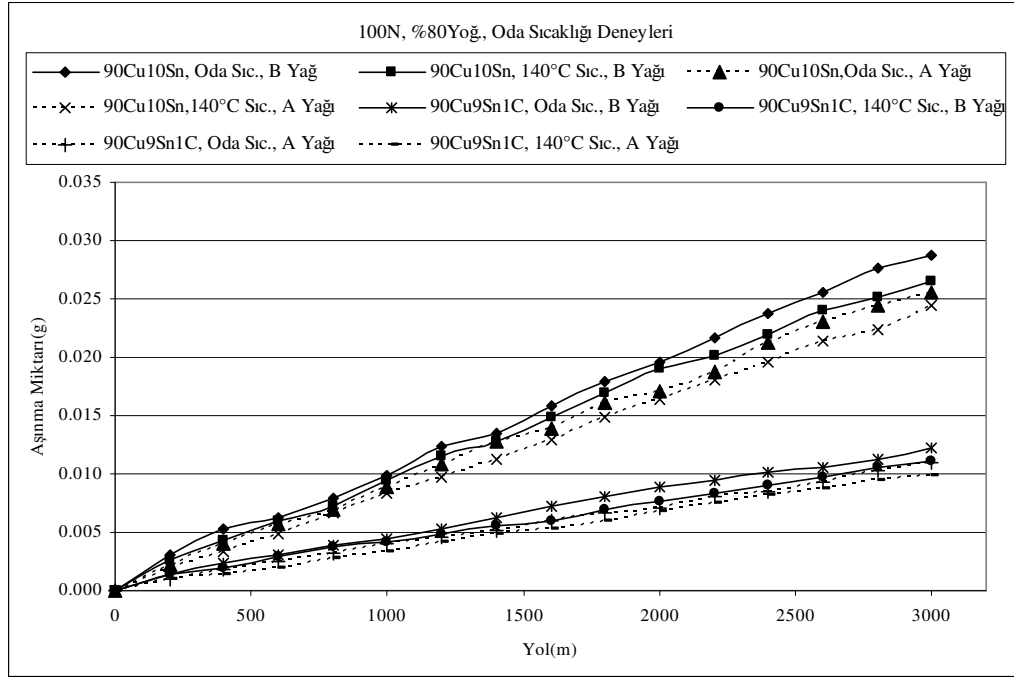
4.3. Aşınma Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Veriler

4.3.1. Oda Sıcaklığında Yapılan Aşınma Deneyleri

Aşınma deneylerinde yataklara uygulanan yükler $\pm 100N$, $\pm 200N$ ve $\pm 300N$ ’dur. Hızlar ise 28.6m/d, 44.9m/d ve 57.2m/d’dir. Deneyler 3km mesafe için gerçekleştirilmiş ve her 200m de yatak temizlenip tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Deneyler sırasında aynı zamanda sürtünme katsayıları da belirlenmiştir. Deneyler boyunca yataklara dışarıdan herhangi bir yağ beslemesi yapılmamıştır. EK-2’de, hıza ve uygulanan yüke bağlı olarak oda sıcaklığında yapılan aşınma deneylerinin grafikleri hem grafitli kompozisyon (EK 2.1) hem de grafitli kompozisyon (EK2.2) için ayrıntılı olarak verilmiştir.

Şekil 4.2’de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde en büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı Emdirilmiş numunede meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneylerde 3000m için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0288g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0244g olarak elde edilmiştir.

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı 0.0122g olarak elde edilmiştir. Bu değer oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0099g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.



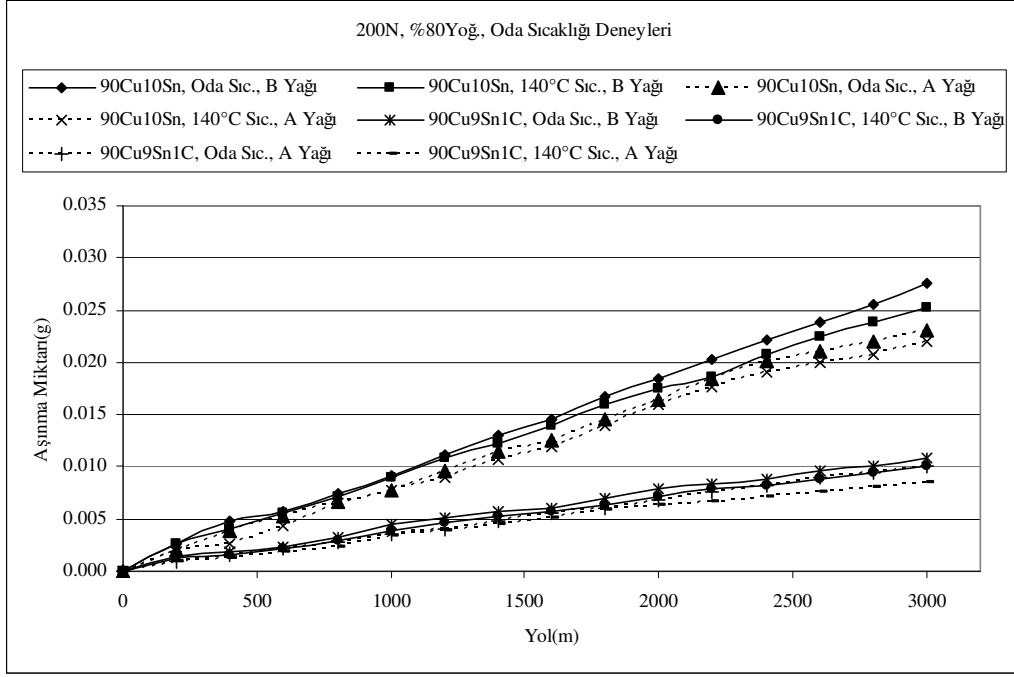
Şekil 4.2. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Şekil 4.2'den de anlaşılacağı üzere grafitli kompozisyona sahip olan numunelerin grafitsiz kompozisyona sahip numunelerden daha az aşınmıştır. Bunun sebebi bünyede bulunan grafitin katı yağlayıcı vazifesi yapmasındandır. (Anonim, 1998)

Şekil 4.2'den görüleceği üzere B Yağı emdirilen numunelerin A Yağı emdirilen numunelere göre bir miktar fazla aşındığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, hem A Yağının B Yağına göre daha fazla miktarda emilmesi ve çalışma esnasında mil ile yatak arasında daha iyi bir yağ filmi teşekkül etmesi hem de A Yağında Aşınma Önleyici(AW), Sürtünme Azaltıcı(FM) ve Yüksek Basınç(EP) gibi katkıların bulunması (Durak, 1998), B Yağında ise bu katkıların bulunmaması düşünülmektedir. Grafitsiz kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilen numuneler için aşınma miktarı 0.0255g iken, yine grafitsiz kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numuneler için ise aşınma miktarı 0.0288g dır.

Şekil 4.3'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0275g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0220g olarak elde edilmiştir.

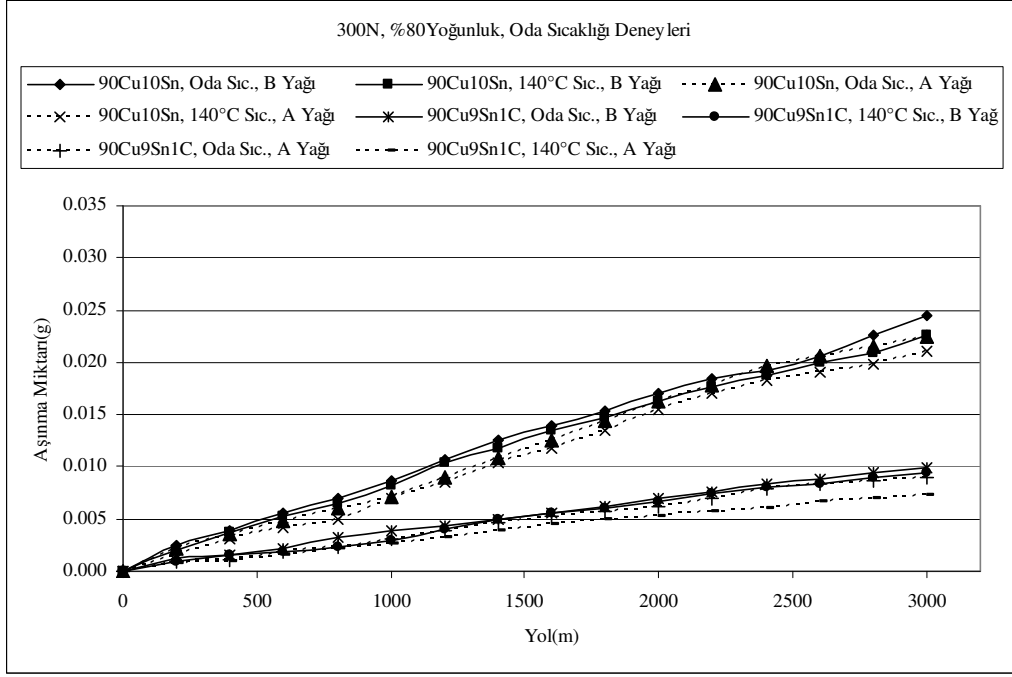
Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0109g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0085g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.



Şekil 4.3. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

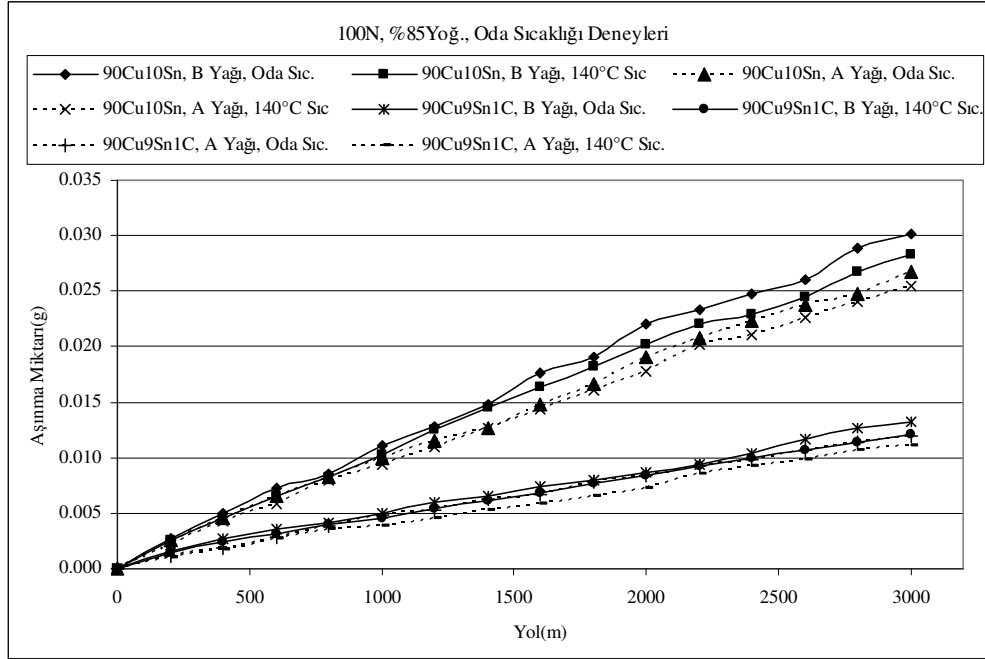
Şekil 4.4’de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0245g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0210g olarak elde edilmiştir.

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0099g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0073g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.



Şekil 4.4. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

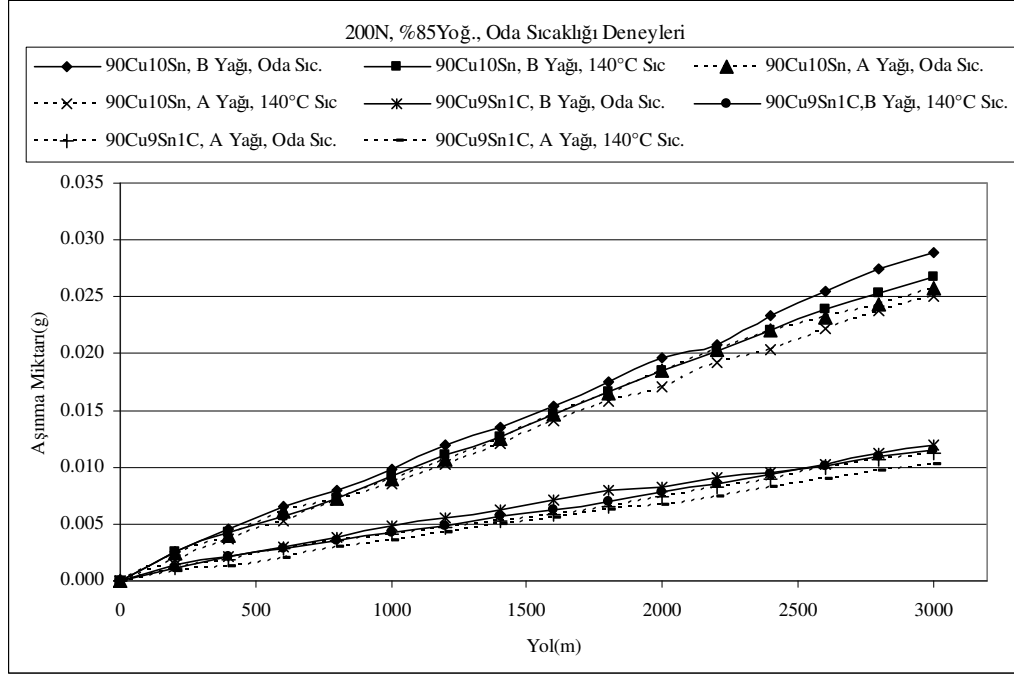
Şekil 4.5’de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0301g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0255g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.5. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0133g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0111g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

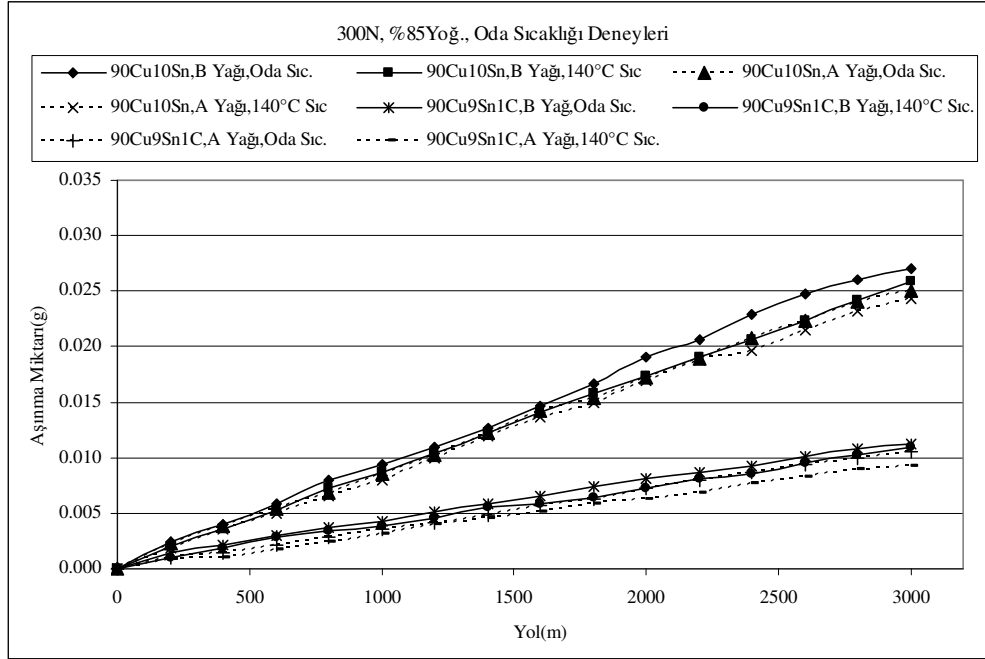
Şekil 4.6'da %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0289g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0251g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0120g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0102g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

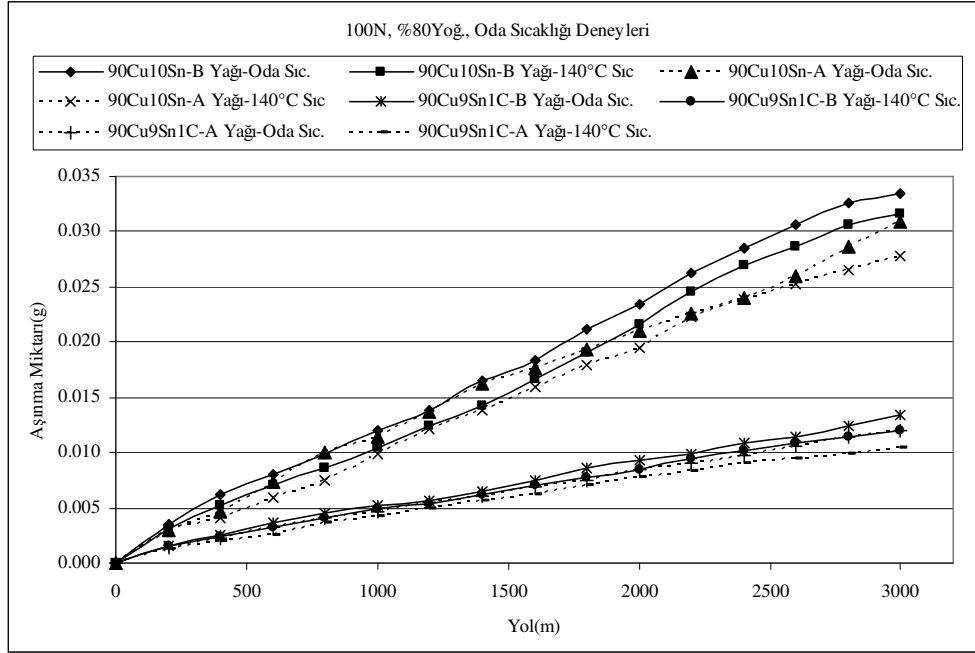
Şekil 4.7’de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0270g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0243g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0113g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0093g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

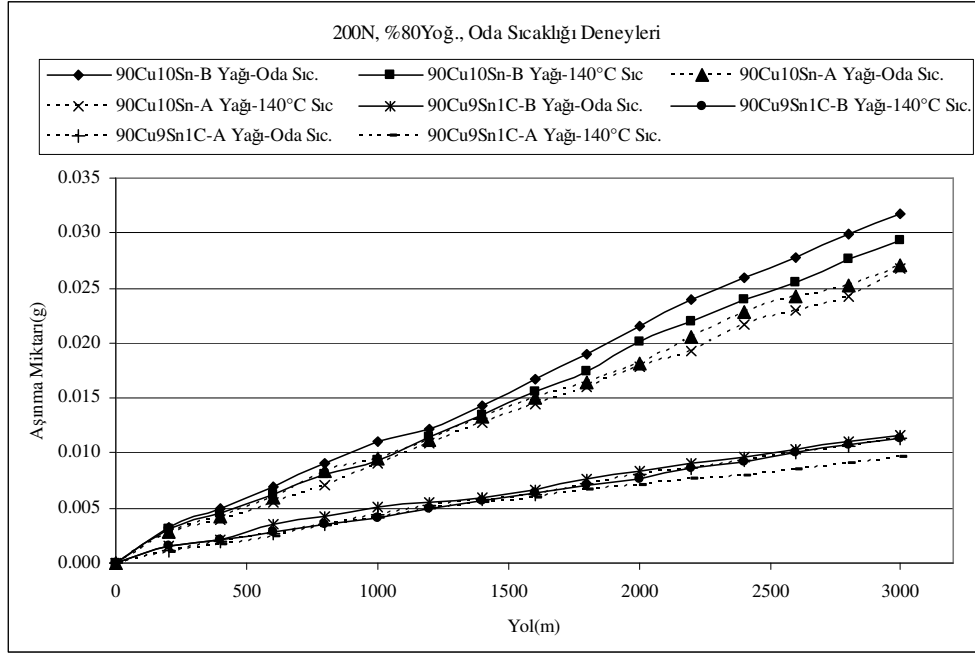
Şekil 4.8’de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0335g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0278g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0134g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0104g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

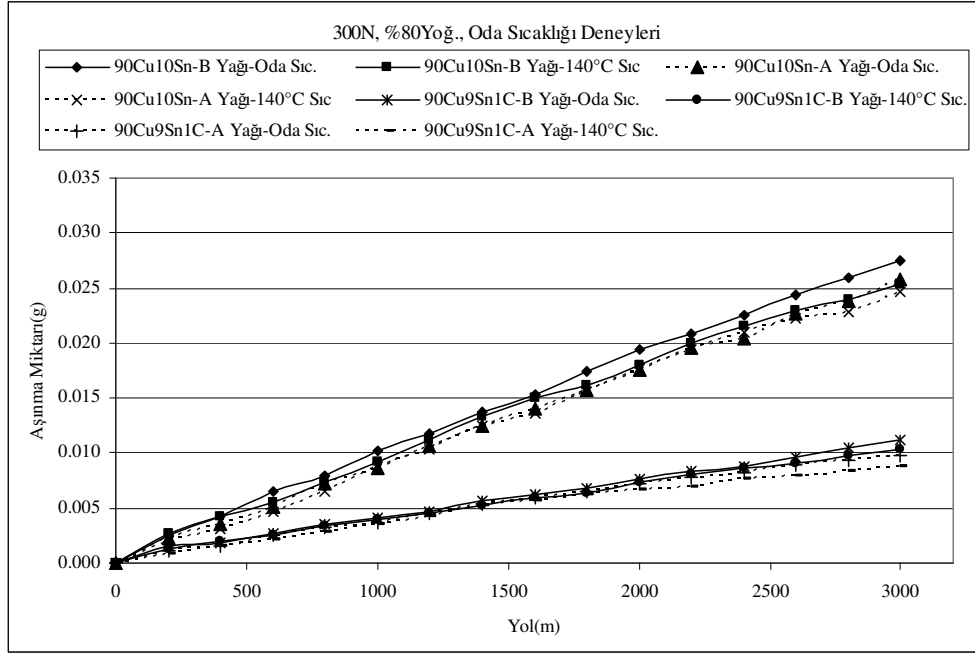
Şekil 4.9'da %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0317g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0268g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.9. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0116g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0096g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

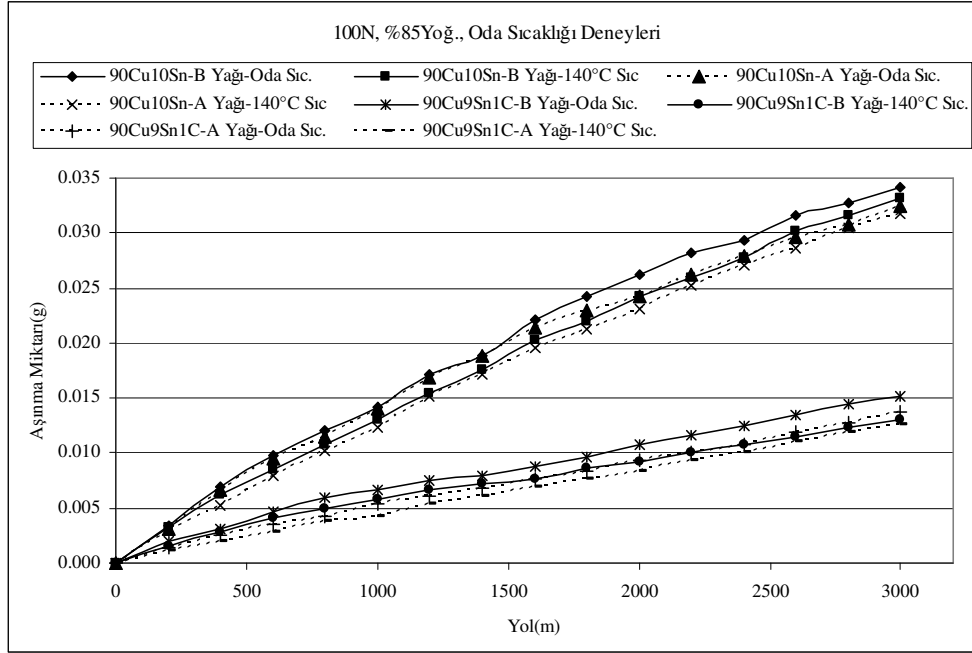
Şekil 4.10'da %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0275g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0246g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.10. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0112g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0088g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

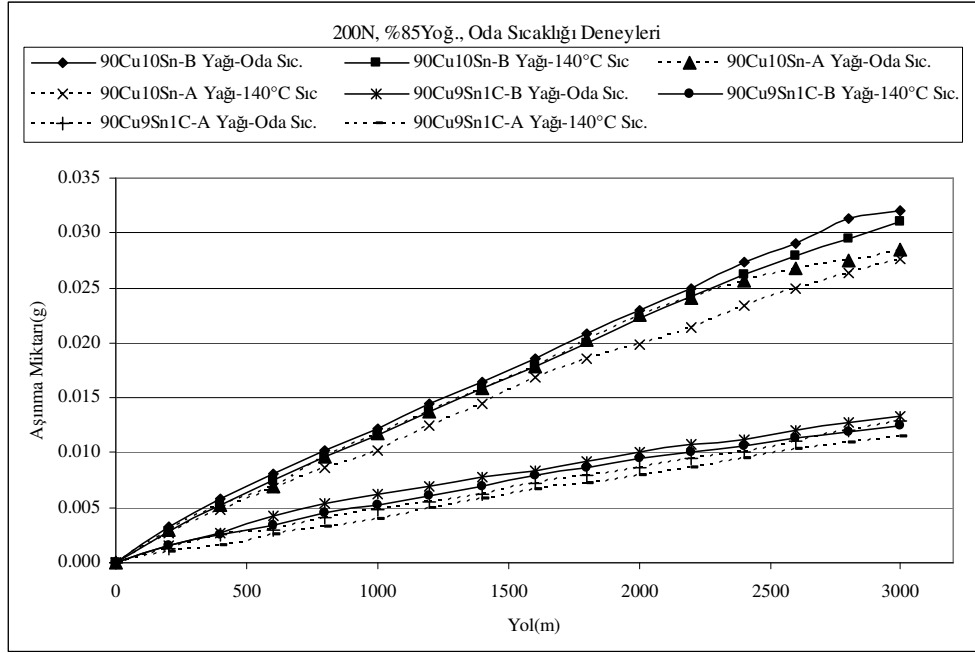
Şekil 4.11'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0342g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0317g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.11. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0151g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0126g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

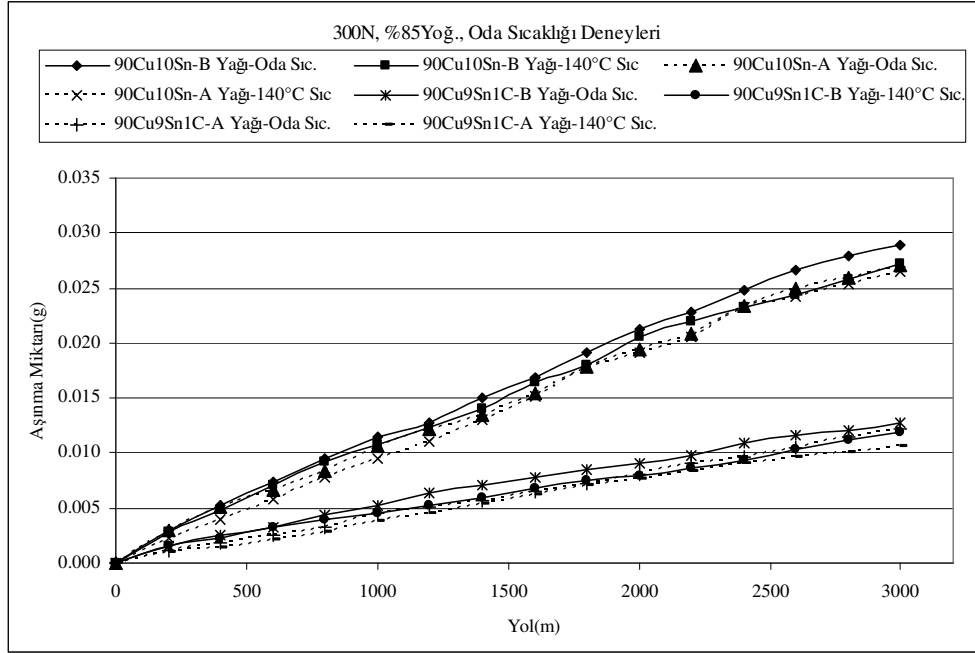
Şekil 4.12’de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0320g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0276g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0133g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0115g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

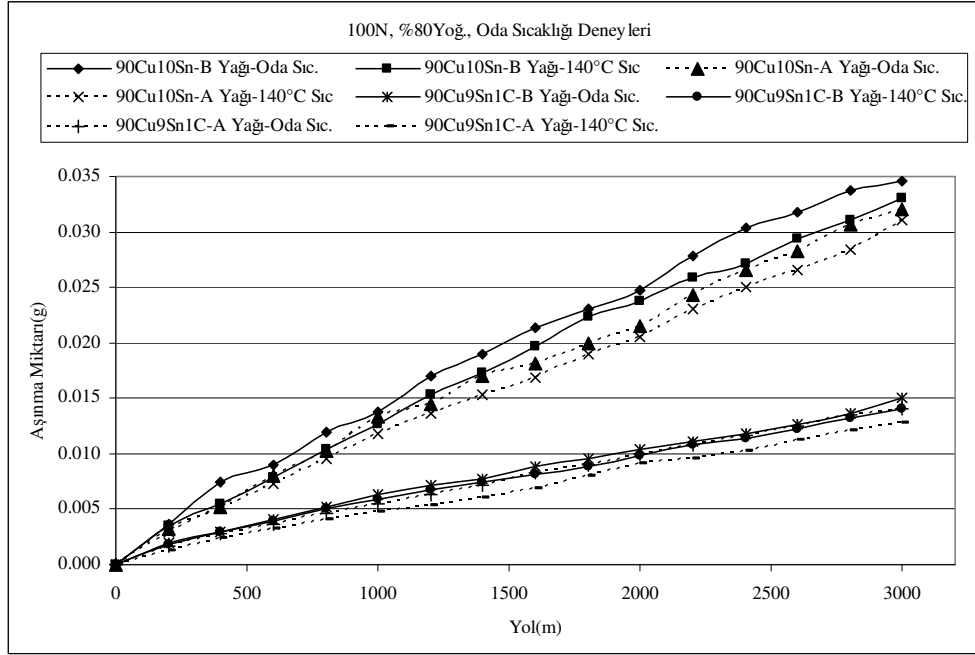
Şekil 4.13'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0289g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0265g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.13. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0127g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0106g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

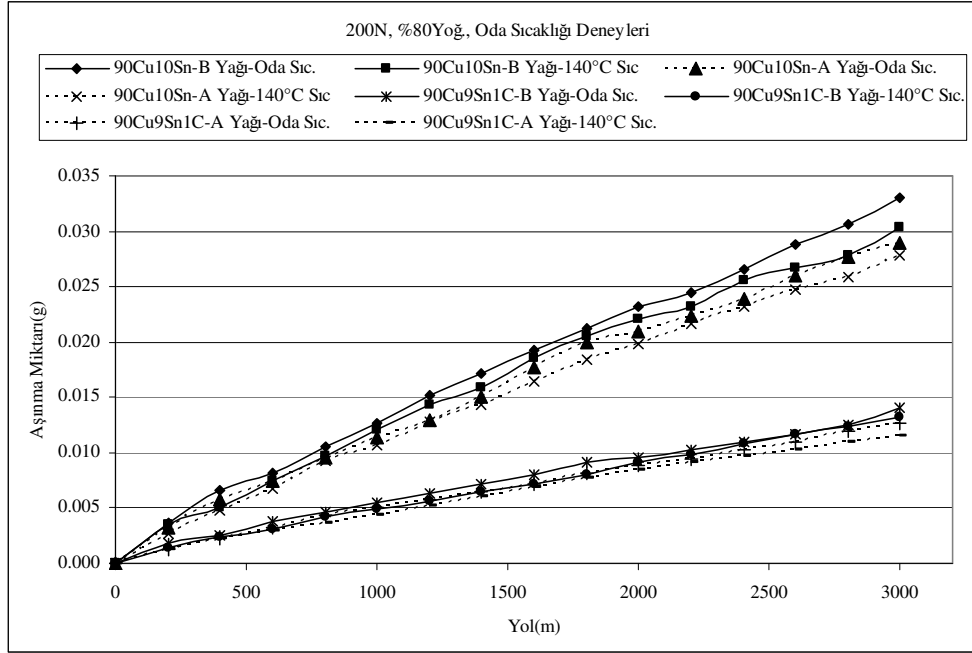
Şekil 4.14'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0346g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0311g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.14. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0150g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0128g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

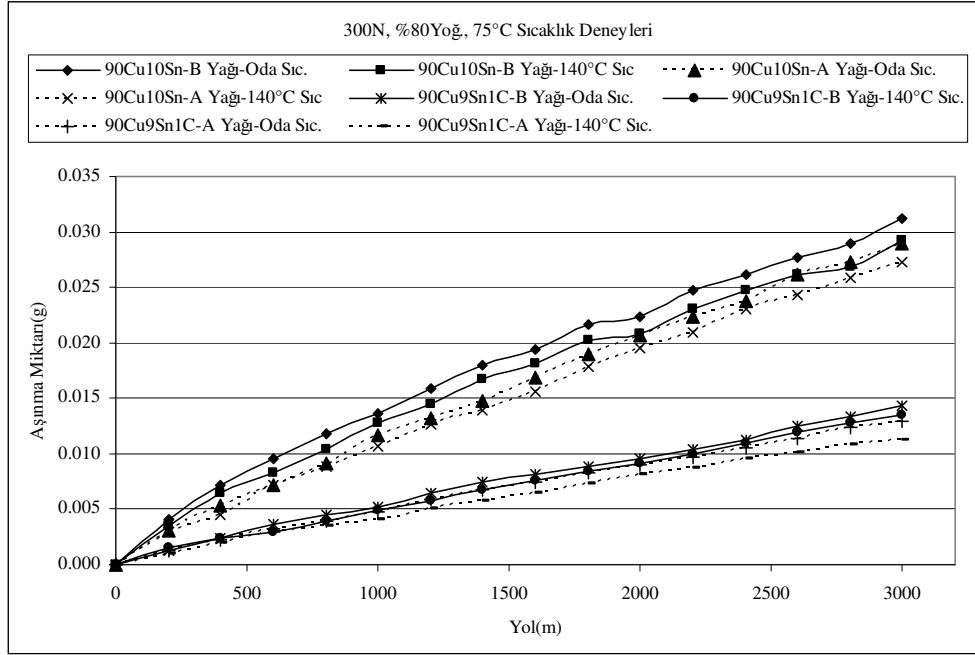
Şekil 4.15'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0330g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0279g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.15. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0140g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0115g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

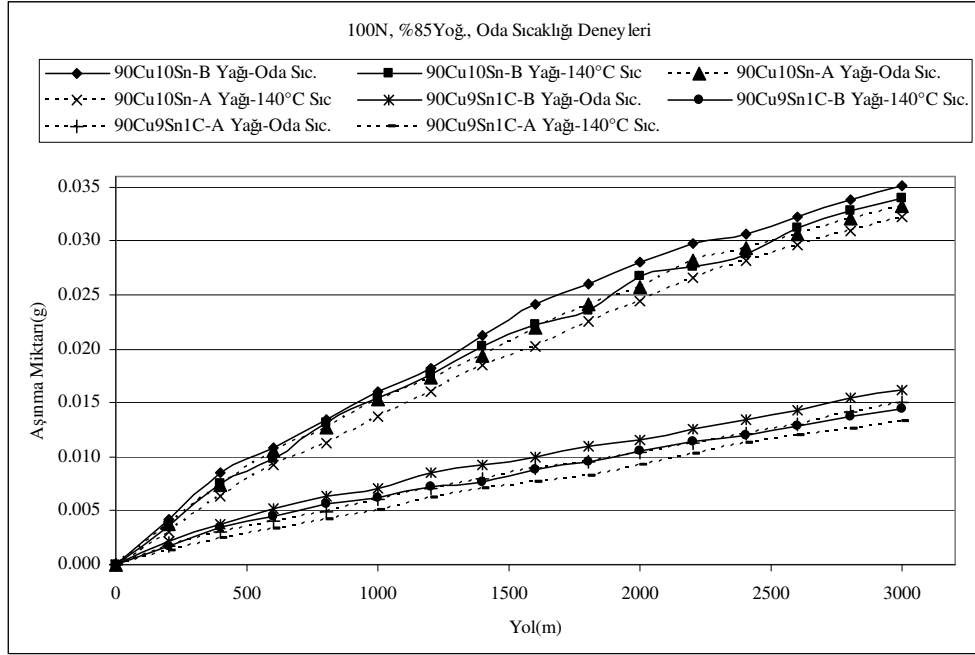
Şekil 4.16'da %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0301g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0259g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.16. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0136g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0108g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

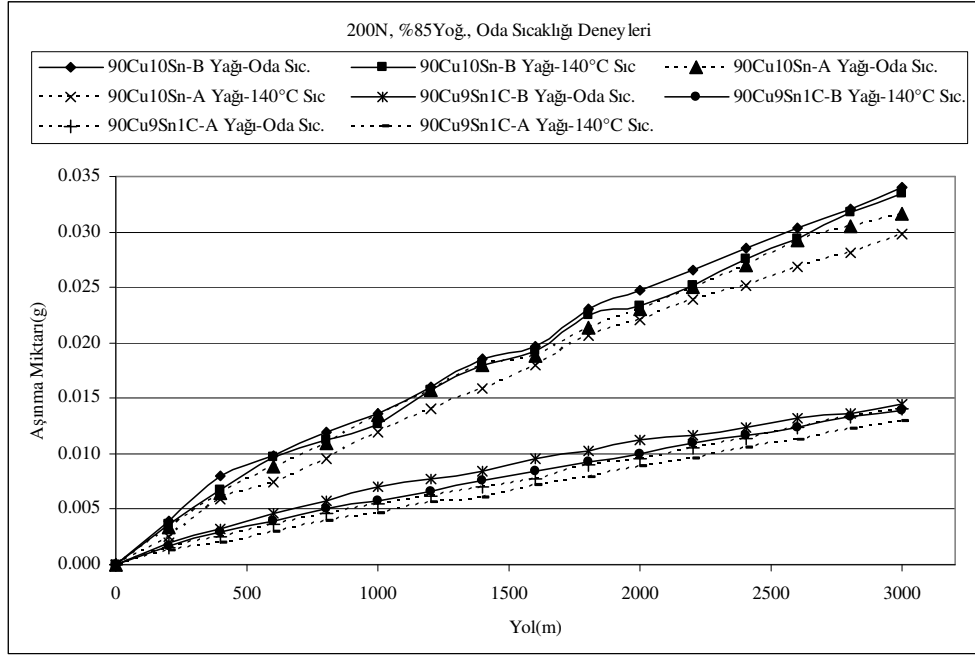
Şekil 4.17'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0352g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0323g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0162g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0133g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

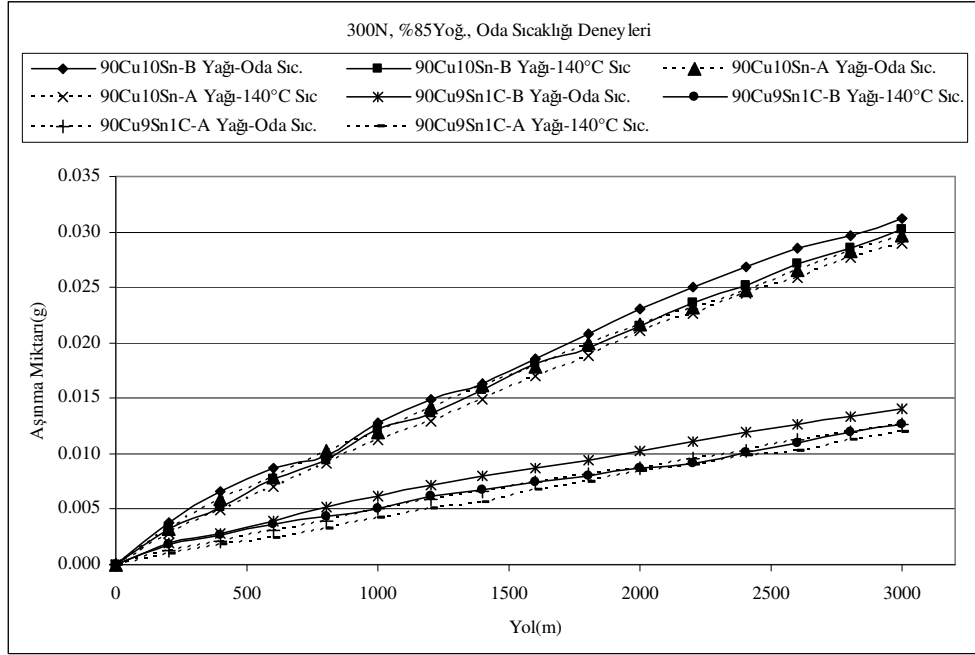
Şekil 4.18'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.034g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0298g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.18. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0145g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0129g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.19'da %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0312g dır. Grafitless kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0289g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.19. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57,2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, oda sıcaklığında yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

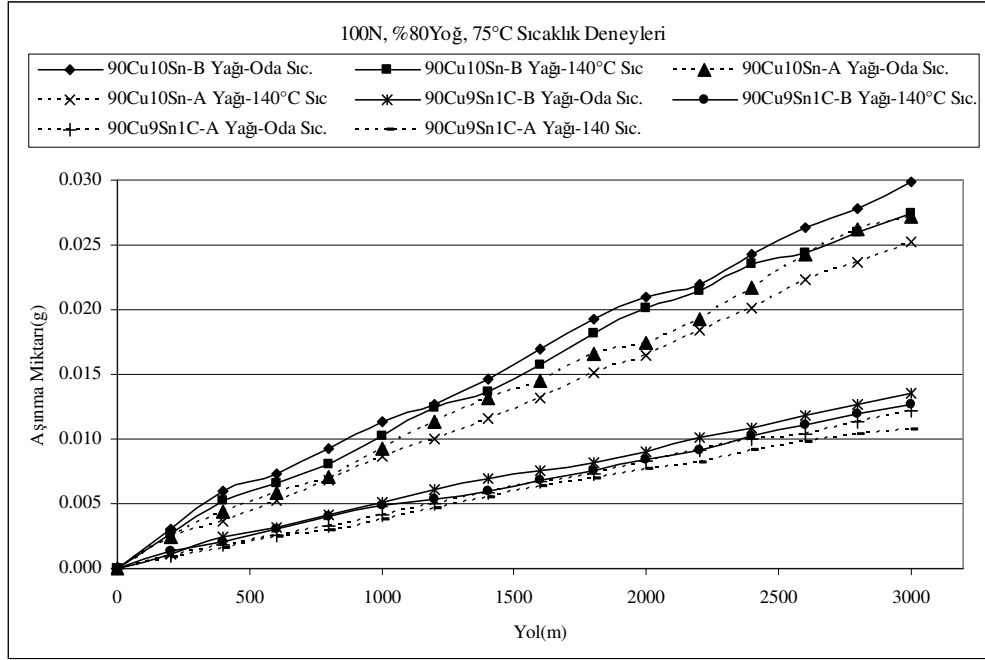
Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0141g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0119g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

4.3.2. 75°C'de Yapılan Aşınma Deneyleri

EK-3'de, hıza ve uygulanan yüke bağlı olarak oda sıcaklığında yapılan aşınma deneylerinin grafikleri hem grafitsiz kompozisyon (EK-3.1) hem de grafitli kompozisyon (EK-3.2) için ayrıntılı olarak verilmiştir.

Şekil 4.20'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100\text{N}$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0299g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0253g olarak elde edilmiştir.

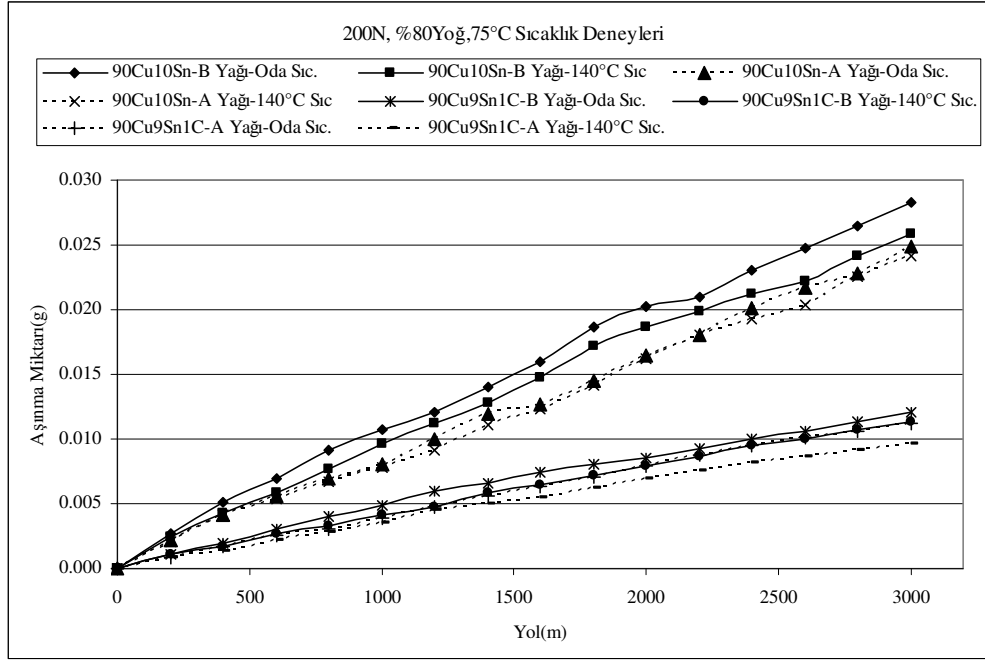


Şekil 4.20. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin $28,6\text{m/d}$ hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0135g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0107g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.21'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200\text{N}$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0283g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0241g olarak elde edilmiştir.

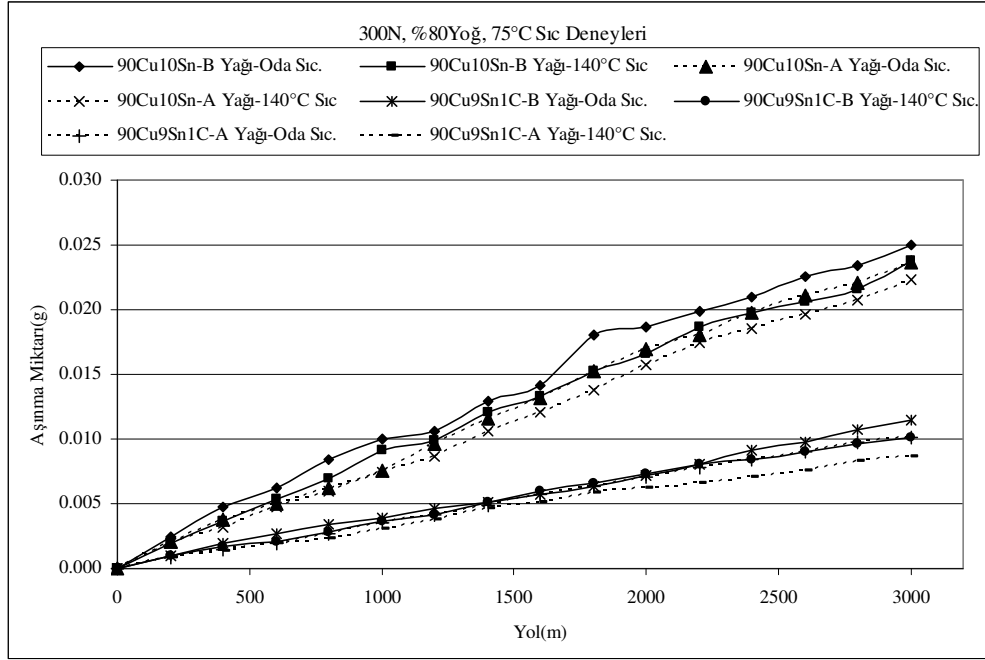


Şekil 4.21. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin $28,6\text{m/d}$ hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0121g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0096g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.22'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300\text{N}$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0250g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0223g olarak elde edilmiştir.

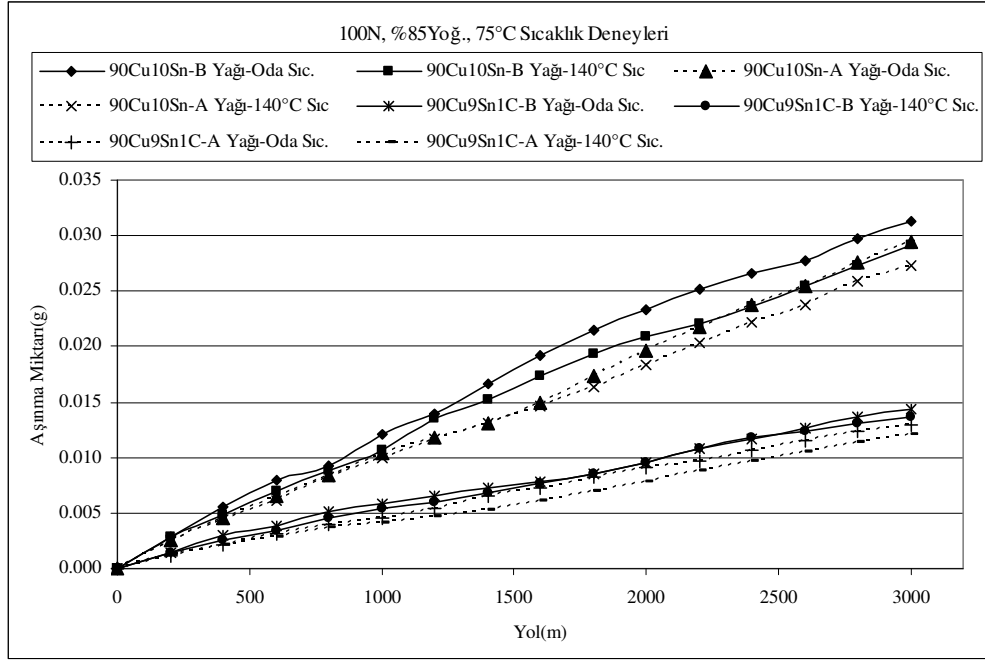


Şekil 4.22. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin $28,6\text{m/d}$ hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0115g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0087g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.23'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0313g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0273g olarak elde edilmiştir.

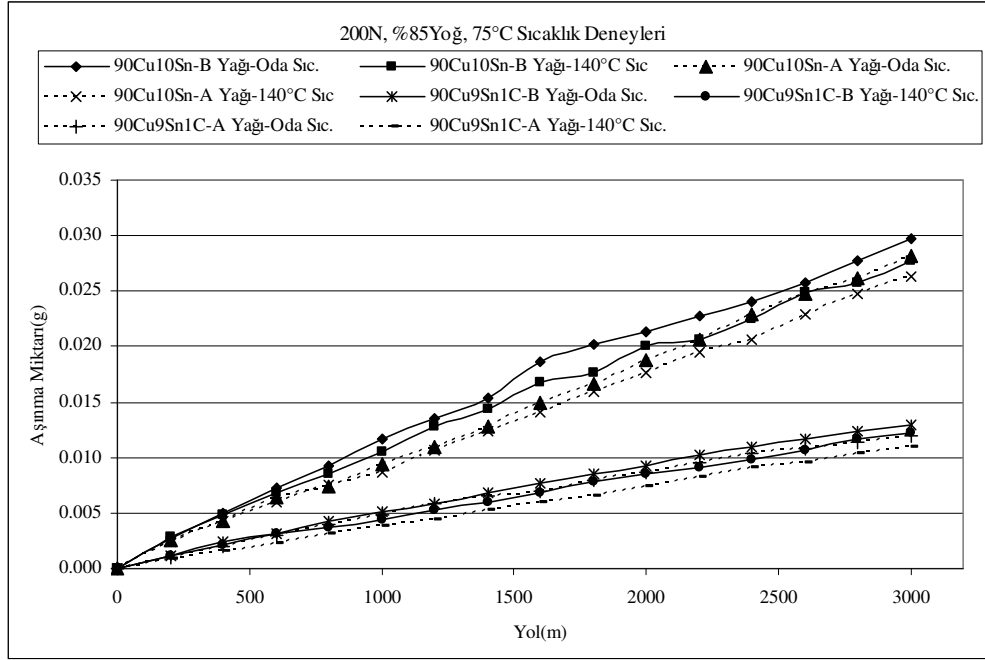


Şekil 4.23. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0144g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0121g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.24'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0297g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0263g olarak elde edilmiştir.

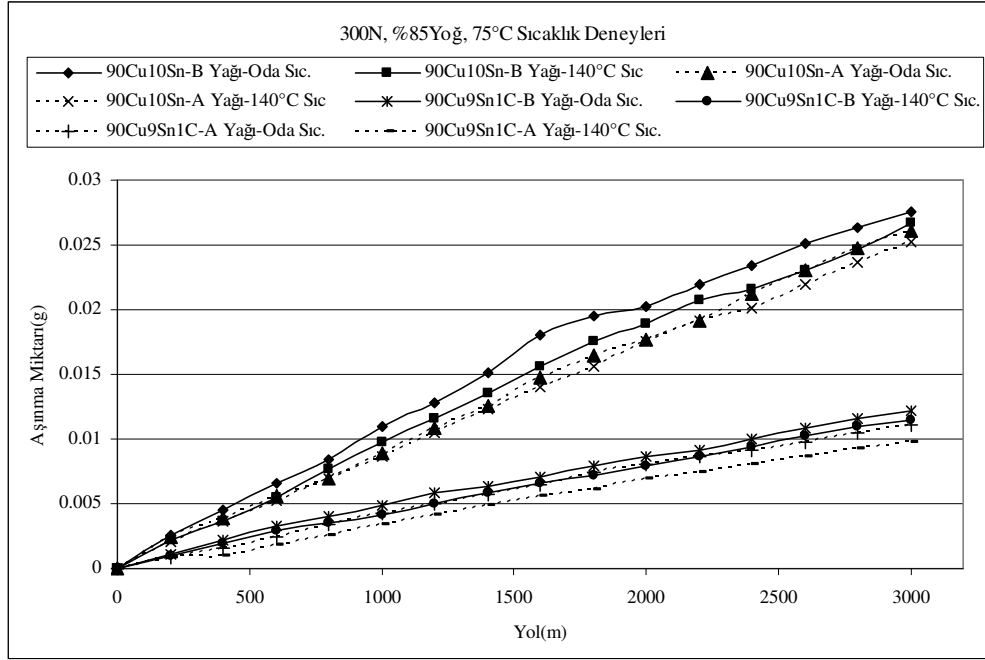


Şekil 4.24. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0130g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0110g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.25’de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28.6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 28.6m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0276g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0253g olarak elde edilmiştir.

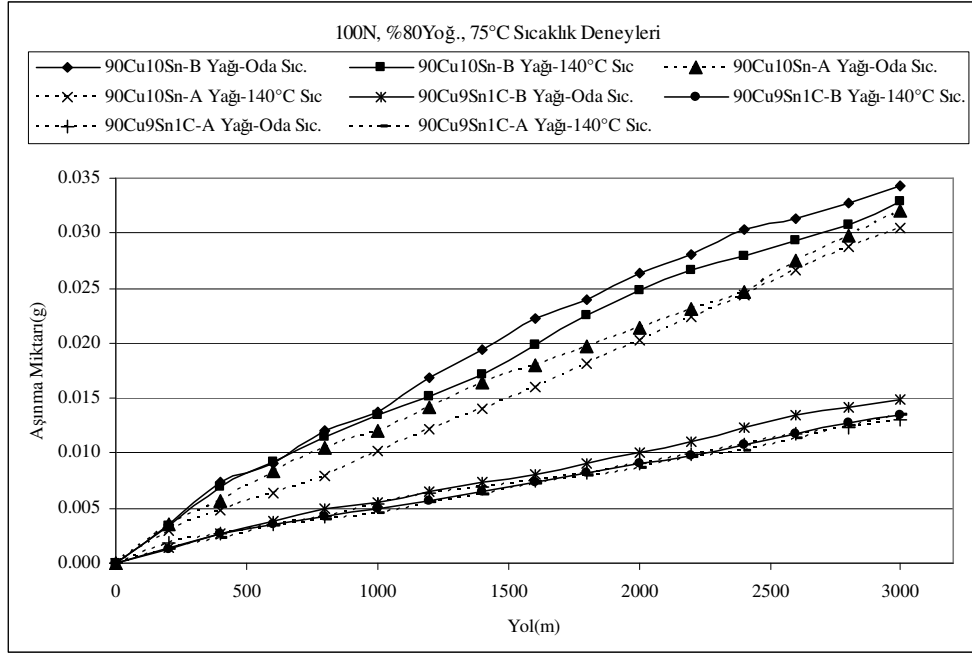


Şekil 4.25. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 28,6m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0122g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0098g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.26'da %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

Emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100\text{N}$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0343g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0304g olarak elde edilmiştir.

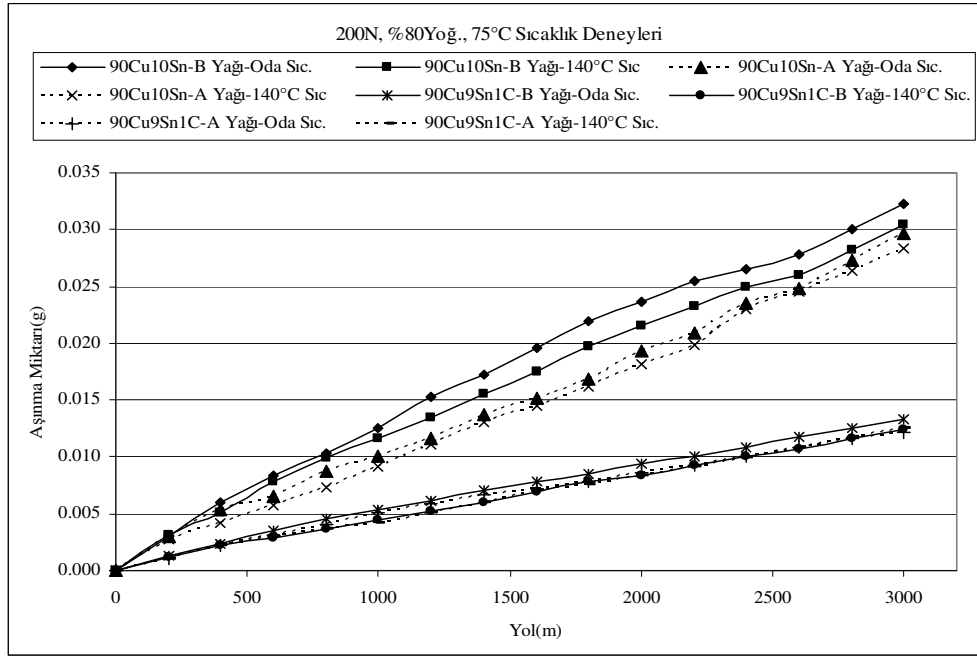


Şekil 4.26. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0149g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0117g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.27'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200\text{N}$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0323g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0283g olarak elde edilmiştir.

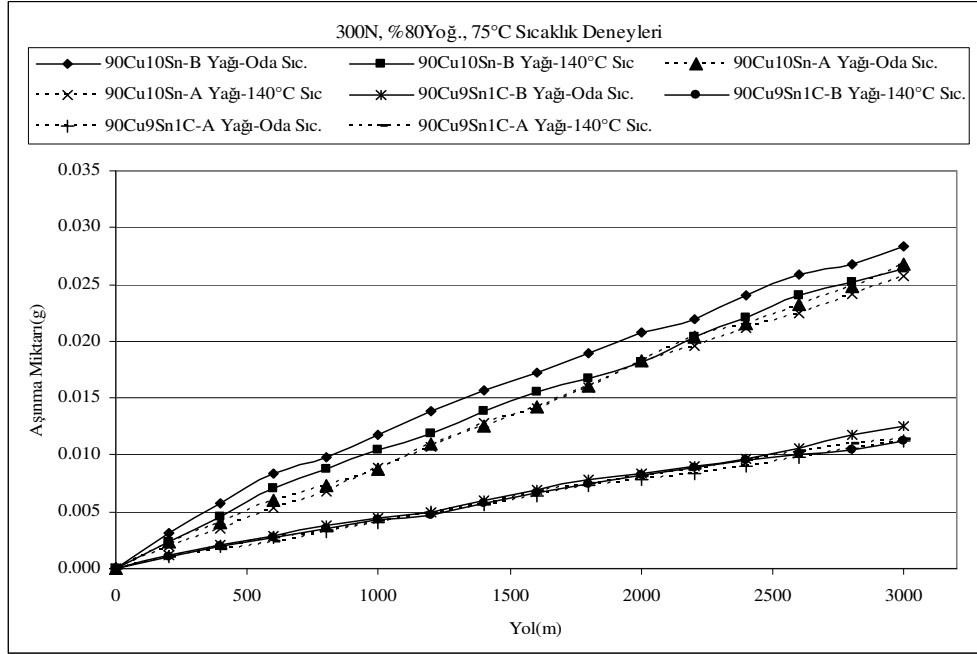


Şekil 4.27. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0133g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0107g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.28'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300\text{N}$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0284g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0257g olarak elde edilmiştir.

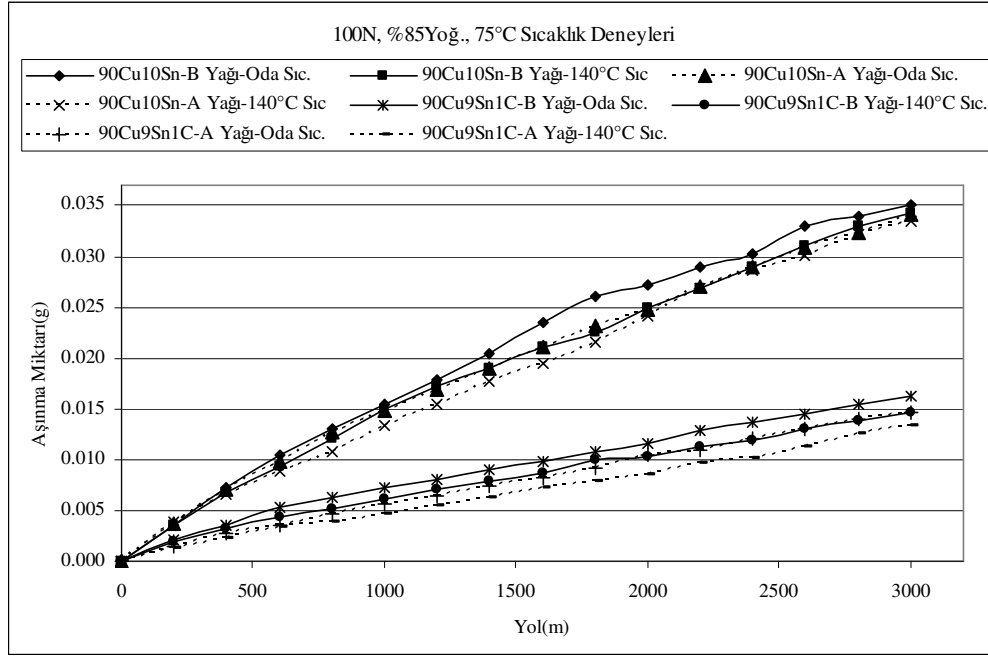


Şekil 4.28. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0126g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0096g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.29'da %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100\text{N}$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0351g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0335g olarak elde edilmiştir.

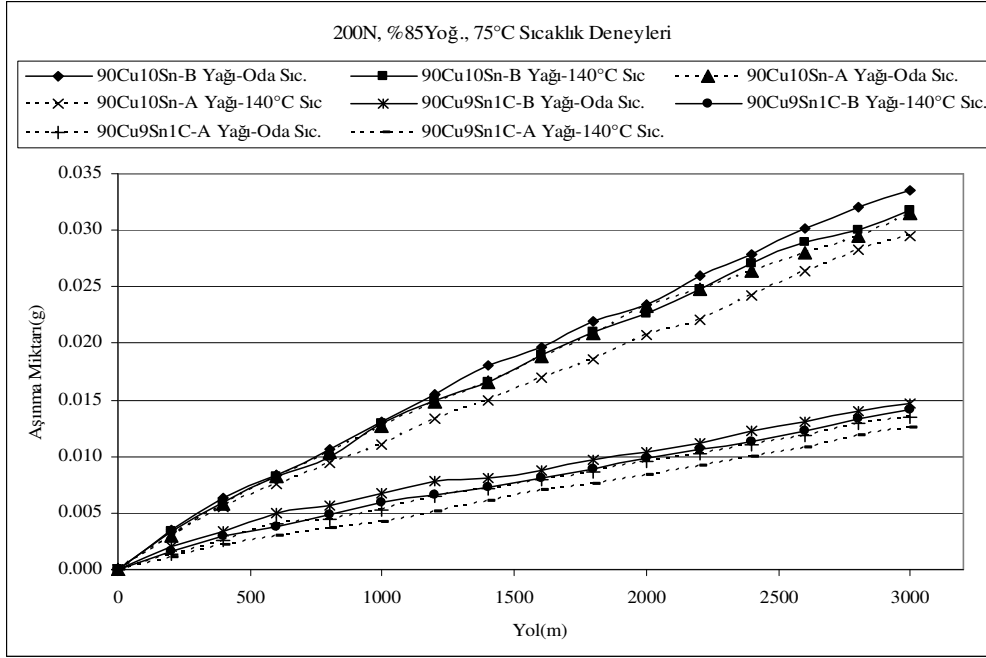


Şekil 4.29. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0162g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0134g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.30'da %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200\text{N}$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0335g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0295g olarak elde edilmiştir.

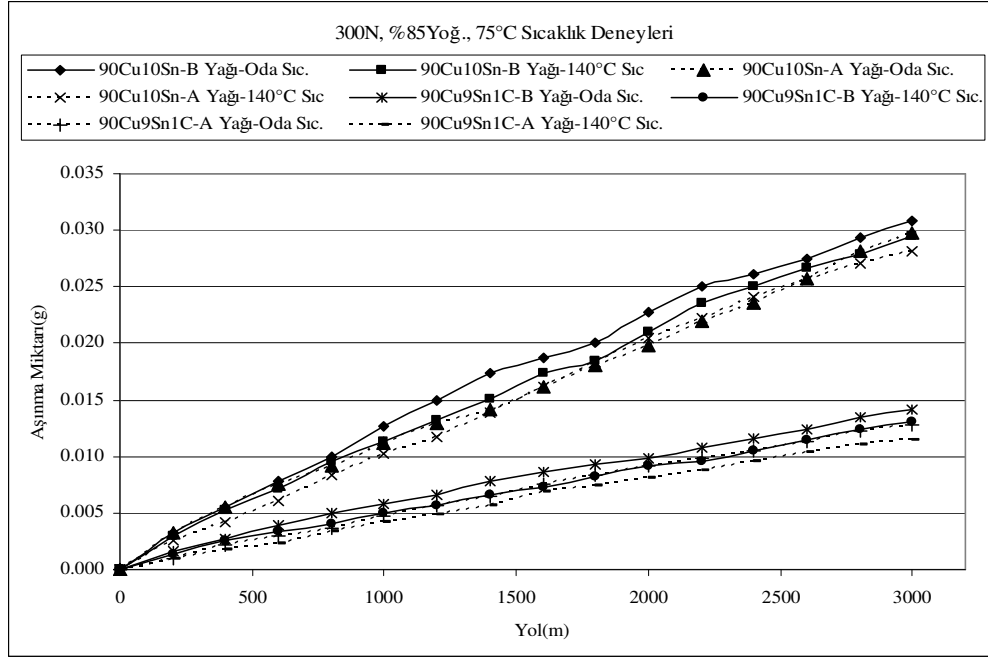


Şekil 4.30. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0147g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0125g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.31'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44.9m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 44.9m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0308g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0282g olarak elde edilmiştir.

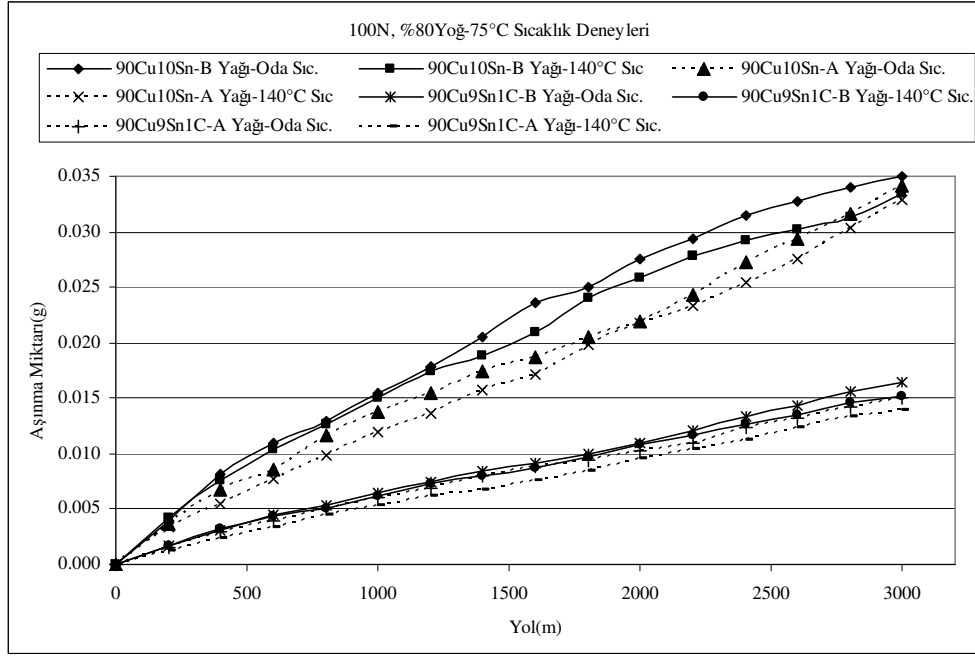


Şekil 4.31. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 44,9m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0141g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0114g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.32'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100\text{N}$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0350g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0329g olarak elde edilmiştir.

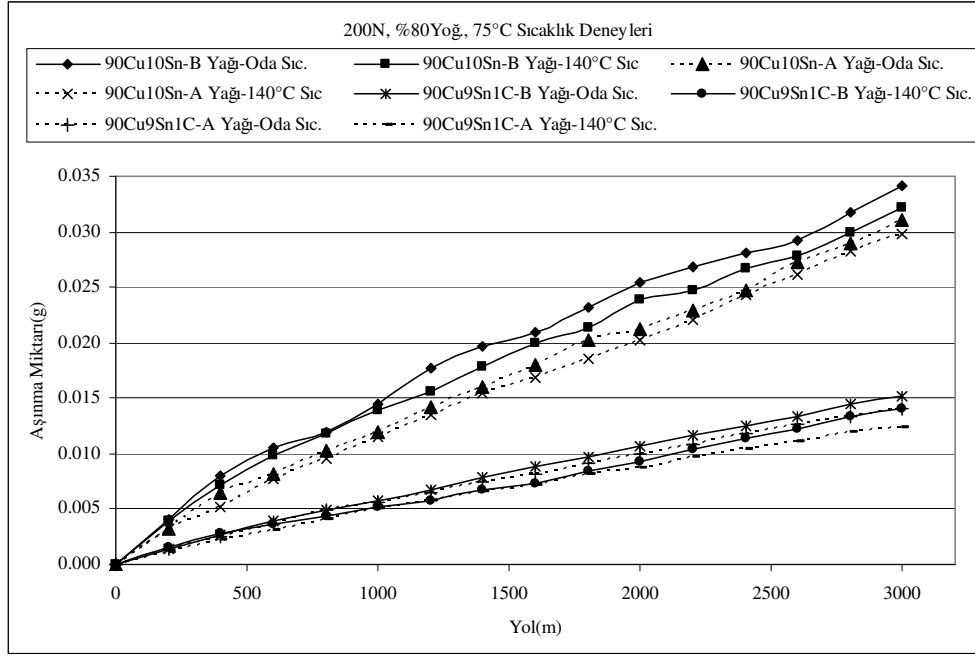


Şekil 4.32. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0164g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0139g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.33'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200\text{N}$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0341g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0298g olarak elde edilmiştir.

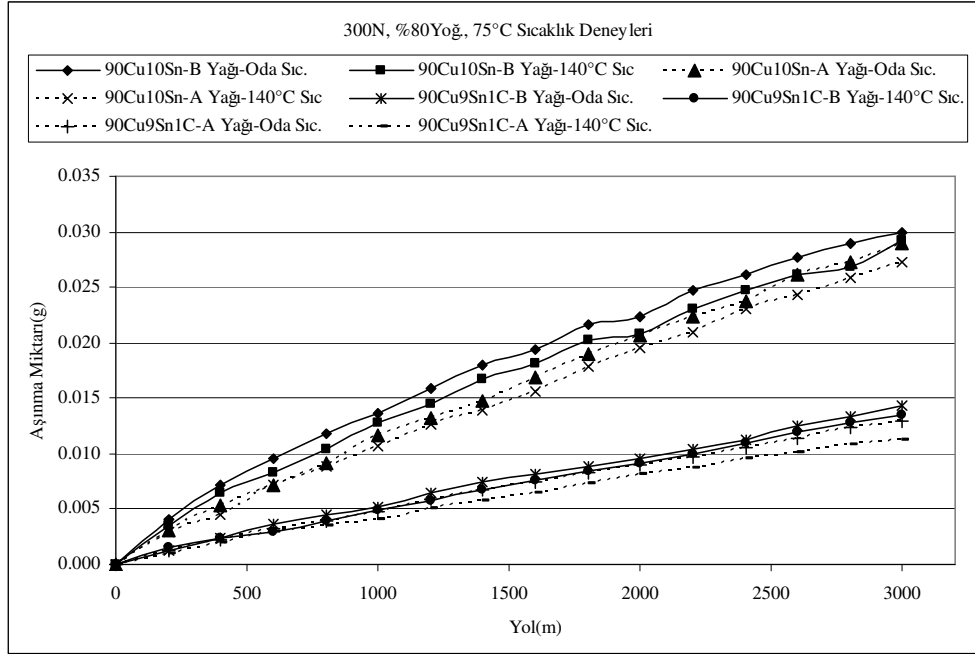


Şekil 4.33. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0152g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0124g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.34'de %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300\text{N}$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0312g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0273g olarak elde edilmiştir.

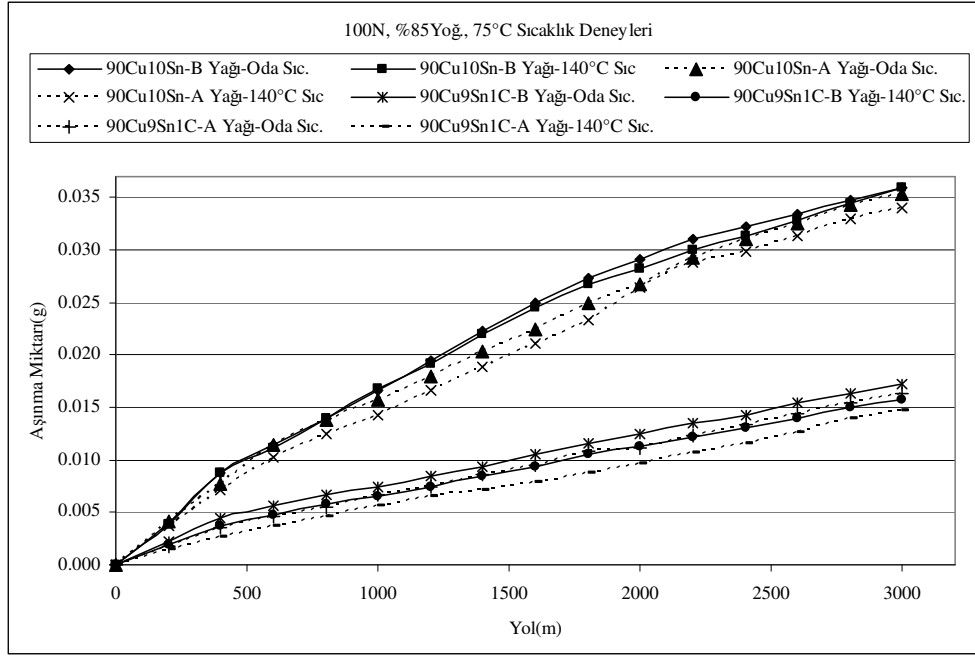


Şekil 4.34. %80 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0143g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0113g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.35'de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının $90\text{Cu}10\text{Sn}$ kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı

emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 100N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0360g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0341g olarak elde edilmiştir.

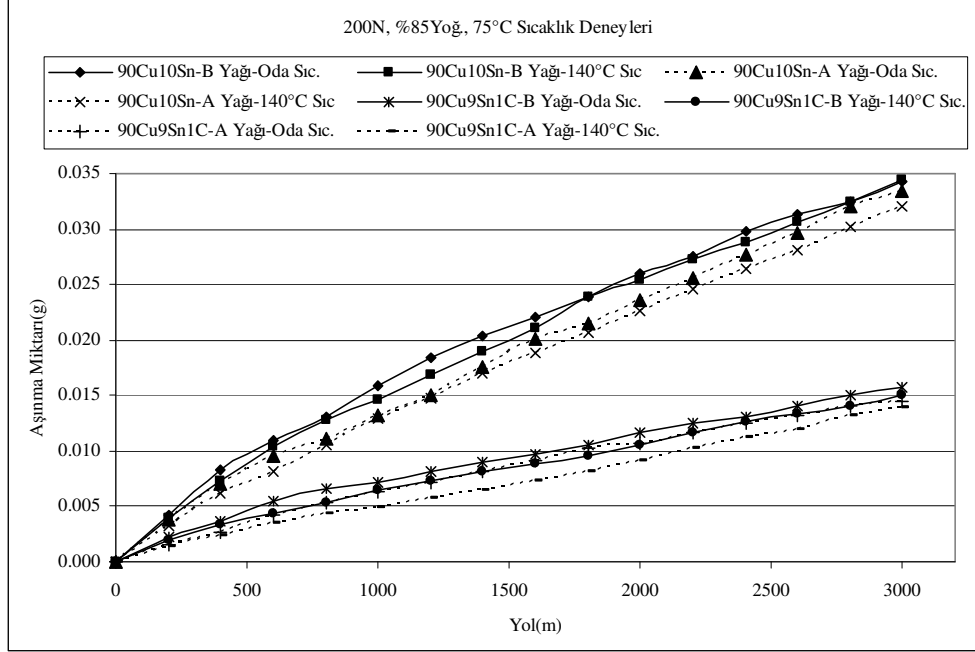


Şekil 4.35. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 100N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0172g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0147g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.36'da %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 200N$

yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0343g dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0321g olarak elde edilmiştir.

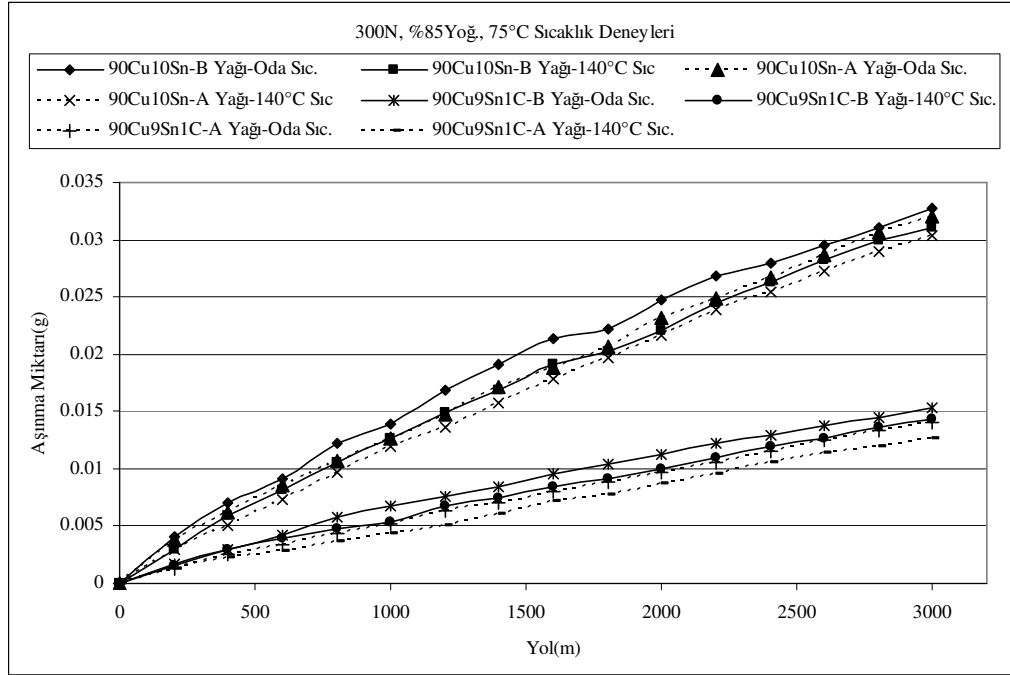


Şekil 4.36. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 200N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0157g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0139g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

Şekil 4.37’de %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, basma sıcaklığına ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları grafiği verilmiştir. En büyük aşınma miktarının 90Cu10Sn kompozisyonunda, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında, $\pm 300N$ yük ve 57.2m/d hızda yapılan deneyler için oluşan en büyük aşınma miktarı 0.0327g

dır. Grafitsiz kompozisyondaki numuneler için en düşük aşınma miktarı ise 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde, 0.0304g olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.37. %85 son yoğunluğa sahip numunelerin 57.2m/d hızda, $\pm 300N$ yükte, 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kompozisyona, yağ cinsine ve basma sıcaklığına bağlı olarak aşınma miktarları

Grafitli kompozisyondaki numuneler için ise en büyük aşınma miktarı, oda sıcaklığında sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerde 0.0153g olarak elde edilmiştir. En düşük aşınma miktarı ise 0.0127g olarak, 140°C sıcaklığında sıkıştırılan ve A Yağı emdirilmiş numunelerde bulunmuştur.

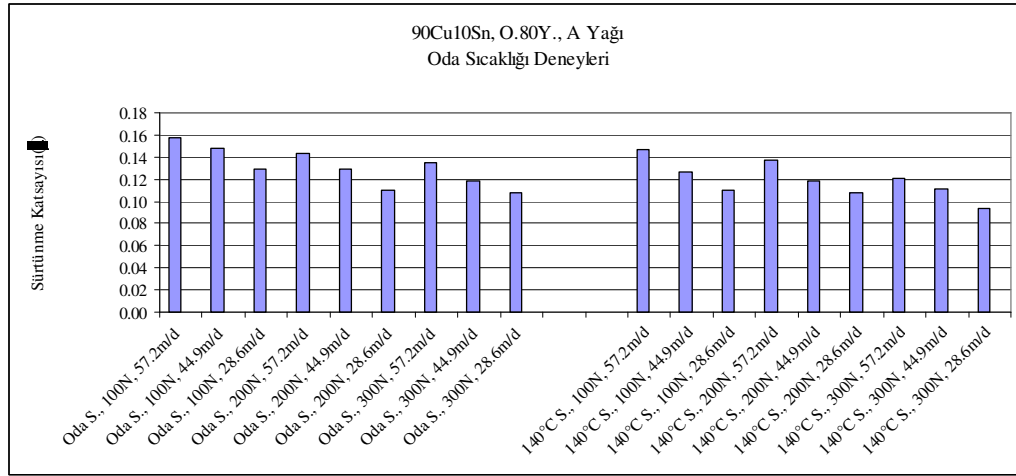
Field vd. (2004), yaptıkları bir çalışmada yapıya eklenen grafitin aşınma direncini ve yük taşıma kabiliyetini artırdığını belirtmektedir. Bu çalışmada da grafitin eklenmesiyle aşınma miktarlarında grafitsiz kompozisyona göre önemli düşüşler meydana gelmiştir.

EK-4'de farklı çalışma şartlarında elde edilen aşınma miktarları 3000m yol için toplu olarak verilmiştir.

4.4. Sürtünme Katsayıları

4.4.1. Grafitsiz Kompozisyondaki Numunelerin Sürtünme Katsayıları

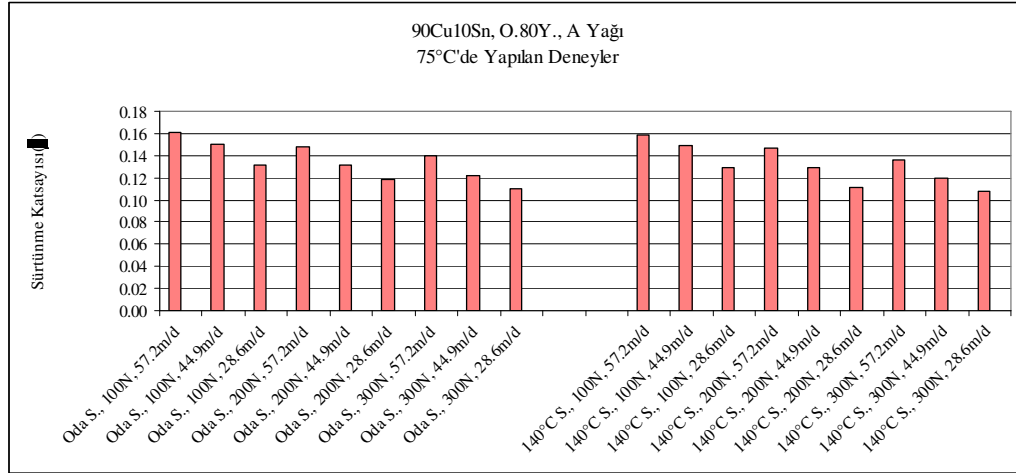
90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta ve A Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.38’de verilmektedir.



Şekil 4.38. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Şekil 4.38 incelendiğinde aşınma miktarı-yol grafiklerini destekler biçimde aynı kompozisyon ve aynı yük altında; artan hızla birlikte sürtünme katsayısının da arttığı görülmektedir. Benzer şekilde uygulanan yükün artmasıyla sürtünme katsayısı da düşmektedir. Oda sıcaklığında sıkıştırılan numuneler için en büyük sürtünme katsayısı $\pm 100N$ yük ve 57.2m/d da 0.15 civarında elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı ise $\pm 300N$ yük ve 28.6m/d hızda 0.10 şeklinde elde edilmiştir. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılan numunelerde ise en büyük sürtünme katsayısı 0.14 iken en düşük sürtünme katsayısı 0.093 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.39’da 90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta ve A Yağı emdirilmiş numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.

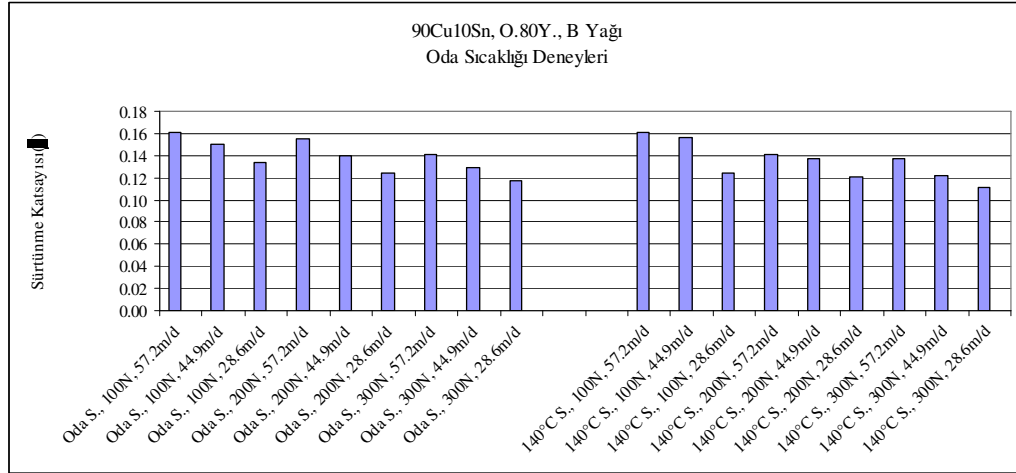


Şekil 4.39. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelerin 75°C'de yapılan deneylerinde en büyük sürtünme katsayısı 0.16 civarında olurken, en düşük sürtünme katsayısı 0.11 civarında bulunmuştur. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılan numuneler için bu değerler sırasıyla 0.15 ve 0.10 civarında olmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayılarıyla karşılaştırıldığında; 75°C'de yapılan deneylerdeki sürtünme katsayılarının daha büyük olduğu görülmektedir.

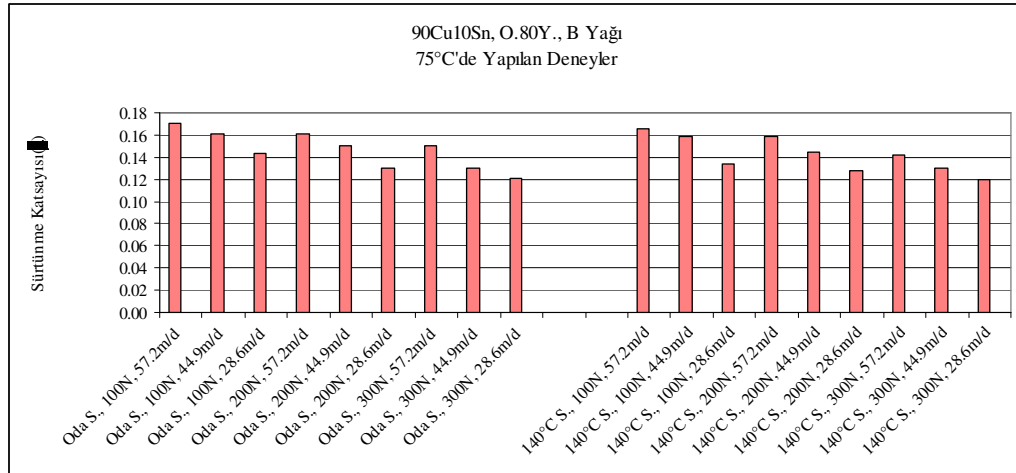
75°C'de yapılan deneylerde bulunan sürtünme katsayıları, oda sıcaklığında elde edilen sürtünme katsayılarından büyüktür. Sürtünme katsayısındaki artış oranı yaklaşık %5 civarındadır. Cusano ve Phelan (1973), ile Tüfekci vd. (2006) yapmış oldukları deneylerde sürtünme katsayısının sıcaklıkla arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada bulunan sürtünme katsayıları literatürle uyum içerisindedir.

Şekil 4.40'da 90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.



Şekil 4.40. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Şekil 4.41’de 90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.



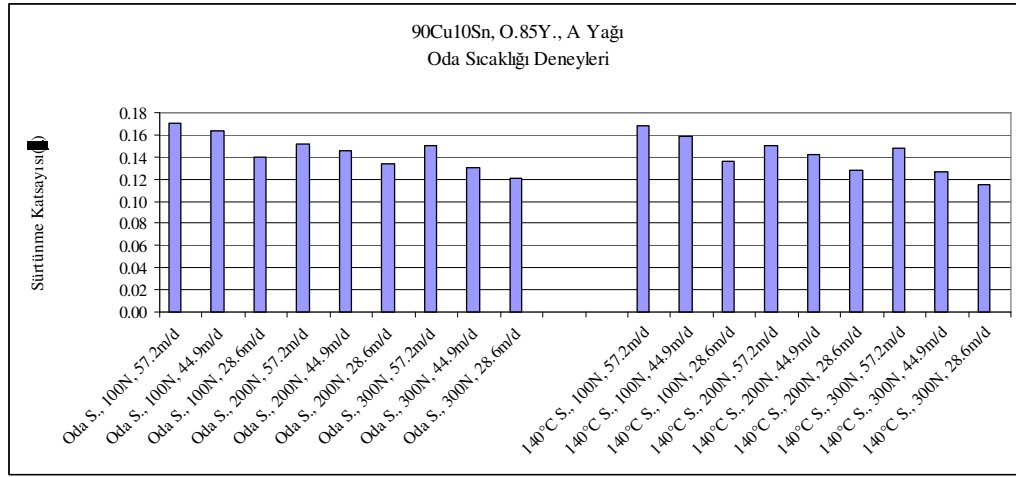
Şekil 4.41. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Şekil 4.40 ve Şekil 4.41 birlikte incelendiğinde B Yağı emdirilen numunelerin oda sıcaklığında ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneyler sırasında belirlenen sürtünme katsayıları görülmektedir. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde en büyük sürtünme

katsayısı değeri 0.16 civarında olurken en küçük sürtünme katsayısı değeri 0.11 civarında meydana gelmiştir. 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde en büyük sürtünme katsayısı 0.17 civarında olurken en küçük sürtünme katsayısı 0.11 civarında meydana gelmiştir.

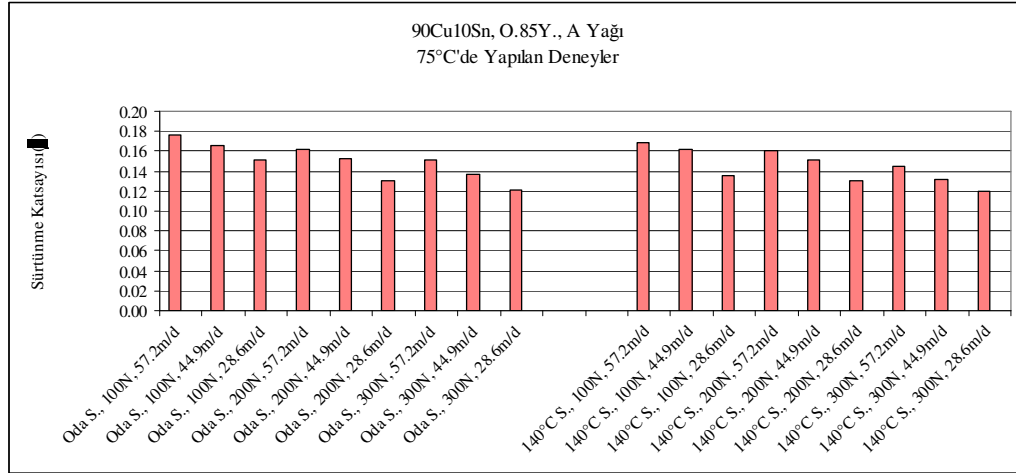
A Yağı emdirilen yataklarla (Şekil 4.38 ve 39) karşılaştırıldığında B Yağı emdirilen yataklardaki sürtünme katsayısı değerlerinin daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.85 yoğunlukta sıkıştırılmış ve A Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.42’de verilmektedir.



Şekil 4.42. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Şekil 4.43’de 90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.85 yoğunlukta sıkıştırılmış ve A Yağı emdirilmiş numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.

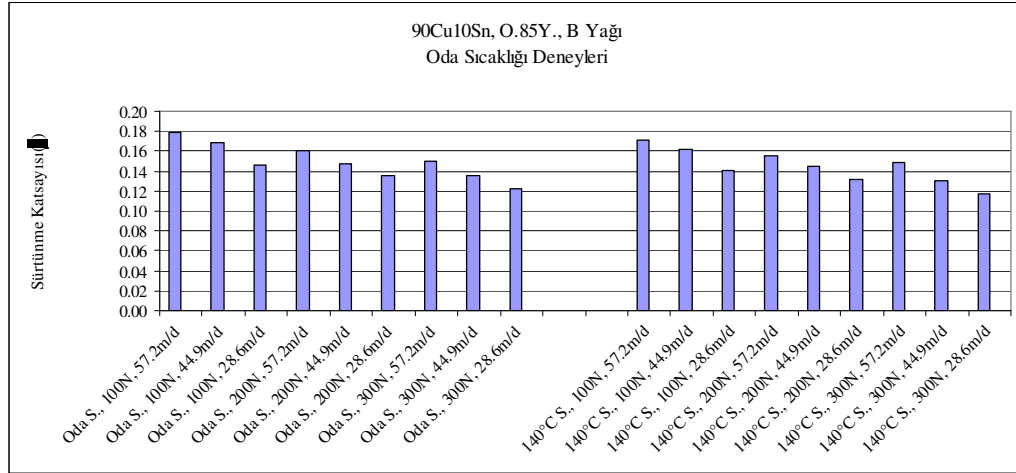


Şekil 4.43. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

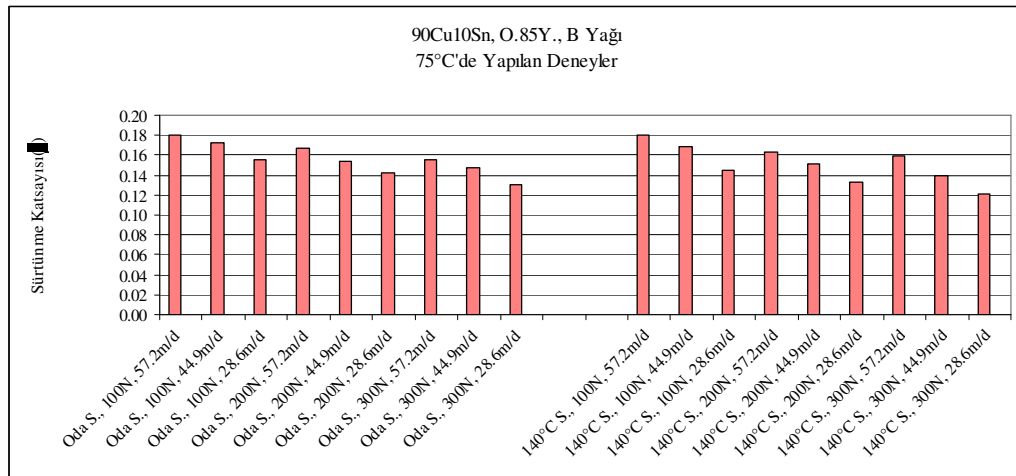
0.85 yoğunluğa sahip A Yağı emdirilmiş numuneler için oda sıcaklığında (Şekil 4.42) ve 75°C sıcaklıkta (Şekil 4.43) yapılan deneylerde de oda sıcaklığındaki sürtünme katsayılarının daha küçük olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığında oluşan en büyük sürtünme katsayısı $\pm 100\text{N}$ yük ve 57.2m/d hızda yaklaşık 0.17 iken en düşük sürtünme katsayısı, $\pm 300\text{N}$ yük ve 28.6m/d hızda yaklaşık 0.11 civarında meydana gelmiştir.

Ayrıca 0.80 yoğunluğa sahip numunelerin sürtünme katsayıları 0.85 yoğunluğa sahip numunelerin sürtünme katsayılarından daha düşüktür. Bu durum aşınma değerleriyle uyum göstermektedir.

90Cu10Sn kompozisyona sahip 0.85 yoğunlukta sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında ve 75°C'de yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de verilmektedir.



Şekil 4.44. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

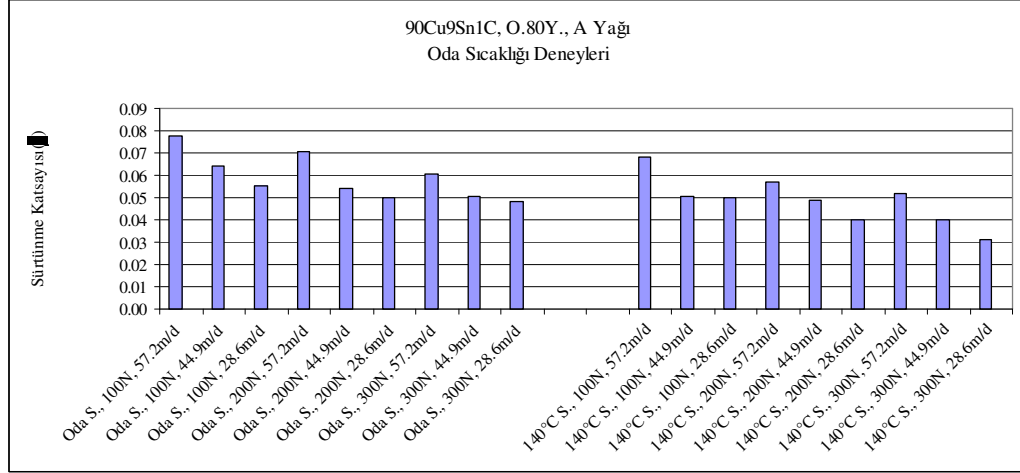


Şekil 4.45. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

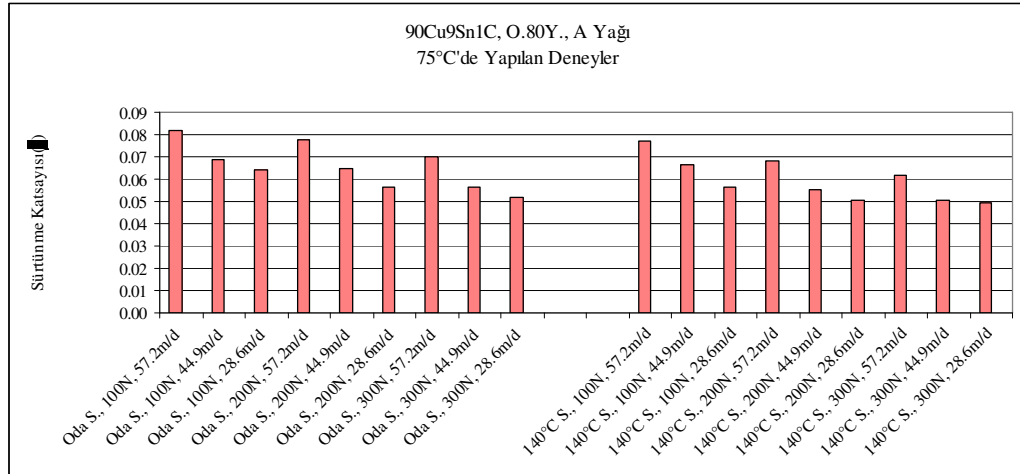
B Yağı emdirilen numuneler için oda sıcaklığında yapılan deneylerde en büyük sürtünme katsayısı 0.17 civarında olurken en düşük sürtünme katsayısı 0.11 civarında meydana gelmiştir. 75°C' de yapılan deneylerde oda sıcaklığında elde edilen sürtünme katsayılarına benzer şekilde 0.18 ve 0.12 değerleri elde edilmiştir. B Yağı emdirilen yataklardaki sürtünme katsayıları A Yağı emdirilen yatakların sürtünme katsayılarından daha düşük bulunmuştur.

4.4.2 Grafitli Kompozisyondaki Numunelerin Sürtünme Katsayıları

90Cu9Sn1C kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta sıkıştırılmış ve A Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında ve 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’de verilmektedir.



Şekil 4.46. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları



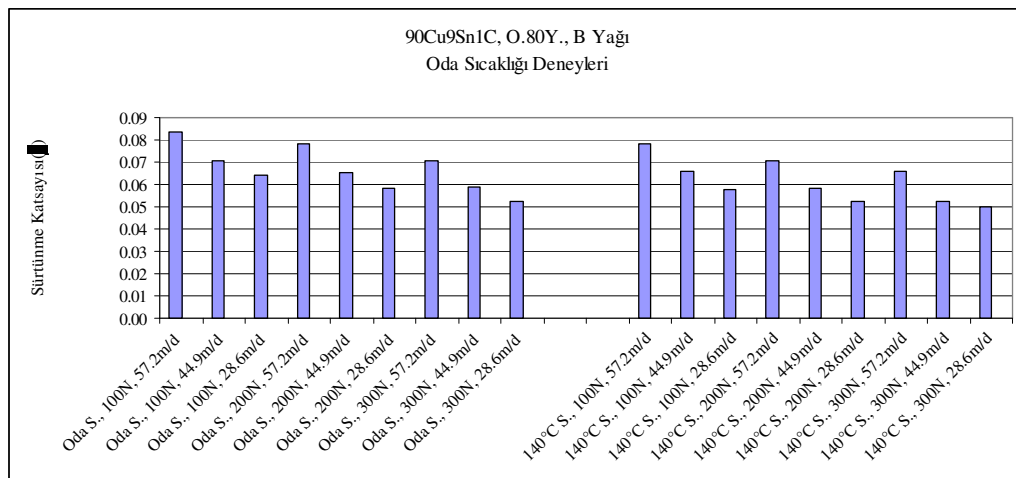
Şekil 4.47. 0.80 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde grafitin eklenmesiyle aşınma miktarlarında düşüş olduğu belirtilmişti. Sürtünme katsayıları da incelendiğinde grafit eklenmesiyle sürtünme katsayıları değerlerinde düşüş olduğu gözlenmektedir. German, 1984; Anonim, 1998; Büyükdavraz, 2000; Yanase, 2002 yaptıkları çalışmalarda yapıya eklenen grafitin katı yağlayıcı olarak görev yaptığını ve aşınmayı azaltıcı rol oynadığını belirtmişlerdir. Tüm grafikler incelendiğinde elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

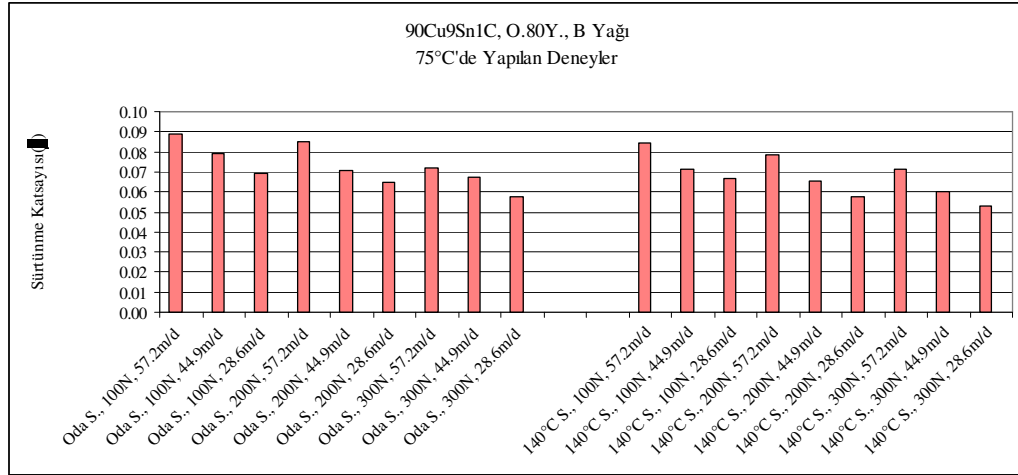
Şekil 4.46 ve 4.47 incelendiğinde oda sıcaklığında yapılan deneylerde hızın 44.9m/d'dan 57.2m/d'ya çıkmasıyla sürtünme katsayısında meydana gelen artma; hızın 28.6m/d'dan 44.9m/d'ya çıkmasıyla oluşan artmadan daha büyüktür. En büyük sürtünme katsayısı 0.077 civarında oluşurken en düşük sürtünme katsayısı 0.048 civarında meydana gelmiştir.

75°C'de yapılan deneylerde ise en büyük sürtünme katsayısı 0.082 olurken, en düşük sürtünme katsayısı 0.049 civarında oluşmuştur.

Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip 0.80 yoğunlukta sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.



Şekil 4.48. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları



Şekil 4.49. 0.80 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

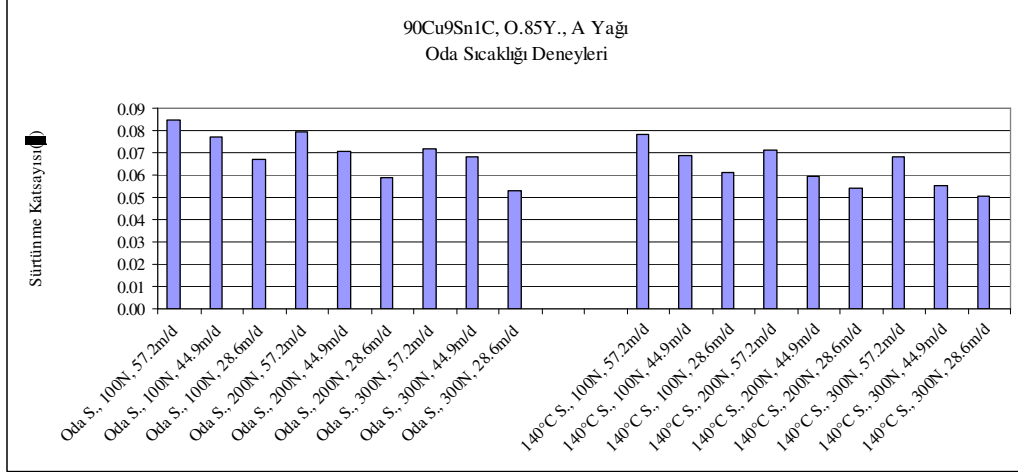
B Yağı emdirilmiş numuneler için çizilen grafiklere (Şekil 4.48 ve 4.49) bakıldığında en büyük sürtünme katsayısının oda sıcaklığında sıkıştırılan numuneler için tespit edildiği görülmektedir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler için en büyük sürtünme katsayısı 0.083 civarına olurken; 75°C'de yapılan deneylerde en büyük sürtünme katsayısı 0.088 civarında olmuştur.

Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip 0.85 yoğunlukta sıkıştırılmış ve A Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında ve 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.

Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de ise 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip 0.85 yoğunlukta sıkıştırılmış ve B Yağı emdirilmiş numunelerin oda sıcaklığında ve 75°C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri boyunca elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri verilmektedir.

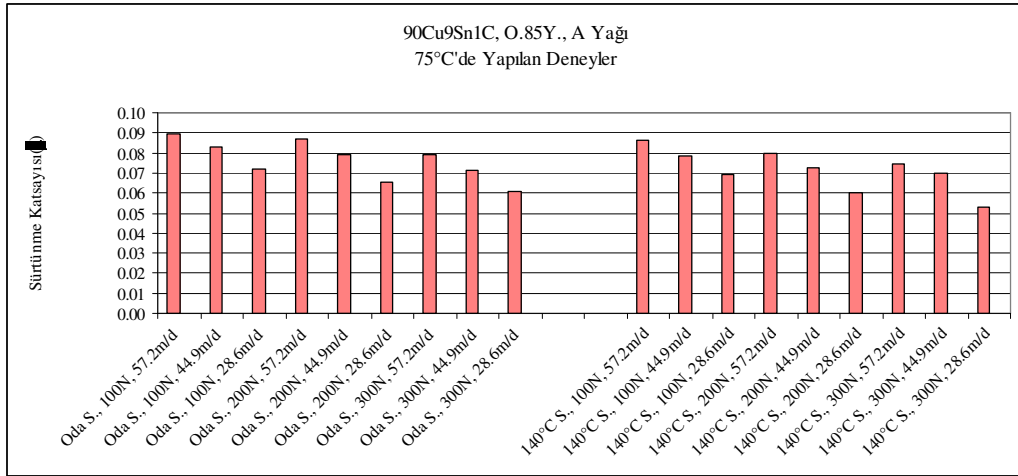
Şekil 4.50, 51, 52 ve 53 birlikte incelenirse daha önceki bulgulara benzer şekilde sürtünme katsayısı değerlerinin, oda sıcaklığından 75°C'ye çıkınca arttığı görülmektedir. Ayrıca, artan hız miktarıyla sürtünme katsayısının arttığı; aynı hızda

yapılan deneylerde artan yük miktarıyla sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir.

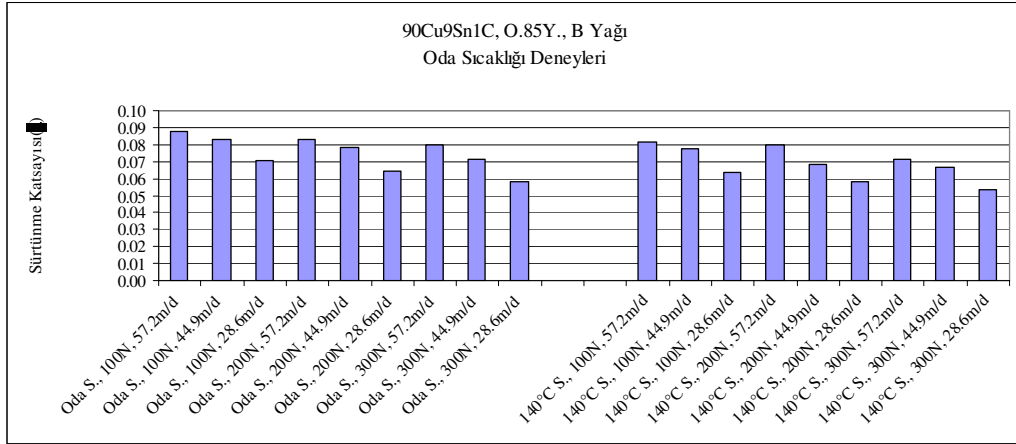


Şekil 4.50. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

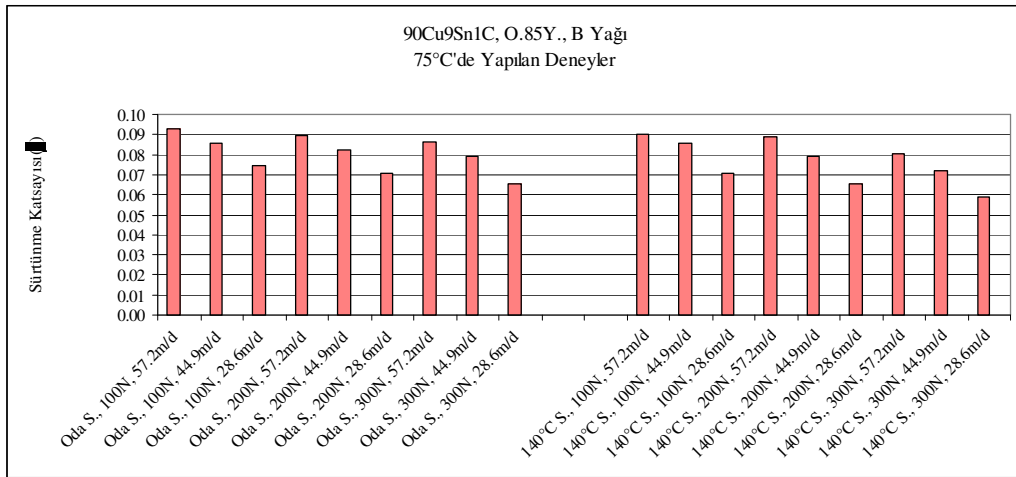
Şekil 4.50' de en büyük sürtünme katsayısı 0.084 olurken en küçük sürtünme katsayısı 0.05 civarında olmuştur. Şekil 4.171' de en büyük sürtünme katsayısı 0.089 olurken en küçük sürtünme katsayısı 0.053 civarında olmuştur.



Şekil 4.51. 0.85 yoğunlukta A Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları



Şekil 4.52. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

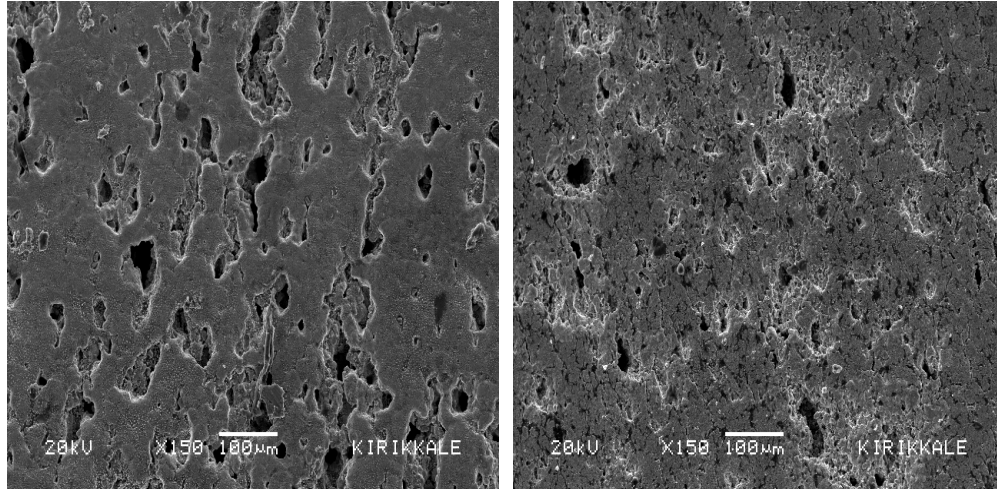


Şekil 4.53. 0.85 yoğunlukta B Yağı emdirilmiş 90Cu9Sn1C numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerdeki sürtünme katsayıları

B Yağı emdirilen numunelerin sürtünme katsayıları A Yağı emdirilen numunelerin sürtünme katsayılarından daha büyük çıkmıştır. Şekil 4.52’de en büyük sürtünme katsayısı 0.087 olurken; bu değer deney sıcaklığının 75°C’ye çıkmasıyla 0.092 değerine çıkmıştır (Şekil 4.53). En düşük sürtünme katsayısı, oda sıcaklığında yapılan deneylerde 0.053 olurken (Şekil 4.52); 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde 0.065’e çıkmıştır (Şekil 4.53).

4.5. Metalografik İncelemeler

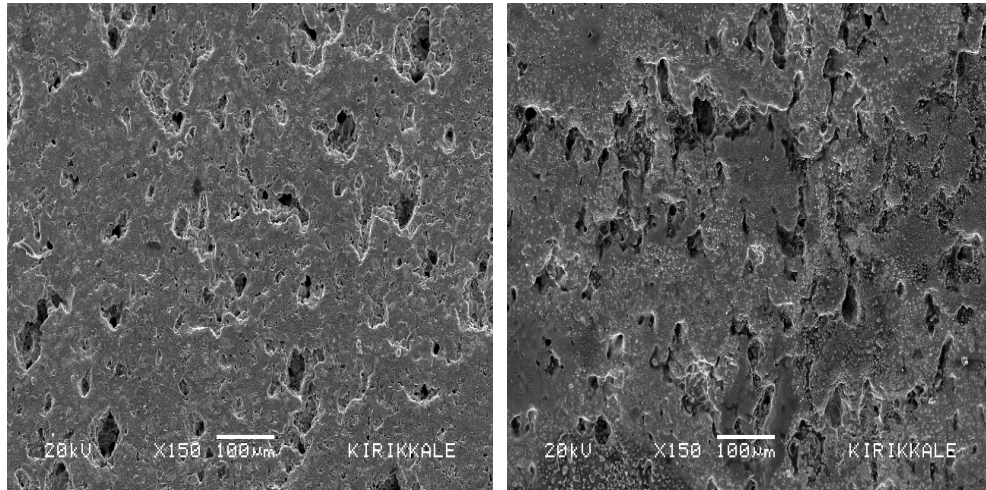
Yapılan SEM incelemelerinde mikro yapıda sıkıştırma basıncının artmasıyla gözenek miktarının azaldığı; aynı zamanda gözeneklerin küçüldüğü görülmüştür (Şekil 4.54 ve Şekil 4.55). Sıkıştırma basıncının artmasıyla yoğunluk artmaktadır. Yoğunluk artması gözenek miktarının azalmasına sebep olmaktadır (Anonim, 1998, German, 1984, Yılmaz, 2006).



(a)

(b)

Şekil 4.54. 90Cu10Sn kompozisyona sahip numunelerin SEM görüntüleri (a) 0.80 yoğunluk, (b) 0.85 yoğunluk

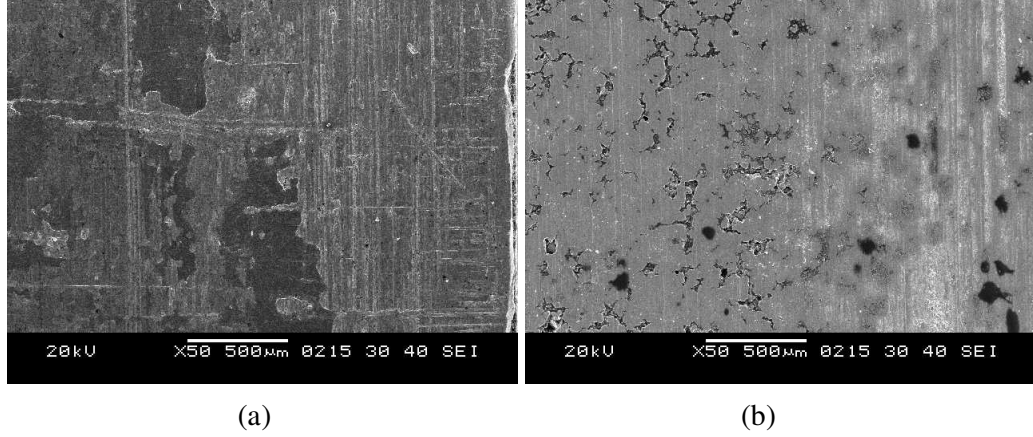


(a)

(b)

Şekil 4.55. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip numunelerin SEM görüntüleri (a) 0.80 yoğunluk, (b) 0.85 yoğunluk

Şekil 4.56' da 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında %85 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ ve $\pm 300\text{N}$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.

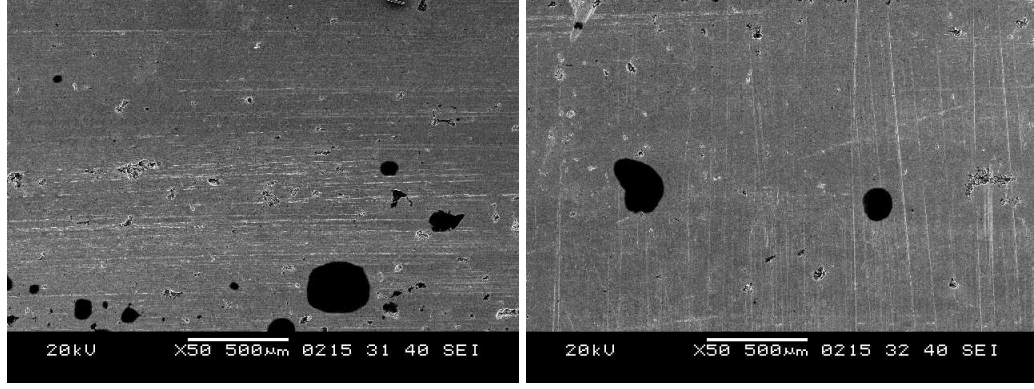


Şekil 4.56. Oda sıcaklığında, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100\text{N}$, (b) $\pm 300\text{N}$

SEM görüntülerinden de görüleceği üzere yükün $\pm 100\text{N}$ dan $\pm 300\text{N}$ 'a çıkmasıyla aşınma izlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum hem bu çalışmadaki aşınma miktarlarıyla hem de literatürle uyum içerisindedir.

Şekil 4.57' de 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında %85 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ ve $\pm 300\text{N}$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.

SEM fotoğraflarında görülen yüzeysel pulcuklar, yüzeylerde oluşan aşınmanın, adheziv aşınma olduğunun bir göstergesidir. Yine SEM fotoğrafları incelendiğinde aşınma çizgilerinin $\pm 100\text{N}$ yükte daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.56 ile birlikte incelendiğinde 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde kullanılan numunelerdeki aşınmanın daha fazla olduğu alınan SEM görüntülerinden de açık bir şekilde görülmektedir.

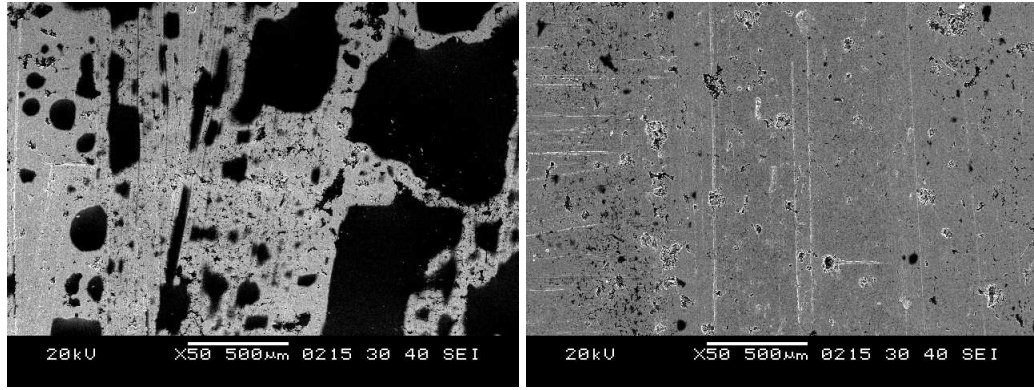


(a)

(b)

Şekil 4.57. Oda sıcaklığında, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100N$, (b) $\pm 300N$

Şekil 4.58' de 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında %80 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ ve $\pm 300N$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.



(a)

(b)

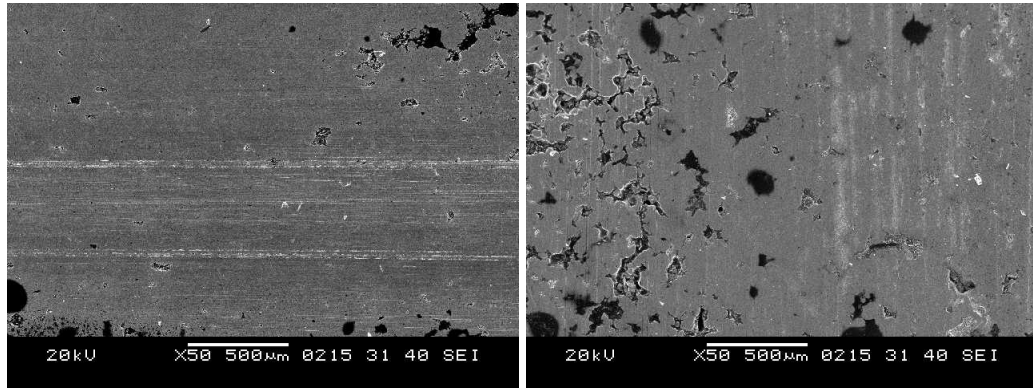
Şekil 4.58. Oda sıcaklığında, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100N$, (b) $\pm 300N$

Şekil 4.58 (a) da yatak yüzeyinde kalan ve geri emilemeyen yağlar da görülmektedir. Bu yağların emilememe sebebinin kalayın bakırla yeteri kadar difüze olamaması

olarak düşünölmektedir. Bakıra tam difüze olamayan kalayın, gözeneklerin üzerlerini kapatarak yağın geri emilimini etkilediği düşünölmektedir.

Şekil 4.58, Şekil 4.56 ile karşılaştırıldığında %85 yoğunluğa sahip numunelerde oluşan aşınma izlerinin %80 yoğunluktaki numunelerin aşınma izlerine göre daha belirgin olduğu görölmektedir. Bu da %85 yoğunluktaki numunelerin daha fazla aşındığının bir göstergesidir.

Şekil 4.59' da 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında %80 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ ve $\pm 300N$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.



(a)

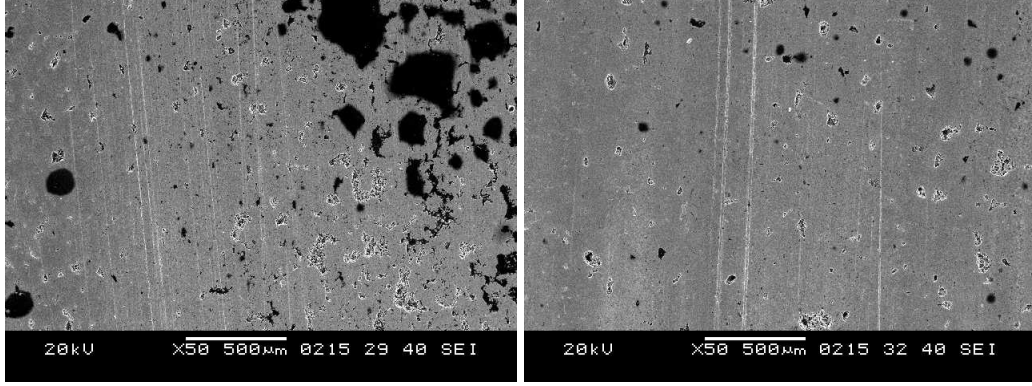
(b)

Şekil 4.59. Oda sıcaklığında, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100N$, (b) $\pm 300N$

Şekil 4.60' da 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C sıcaklıkta %85 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ ve $\pm 300N$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.

SEM görüntüleri incelendiğinde oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelere benzer bir durumla karşılaşılmıştır. Bununla birlikte oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelerin

aşınma fotoğraflarına göre aşınma izlerinin daha az olduğu da görülmektedir. Bu durum aşınma miktarlarıyla uyum içerisindedir.

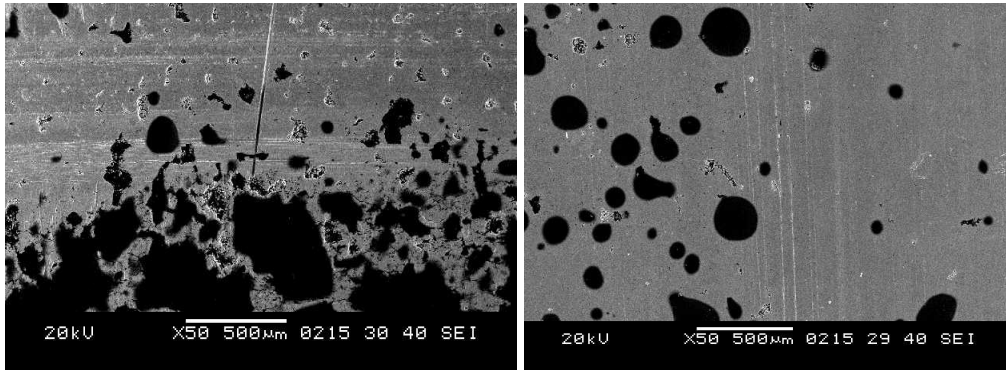


(a)

(b)

Şekil 4.60. 140°C sıcaklıkta, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100N$, (b) $\pm 300N$

Şekil 4.61' de 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C sıcaklıkta %85 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda, $\pm 100N$ ve $\pm 300N$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.

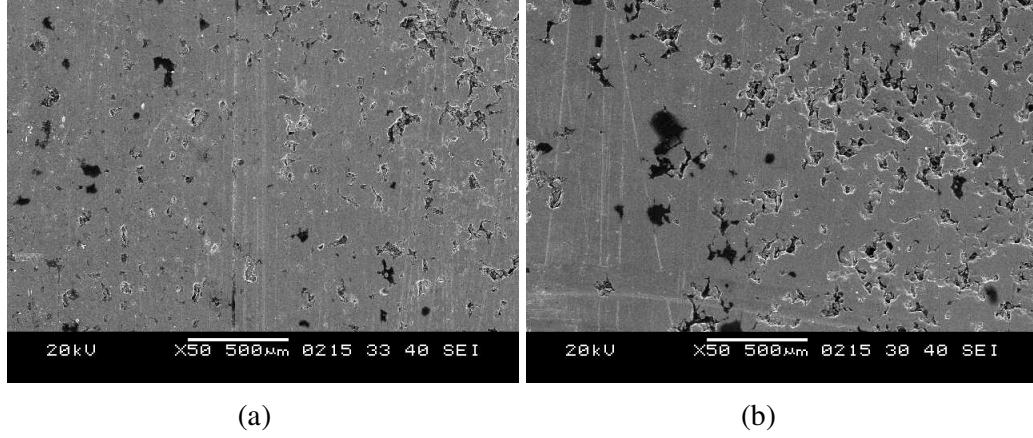


(a)

(b)

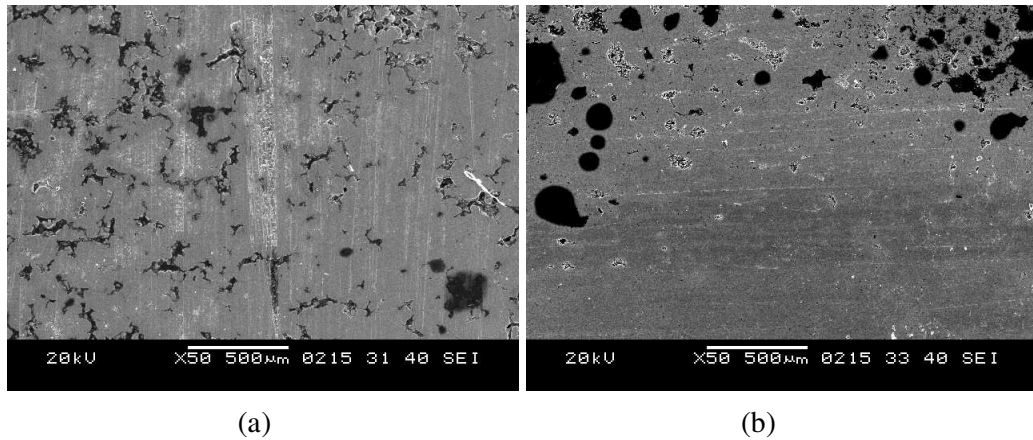
Şekil 4.61. 140°C sıcaklıkta, 0.85 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100N$, (b) $\pm 300N$

Şekil 4.62' de 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C sıcaklıkta %80 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ ve $\pm 300\text{N}$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 4.62. 140°C sıcaklıkta, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin 75°C sıcaklıkta, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100\text{N}$, (b) $\pm 300\text{N}$

Şekil 4.63' de 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C sıcaklıkta %80 yoğunlukta sıkıştırılmış numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda, $\pm 100\text{N}$ ve $\pm 300\text{N}$ yük altında yapılan aşınma deneyi neticesinde yüzeyden alınan SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 4.63. 140°C sıcaklıkta, 0.80 son yoğunlukta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin oda sıcaklığında, 44.9m/d hızda yapılan deneylerdeki aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (a) $\pm 100\text{N}$, (b) $\pm 300\text{N}$

4.6. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modelleme Yapılması

Aşınma miktarlarının modellenebilmesi amacıyla grafitli ve grafitsiz kompozisyonlar için iki farklı ağ kurulmuştur.

Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçları değerlendirmek ve aşınma miktarını önceden kestirebilmek amacıyla MATLAB 7.0TM'in Toolboxes'ında bulunan Neural Network penceresinden yararlanılmıştır.

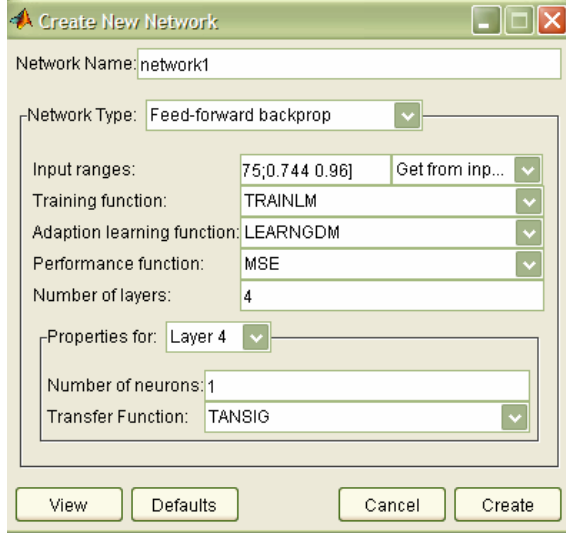
Yapay Sinir Ağları metodunun kullanılabilmesi için tüm verilerin 0 ile 1 arasına indirgenmeleri gerekmektedir. Bu nedenle tüm veriler normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla kendi sınıflarında bütün değerler en büyük rakama bölünmüşlerdir.

Hem grafitli kompozisyon için hem de grafitsiz kompozisyon için girdi bilgileri olarak; yoğunluk, basma sıcaklığı, uygulanan yük, hız, yol, deney sıcaklığı ve emdirilen yağ değerleri alınmıştır. Çıktı bilgisi de doğal olarak aşınma miktarlarıdır.

Deneyler sonucunda elde edilen verilerin %80'i eğitim amaçlı, %20'si ise test amaçlı olarak kullanılmıştır. Verilerin ayrılması işlemi belirli bir kurala göre yapılmamış olup; rasgele yapılmıştır.

4.6.1. Grafitsiz Kompozisyona Sahip Numunelerin Aşınma Değerlerinin Modellemesi

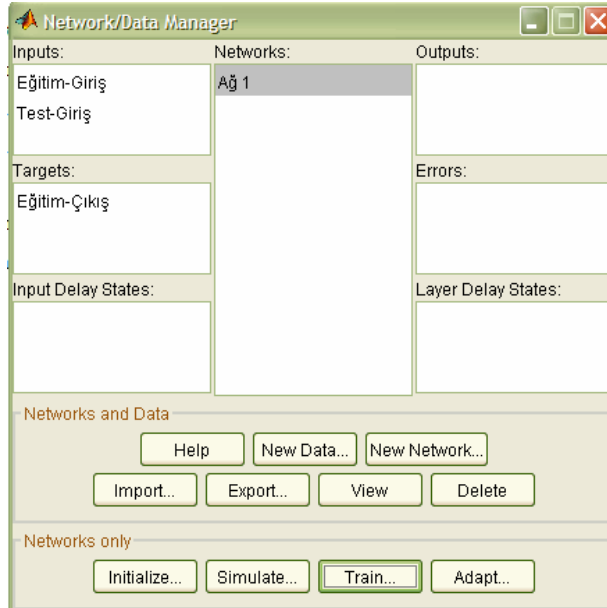
Verilerin eğitim ve test amaçlı olarak ayrılması işleminden sonra MATLAB 7.0TM'in Toolboxes'ında bulunan Neural Network aracında veri dosyaları oluşturulmuştur. Ağ modeli olarak; ileri beslemeli 4 katmanlı bir YSA seçilmiştir. Oluşturulan ağın teknik detayları Şekil 4.64'de gösterilmektedir.



Şekil 4.64. Oluşturulan yapay sinir ağının özellikleri

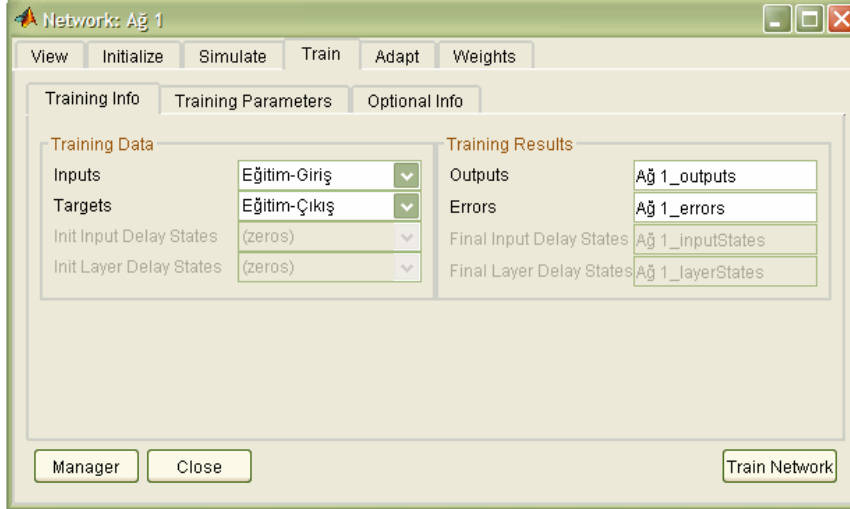
Şekil 4.64’de gösterilen yapay sinir ağında ikisi gizli katman olmak üzere toplam dört katman bulunmaktadır. Her bir katmanda sırasıyla 7-7-5-1 sayısında nöronlar bulunmaktadır.

Eğitim ve test amaçlı olarak ayrılan veriler Şekil 4.65’de görüldüğü gibi MATLAB ortamına aktarılmıştır.



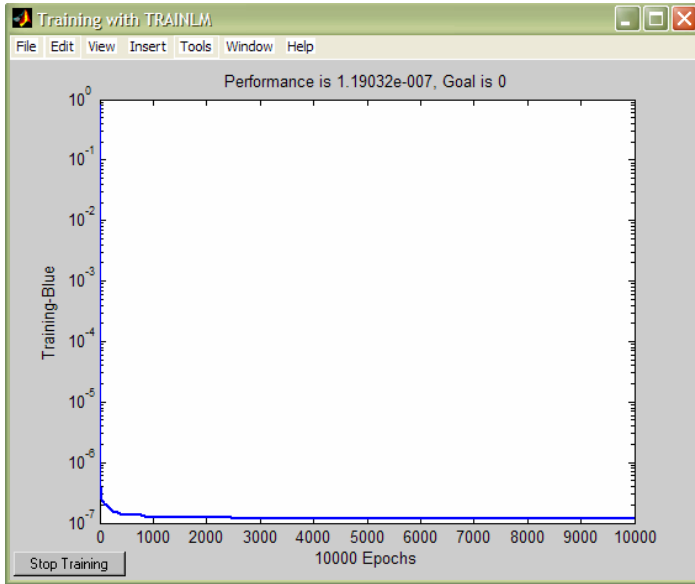
Şekil 4.65. Eğitim ve test amaçlı kullanılan verilerin MATLAB ortamına aktarılması

Ağın eğitilebilmesi için Inputs verileri olarak Eğitim-Giriş ve Targets verileri için de Eğitim-Çıkış verilerinin seçilmesi gerekmektedir (Şekil 4.66).



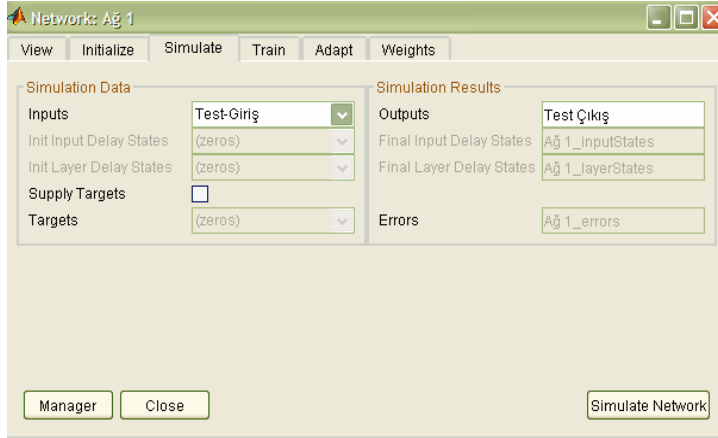
Şekil 4.66. YSA'nın Eğitim-Giriş ve Eğitim-Çıkış verileriyle eğitim aşamasına hazırlanması

Verilerin girilmesinden sonra kurulan ağ eğitilmiştir. Eğitim işleminin grafiksel gösterimi Şekil 4.67'de gösterilmektedir.



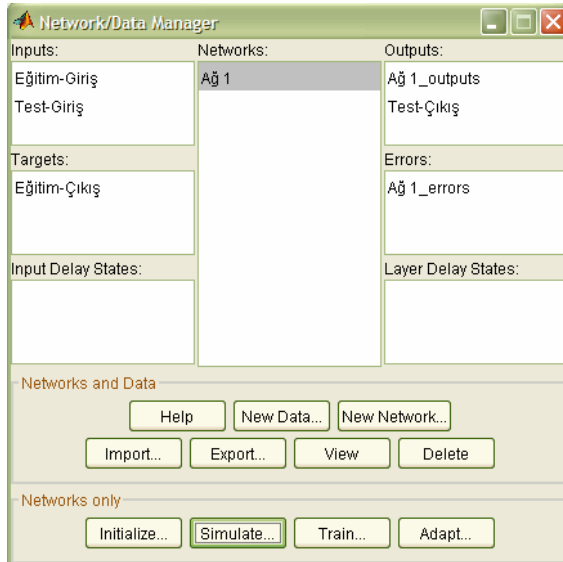
Şekil 4.67. Kurulan YSA'nın eğitilmesi

Kurulan yapay sinir ağının eğitime işleminin tamamlanmasından sonra eğitime işleminin ne kadar doğru yapıldığının test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla test amaçlı olarak ayrılan Test-Giriş verileri, eğitilen yapay sinir ağına girdi olarak sunulmuştur ve ağın, bu girdileri öğrendiği algılama metoduna göre uyarlaması komutu(Simulate) verilmiştir (Şekil 4.68).



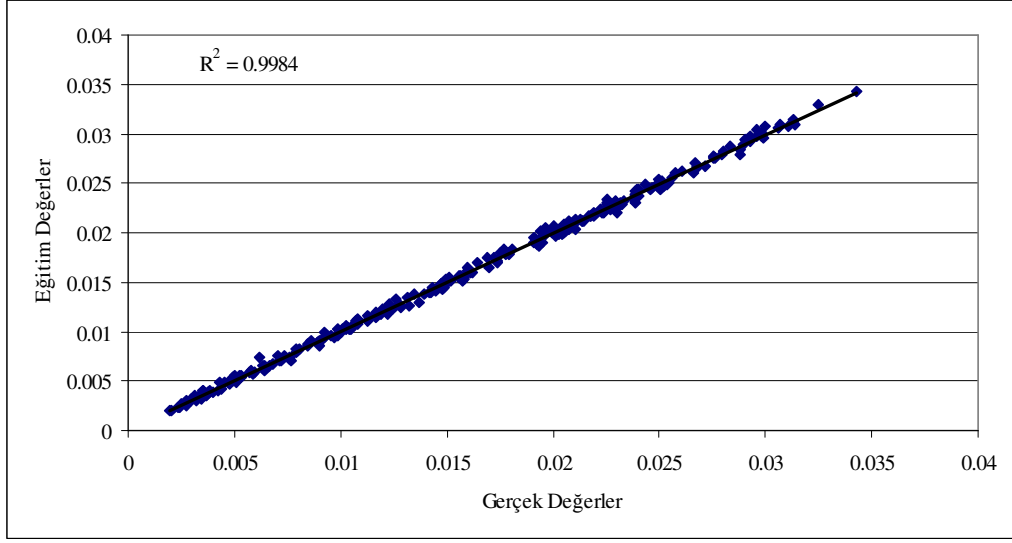
Şekil 4.68. Kurulan ağın test edilmesi

Yapılan Simulate işlemi sonucunda Şekil 4.69' da gösterilen Network/Data Manager penceresinden Test-Çıkış değerleri alınır.



Şekil 4.69. Eğitilen ağdan Test-Çıkış verilerinin alınması

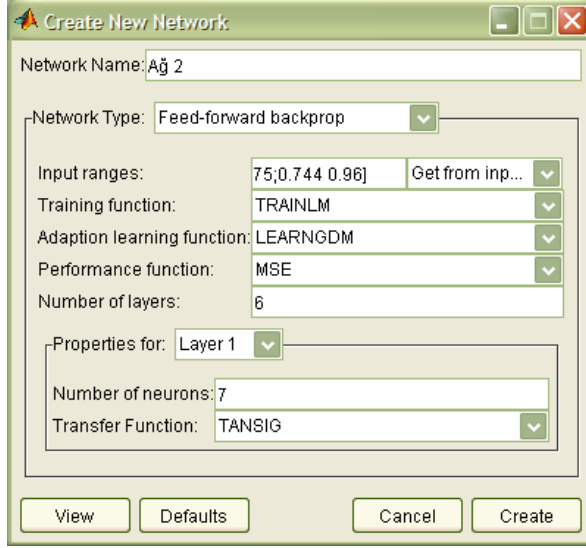
Kurulan ve eğitilen Yapay Sinir Ağı'ndan elde edilen test verileri ile Test-Giriş verilerine bağlı olarak gerçekte yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.70'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde grafitsiz kompozisyona sahip numunelerin aşınma değerlerinin, kurulan ağ yardımıyla %99.84 doğrulukla tahmin edilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.70. Kurulan ağdan elde edilen sonuçlarla deneysel yolla elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

4.6.2. Grafitli Kompozisyona Sahip Numunelerin Aşınma Değerlerinin Modellenmesi

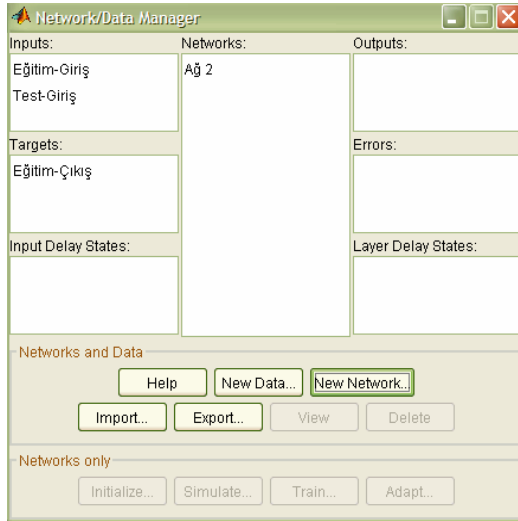
Grafitli kompozisyona sahip numuneler için ağ modeli olarak; ileri beslemeli 6 katmanlı bir YSA seçilmiştir. Oluşturulan ağın teknik detayları Şekil 4.71'de gösterilmektedir.



Şekil 4.71. Oluşturulan yapay sinir ağının özellikleri

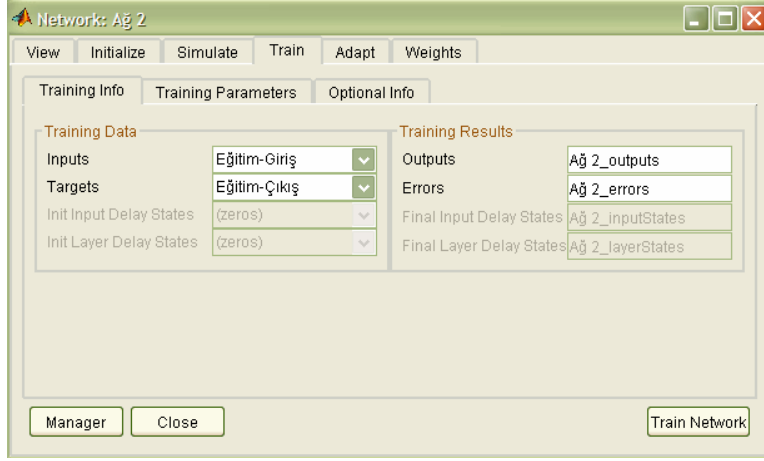
Şekil 4.71’de gösterilen yapay sinir ağında dördü gizli katman olmak üzere toplam altı katman bulunmaktadır. Her bir katmanda sırasıyla 7-7-7-7-7-1 sayısında nöronlar bulunmaktadır.

Eğitim ve test amaçlı olarak ayrılan veriler Şekil 4.72’de görüldüğü gibi MATLAB ortamına aktarılmıştır.



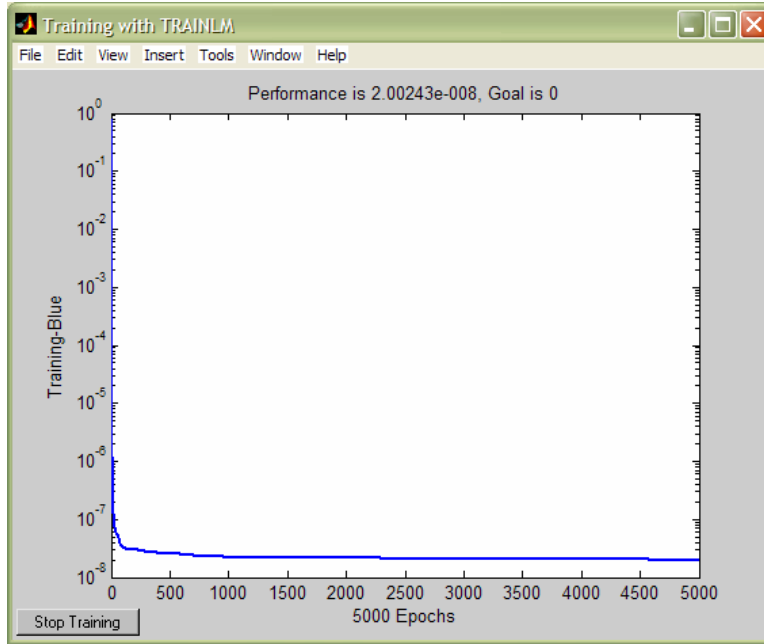
Şekil 4.72. Eğitim ve test amaçlı kullanılan verilerin MATLAB ortamına aktarılması

Ağın eğitilebilmesi için Inputs verileri olarak Eğitim-Giriş ve Targets verileri için de Eğitim-Çıkış verilerinin seçilmesi gerekmektedir (Şekil 4.73).



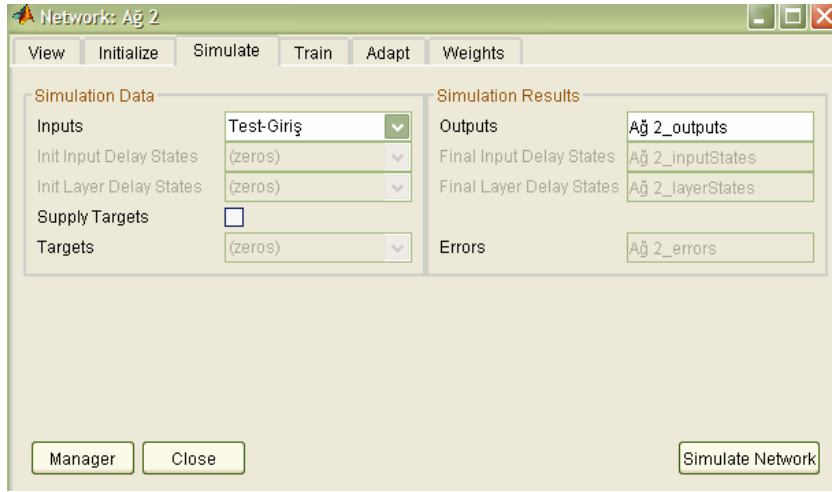
Şekil 4.73. YSA'nın Eğitim-Giriş ve Eğitim-Çıkış verileriyle eğitim aşamasına hazırlanması

Verilerin girilmesinden sonra kurulan ağ eğitilmiştir. Eğitim işleminin grafiksel gösterimi Şekil 4.74'de gösterilmektedir.



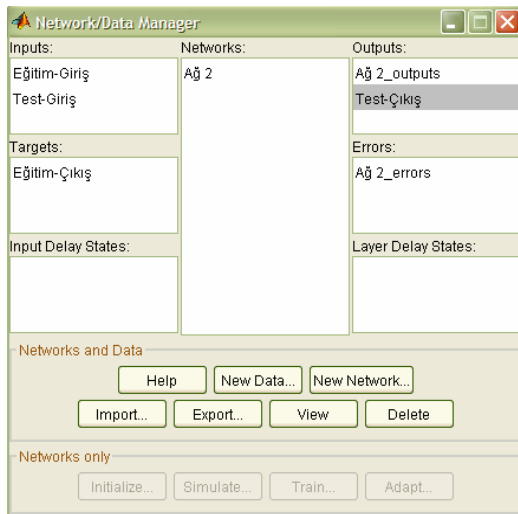
Şekil 4.74. Kurulan YSA'nın eğitilmesi

Kurulan yapay sinir ağının eğitime işleminin tamamlanmasından sonra eğitime işleminin ne kadar doğru yapıldığının test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla test amaçlı olarak ayrılan Test-Giriş verileri, eğitilen yapay sinir ağına girdi olarak sunulmuştur ve ağın, bu girdileri öğrendiği algılama metoduna göre uyarlaması komutu(Simulate) verilmiştir (Şekil 4.75).



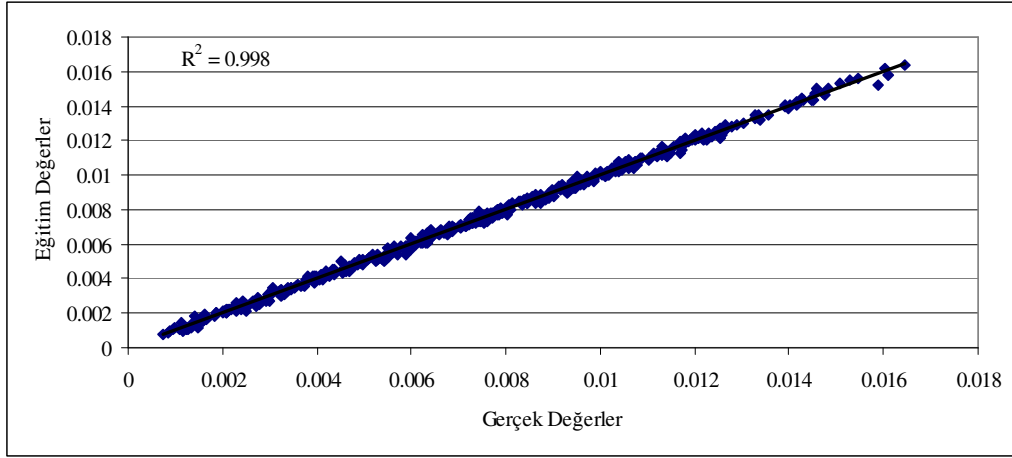
Şekil 4.75. Grafitle kompozisyon için kurulan ağın test edilmesi

Yapılan Simulate işlemi sonucunda Şekil 4.76' da gösterilen Network/Data Manager penceresinden Test-Çıkış değerleri alınmaktadır.



Şekil 4.76. Eğitilen ağdan Test-Çıkış verilerinin alınması

Kurulan ve eğitilen ağdan elde edilen test verileri ile Test-Giriş verilerine bağlı olarak gerçekte yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.77’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde grafitsiz kompozisyona sahip numunelerin aşınma değerlerinin, kurulan ağ yardımıyla %99.8 doğrulukla tahmin edilebileceği görülmüştür.



Şekil 4.77. Kurulan ağdan elde edilen sonuçlarla deneysel yolla elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada pratikte yaygın olarak kullanılan T/M esaslı kendinden yağlamalı kaymalı yatakların aşınma özellikleri incelenmiş olup; deney sıcaklığının, mesafenin, malzeme kompozisyonunun, hızın, yatak yükünün, emdirilen yağ cinsinin, basma sıcaklığının ve ortam sıcaklığının aşınma miktarlarına etkileri araştırılmıştır.

- Üretilen kalıp ve fırın sayesinde farklı sıcaklıklarda numune üretmek mümkün olmaktadır. Sıcaklık kontrol ünitesinin yardımıyla istenilen sıcaklık $\pm 2^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle sağlanabilmektedir.
- Numunelerin hazırlanması aşamasında sıkıştırma basıncının artmasıyla yoğunluk artmıştır. Grafitless kompozisyona sahip ve oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelerde %80 son yoğunluktaki numunelerin sıkıştırma basıncı 440.14MPa iken yoğunluğun %85'e çıkmasıyla sıkıştırma basıncı 670.12MPa'a çıkmıştır.

140°C sıcaklıkta sıkıştırılan numunelerde sıkıştırma basıncı, %80 yoğunluktaki numunelerde 396.52MPa olurken; yoğunluğun %85'e çıkmasıyla bu değer 610.65MPa'a çıkmıştır. Grafitli kompozisyondaki numuneler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Özetlenecek olursa yoğunluğun artmasıyla birlikte sıkıştırma basıncı artmıştır. Numunelerin hazırlanması esnasında yapıya ilave edilen grafit, hem kalıp ile tozlar arasında hem de tozların sıkışma esnasında kendi arasında oluşan sürtünmeyi azaltıcı rol oynadığı için sıkıştırma basıncının azalmasına yol açmıştır. Benzer değerler kalıptan çıkarma basıncı için de geçerlidir.

- Deney numunelerinin hazırlanması esnasında basma sıcaklığının, sıkıştırma basıncı üstüne etkileri belirlenmiştir. Buna göre, %80 yoğunlukta ve %90Cu+%10Sn kompozisyona sahip numunelerin; basma sıcaklığının oda sıcaklığından 140°C'ye çıkarılmasıyla sıkıştırma basıncı 440.14MPa'dan 396.12MPa'a düşmüştür. Sıkıştırma basıncında yaklaşık %10'luk bir azalma meydana gelmiştir.

%85 yoğunluğa sahip, %90Cu+%10Sn kompozisyondaki numunelerin sıkıştırma basıncı oda sıcaklığında 670.12MPa olurken bu değer 140°C sıcaklık için 610.65MPa olarak belirlenmiştir. Sıkıştırma basıncındaki azalma yaklaşık %9 civarındadır.

%80 yoğunlukta ve %90Cu+%9Sn+%1C kompozisyona sahip numunelerde ise oda sıcaklığındaki sıkıştırma basıncı 415.35MPa olurken, basma sıcaklığının 140°C'ye çıkarılmasıyla sıkıştırma basıncı 388.59MPa'a düşmüştür. Dolayısıyla basma sıcaklığının artmasıyla sıkıştırma basıncında yaklaşık %7'lik bir azalma meydana gelmiştir.

%85 yoğunlukta ve %90Cu+%10Sn kompozisyona sahip numunelerin basma sıcaklığının oda sıcaklığından 140°C'ye çıkarılmasıyla sıkıştırma basıncı 670.12MPa'dan 610.65MPa'a düşmüştür. Sıkıştırma basıncında yaklaşık %9'luk bir azalma meydana gelmiştir.

%85 yoğunlukta ve %90Cu+%9Sn+%1C kompozisyona sahip numunelerde ise oda sıcaklığındaki sıkıştırma basıncı 610.65MPa olurken, basma sıcaklığının 140°C'ye çıkarılmasıyla sıkıştırma basıncı 580.91MPa'a düşmüştür. Dolayısıyla basma sıcaklığının artmasıyla sıkıştırma basıncında yaklaşık %7'lik bir azalma meydana gelmiştir.

- Yapılan mikro yapı çalışmalarında, sıkıştırma basıncının artmasıyla gözenek miktarının azaldığı; %85 yoğunluğa sahip numunelerde %80 gözenekliliğe sahip numunelere nazaran daha az gözenek bulunduğu görülmektedir.
- Sıkıştırma sıcaklığının oda sıcaklığından 140°C'ye çıkarılmasıyla, sıkıştırma basınçlarında meydana gelen azalmalar, numunelerin kalıptan çıkarılması için uygulanan basınçlarda da görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen kalıptan çıkarma basınçlarının değerleri, sıkıştırma basınçlarının yaklaşık %4-6 arasındadır. Ayrıca sıkıştırma basıncı arttıkça kalıptan çıkarma basıncı da artmaktadır.
- Numunelerin hazırlanmasından sonra yağ emdirme işlemine geçilmiştir. Yağ emdirme işlemi 80°C sıcaklıkta 8 saat bekleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yoğunluklarına bağlı olarak yağ emme miktarları farklılık

göstermektedir. Yapılan ölçümler neticesinde %80 yoğunluğa sahip numunelerin yapılarındaki gözenek miktarı daha fazla olduğu için %85 yoğunluktaki numunelere oranla daha fazla yağ emdikleri tespit edilmiştir.

Numunelere emdirilen yağlardan ticari olarak satılan A Yağının emiliminin yine ticari olarak satılan B Yağına göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Çizelge 3,3'ten de görüleceği üzere 80°C'de yapılan viskozite ölçümlerinde A Yağının kinematik viskozitesi 29.1cSt olurken, B Yağının kinematik viskozitesi 47.98cSt olarak çıkmıştır. Yağ emdirme işlemlerinin yapıldığı 80°C'da A Yağı daha incedir. Böylece A Yağı, B Yağına göre daha fazla gözeneğe dolmuştur. Sonuç olarak A Yağının emiliminin daha iyi olmasının sebebi olarak, 80°C'da A Yağının daha ince olması düşünülmektedir.

Yağ emdirme işlemleri sırasında yapılan ölçümlerde, grafitli kompozisyona sahip numunelerin grafitsiz numunelere oranla daha az yağ emdiği ortaya çıkmıştır.

Aynı şartlar altında yapılan deneylerde, kullanılan numunenin yoğunluğunun artmasıyla aşınma miktarı artmaktadır.

Yapılan deneylerde genel olarak, deney milinin hızının artmasıyla aşınma miktarı artmaktadır. Deneysel çalışmalar için belirlenen tüm şartlarda en büyük aşınma değerleri 57.2m/d hızda meydana gelirken; en küçük aşınma değerleri 28.6m/d hızda oluşmuştur.

Uygulanan yüke göre aşınma miktarları incelendiğinde en büyük aşınmanın $\pm 100N$ yükte, en düşük aşınmanın $\pm 300N$ yükte meydana geldiği görülmektedir.

Aynı şartlarda deneye tabi tutulan numunelerden grafitli kompozisyona sahip numuneler grafitsiz kompozisyondaki numunelere göre daha az aşınmışlardır. Grafit katı yağlayıcı görevi üstlenmekte ve aşınmayı azaltmaktadır.

Bunun yanında A yağı emdirilen numunelerin B Yağı emdirilen numunelere göre daha az aşındığı görülmüştür.

Yine yapılan deneysel çalışmalardan 75°C’da yapılan deneylerde meydana gelen aşınma miktarlarının, oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen aşınma miktarlarına göre daha büyük çıktığı görülmüştür. Yapılan SEM çalışmalarından da 75°C sıcaklığında deneye tabi tutulan yatakların yüzeylerinde oluşan çizgilerin daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sürtünme katsayılarının da 75°C’da arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış numunelerin, oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelerden bir miktar daha fazla yağ emdikleri ve buna bağlı olarak da aşınma miktarlarının daha az olduğu belirlenmiştir. Yapılan SEM çalışmalarında da oda sıcaklığında sıkıştırılan numunelerin çalışma yüzeylerinde meydana gelen çiziklerin, 140°C sıcaklıkta sıkıştırılan numunelerin çalışma yüzeylerinde oluşan çiziklerden daha fazla olduğu görülmüştür. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılan numunelerin Şekil 4.158-Şekil 4.173 arasında gösterilen sürtünme katsayılarının daha düşük çıkması da bu durumu destekler niteliktedir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sırasında meydana gelen sürtünme katsayıları da belirlenmiş olup; tüm deneyler içinde en büyük sürtünme katsayısı, 90Cu10Sn kompozisyon ve %85 yoğunlukta, oda sıcaklığında sıkıştırılan, B Yağı emdirilen numunelerin 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerinde 57.2m/d hız ve $\pm 100N$ yükte 0.18 olarak belirlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısı ise 90Cu9Sn1C kompozisyon ve %80 yoğunlukta, 140°C sıcaklıkta sıkıştırılan, A Yağı emdirilen numunelerin oda sıcaklığında yapılan deneylerinde 28.6m/d hız ve $\pm 300N$ yükte 0.031 olarak belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen sürtünme katsayıları aşınma miktarlarını destekler niteliktedir.

Aşınma miktarlarında olduğu gibi sürtünme katsayıları da artan hız miktarı ile artarken; artan yük miktarıyla sürtünme katsayılarında düşmeler olduğu görülmüştür.

75°C’de yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayıları; oda sıcaklığında aynı şartlarda, yapılan deneylerdeki sürtünme katsayılarından daha büyüktür.

Grafitli kompozisyona sahip olan numunelerin sürtünme katsayıları, grafitsiz kompozisyona sahip olan numunelerin sürtünme katsayılarından düşüktür.

140°C’de sıkıştırılan numunelerin sürtünme katsayıları; oda sıcaklığında sıkıştırılan aynı şartlarda deneye tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayılarından düşük çıkmıştır.

- Bu tezde, T/M esaslı kaymalı yatakların aşınma miktarları Yapay Sinir Ağları yöntemiyle modellenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla grafitsiz ve grafitli kompozisyona sahip numuneler için iki farklı ağ kurulmuştur.

Her iki kompozisyon için de giriş değerleri olarak malzeme yoğunluğu, basma sıcaklığı, numunelere uygulanan yük, milin dönme hızı, alınan yol, deney sıcaklığı ve emdirilen yağların viskozite indeksleri kullanılmıştır. Çıkış değerleri ise aşınma miktarlarıdır.

Yapılan farklı katman ve nöron sayılı eğitim ve test çalışmaları sonucunda, grafitsiz kompozisyona sahip numuneler için en iyi sonuç; dört katmanlı ve sırasıyla katmanlarında 7-7-5-1 sayıda nöron bulunan, 10000 Epochs sayısında kurulan Ağ 1 için %99.84 (Şekil 4.190) doğrulukla elde edilmiştir.

Grafitli kompozisyona sahip numuneler için en iyi sonuç ise altı katmanlı ve her katmanında sırasıyla 7-7-7-7-7-1 sayıda nöron bulunan Ağ 2’de 5000 Epochs sayısında yapılan eğitim ve test neticesinde %99.8 doğrulukla elde edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçların, çok geniş bir kullanım alanı bulunan kendi kendini yağlayan gözenekli bronz yatakların, çeşitli şartlarda kullanılmaları durumunda aşınma miktarlarını tahmin edebilme açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada belirlenen şartlar dışında(farklı hızlarda, farklı deney sıcaklıklarında vs.) yapılacak deneylerde veya eldeki yatakların farklı kullanım şartlarındaki aşınma miktarlarının tespit edilebilmesi amacıyla, kurulan bu ağların gerekli değişiklikler yapılarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

5.2. Öneriler

1. Farklı sıcaklıklarda yatak üretiminin maliyet kısmının araştırılması önem taşımaktadır.
2. T/M esaslı yatakların kullanım alanlarının genişletilebilmesi için çalışma konusu olarak bu çalışmada kullanılan yük, hız, yol vd. miktarlarının üzerinde çalışılması ele alınabilir.
3. Farklı şartlar için emdirilen yağ miktarlarının, gözenek yapısının mikro boyutlarıyla nasıl değiştiği araştırma konusu olabilir.
4. Yatakların ömür tayini açısından, yorulma deneylerinin sabit PV şartlarında yapılması ve hasar oluşum sürelerinin belirlenmesi, araştırma konusu olarak düşünülmelidir.
5. Bu çalışmada kullanılan tozlar ön alaşımlandırılmamış tozlar olup, benzer çalışmaların ön alaşımlandırılmış tozlar kullanılarak yapılması, tozların kullanım şekilleri açısından önemli olabilecektir.
6. Çift yönlü sıkıştırma işlemi uygulanarak, yatak malzemelerindeki yoğunluk değişimi ve yağ emme kabiliyetleri incelenerek; aşınma miktarları araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt M., 1990, Makine Elemanları, Cilt I, Birsen Yayınevi, 439s. İstanbul.
- Allahverdi, N. 2002. Uzman Sistemler Bir yapay Zeka Uygulaması. Atlas Yayıncılık, 248s. İstanbul.
- Arslan, F., Cinbat, S., Dönmez, A. G., 1996. Gözenekli Bronz Yatak İmalinde Üretim Parametrelerinin Yatak Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.429–441, Ankara.
- Anonim, 1978. Türk Standartları, Toz Metalurjisi Terimler. TS 3087.
- Anonim, 1998. ASM Metals Handbook, Powder Metal Technologies and Applications. Vol.7 ASM International, 1146p. U.S.A
- Anonim, ASTM Standart Specifacations for Sintered Bronze Bearing (Oil-İmpregnated) (Metrik, B 438 M84 s. 186-191).
- Avner, H.,1994. Powder Metallurgy. Prentice Hall s.605-607, 614-615. New York
- Babalık, C. F., 1997. Makina Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri. U.Ü. Güçlendirme Vakfı, No:17, 367s. Bursa.
- Baksan, B., Gürler, R., 2003. Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması. Savunma Sanayiinde Arge ve Tasarım Semineri, 3 CD T.C.Milli Savunma Bakanlığı, Ankara.
- Batar, H., 2005. EEG İşaretlerinin Dalgacık Analiz Yöntemleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi F.B.E. 89s.
- Baylar, A., Emiroğlu, M.E., Arslan, A., 1999. Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Yanal Su Alma Yapısına Yönelecek Olan Sürüntü Maddesi Oranının Bulunması. D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 1, sayı 2, s.1-12.
- Bolat, B., 2005. Recognition of The Reed Instrument Sounds by Using Statistical Neural Networks, Journal of Engineering and Natural Sciences, v.2, p.36-41.
- Boz, K., Kurt A., 1999. Toz Metal Bronz Balata Malzemelerinin Aşınma Özellikleri. 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.467-474, O.D.T.Ü., Ankara.
- Boz, K., Kurt A., 2006. Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, C-21, No 1, 115-121.

- Büyükdavraz, M., 2000. Sinter Bronz Yatakların Tribolojisi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi(yayınlanmamış), 76s, Isparta.
- Carpenter, H. C. H., Robertson, J. M., 1930. The Metallography of Some Ancient Egyptian Implements. J. Iron Steel Inst, Vol. 121, p.417-448,
- Ceschini, L., Palombarini, G., Sambogna, G., Firrao, D., Scavino, G., Ubertaini, G., 2005. Friction and Wear Behaviour of Sintered Steels Submitted to Sliding and Abrasion Tests. Tribology International.V.??? 1-8.(Article In Press)
- Chandrasekaran, M., Singh, P., 2000. Sintered Iron-Copper-Tin-Lead Antifriction Materials-Effect of Temperature. Materials Science and Engineering A292, p.26-33.
- Civalek, Ö., Çatal, H.H., 2004. Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Elastik Kirişlerin Statik ve Dinamik Analizi. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi C.6, s.1 s.1-16.
- Colton, C.S., 2001, Manufacturing Processes and Engineering, Georgia Institute of Technology, USA.
- Cusano, C., Phelan, R.M., 1973, Experimental Investigation of Porous Bronze Bearings, Journal of Lubrication Technology, Vol. 95, pp.173-180.
- Cürgül, İ., 2005. Makina Elemanları Ve Çözümlü Problemleri. Birsen Yayınevi, 450s. İstanbul.
- Çakmak, S., 1986. Makina Parçalarının Mukavemet Hesapları Değişken ve Dinamik Zorlanmalarda Yeni Uygulama Metotları. İstanbul
- Çınar, H., Sarıtaş, S. 1988. Metal Tozlarının Çift Hareketli Zimbalarla Briketlenmesi. 3.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, s.615-621, O.D.T.Ü. Ankara
- Dixon, R.H.T., Clayton, A., 1971. Powder Metallurgy for Engineers. Machinery Publishing Co.Ltd. 194p., England.
- Durak, E., 1998. Farklı Yükleme Şekillerinde Yağ ve Yağ Katkı Maddelerinin Yatak Performansına Etkileri. Doktora Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 152s. Isparta.
- Durak, E., Kurbanoglu, C., Kaleli, H., Tunay, R.F., 2004. Measurement of Friction Force and Wear of Base Sintered Journal Bearings Manufactured With Powder Metallurgy (P/M). Journal of The Balkan Tribological Association. Vol. 10, No 4, pp.509-517
- Durak, E., 2003.Experimental Investigation of Porous Bearings Under Different Lubricant and Lubricating Conditions. KSME International Journal, Vol. 17, No. 9, pp.1276-1286.

- Elmas, Ç. 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama). Seçkin Yayıncılık, 192s. Ankara
- Ersümer, A., 1970. Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme. İ.T.Ü Yayınları, 270s. İstanbul.
- Field, S.K., Jarratt, M., Teer, D.G., 2004. Tribological Properties of Graphite-Like and Diamond-Like Carbon Coatings. Tribology International V.37 pp.949-956.
- Fu, L., 1994. Neural Networks In Computer Intelligence. McGraw-Hill, Inc. 460p. New York, U.S.A
- German, R.M., 1984. Powder Metallurgy Science. Metal Powder Industries Federation, Princeton, 278p. New Jersey, U.S.A.
- Ghorbani, M., Mazahari, M., Afshar, A. 2005. Wear and Friction Characteristics of Electrodeposited Graphite-Bronze Compozite Coatings. Surface&Coatings Technology, V.190., pp.32-38.
- Hacıoğlu, A., 2006 Hızlı Evrimsel Eniyileme İçin Yapay Sinir Ağı Kullanılması Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2 Sayı 3 (1-8)
- Hallhagen, K., et al., 1997. The Influnce of Lubricants in Powder Compaction, Advances In Structural PM Components Pruduction. Proceeding. of European Conferance on Advancing Structural PM Componants Production, Munih, V.1, pp.59-69
- Ham, M.F., Kostanic, I., 2001. Principles of Neurocomputing for Science & Engineering. 643p. McGraw-Hill, Inc. New York, U.S.A
- Hashimoto, Y., Kaneko, S., 1995. A Study Of The Mecanism Of Lubrication in Porous Journal Bearings Effects Of Dimensionless Oil Feed Pressure On Frictional Charecterictics, Journal Of Tribology, 291-296.
- James, P.J., 1983, Principles of Isostatic Pressing, Isostatic Pressing Technology, Applied, Science Publishers, s.1-26, London.
- Jia, J., Chen, J., Zhou, h., Wang, J., Zhou, H., 2004. Friction And Wear Properties Of Bronze-Graphite Compozite Under Water Lubrication. Tribology International. v.37. 423-429.
- Jones, W. D., 1960. Fundamental Principles of Powder Metallurgy. 593p., London.
- Kaneko, S., 1993. Porous Oil Bearings. Japanese Journal of Tribology, Vol.38, No.9, pp.141-150.

- Karadere, G., 2001. Sinterlenmiş Bronz Yataklarda Performans Karakteristiklerinin Sürtünme Katsayısına Etkileri. P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi 7. Cilt Sayı:1, 11-16. Denizli
- Karagöz, Ş., Zeren, M. 1996. Elmaslı Kesici Takımların Mikroyapısal Dizaynı Üzerine Araştırmalar. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 459-463, Ankara.
- Karataş., Ç., 1997. Tozların Sıkıştırma(Biçimlendirme) Metotları ve Toz Metalurjisi Uygulamaları. MATİK, 97 397-406, Ankara.
- Kartalopoulos, S.V., 1996.Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic-Basic Concepts and Applications, IEEE Pres, New York, 205p. U.S.D
- Kasahara, M., 1997. Recent Development of Oilless Bearings. Japanese Journal of Tribology, Vol.42, No.4, pp.425-433.
- Kato, H., Takama, M., Iwai, Y., Washida, K., Sasaki, Y., 2003. Wear and Mechanical Properties Of Sintered Copper-Tin Composites Containing Graphite Or Molybdenum Disulfide. Wear 255, 573-578.
- Koç, E., 2004. Makina Elemanları Cilt II, Nobel Kitabevi, 432s. Adana.
- Kohonen, T, 1988. An Introduction to Neuralcomputing, Neural Networks 1, p3-6.
- Kuhn, H.A., Lawley, A., 1978 Powder Metallurgy Processing. pp. 34-140. U.S.A.
- Kurban, A.O., 1999. Metallerin Isıl Yorulma Ömrü ve Bunun Dizayn Açısından Etüdü. Denizli Bilim Günleri, TMMOB, MMO, Yayın No:221, s.483-493.
- Kurbanoğlu, C., 1997, Exenterkupplung zur Schwingungserzeugung In Arbeitsmaschinen, Konstruktion,1+2/1997, S. 49-50, G21736 Organder VDI-Gassellschaft EKV, Springer VDI-Verlag, Berlin.
- Kurbanoğlu, C, 2006. Makina Elemanları Teori, Konstrüksiyon ve Problemler, Nobel Yayın Dağıtım, 582s. Ankara.
- Kurt, A., 2003. Simülasyon-Yapay Sinir Ağı İle Esnek Üretim Sistemi Tasarımı, Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak. Dergisi Cilt 18, No 2, 31-38
- Kurt, A., 1992. Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri. G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 122s, Ankara.
- Kurt, A., Sarıtaş, S., 1992. Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri. 5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 551-563 Ankara.
- Kurt, A., Türker, M., Sarıtaş, S., 1996. Toz Metalurjisi Metodu ile Üretilmiş Bakır Yatakların Aşınma Özellikleri. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s.419-429, Ankara.

- Lin, C., Lee, C.S.G., 1996. Neural Fuzzy Systems, ANeuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems. Prentice Hall P.T.R. 797p.
- Matik, U., Çıtak, R., 2005. Toz Metalurjisi İle Üretilmiş Demir Esaslı Parçalarda Asidik Ve Bazik Akımsız Nikel Çözeltilerin Kaplama Kalitesine Etkisi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2, 239-246.
- Miyasaka, M., Satoh, H., Mashiko, M., 2003. Research on Initial Running-in Property of Cu-Sn Oil-impregnated Sintered Bearings. Hitachi Powdered Metals Technical Report No:2. p.25-35.
- Morgan, V. T., 1970. Porous Metal Bearings. Friction and Antifriction Materials, MPIF, p. 190-191 A.B.D.
- Murali, K., Ashok, S., Krishna, C., 1998. Low Cost Alternative To MoS_2 As Solid Lubricant For Bronze Bearings, P/M World Congress, Tribology/Friction, 307-315.
- Nabiyev, 2005. Yapay Zeka Problemler-Yöntemler-Algorithm. Seçkin Yayıncılık, 766s. Ankara
- Norbert, A. A., Schloder, M., 1998. Powder Metal Technologies and Applications- Powder Metallurgy Bearing, s.1056, USA.
- Ohdar, R.K., Pahsa, S., 2003. Prediction of The Process Parameters of Metal Powder Preform Forging Using Artificial Neural Network(ANN). Journal of Materials Processing Technology, v.132, p.227-234.
- Onaran, K., 1999. Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, 383s. İstanbul.
- Öveçoğlu, M.L., 1997. Toz Metalurjisi: Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları ve Son Eğilimler. 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. 449-475, İstanbul.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232s. İstanbul.
- Peace, L.F., West, W.G., 2002. Fundamentals of Powder Metallurgy. Metal Powder Industries Federation, pp.452, U.S.A
- Peissker, E. 1974. Pressing And Sintering Characteristics Of Powder Mixtures For Sintered Bronze 90/10 Containing Different Amounts Of Free Tin, Modern Developments In Powder Metallurgy, 3, 597-614.
- Prasad, B.K., 1997. Dry Sliding Wear Response of Some Bearing Alloys As Influenced By The Nature of Microconstituents and Sliding Conditions. Metal Trans.(A-28). pp.809-815.

- Pruitt, B. L., Dornfeld, D. A., Monitoring End Mill Contact Using Acoustic Emission. Proceedings of the Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol.1, p. 421–426, 1996
- Ripa, M., Frangu, L., 2004. A Survey of Artificial Neural Networks Applications In Wear and Manufacturing Processes. The Annals of University “Dunarea De Jos” of Galati V.8, pp. 35-42.
- Sands, R.L., Shakespeare, C.R., 1966. Powder Metallurgy Practise and Applications. George Newnes Limited, 261s. London
- Sarıtaş, S., 1994. Toz Metalurjisi, Makina Mühendisleri El Kitabı. Cilt 1, Ankara.
- Sarıtaş, S., 1995. Toz Metalurjisi. TMMOB Makine ve Mühendis, Cilt 36(421), 41–47, Ankara.
- Schatt, W., Wieters, K.P., 1997. Powder Metallurgy, Processing and Materials, EPMA. Shrewsbury, U.K.
- Shikata, H., 2003. Technological Transition of Oil-impregnated Sintered Bearings. Hitachi Powdered Metals Technical Report No:2. p.3–11.
- Sinha, A.N., Mukherjee, P.S., De, A., 2000. Assessment of Useful Life of Lubricants Using Artificial Neural Network. Industrial Lubrication and Tribology. V.52(3), pp.105-109.
- Smith, L.N., German, R.M., Smith, M.L., 2002. A Neural Network Approach For Selection of Powder Metallurgy Materials. Journal of Materials Processing Technology, V.120, pp.419-425.
- Toktaş, İ., 2003. Mekanik Sistemler İçin Bir Kavramsal Tasarım Modelinin Geliştirilmesinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tunay, R.F., 2001. Tam Değişken Gerilmede T/M Esaslı Radyal Yatakların Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tüfekci, K., 2003. Dinamik Yüklenmiş T/M Yataklarının Farklı Sıcaklık Şartlarındaki Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tüfekci, K., Kurbanoglu, C., Durak, E., Tunay, R.F., 2006. Friction and Wear Properties of Cu and Fe-Based P/M Bearing Materials. Journal of Mechanical Science and Technology(KSME Int. J.) Vol. 20, No.4, pp.513-521.
- Ünlü, M., Öveçoğlu, M. L., 1995. Toz Metalurjisinin Yaygın Kullanım Alanları. Metal Dünyası. 12–13, İstanbul.

- Ünlü, B. S., Köksal, N. S., Atik, E., 2003. Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 5. Sayı 2, s. 103–108.
- Ünlü, B. S., Yılmaz, S.S., Varol, R., 2005. T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin karşılaştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Sayı 2, s31-37
- Varol, R.,2001. Cu ve Fe Esaslı T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Özellikleri. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 3. Sayı 1, s. 81-90.
- Velten, K., Reinicke, R., Friedrich, K., 2000. Wear Volume Prediction With Artificial Neural Networks. Tribology International V.33, pp.731-736
- Verleysen, M. and Hlavackova, K., 1994. An Optimized RBF Network for Approximation of Functions, Proc. European Symposium on Artificial Neural Networks, Brussels, Belgium, p.175-180.
- www.makinamuhendisi.com/idx/8/142/Makina-Magazin-Makale/article/Toz-Metalurjisi.html, Erişim Tarihi: 08.01.2007
- www.hurcelik.com.tr/kimyasal_kompozisyonlar.html, Erişim Tarihi: 08.02.2005
- www.sino-metalparts.com/List.asp?Shop_ID=798, Erişim Tarihi:10.01.2007
- www.tozmetal.com/turkish/burc.htm, Erişim Tarihi: 10.01.2007
- www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm, Erişim Tarihi: 0.01.2007
- Yanase, T., Miyasaka, M., 2002. Sliding Property of Fe-Cu-C Sintered Materials Under High Contact Stress and at Low Sliding Velocity. Hitachi Powdered Metals Technical Report Vol.1, pp.23-28.
- Yavuz, N., 1996 Metal Grafit Parçaların Üretimi ve Özelliklerinin Tespiti. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı. S. 335-346, Ankara.
- Yılmaz, N., 2006. Demir Esaslı Toz Metal Malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği. Doktora Tezi, 249s., S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yong-Xin, Q., Ji, M., Yi-Geng, T., Gui-Ru, Z., Gao-Yi, S.,Guo-Liang, W.,1985. Investigation of Sintered Bronze Bearings Under High-Speed Conditions. Tribology International. V.18, Issue 2, 75-80.
- Yüce, H., 2005. <http://cc.domaindlx.com/hyuces/ysa/biyosinir.htm> Erişim Tarihi: 20.07.2006

Zsidai, L., Baets, P.De., Samyn, P., Kalacska, G., 2002. The Tribological Behavior of Engineering Plastics During Sliding Friction Investigated With Small-Scale Specimens, *Wear* 253 673–688.

EKLER

EK-1 Metal Tozlarının Analiz Raporları

EK-1.1 Bakır Tozu Analiz Raporu



MAKIN METAL POWDERS
LIMITED a company

LABORATORY REPORT (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Customer :
Product : Dendritic Copper Powder SFP3 Batch No : 42402
Cust Ord No: MMP Ord No: 10813
Weight : 250 kgs , Drums : 1-5

		SPECIFICATION		RESULT
		MIN	MAX	%
<u>GRANULOMETRY</u>				
B.S.S. MESH	MICRONS			
200	> 75	0.0	0.0	0.0
300	> 53	0.0	0.5	0.2
350	> 45			2.2
-350	< 45			97.6
<u>PHYSICAL PROPERTIES</u>				
Apparent Density	g/cc	1.3	1.7	1.69
<u>CHEMICAL ANALYSIS</u>				
Copper	%	99.00		99.65
Oxygen	%		0.20	0.07

Signed *C. Fielding* . Date 21/09/04

Buckley Road
Rochdale
Lancashire
OL12 9D1
ENGLAND

Telephone : 01706 717317
General Enquiries Fax : 01706 717303
Sales Fax : 01706 717310
email: mmp@makin-metals.com
web: www.makin-metals.com



Registered in England & Wales at the following address under no. 3227469

EK-1.2 Kalay Tozu Analiz Raporu



MAKIN METAL POWDERS
LIMITED a company

LABORATORY REPORT (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Customer :
 Product : Tin Powder -300# Fine
 Cust Ord No:
 Weight : 100 kgs , Drums : 1-2

Batch No : 41382
 MMP Ord No: 10427

		SPECIFICATION		RESULT
		MIN	MAX	%
<u>PANULOMETRY</u>				
	B.S.S. MESH	MICRONS		
	200	> 75	0.0	0.0
	300	> 53	1.0	0.3
	350	> 45	5.0	1.4
	-350	< 45	95.0	98.3
<u>PHYSICAL PROPERTIES</u>				
	Surface Area	cm/g	450 750	697

Signed  Date 02/06/04

Buckley Road
 Rochdale
 Lancashire
 OL12 9DT
 ENGLAND

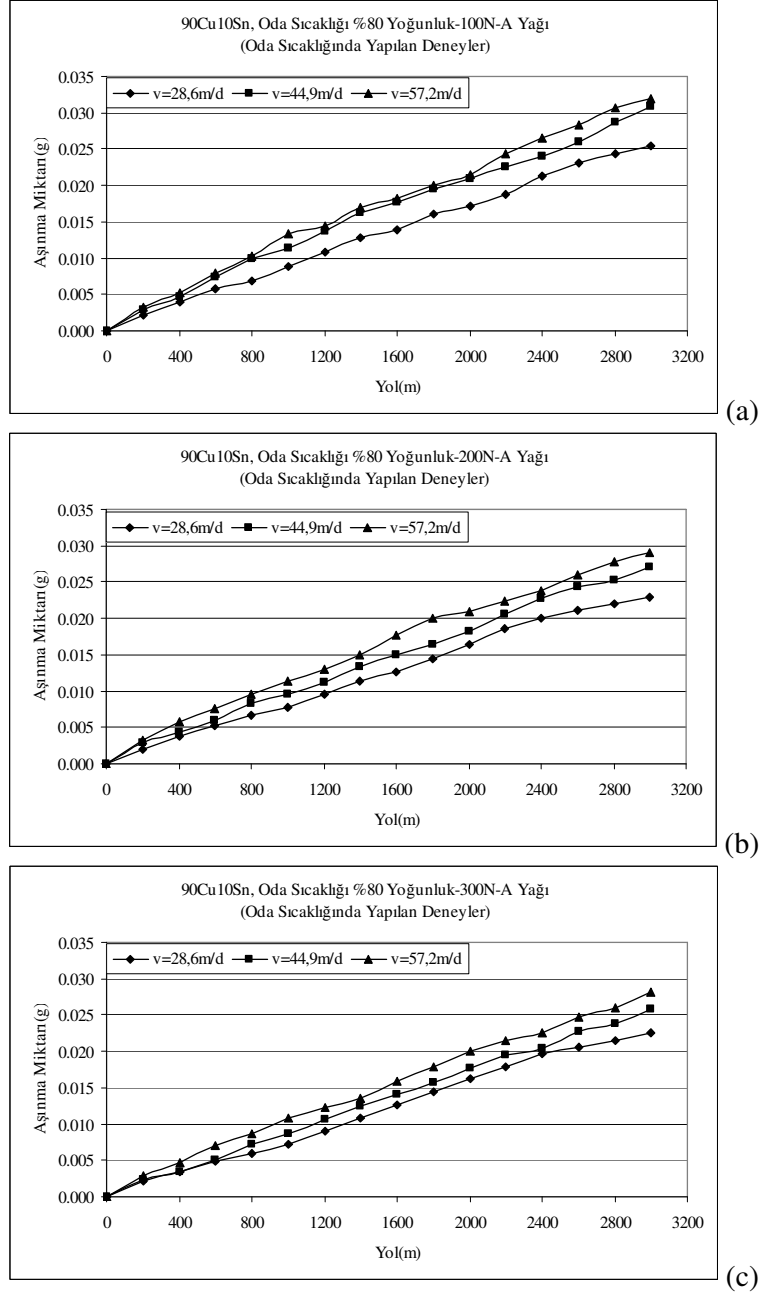
Telephone : 01706 717317
 General Enquiries Fax : 01706 717303
 Sales Fax : 01706 717310
 email: mmp@makin-metals.com
 web: www.makin-metals.com



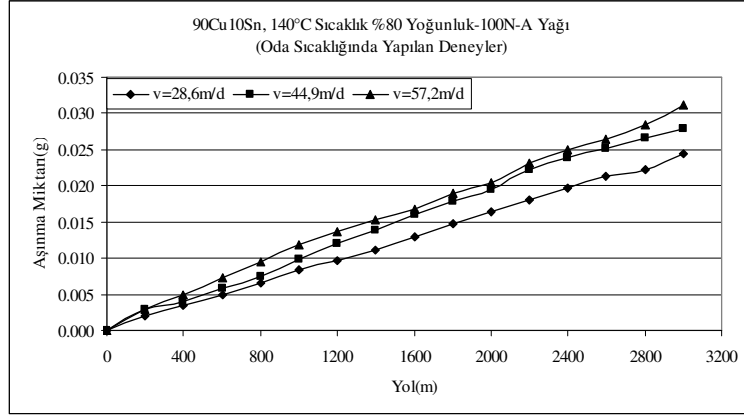
Registered in England & Wales at the following address under No. 3227469
 Buckley Road Rochdale Lancashire OL12 9DT England

EK-2 Oda Sıcaklığında Yapılan Aşınma Deney Grafikleri

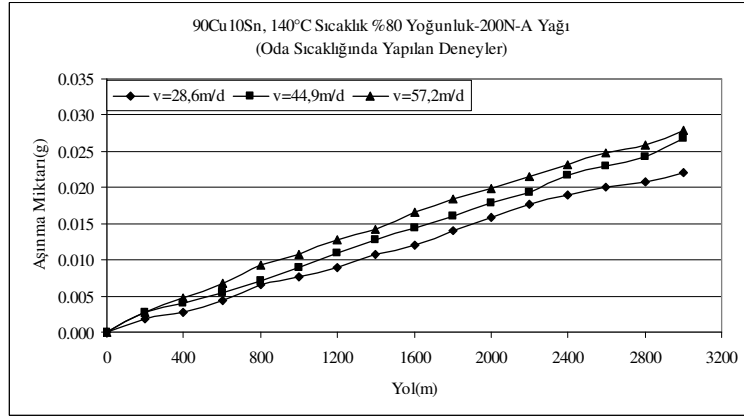
EK-2.1 Grafitsiz Kompozisyona Sahip (90Cu10Sn) Numunelerin Aşınma Deney Grafikleri



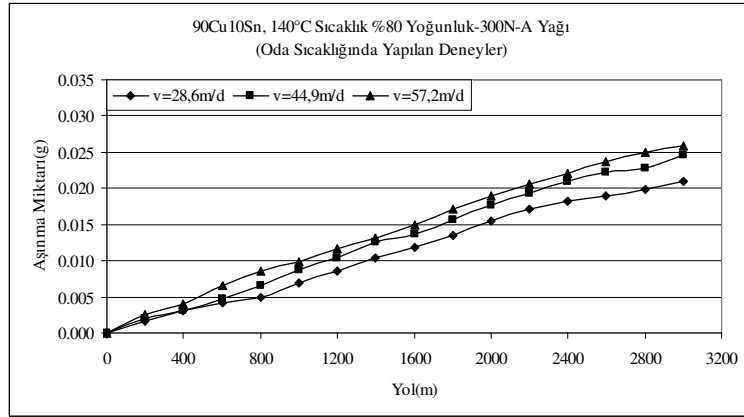
Şekil 1. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

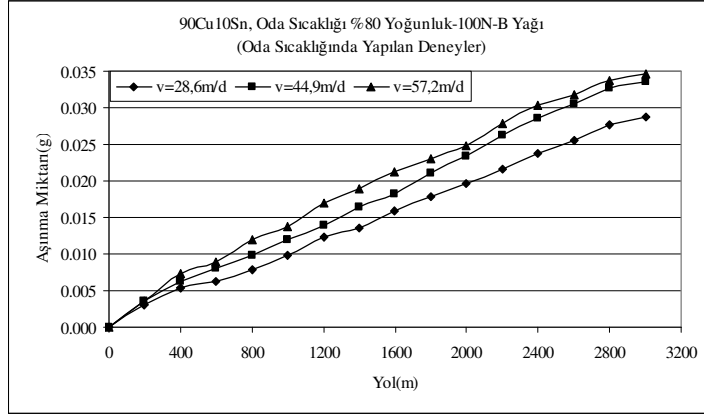


(b)

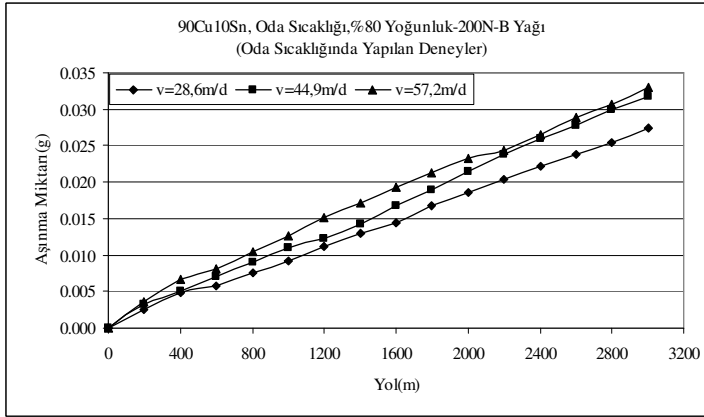


(c)

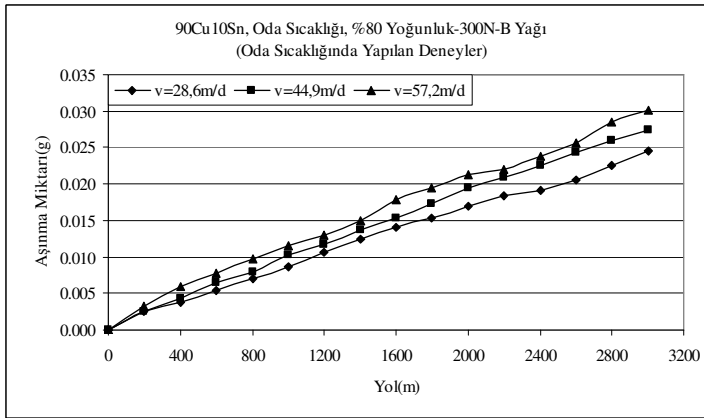
Şekil 2. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C’de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

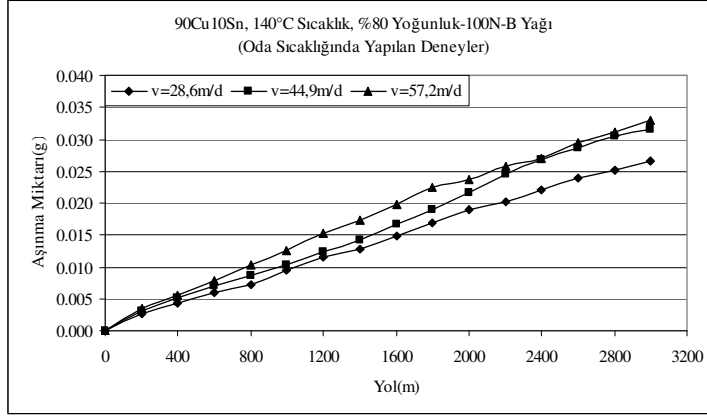


(b)

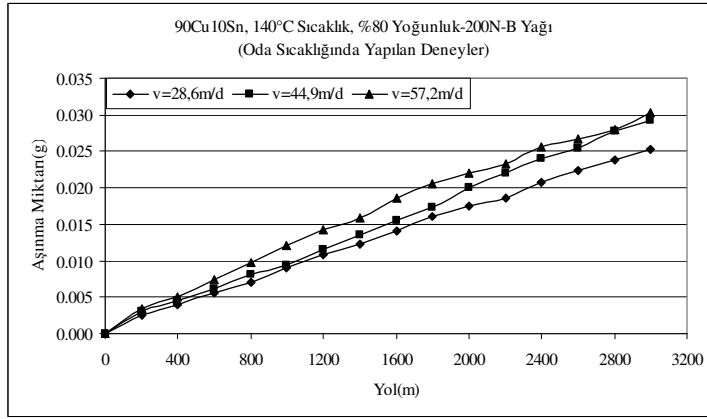


(c)

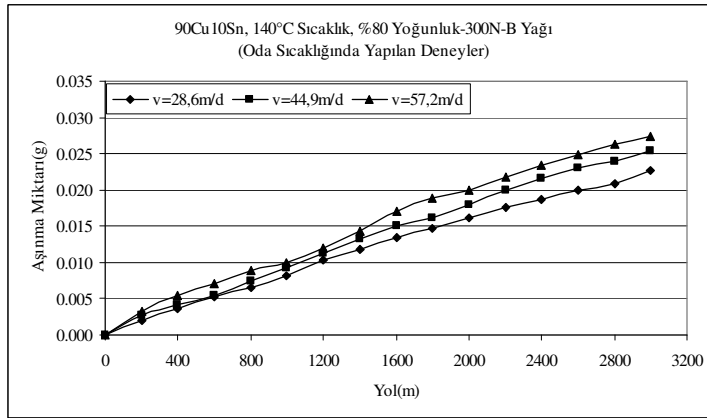
Şekil 3. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

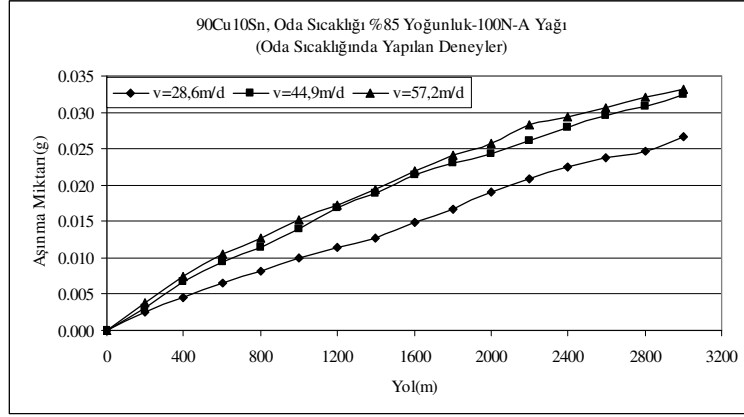


(b)

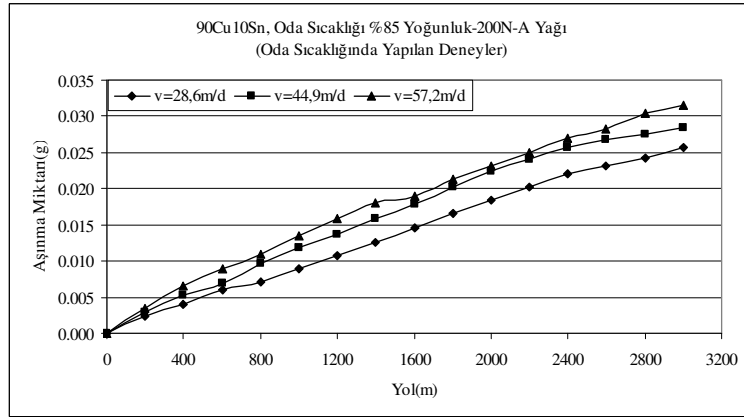


(c)

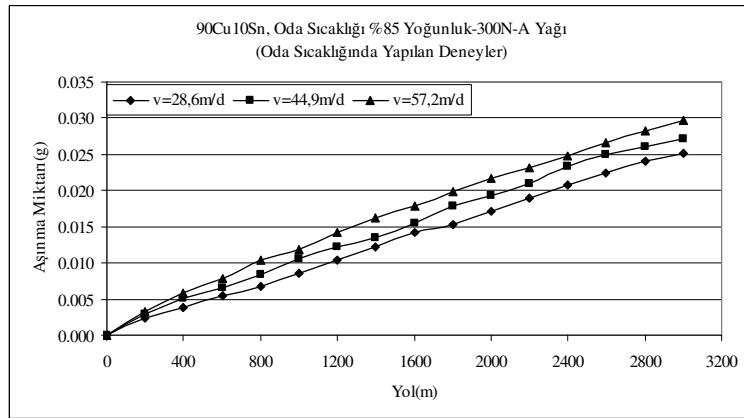
Şekil 4. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C’da sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

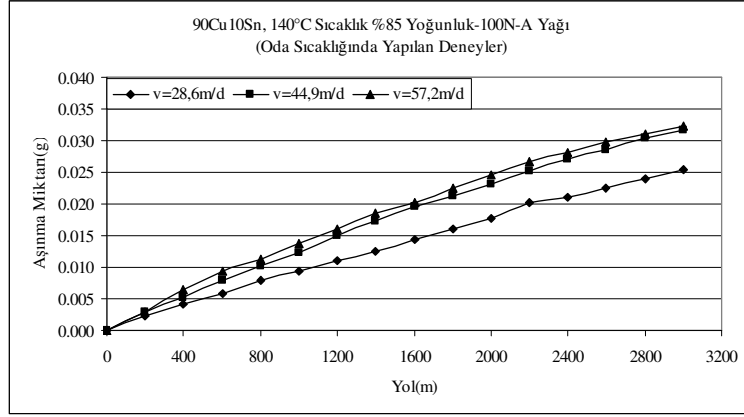


(b)

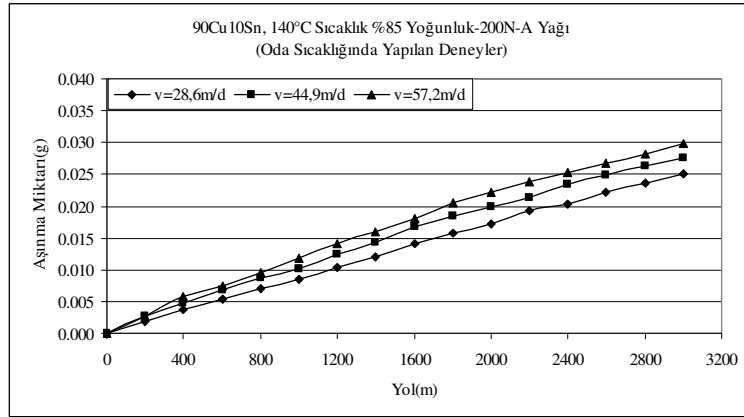


(c)

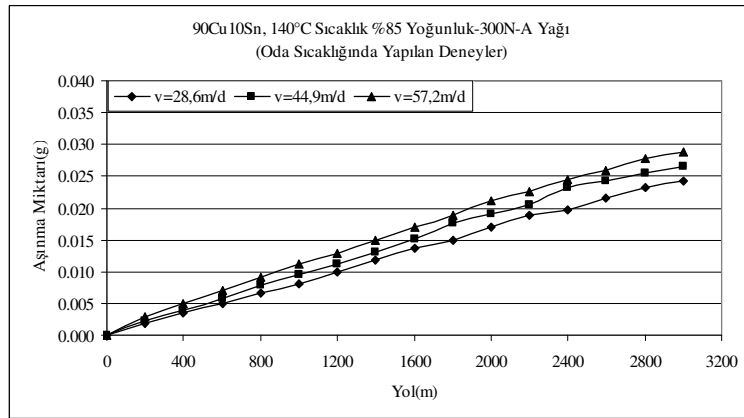
Şekil 5. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

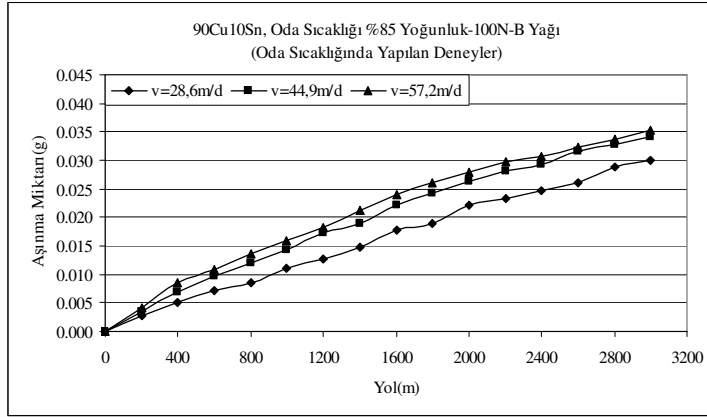


(b)

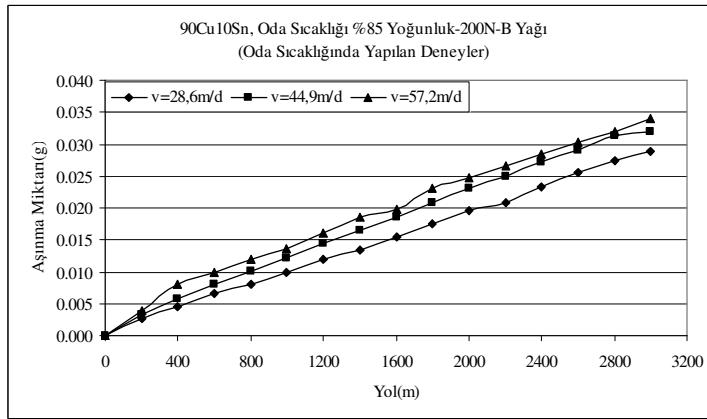


(c)

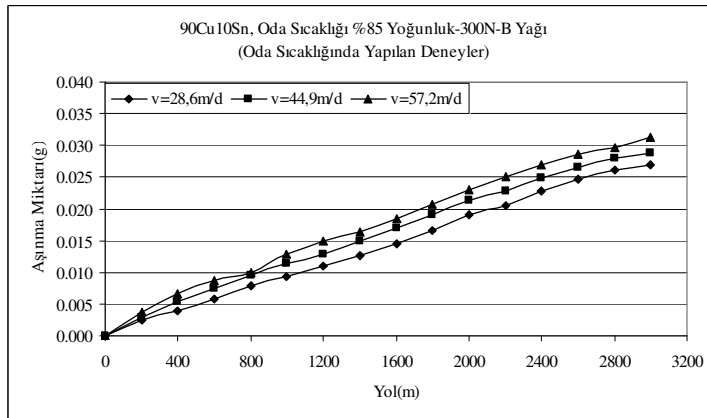
Şekil 6. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C'da, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

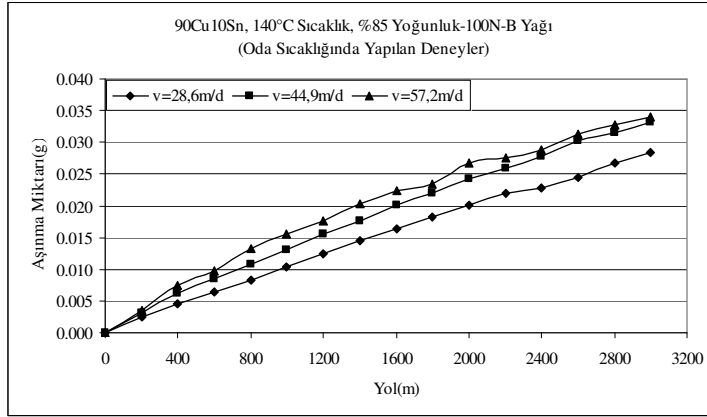


(b)

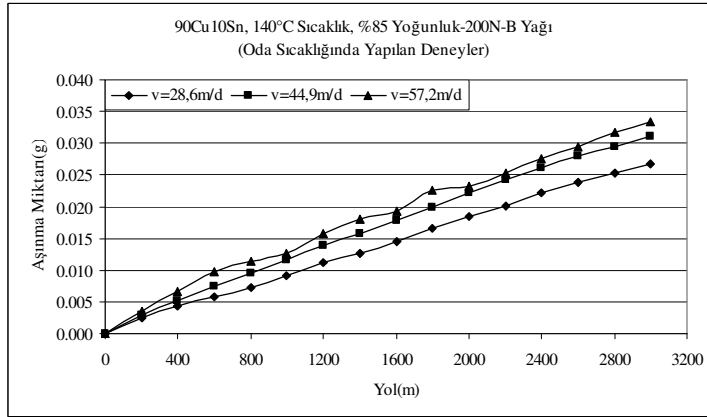


(c)

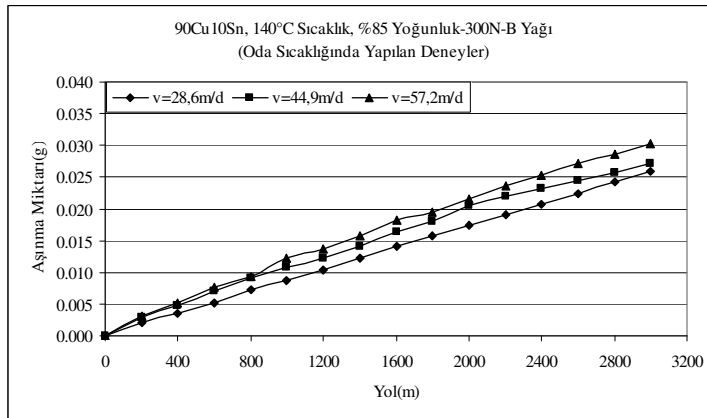
Şekil 7. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)



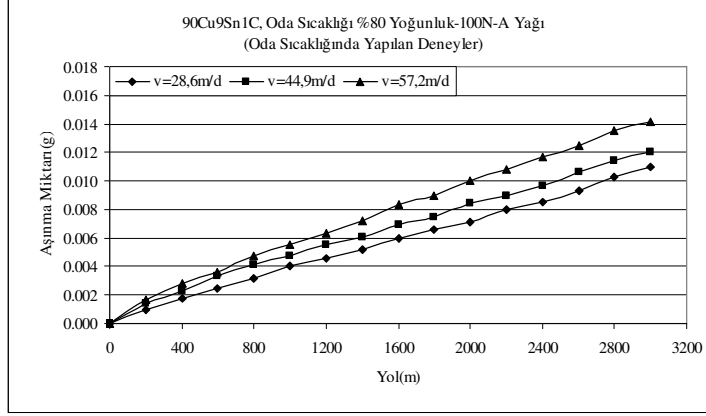
(b)



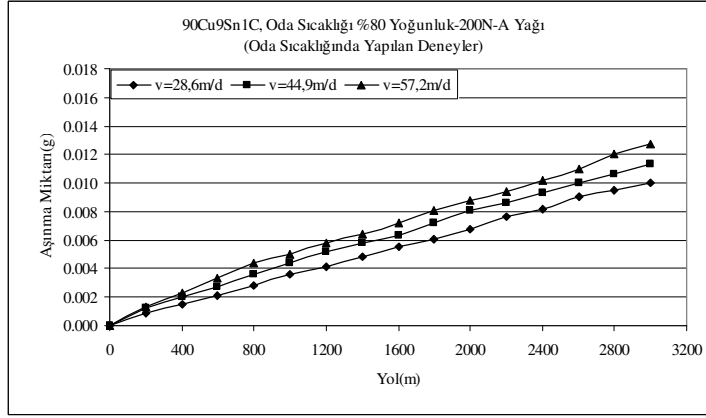
(c)

Şekil 8. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C’de sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları

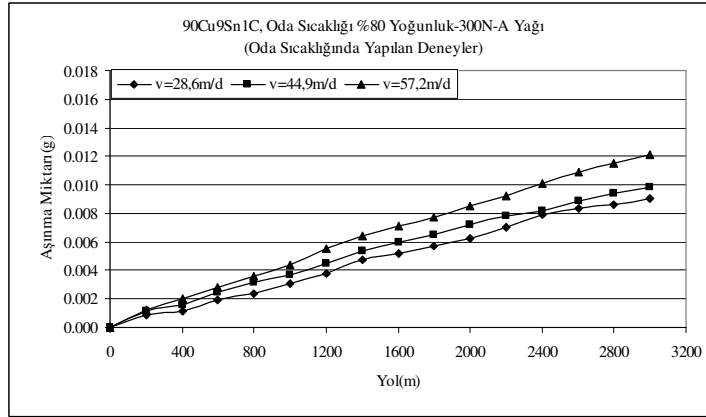
EK-2.2 Grafitli Kompozisyona Sahip (90Cu9Sn1C) Numunelerin Aşınma Deneş Grafikleri



(a)

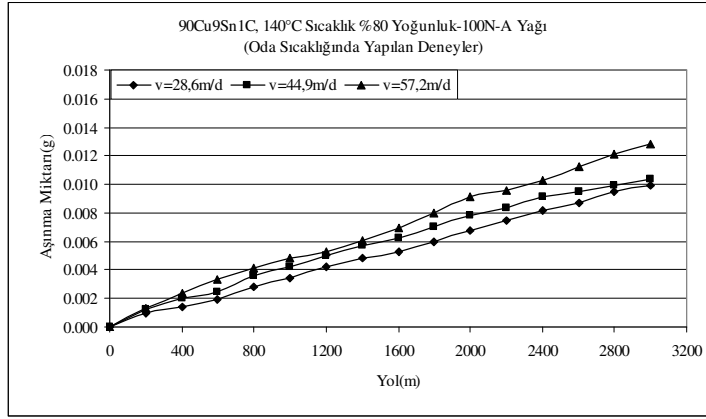


(b)

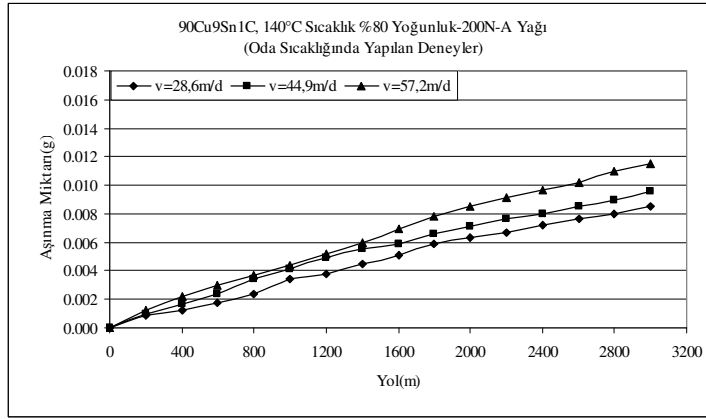


(c)

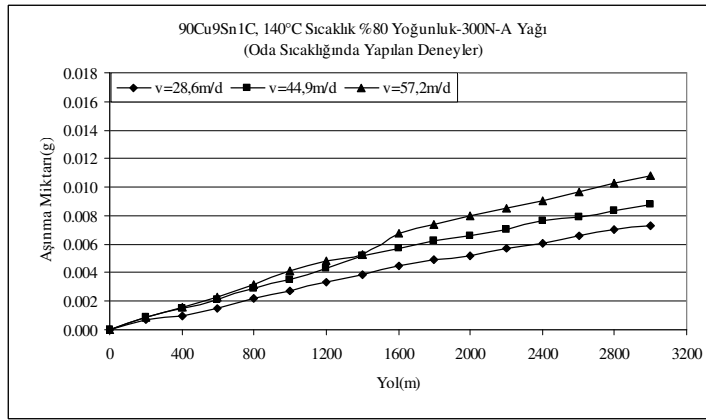
Şekil 9. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağılı olarak aşınma davranışları



(a)

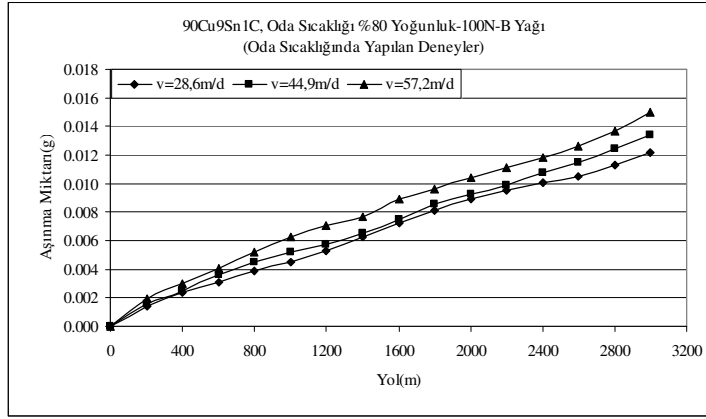


(b)

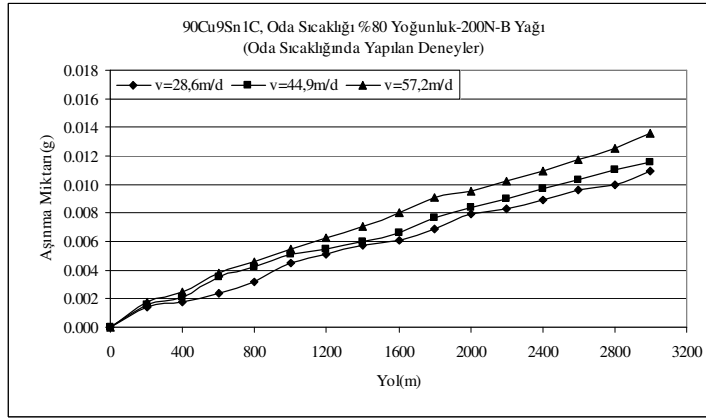


(c)

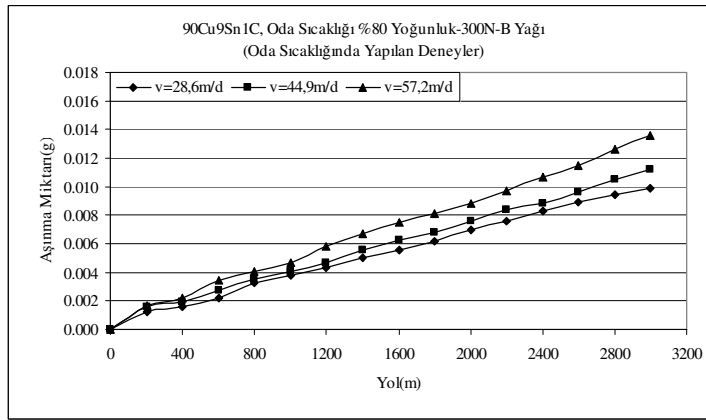
Şekil 10. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C’de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

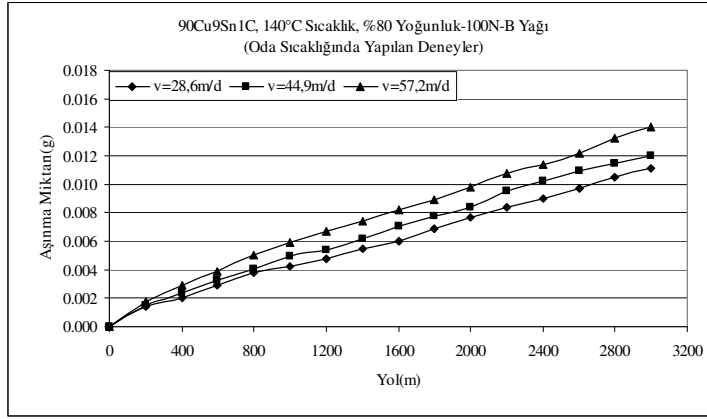


(b)

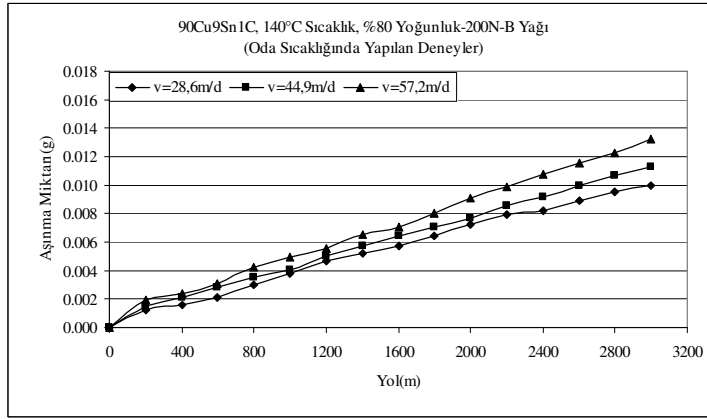


(c)

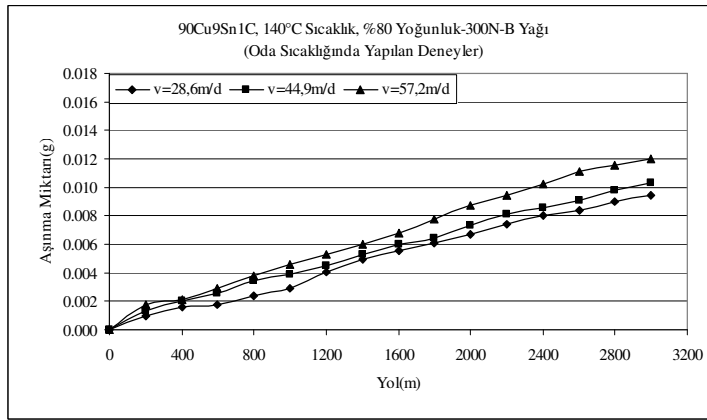
Şekil 11. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

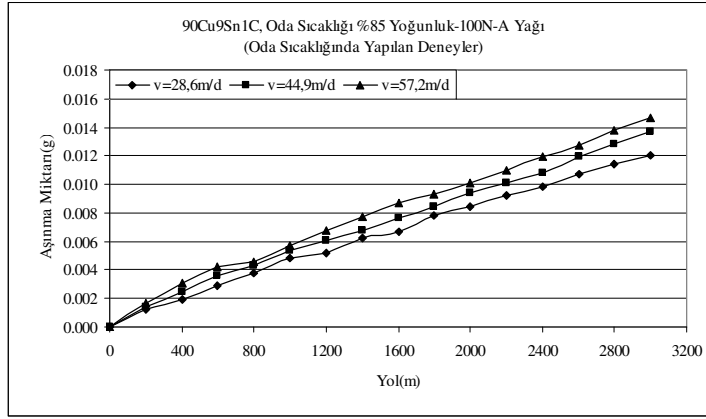


(b)

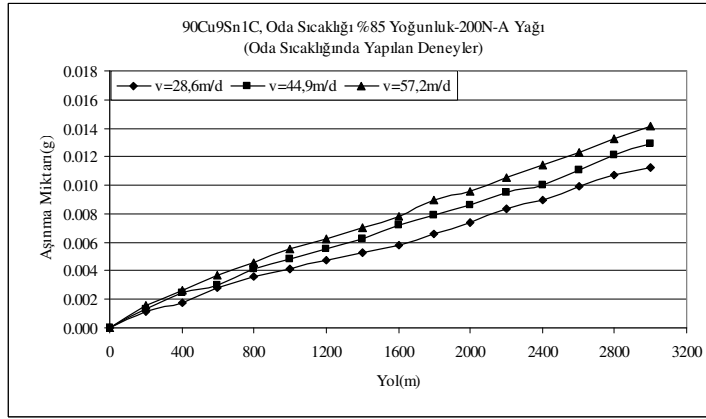


(c)

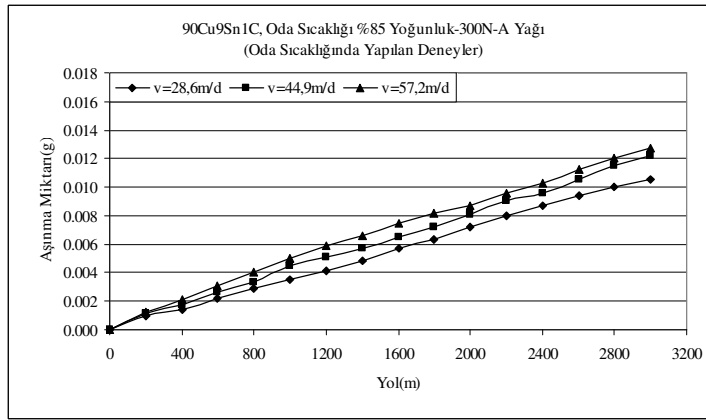
Şekil 12. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

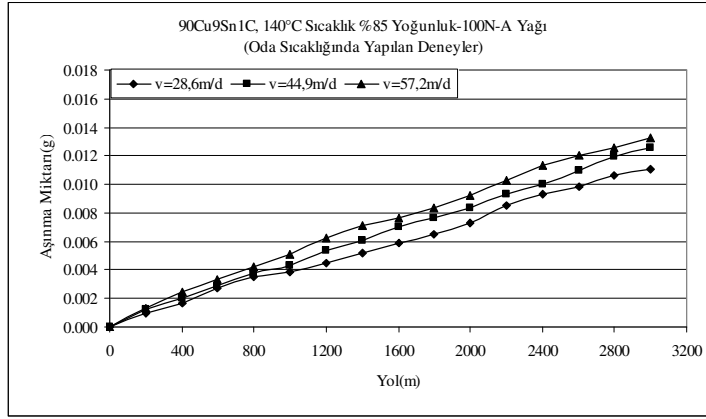


(b)

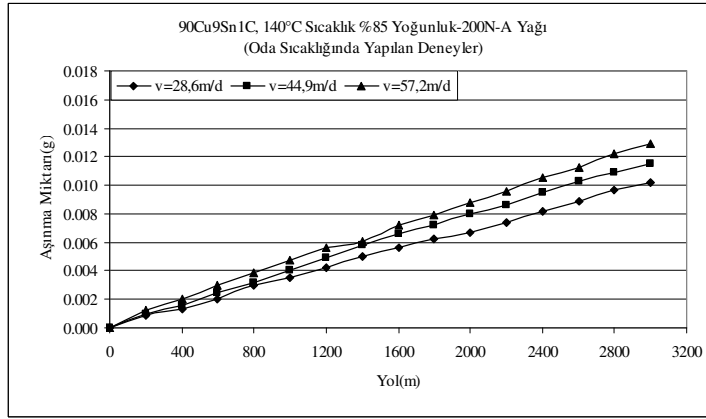


(c)

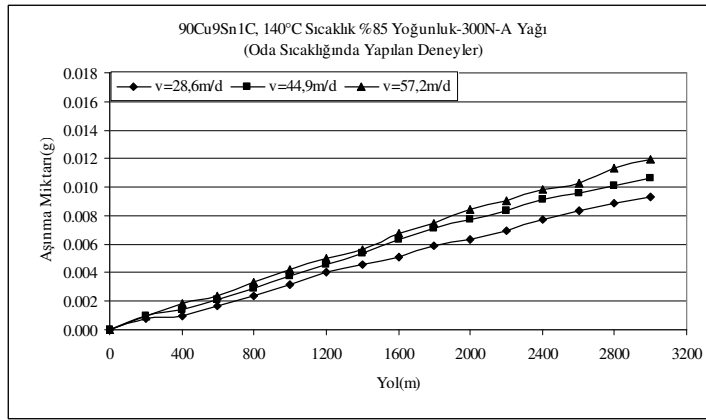
Şekil 13. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında ve $\pm 300\text{N}$ yük altında deneysel tabii tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

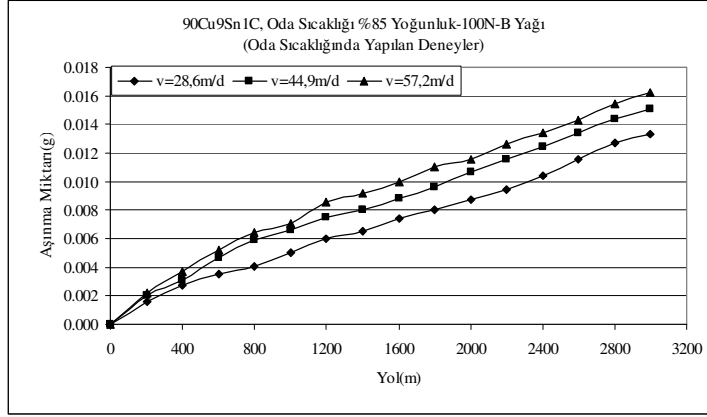


(b)

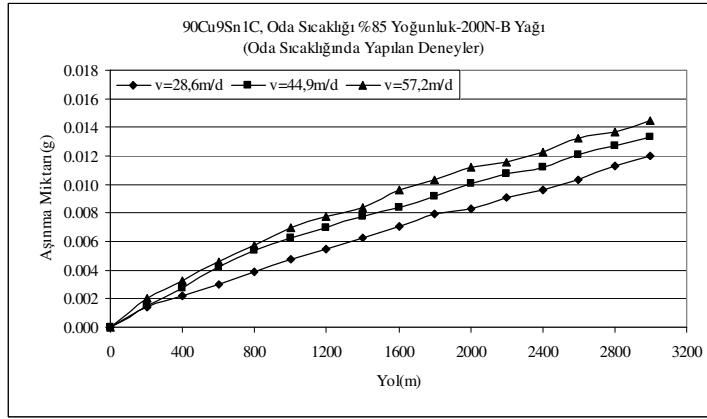


(c)

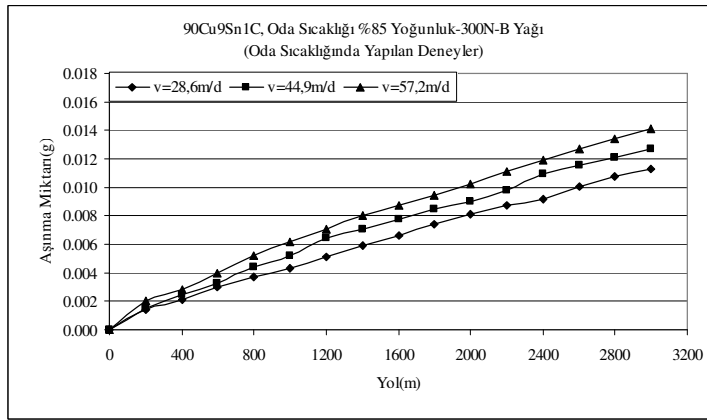
Şekil 14. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'da sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

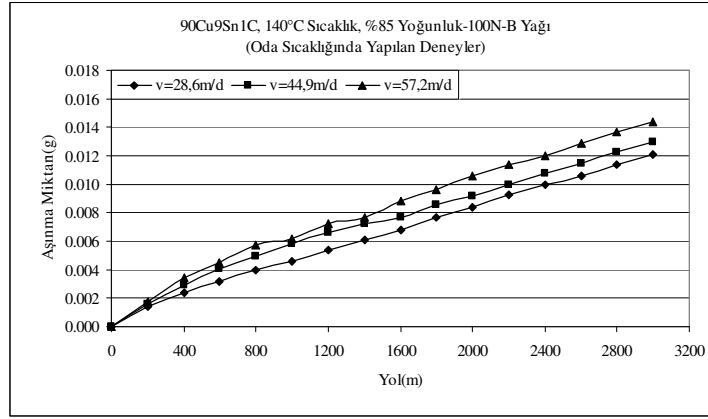


(b)

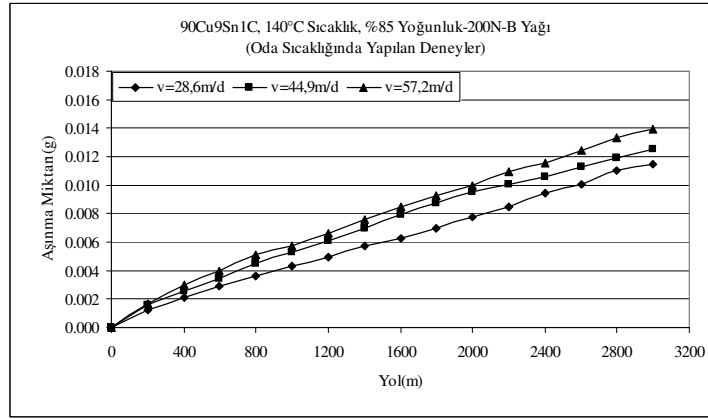


(c)

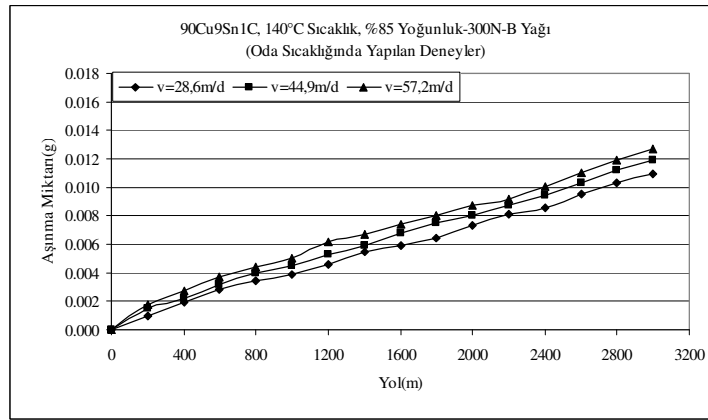
Şekil 15. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a) $\pm 100N$ b) $\pm 200N$ c) $\pm 300N$ yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)



(b)

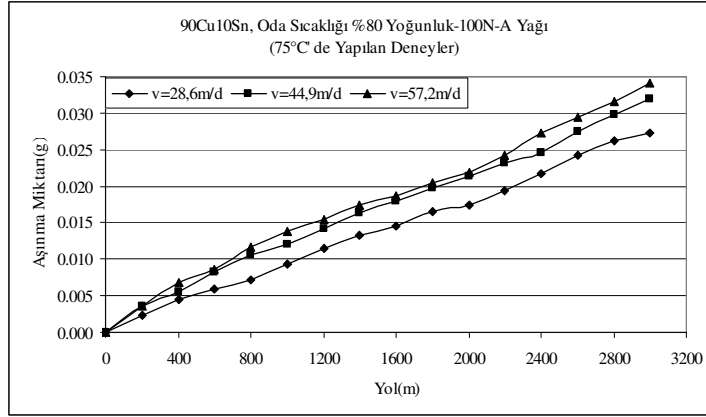


(c)

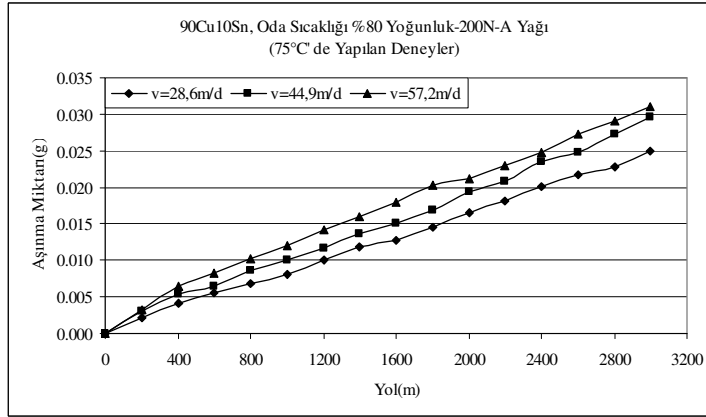
Şekil 16. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'da sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, oda sıcaklığında a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları

EK-3 75°C Sıcaklıkta Yapılan Aşınma DeneY Grafikleri

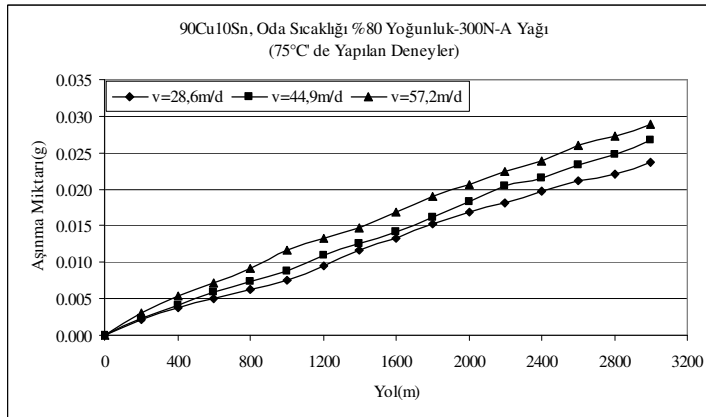
EK-3.1 Grafitsiz Kompozisyona Sahip (90Cu10Sn) Numunelerin Aşınma DeneY Grafikleri



(a)

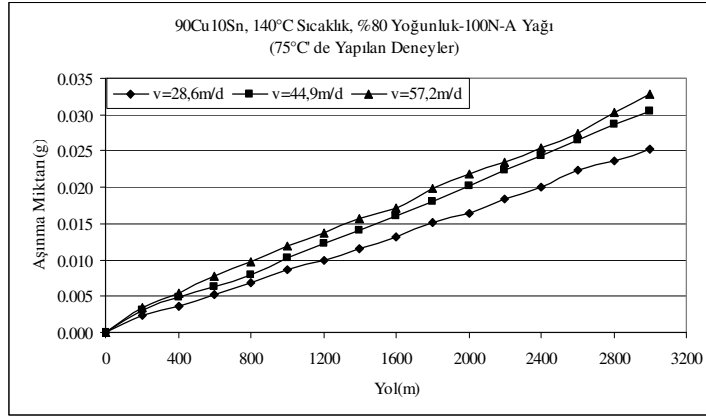


(b)

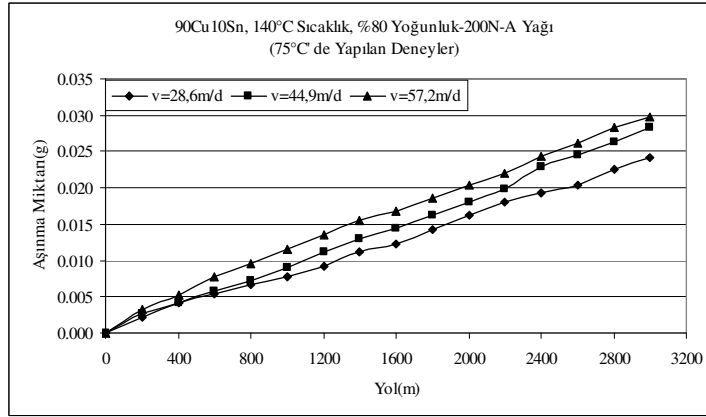


(c)

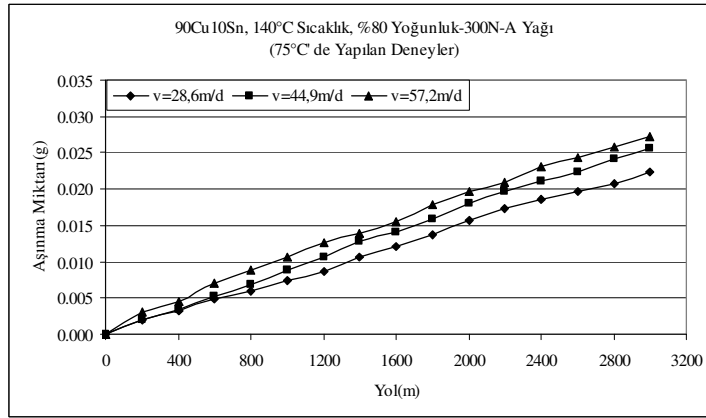
Şekil 1. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'de a) ±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneYe tabi tutulmuş yatakların hıza bağılı olarak aşınma davranışları



(a)

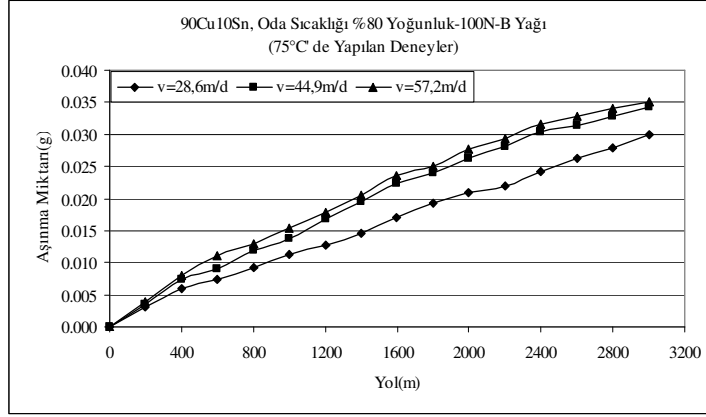


(b)

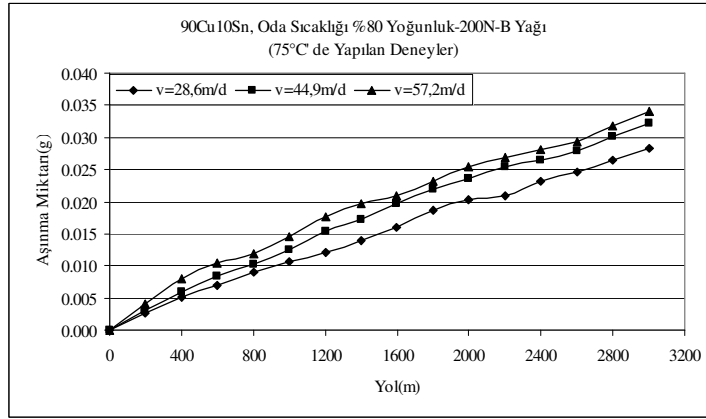


(c)

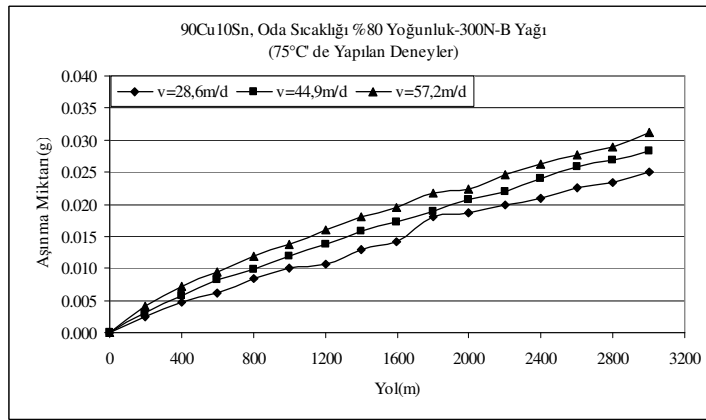
Şekil 2. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C’de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C’de a) ±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

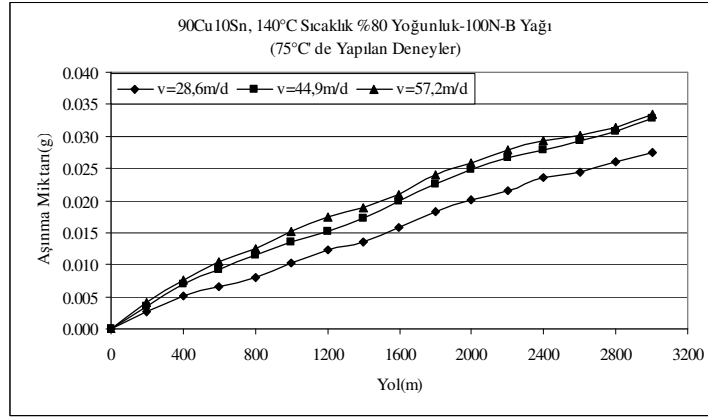


(b)

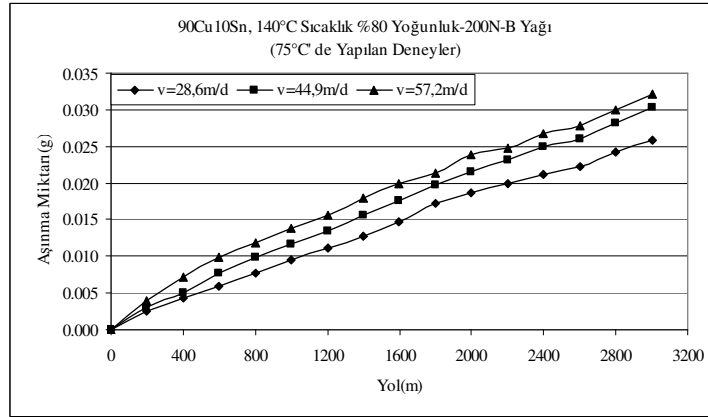


(c)

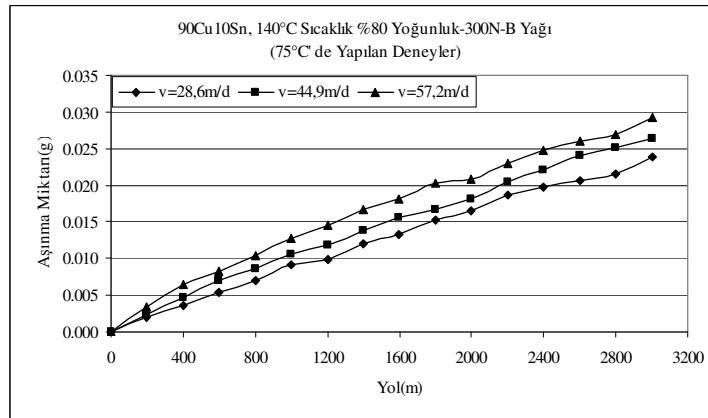
Şekil 3. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da ve a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

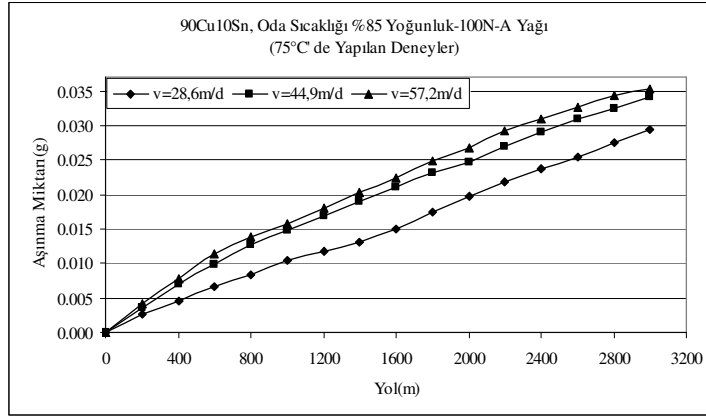


(b)

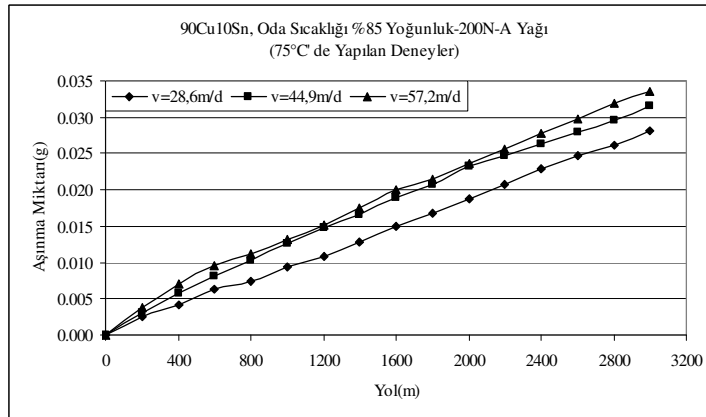


(c)

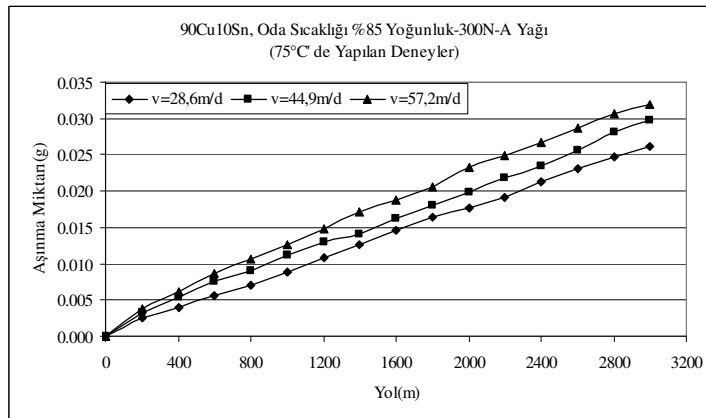
Şekil 4. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C'da sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a) ±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

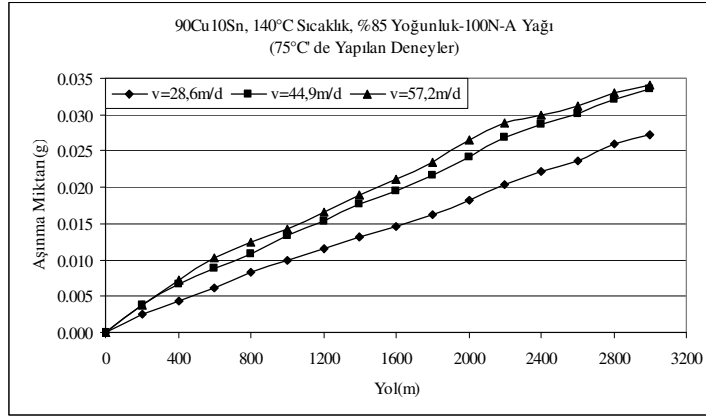


(b)

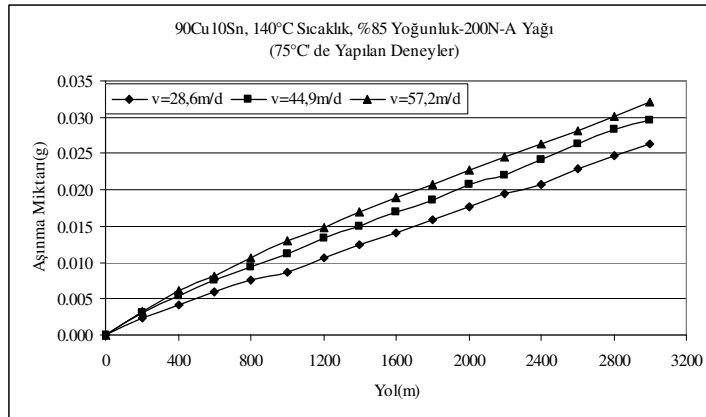


(c)

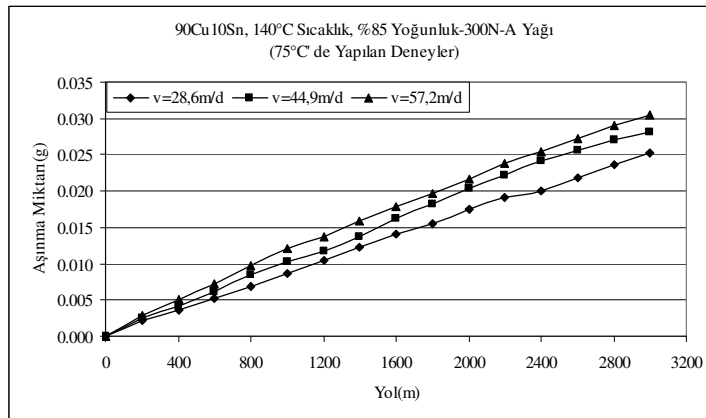
Şekil 5. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

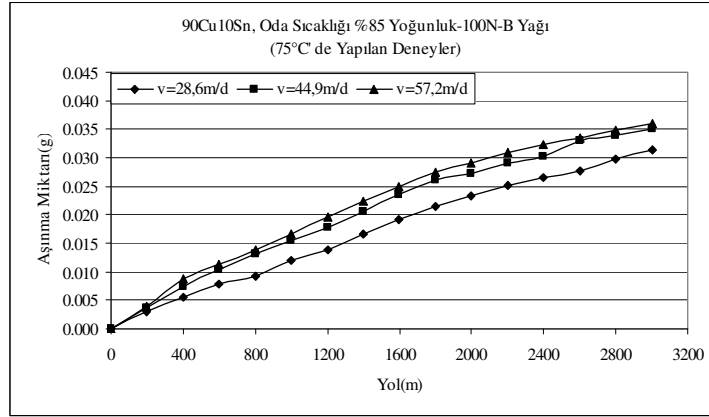


(b)

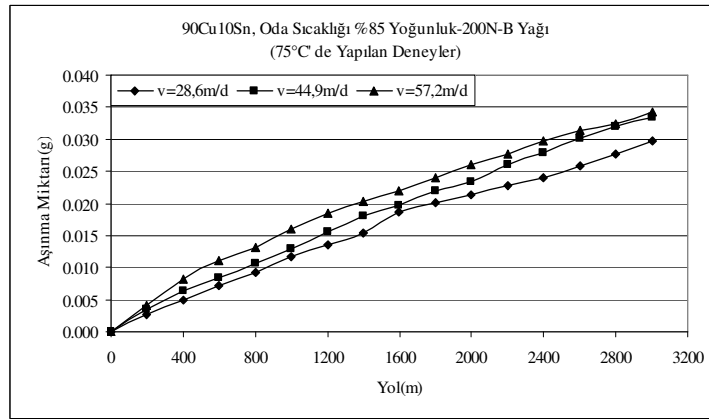


(c)

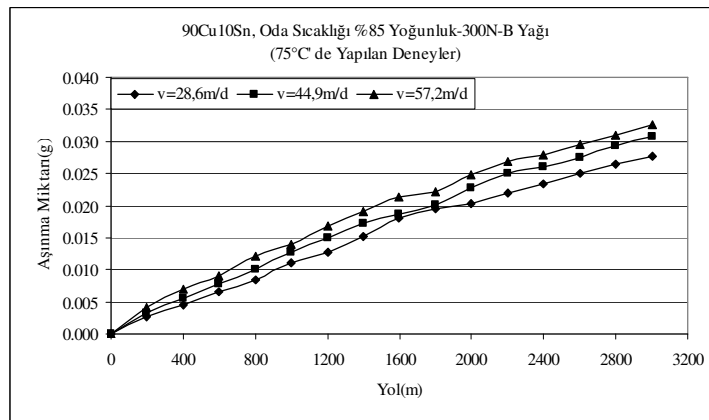
Şekil 6. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C'da, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a) ±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

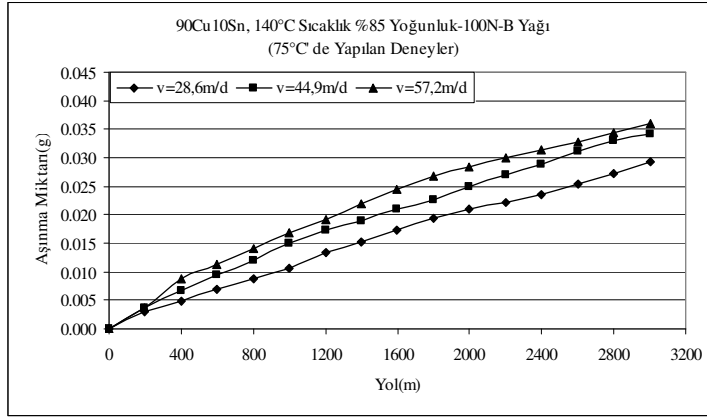


(b)

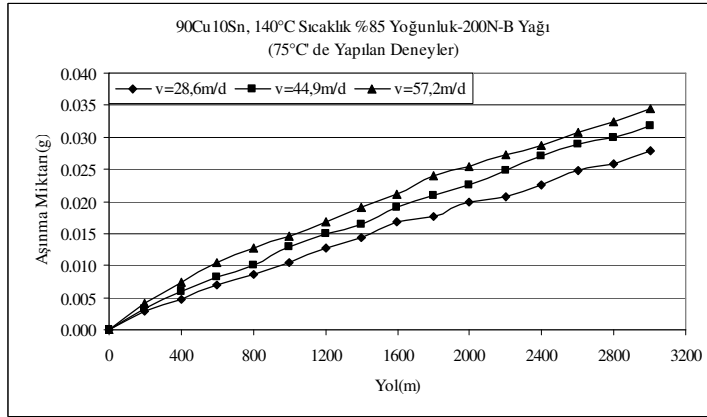


(c)

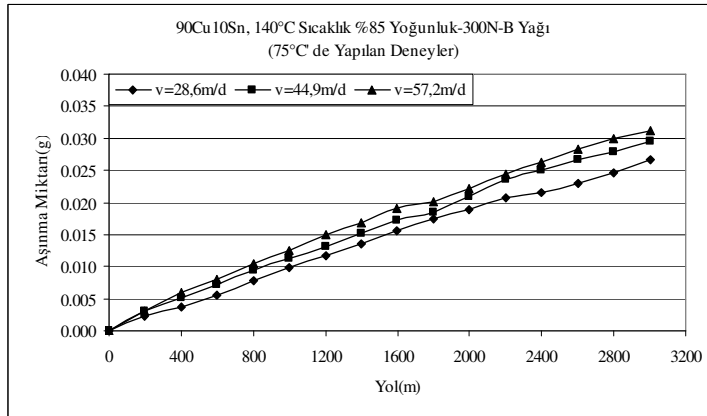
Şekil 7. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)



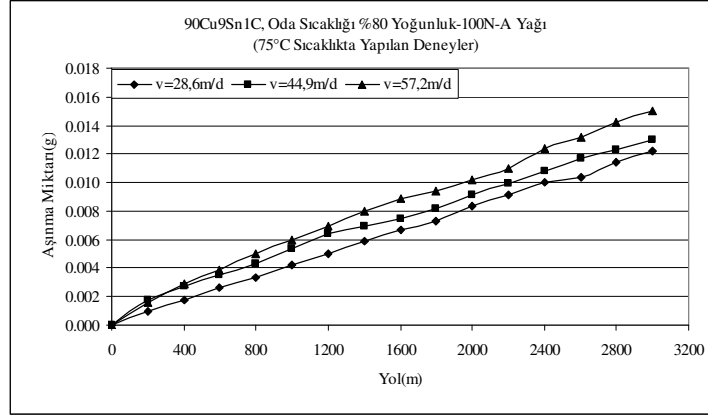
(b)



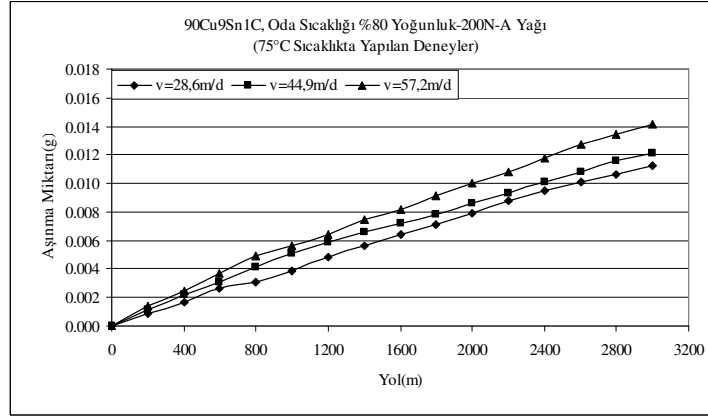
(c)

Şekil 8. 90Cu10Sn kompozisyona sahip, 140°C'de sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a) ±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları

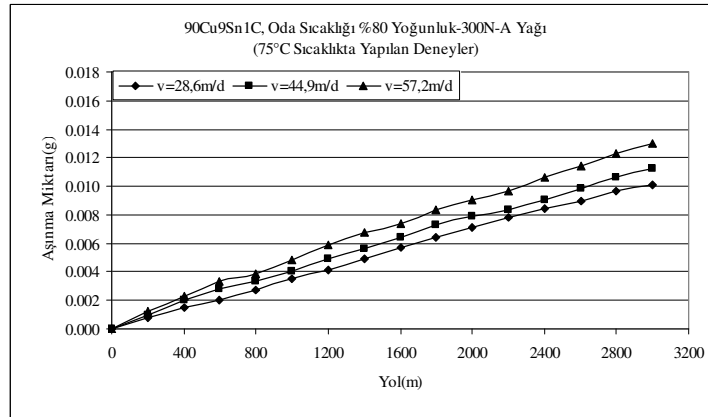
EK-3.2 Grafitli Kompozisyona Sahip (90Cu9Sn1C) Numunelerin Aşınma Deneş Grafikleri



(a)

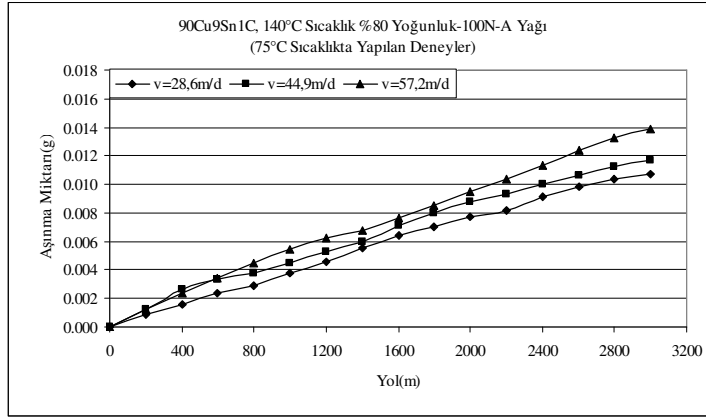


(b)

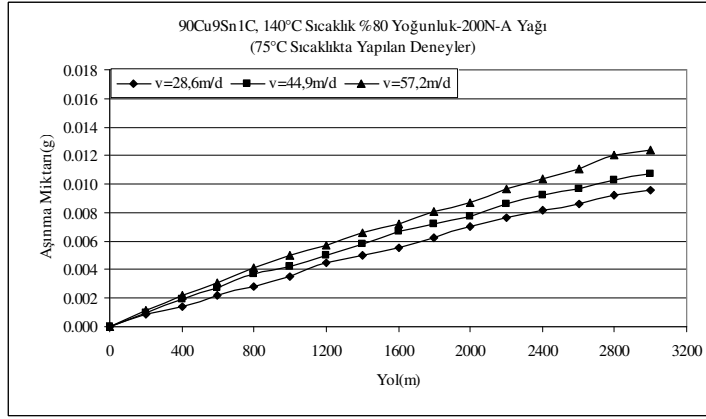


(c)

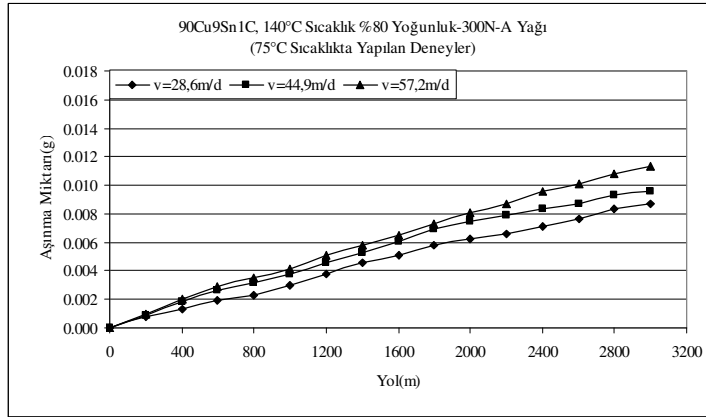
Şekil 9. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneş tabi tutulmuş yatakların hıza bağılı olarak aşınma davranışları



(a)

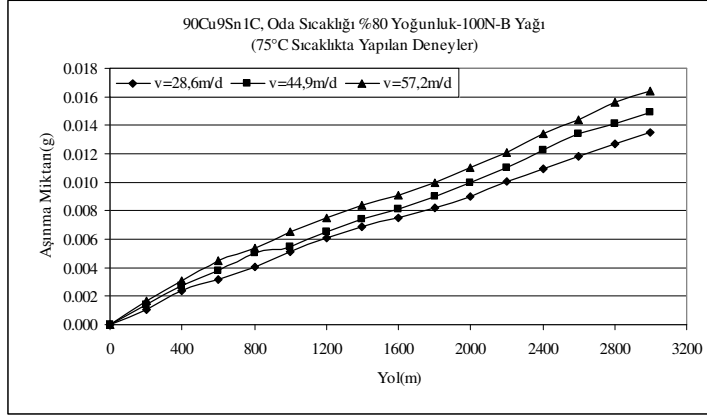


(b)

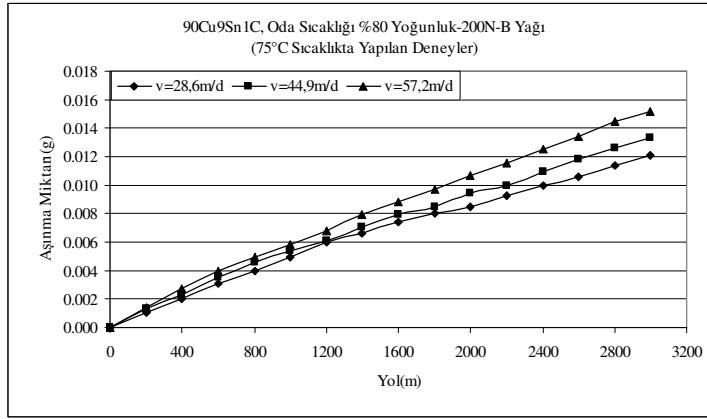


(c)

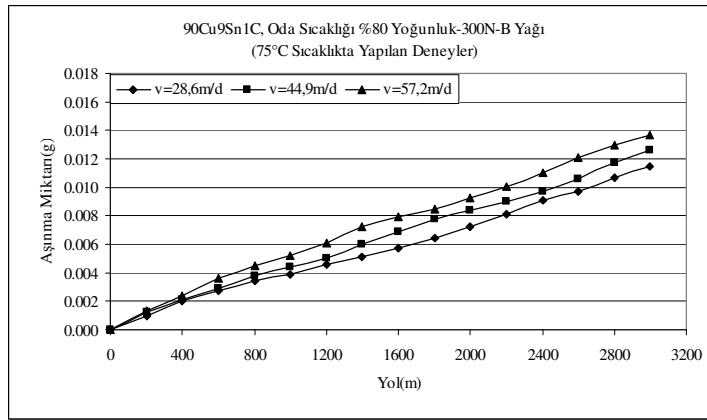
Şekil 10. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hızla bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

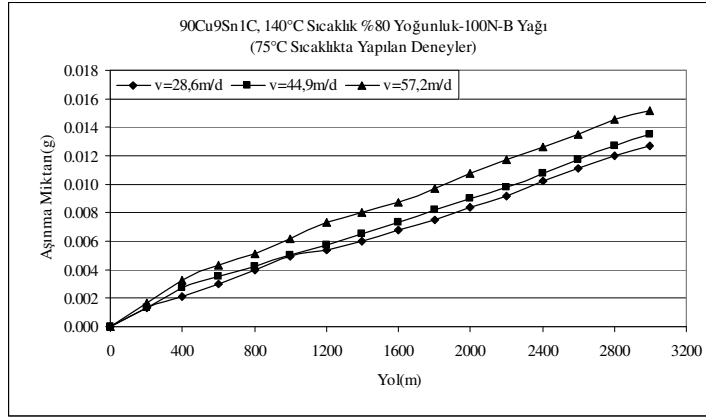


(b)

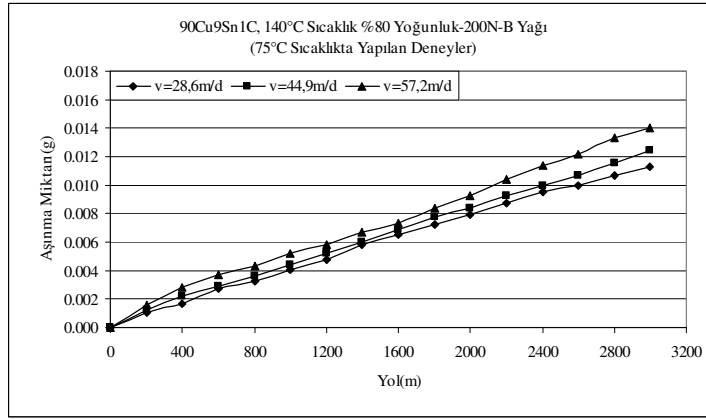


(c)

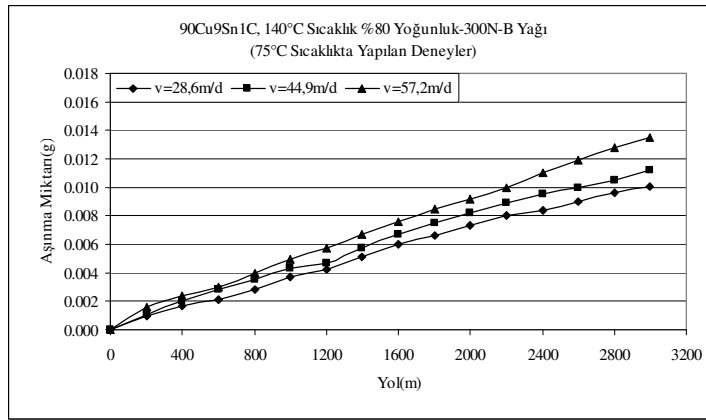
Şekil 11. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

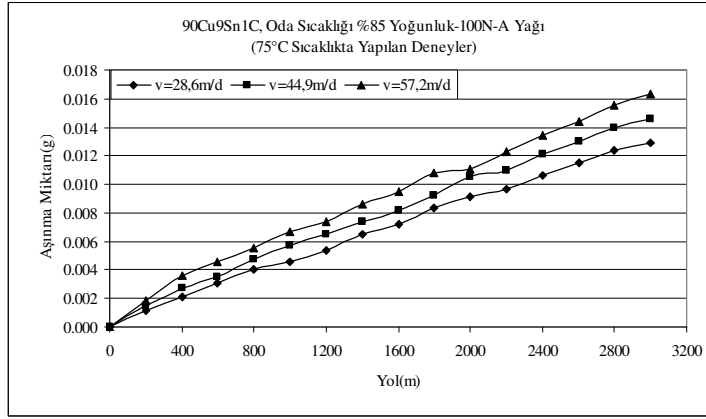


(b)

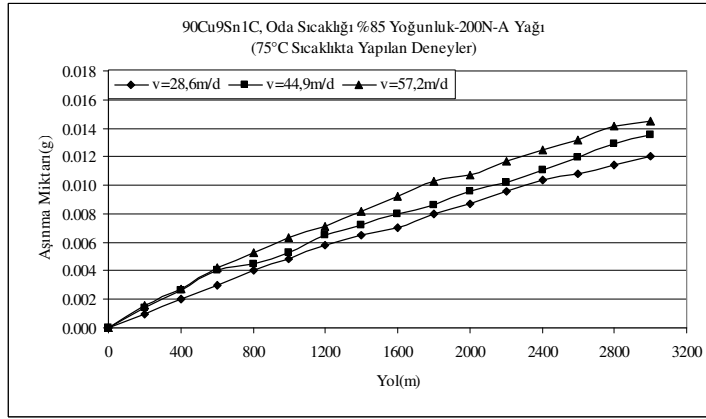


(c)

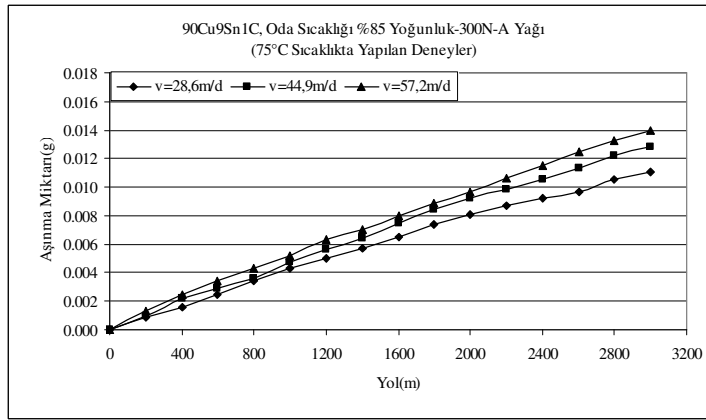
Şekil 12. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'de sıkıştırılmış, %80 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

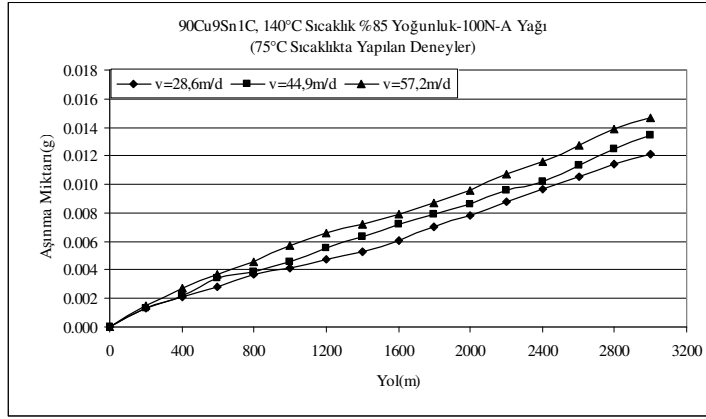


(b)

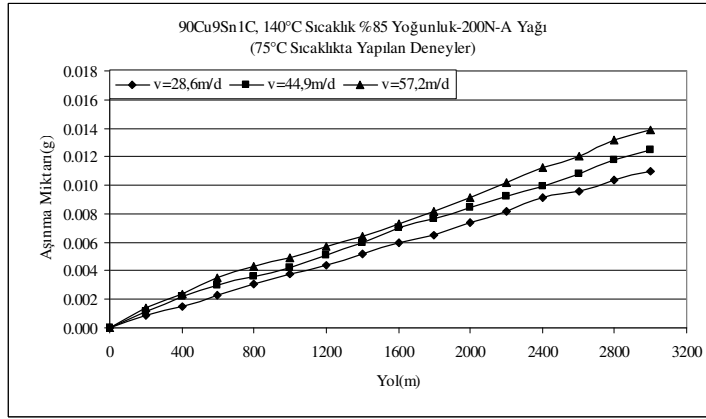


(c)

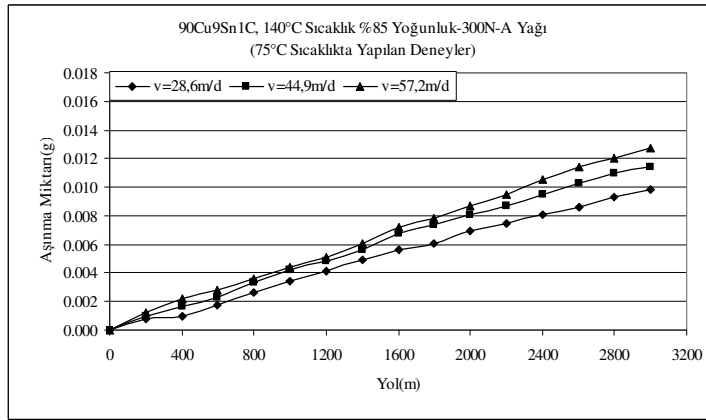
Şekil 13. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

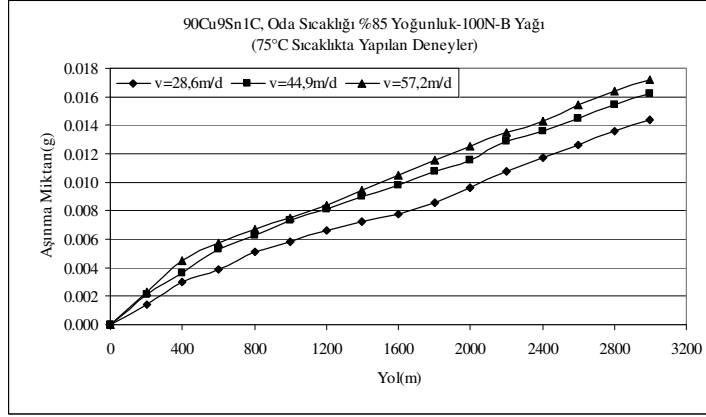


(b)

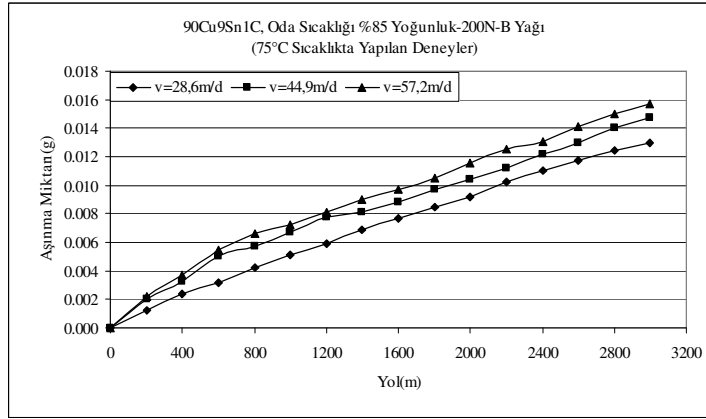


(c)

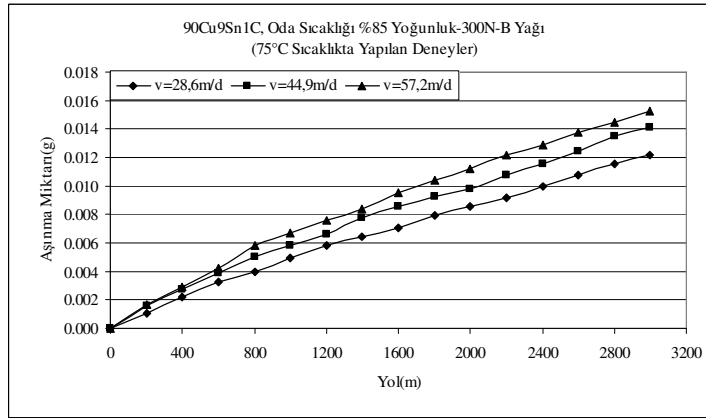
Şekil 14. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'da sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, A Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları



(a)

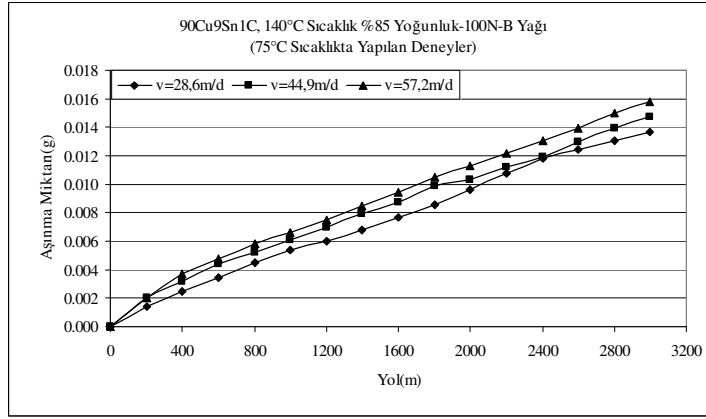


(b)

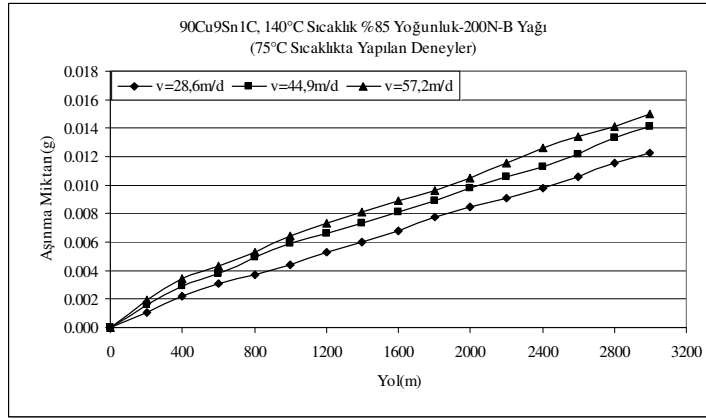


(c)

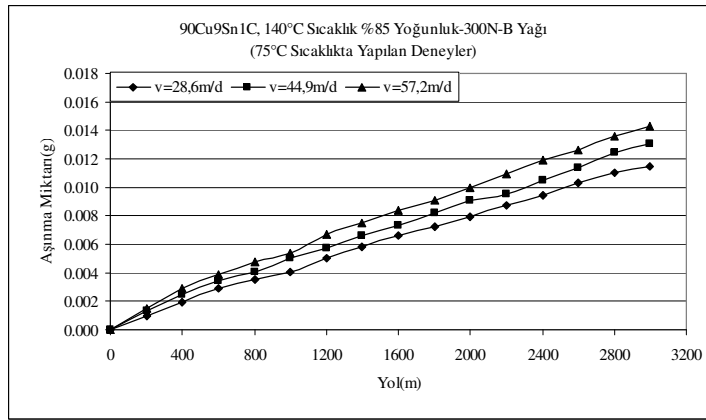
Şekil 15. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, oda sıcaklığında sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hızla bağlı olarak aşınma davranışları



(a)



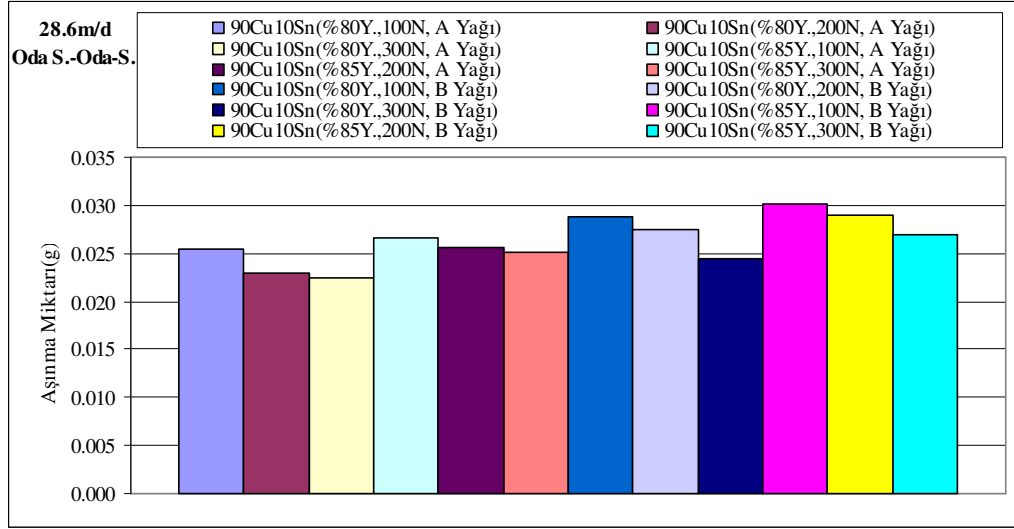
(b)



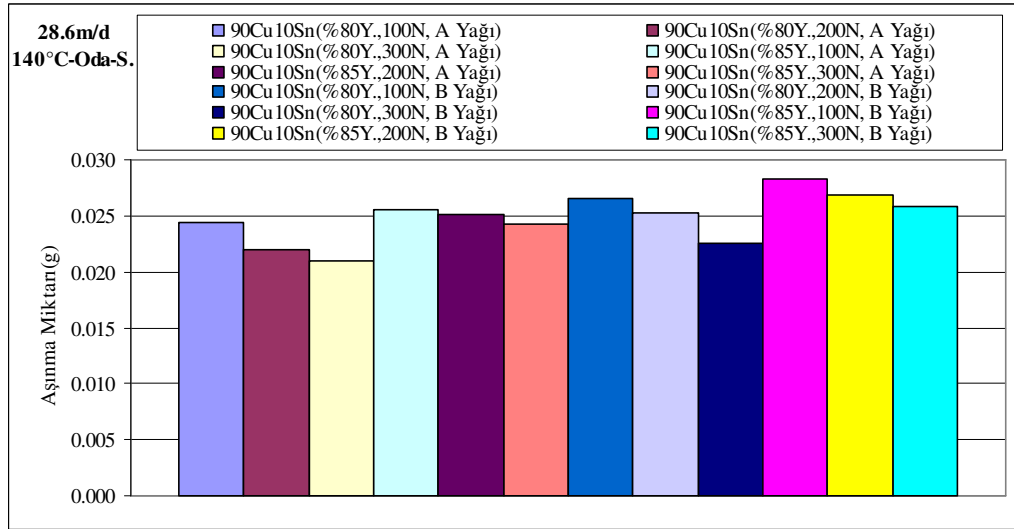
(c)

Şekil 16. 90Cu9Sn1C kompozisyona sahip, 140°C'da sıkıştırılmış, %85 son yoğunluğa sahip, B Yağı emdirilmiş, 75°C'da a)±100N b) ±200N b) ±300N yük altında deneye tabi tutulmuş yatakların hıza bağlı olarak aşınma davranışları

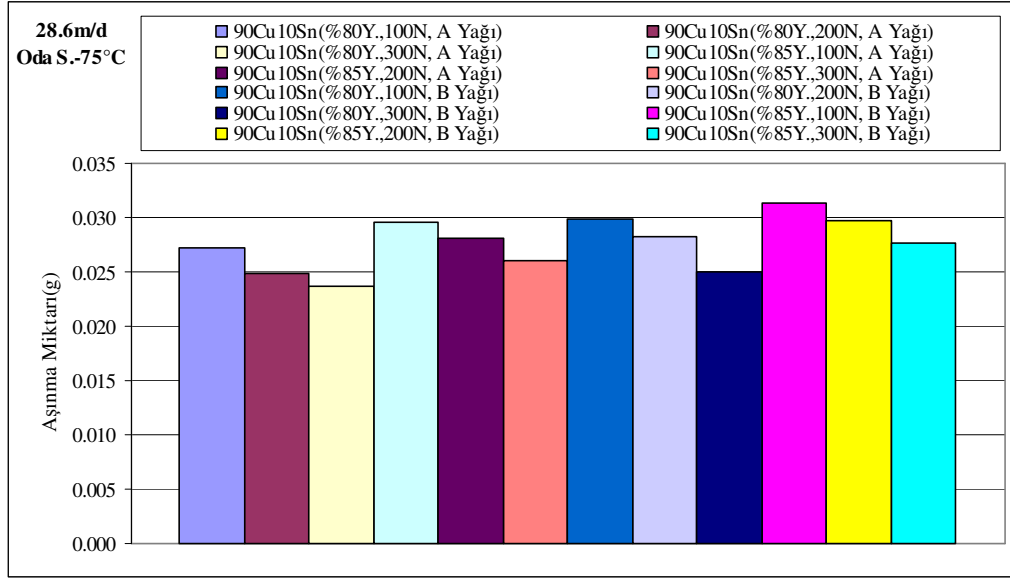
EK-4 Farklı Şartlardaki Aşınma Miktarları



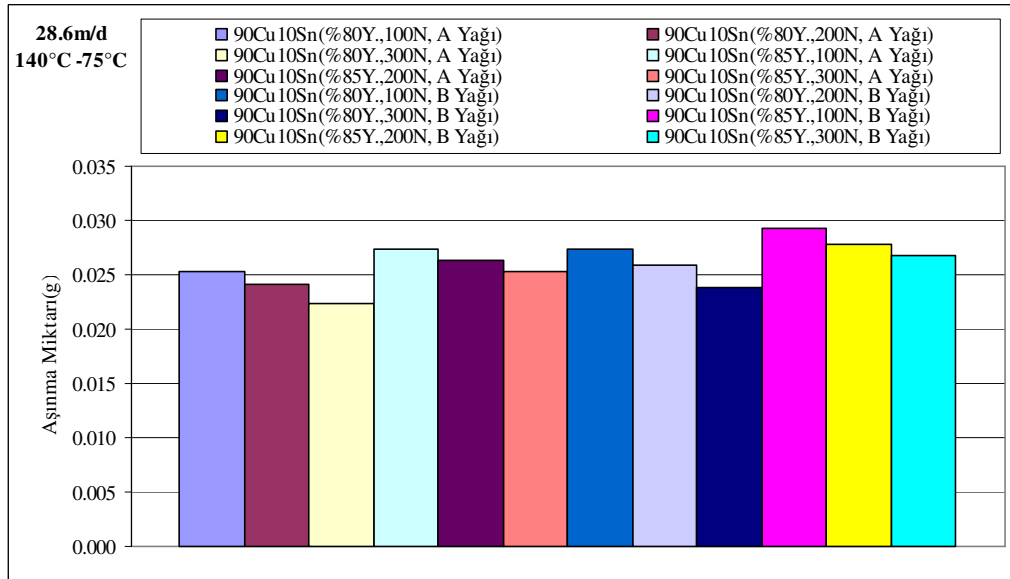
Şekil 1. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 28,6m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



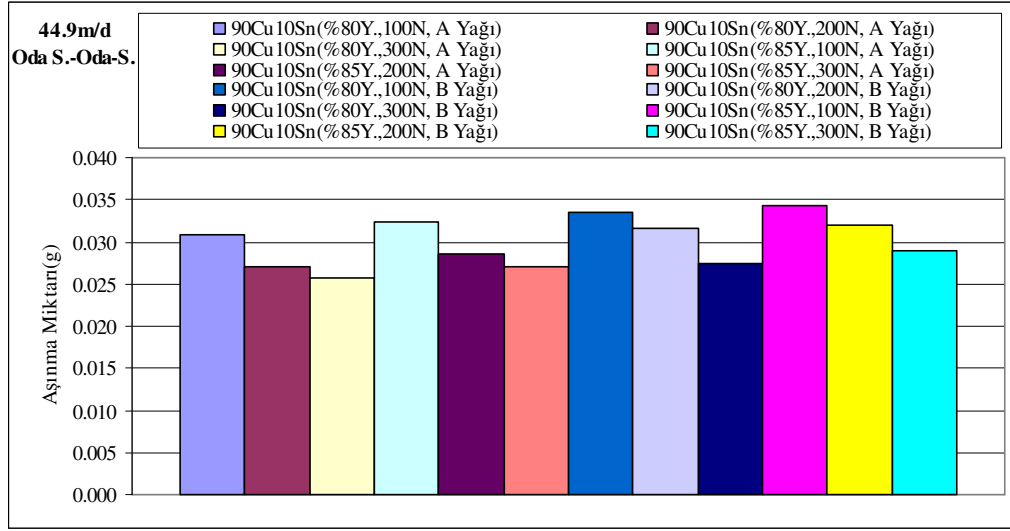
Şekil 2. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu10Sn numunelerin, 28,6m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



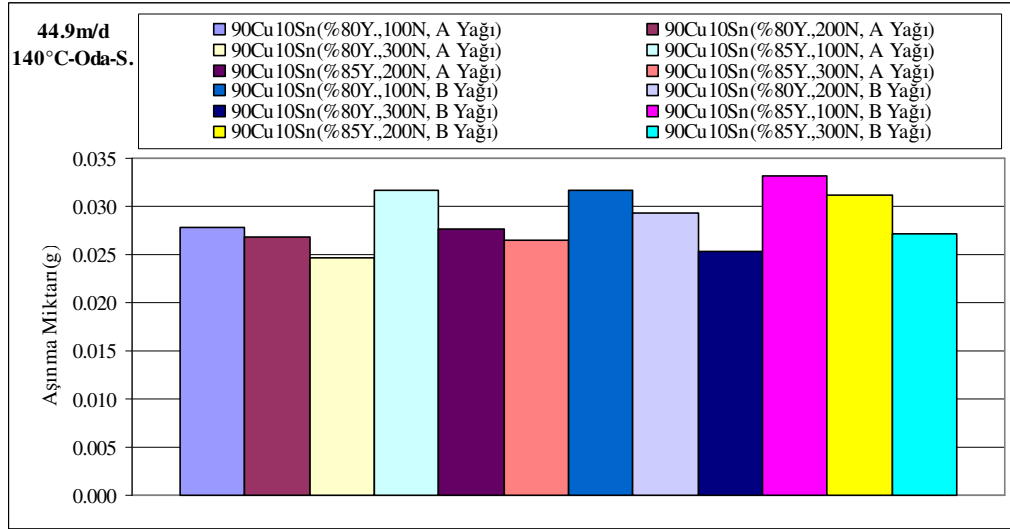
Şekil 3. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 28,6m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



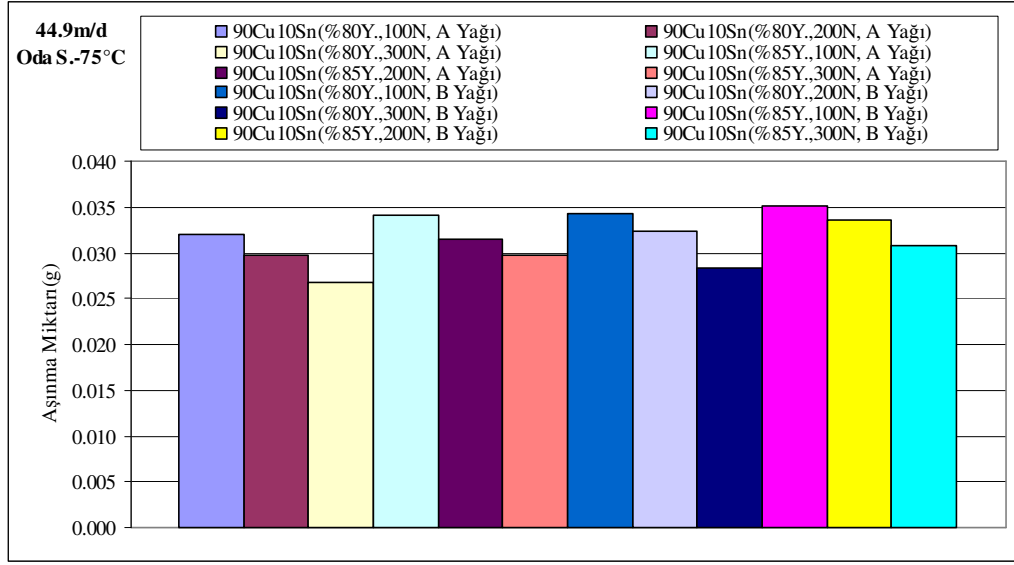
Şekil 4. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 28,6m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



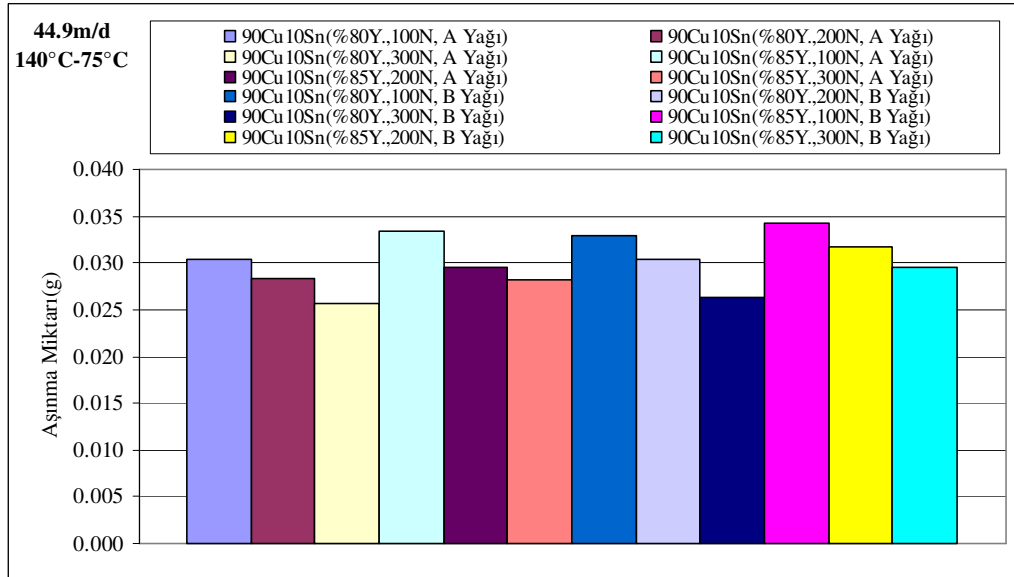
Şekil 5. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 44,9m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



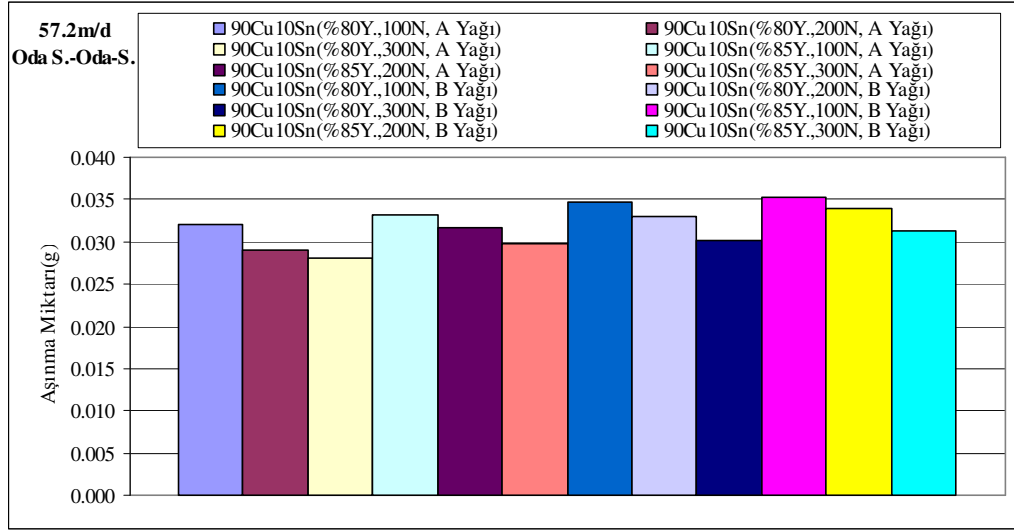
Şekil 6. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 44,9m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



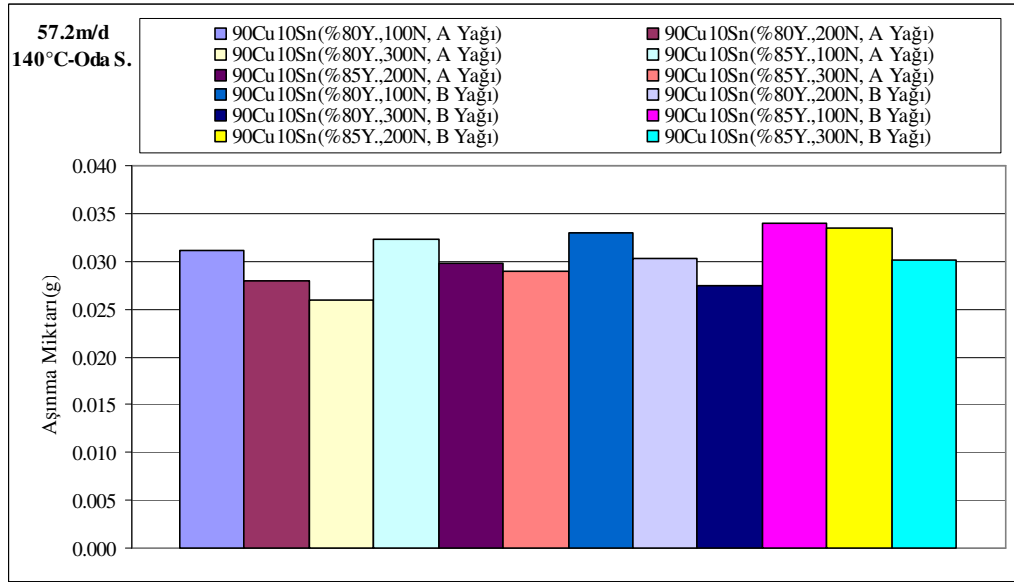
Şekil 7. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 44,9m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



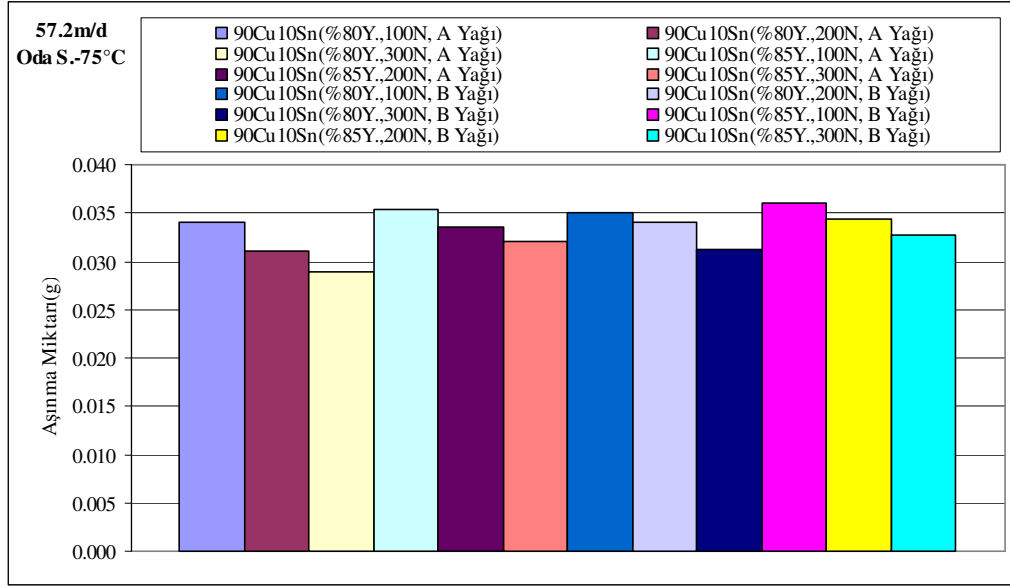
Şekil 8. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış 90Cu10Sn numunelerin, 44,9m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



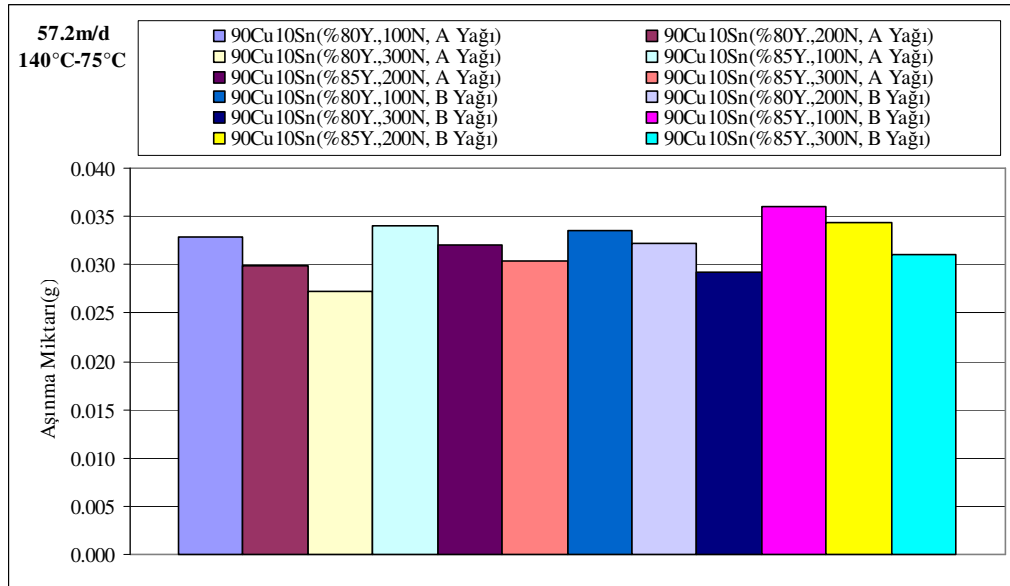
Şekil 9. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu10Sn numunelerin, 57,2m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



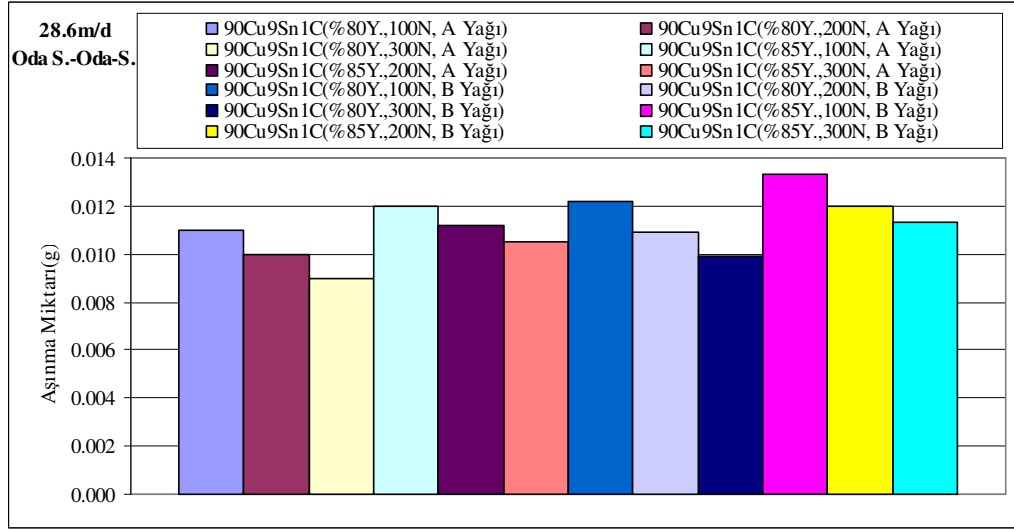
Şekil 10. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu10Sn numunelerin, 57,2m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



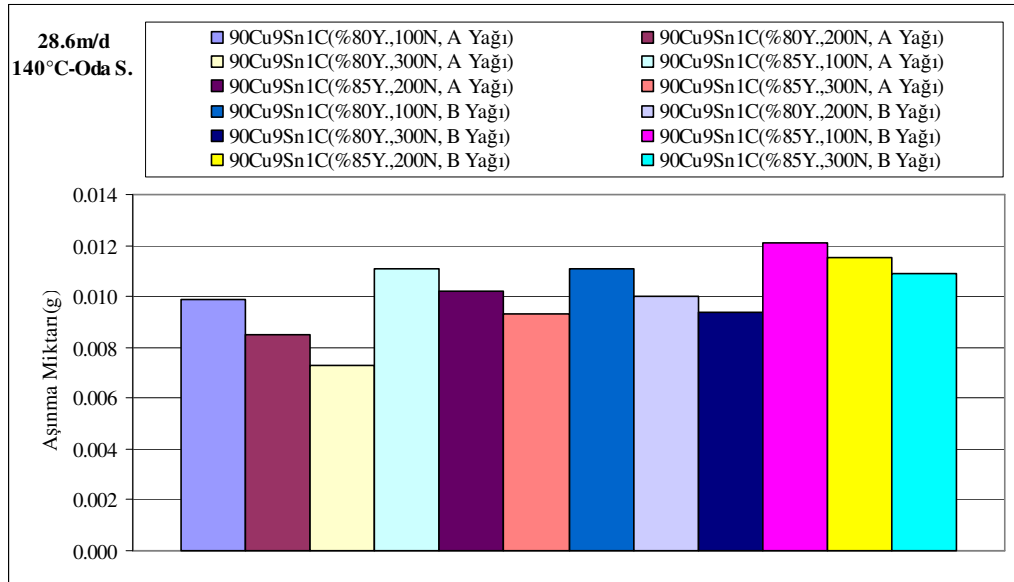
Şekil 11. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu10Sn numunelerin, 57,2m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



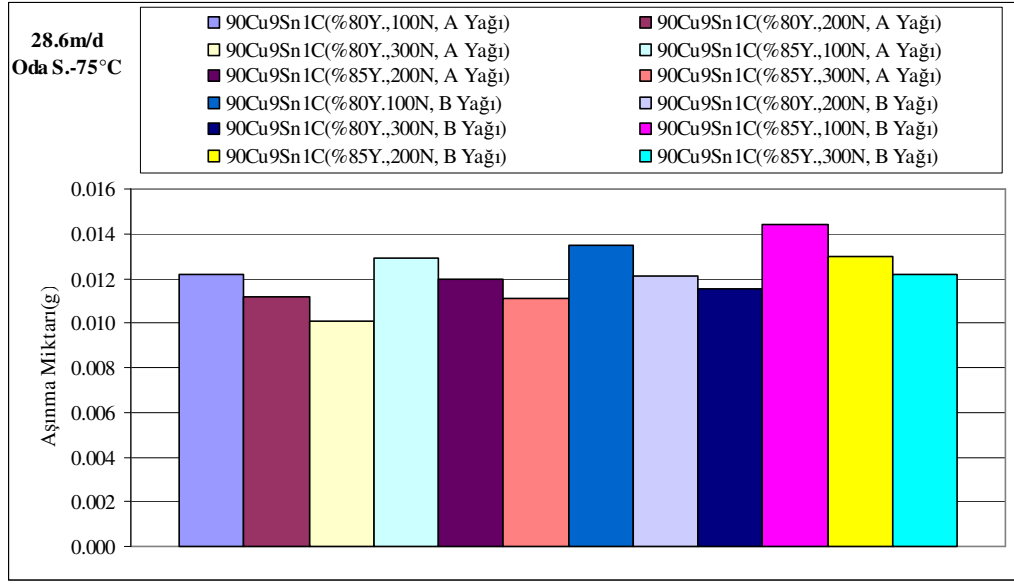
Şekil 12. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu10Sn numunelerin, 57,2m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



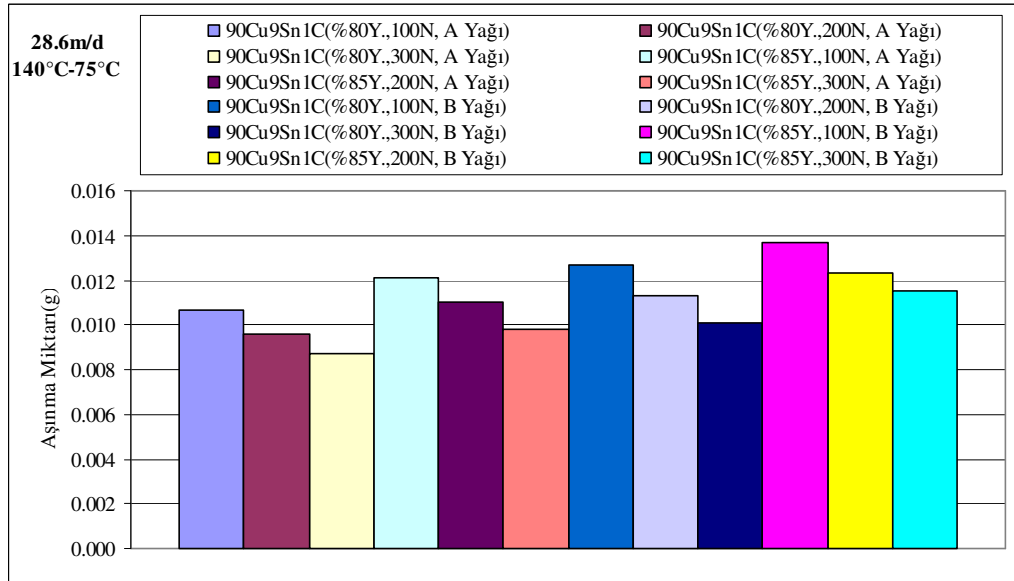
Şekil 13. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 28,6m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



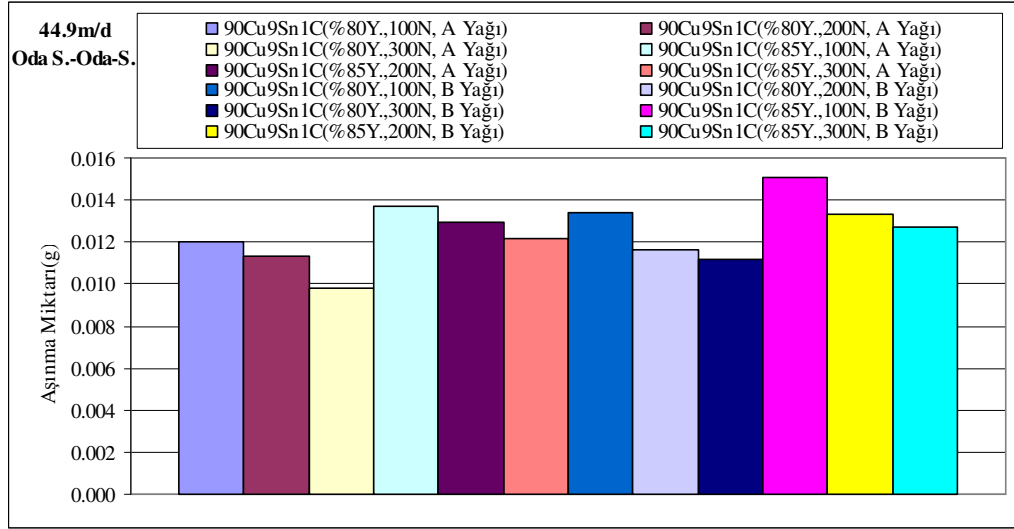
Şekil 14. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 28,6m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



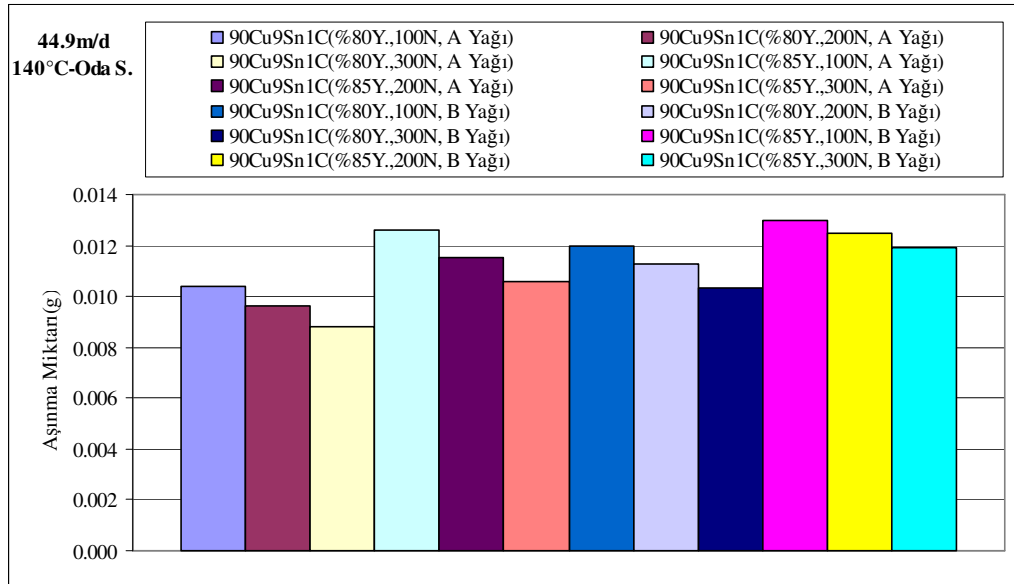
Şekil 15. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 28,6m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



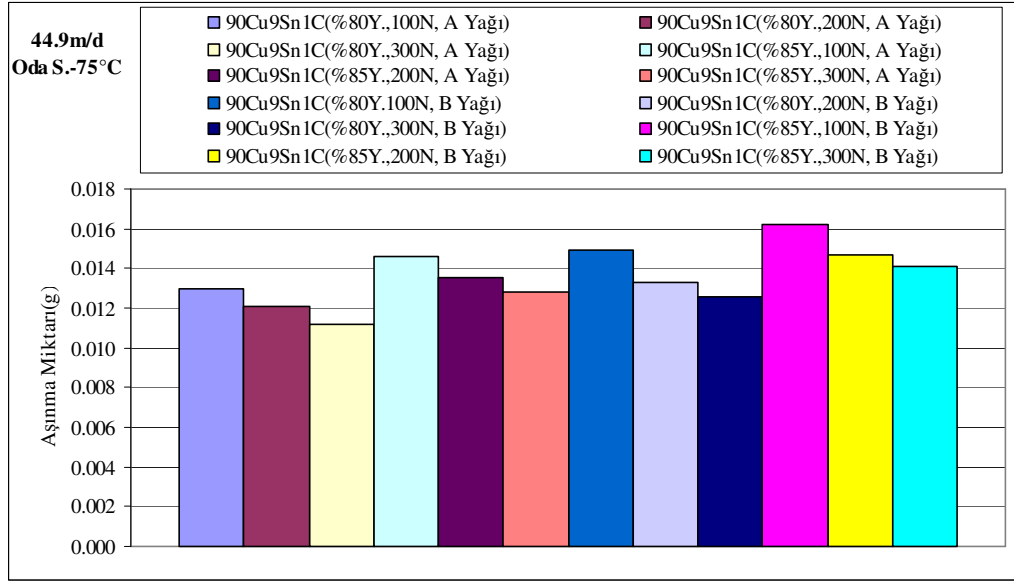
Şekil 16. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 28,6m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



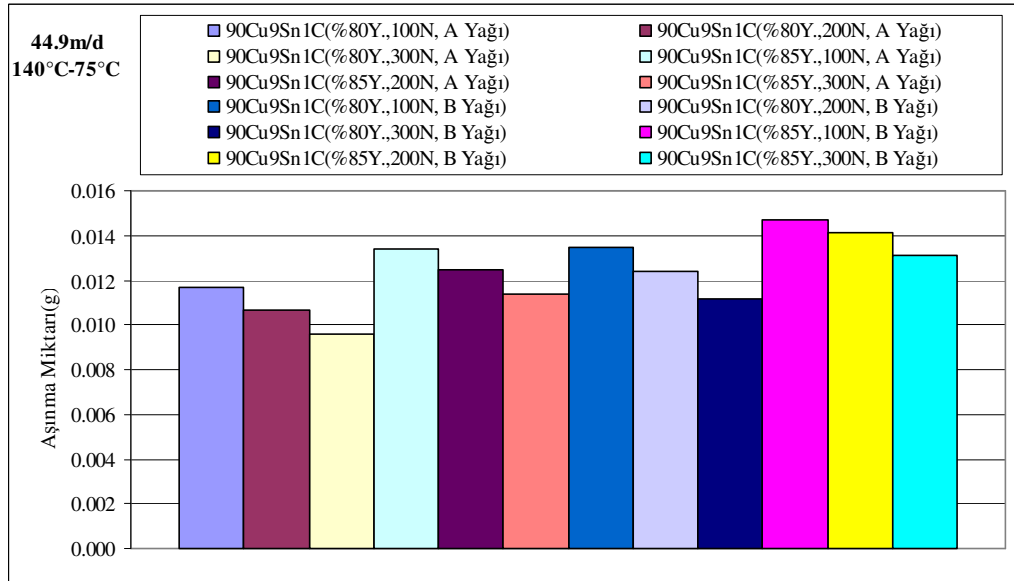
Şekil 17. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 44,9m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



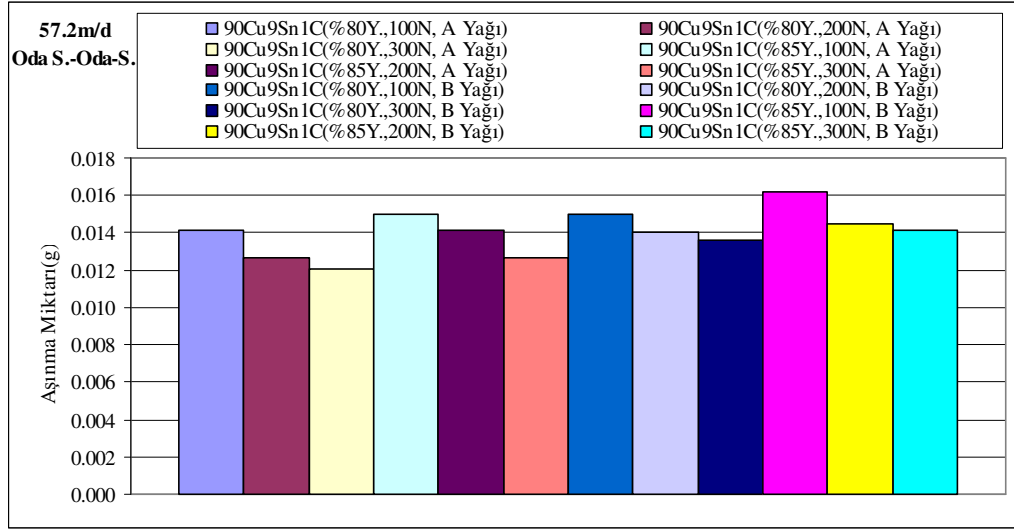
Şekil 18. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 44,9m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



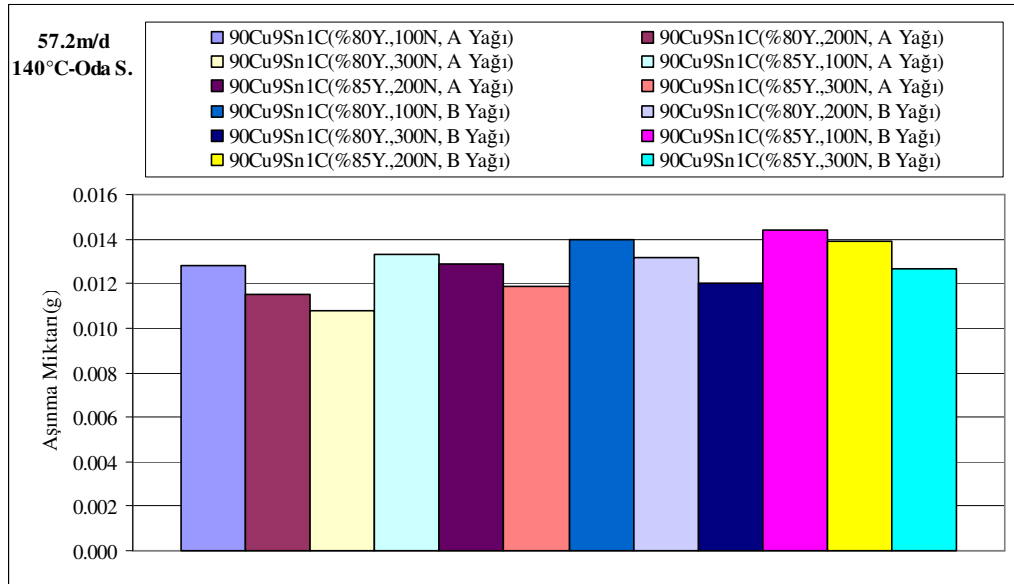
Şekil 19. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 44,9m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



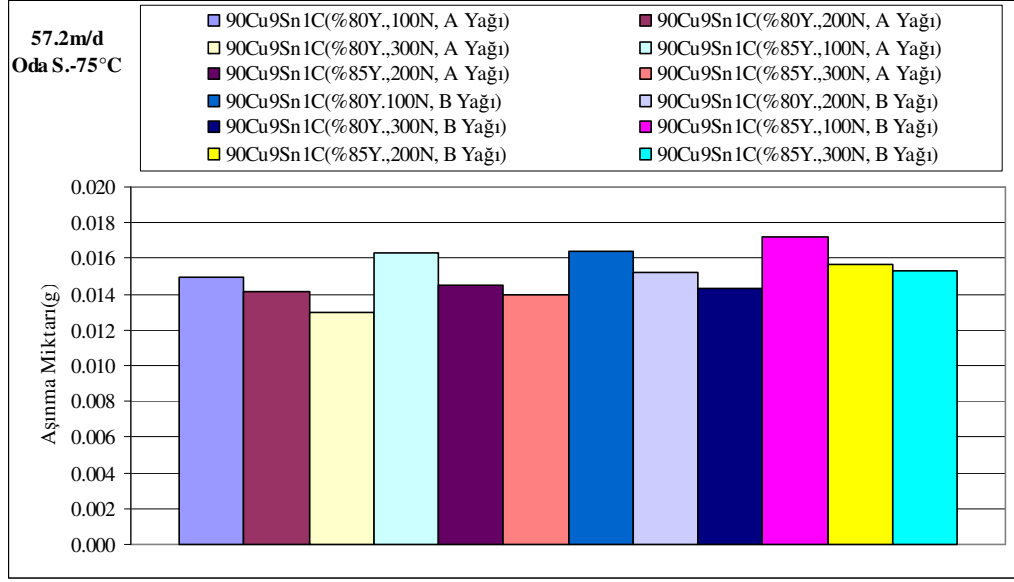
Şekil 20. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 44,9m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



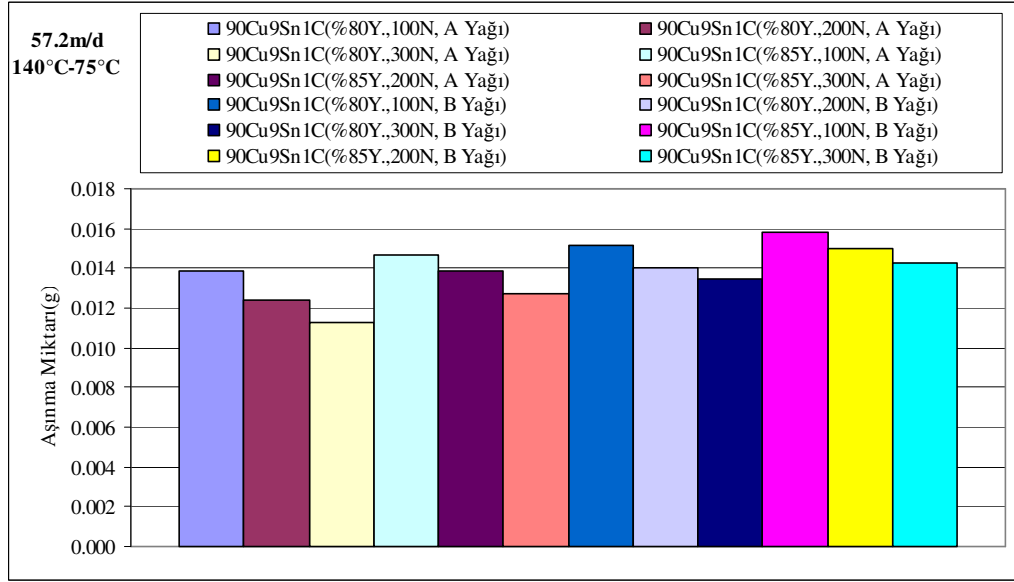
Şekil 21. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 57,2m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



Şekil 22. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 57,2m/d hızda ve oda sıcaklığında yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



Şekil 23. Oda sıcaklığında sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 57,2m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları



Şekil 24. 140°C sıcaklıkta sıkıştırılmış, 90Cu9Sn1C numunelerin, 57,2m/d hızda ve 75°C sıcaklıkta yapılan deneylerde yoğunluğa, yüke ve emdirilen yağ cinsine bağlı olarak aşınma miktarları

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Recai Fatih TUNAY

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 1977

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kabataş Erkek Lisesi, İstanbul, 1994

Lisans : S.D.Ü. Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü, 1999

Yüksek Lisans : S.D.Ü. Fen Bil. Ens. Makina Müh. Anabilim Dalı, 2001

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Süleyman Demirel Üniversitesi, 2000-

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)

1- Durak, E., Kurbanoğlu, C., Tunay, R.F., 2006, Experimental Study of Effects of Oil Additives into Coefficient of Friction in Journal Bearings at Different Temperatures, Industrial Lubrication and Tribology, Volume 58 Issue 6, pp. 288-294.

2- Tüfekci, K., Kurbanoğlu, C., Durak, E., Tunay, R.F., 2006, "Friction and Wear Properties of Cu and Fe-Based P/M Bearing Materials", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.20. No 4. pp.513-521.

3- Durak, E., Kurbanoğlu, C., Kaleli H., Tunay, R.F., 2004, "Measurement of Friction Force and Wear of Based Journal Bearings Manufactured With Powder Metallurgy (P/M)", Journal Of The Balkan Tribological Association, 4(10), 509-517.

4-Tunay R.F., Tüfekci K., Durak E., Kurbanoğlu C., 2004 "Yağ Katkı Maddelerinin Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Katsayısına ve Aşınmaya Etkilerinin Deneysel İncelenmesi" 11th. International Conference On Machine Design And Production, Vol.2 p.989-1005 Antalya/Turkey

5-Varol, R., Tunay, R.F., 2001, "Bilyalı Dövülmüş AA2024 Alüminyum Alaşımının Aşınma Özellikleri", Mühendis ve Makine, Cilt 42, Sayı 497 s.40-44. Haziran, 2001