

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Zn-30Al ESASLI ALAŞIMLARIN YAPI ve ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Hasan Onur TAN

**OCAK 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Hasan Onur TAN tarafından hazırlanan

Zn-30Al ESASLI ALAŞIMLARIN YAPI ve ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 18 /12 /2018 gün ve 1783 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Üye : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

H. Çimenöğlü

Üye : Prof. Dr. Ümit UZMAN

U. Uzman

Üye : Doç. Dr. Osman BİCAN

O. Bican

Üye : Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ

Y. Alemdağ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çinko esaslı ticari alaşımlar 1920'li yılların sonlarına doğru Zamak 2, 3, 5 ve 7 adlarıyla piyasada yer almaya başlamışlardır. İkinci Dünya Savaşı sırasında geleneksel yatak malzemesi tedarikinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle çinko esaslı yeni yatak alaşımı geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmış ve sonuçta daha yüksek oranlarda alüminyum içeren ZA-8, ZA-12, ZA-27, ALZEN 305 (Zn-30Al-5Cu) ve ALZEN 501 (Zn-50Al-1Cu) alaşımları geliştirilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle ötektik (Zn-5Al), ötektoid (Zn-22Al) ve monotektoid [Zn-(30-40)Al] esaslı alaşımlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Zn-30Al esaslı alaşımlar üzerindeki inceleme ve araştırma çalışmaları ise İkinci Dünya Savaşı sırasında başlatılmış ve 1970'li yılların başında ALZEN 305 (Zn-30Al-5Cu) adlı ticari alaşım geliştirilmiştir. Ancak, bu alaşımın kimyasal bileşiminin belirlenmesi ve yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi konusunda sistematik bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada bakır ve/veya silisyum katkılarının ALZEN 305 alaşımının temelini oluşturan Zn-30Al alaşımının yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların ticari SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından aynı koşullarda elde edilen bulgularla karşılaştırılarak çeşitli uygulamalar için en uygun kimyasal bileşim ve çalışma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Zn-30Al esaslı alaşımların hepsi SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından daha üstün aşınma direncine sahip oldukları görülmüştür.

Tez danışmanlığımı üstlenerek bu konunun seçiminde ve çalışmaların her aşamasında beni yönlendirip desteğini esirgemeyen hocam sayın Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarına yardım eden ve katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ'a, Dr. Öğr. Üyesi Ali Paşa HEKİMOĞLU'na, Dr. Öğr. Üyesi Zeki AZAKLI'ya, Arş. Gör. Doğan ACAR'a ve Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme ve Takım Tezgâhları Laboratuvarında görevli teknisyenlere teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Hasan Onur TAN

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Zn-30Al ESASLI ALAŞIMLARIN YAPI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.18/01/2019

Hasan Onur TAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XXIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Faz Diyagramları.....	3
1.2.1. İkili Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı.....	3
1.2.2 Üçlü Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı.....	4
1.2.3 Dörtlü Çinko-Alüminyum-Bakır-Silisyum Faz Diyagramı.....	5
1.3 Çinko Esaslı Alaşımların Özellikleri.....	6
1.3.1 Çinko Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri.....	6
1.3.2 Çinko Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri.....	7
1.3.3 Çinko Esaslı Alaşımların Tribolojik Özellikleri.....	10
1.3.4 Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	10
2. MATERYAL VE METOT.....	12
2.1 Alaşımların Üretimi ve Kimyasal Analiz.....	12
2.2 Alaşımların Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerini İncelenmesi.....	12
2.3 Alaşımların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi.....	13
2.4 Aşınma Yüzeylerinin ve Parçacıklarının İncelenmesi.....	17

3.	BULGULAR	18
3.1	Alaşımların Kimyasal Bileşimleri	18
3.2.	Yapısal İncelemelerden Elde Edilen Bulgular	19
3.3	Fiziksel ve Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular	25
3.4	Sürtünme ve Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulgular	29
3.5	Yağsız Durumda Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzeylelerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular	80
3.6	Yağlı Durumda Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzeylelerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular	91
3.7	Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzey Altı İncelemelerinden Elde Edilen Bulgular	108
3.8	Aşınma Parçacıklarının İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular	123
4.	TARTIşMA.....	128
4.1.	Metalografik İncelemelerden Elde Edilen Bulguların Tartışılması	128
4.2.	Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulguların Tartışılması	129
4.3.	Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması	130
4.4.	Alaşımların Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Korelasyonu	137
4.5.	Aşınma Numunelerinin Yüzey ve Yüzey Altı Bölgeler ile Aşınma Parçacıklarının İncelenmesinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması.....	143
5.	SONUÇLAR	147
6.	ÖNERİLER	150
7.	KAYNAKLAR.....	151
	ÖZGEÇMİş.....	158

Doktora Tezi

ÖZET

Zn-30Al ESASLI ALAŞIMLARIN YAPI ve ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan Onur TAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN
2019, 157

Bu çalışmada bir adet ikili Zn-30Al, beş adet üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu ve altı adet dördü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımı kokil kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşımların yapısal ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra tribolojik özellikleri blok-disk esaslı bir aşınma deney düzeneği yardımıyla incelendi. Elde edilen sonuçlar, aynı koşullarda SAE 65 ve 660 bronzlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldı.

İkili Zn-30Al alaşımının içyapısının α , β ve η fazlarından, üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının içyapılarının ise ikili alaşımdaki fazlar ile birlikte ϵ fazından oluştuğu görüldü. Dördü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının içyapılarının ise üçlü alaşımların yapısında bulunan fazlar ile silisyum parçacıklarından oluştuğu gözlemlendi. Üçlü alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinin artan bakır oranıyla arttığı; dördü alaşımların sertliğinin artan silisyum oranıyla arttığı, çekme dayanımının ise %1 Si oranından sonra azaldığı görüldü. Aşınma deneyine tabi tutulan tüm alaşımların sürtünme katsayıları artan basınç ile azalırken, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin arttığı gözlemlendi. Kayma hızının artması durumunda ise alaşımların söz konusu değerlerinin arttığı belirlendi. Zn-30Al esaslı alaşımların hepsinin SAE 65 ve 660 bronzlarından daha yüksek aşınma direnci sergiledikleri görüldü.

Yapılan değerlendirme sonucunda Zn-30Al esaslı alaşımlar için tribolojik özellik-bakır/silisyum oranı-çalışma parametresi ilişkileri belirlendi. Üçlü ve dördü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncine sahip Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının sürtünme katsayısı ve aşınma hacmi değerlerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren denklemler ortaya konuldu.

Anahtar Kelimeler: Zn-30Al Esaslı Alaşımlar, İçyapı, Mekanik Özellikler, Sürtünme ve Aşınma Özellikleri, Aşınma miktarı-çalışma parametresi ilişkisi

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF
Zn-30Al BASED ALLOYS

Hasan Onur TAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN
2019, 157 pages

In this study, one binary Zn-30Al, five ternary Zn-30Al-(1-5)3Cu and six quaternary Zn-30Al-3Cu-(0.5-5)Si alloys were prepared by permanent mold casting. Tribological properties of these alloys were studied using a block-on-disk machine after determining their microstructural and mechanical properties.

The microstructure of binary Zn-30Al alloy is composed of α , β and η phases. The microstructure of the ternary Zn-30Al-(1-5)Cu alloys contained ϵ phase in addition to the phases present in the binary alloy, and the quaternary Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alloys revealed silicon particles in addition to the phases observed in the ternary alloys. The hardness and the tensile strength of the ternary alloys increased, but their ductility decreased with copper content. The tensile strength of quaternary alloys increased with silicon content up to % 1, above which the trend reversed. However, the hardness of the quaternary alloys increased with increasing silicon content. Among the ternary and the quaternary alloys, the highest wear resistance was obtained from Zn-30Al-3Cu and Zn-30Al-3Cu-0.5Si alloys, respectively. The temperature and wear volume of the experimental alloys increased, but their friction coefficient decreased with contact pressure. However, the values of these properties increased with sliding velocity in both lubricated and unlubricated conditions. The wear resistance of Zn-30Al based ternary and quaternary alloys were found to be higher than those of SAE 65 and SAE 660 bronzes.

Correlation of the experimental data resulted in the determination of tribological property-Cu/Si content-test parameter relationships for the Zn-30Al-based alloys. In addition, the equations for estimation of the friction coefficient and the wear volume of the Zn-30Al-3Cu and Zn-30Al-3Cu-0.5Si alloys which have the highest wear resistance among the experimental alloys were derived.

Key Words: Zn-30Al Based Alloys, Microstructure, Mechanical properties, Friction and wear, Wear volume-test parameter relationship.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	İkili çinko-alüminyum faz diyagramı	3
Şekil 2.	Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminin 350 °C sıcaklıktaki izotermal kesiti	5
Şekil 3.	Dörtlü Zn-Al-Cu-Si alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri	6
Şekil 4.	Aşınma deney düzeneğinin kesit resmi (önden görünüm)	15
Şekil 5.	Aşınma deney düzeneğinin kesit resmi (üstten görünüm).....	15
Şekil 6.	Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı.....	16
Şekil 7.	Aşınma deney düzeneğinin yakından görünümü.....	16
Şekil 8.	Sürtünme ve aşınma deney numunesinin teknik resmi.....	17
Şekil 9.	Zn-30 Al alaşımının içyapısının SEM görüntüsü.	19
Şekil 10.	Zn-30 Al alaşımının içyapısının detaylı SEM görüntüsü	20
Şekil 11.	Zn-30Al-1Cu alaşımının içyapısının SEM görüntüsü	20
Şekil 12.	Zn-30Al-3Cu alaşımının içyapısının SEM görüntüsü	21
Şekil 13.	Zn-30Al-3Cu alaşımından yüksek büyütmede elde edilen SEM görüntüsü.	21
Şekil 14.	Zn-30Al-5Cu alaşımının içyapısının SEM görüntüsü	22
Şekil 15.	Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının içyapısını gösteren SEM görüntüsü.....	22
Şekil 16.	Zn-30Al-3Cu-3Si alaşımının içyapısını gösteren SEM görüntüsü.....	23
Şekil 17.	Zn-30Al-3Cu-5Si alaşımının içyapısını gösteren SEM görüntüsü.....	23
Şekil 18.	SAE 65 bronzundan ışık mikroskobu ile elde edilen içyapı görüntüsü.....	24
Şekil 19.	SAE 660 bronzundan ışık mikroskobu ile elde edilen içyapı görüntüsü.....	24
Şekil 20.	Zn-30Al-(0-5)Cu alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler	27
Şekil 21.	Zn-30Al-3Cu(0,5-5)Si alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin silisyum oranına göre değişimlerini gösteren eğriler.....	28
Şekil 22.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	30
Şekil 23.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	31

Şekil 24.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	32
Şekil 25.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	33
Şekil 26.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	33
Şekil 27.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	34
Şekil 28.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	34
Şekil 29.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	35
Şekil 30.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	35
Şekil 31.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler	37
Şekil 32.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler	38
Şekil 33.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler	39
Şekil 34.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	40
Şekil 35.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	40

Şekil 36.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	41
Şekil 37.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	41
Şekil 38.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	42
Şekil 39.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	42
Şekil 40.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	44
Şekil 41.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	45
Şekil 42.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	46
Şekil 43.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	47
Şekil 44.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	47
Şekil 45.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	48
Şekil 46.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	48
Şekil 47.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	49
Şekil 48.	Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin	

	kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	49
Şekil 49.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	51
Şekil 50.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	52
Şekil 51.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler	53
Şekil 52.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	54
Şekil 53.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	54
Şekil 54.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	55
Şekil 55.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	55
Şekil 56.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	56
Şekil 57.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	56
Şekil 58.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler	58
Şekil 59.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler	59
Şekil 60.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660	

	bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç göre değişimlerini gösteren eğriler	60
Şekil 61.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	61
Şekil 62.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	61
Şekil 63.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	62
Şekil 64.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	62
Şekil 65.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	63
Şekil 66.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	63
Şekil 67.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	65
Şekil 68.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	66
Şekil 69.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler	67
Şekil 70.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	68
Şekil 71.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	68
Şekil 72.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	69
Şekil 73.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin	

	kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	69
Şekil 74.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	70
Şekil 75.	Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	70
Şekil 76.	Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler	71
Şekil 77.	Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler	72
Şekil 78.	Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen hacim kaybı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler	72
Şekil 79.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	73
Şekil 80.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	74
Şekil 81.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	74
Şekil 82.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	75
Şekil 83.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	75
Şekil 84.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	76
Şekil 85.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	76
Şekil 86.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	77
Şekil 87.	Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	77

Şekil 88.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	78
Şekil 89.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik.....	78
Şekil 90.	Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik	79
Şekil 91.	Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü.....	80
Şekil 92.	Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü.....	81
Şekil 93.	SAE 65 bronzuna ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü	81
Şekil 94.	SAE 660 bronzuna ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü	82
Şekil 95.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	83
Şekil 96.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	83
Şekil 97.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	84
Şekil 98.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	84
Şekil 99.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	85
Şekil 100.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	85
Şekil 101.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	86
Şekil 102.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü.....	86
Şekil 103.	Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	87

Şekil 104.	Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	87
Şekil 105.	Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	88
Şekil 106.	Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	88
Şekil 107.	Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	89
Şekil 108.	Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	89
Şekil 109.	Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	90
Şekil 110.	Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	90
Şekil 111.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-1Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	91
Şekil 112.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	92
Şekil 113.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	92
Şekil 114.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	93
Şekil 115.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-3Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	93
Şekil 116.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi	

	sonucunda Zn-30Al-3Cu-5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	94
Şekil 117.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	94
Şekil 118.	Yağlı durumda 1 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	95
Şekil 119.	Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	96
Şekil 120.	Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	96
Şekil 121.	Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	97
Şekil 122.	Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	97
Şekil 123.	Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	98
Şekil 124.	Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	98
Şekil 125.	Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	99
Şekil 126.	Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	99
Şekil 127.	Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	100
Şekil 128.	Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	100

Şekil 129. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	101
Şekil 130. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	101
Şekil 131. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	102
Şekil 132. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	102
Şekil 133. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	103
Şekil 134. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	103
Şekil 135. Yağlı durumda 0,5 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü ...	104
Şekil 136. Yağlı durumda 3 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü ...	104
Şekil 137. Yağlı durumda 0,5 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	105
Şekil 138. Yağlı durumda 3 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	105
Şekil 139. Yağlı durumda 0,5 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	106
Şekil 140. Yağlı durumda 3 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	106
Şekil 141. Yağlı durumda 0,5 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	107

Şekil 142.	Yağlı durumda 3 cm ³ /saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü	107
Şekil 143.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	108
Şekil 144.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	109
Şekil 145.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	109
Şekil 146.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	110
Şekil 147.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	110
Şekil 148.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	111
Şekil 149.	Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	111
Şekil 150.	Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	112
Şekil 151.	Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	112
Şekil 152.	Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	113

Şekil 153. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	113
Şekil 154. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	114
Şekil 155. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	114
Şekil 156. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	115
Şekil 157. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	115
Şekil 158. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü	116
Şekil 159. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler.....	117
Şekil 160. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler.....	117
Şekil 161. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler	118
Şekil 162. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler	118
Şekil 163. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 65 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler	119

Şekil 164. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 65 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler.....	119
Şekil 165. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler.....	120
Şekil 166. Farklı hızlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler	120
Şekil 167. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü	121
Şekil 168. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü.....	122
Şekil 169. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü	122
Şekil 170. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm ³ /saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü	123
Şekil 171. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	124
Şekil 172. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	124
Şekil 173. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	125
Şekil 174. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	125
Şekil 175. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	126

Şekil 176. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	126
Şekil 177. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	127
Şekil 178. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü	127
Şekil 179. Yağsız durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler	138
Şekil 180. Yağlı durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler	138
Şekil 181. Yağsız durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarında aşınma ile meydana gelen hacim kaybı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler	139
Şekil 182. Yağlı durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarında aşınma ile meydana gelen hacim kaybı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler	140
Şekil 183. Yağsız durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler	141
Şekil 184. Yağlı durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler	141
Şekil 185. Yağsız durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler	142
Şekil 186. Yağlı durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler	143

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri	4
Tablo 2.	Çinko-alüminyum-bakır sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri	5
Tablo 3.	Çinko esaslı ticari alaşımlar ile bazı geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri	7
Tablo 4.	Çinko esaslı bazı ticari alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin mekanik özellikleri	9
Tablo 5.	Zn-30Al esaslı alaşımların kimyasal bileşimleri	18
Tablo 6.	SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının kimyasal bileşimleri	18
Tablo 7.	Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yoğunluk, sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci ve kalite indeksi değerleri.....	26

1. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, tez konusu olan Zn-30Al esaslı alaşımlara yönelik literatür bilgileri ile tez çalışmasının gerekçe ve amacı verilmektedir.

1.1 Giriş

Çinko esaslı ticari alaşımlar 1920'li yılların sonlarına doğru Zamak 2, 3, 5 ve 7 adlarıyla piyasada yer almaya başlamışlardır. İkinci Dünya Savaşı sırasında geleneksel yatak malzemesi tedarikinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle çinko esaslı yeni yatak alaşımı geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmış ve sonuçta daha yüksek oranlarda alüminyum içeren ZA-8, ZA-12, ZA-27, ALZEN 305 (Zn-30Al-5Cu) ve ALZEN 501 (Zn-50Al-1Cu) alaşımları geliştirilmiştir [1-14]. Günümüze kadar süregelen çalışmalar sonucunda çinko esaslı üçlü ve dörtlü alaşımların beyaz metal (Babbit), bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarından daha üstün özelliklere sahip oldukları görülmüştür [1-6,15-19]. Bu üstünlükler; üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, özgül mukavemetlerinin yüksek olması, yüksek aşınma direncine sahip olmaları, sert parçacıkları yutma özelliğine sahip olmaları, yetersiz yağlama durumunda bile ideal tribolojik davranış sergilemeleri, yüksek titreşim sönümleme özelliğine sahip olmaları şeklinde sıralanabilir [4-6,15-20]. Ancak alüminyum ve bakır içeren çinko esaslı alaşımların bazı dezavantajları olduğu bilinmektedir [16,17,21,22]. Bunların başında bakır içeren çinko esaslı alaşımların dökülmüş durumda boyutsal kararsızlık sergilemeleri gelmektedir [9,15,22,23]. Boyutsal kararsızlık sorunu, döküm sırasında oluşan metastabil ϵ (CuZn_4) fazının alaşımların kullanımı sırasında dörtlü faz reaksiyonu ($\alpha + \epsilon \rightleftharpoons \text{T}' + \eta$) sonucunda kararlı fazlara dönüşmesinden kaynaklanmaktadır [15,21,24-30]. Bu alaşımlarda karşılaşılan bir diğer problem ise sertlik ve mukavemet değerlerinin pek çok uyulama için yeterli olmamasıdır [22,31-34]. Yapılan çalışmalar sonucunda, söz konusu alaşımlara uygun alaşım elementi katmak veya uygun ısıl işlem uygulamak suretiyle hem boyutsal kararsızlık probleminin ortadan kaldırılmasının hem de mekanik özelliklerin iyileştirilmesinin mümkün olduğu görülmüştür [10,15,16,21]. Bakır katkısının çinko esaslı alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği bilinmektedir [19,21,23,25,31,35,36-40]. Ancak bakır oranının % 3'ü aşması durumunda boyutsal kararsızlık problemi ortaya çıkmaktadır

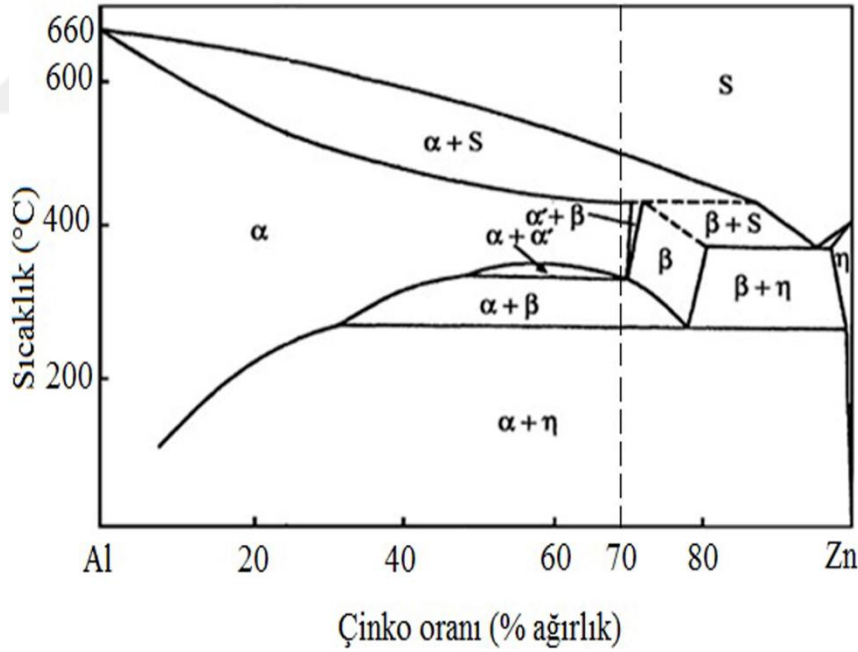
[15,22]. Diğer taraftan bu alaşımların ergime sıcaklıklarının oldukça düşük olduğu bilinmektedir [19,35,36]. Bu durum difüzyon hızının yüksek olmasına ve alaşımların mekanik özelliklerinin sıcaklığa duyarlı hale gelmesine sebep olmaktadır. Bu sebepten ötürü söz konusu alaşımların kullanım sıcaklıkları yaklaşık olarak 100 °C ile sınırlanmıştır [19,35,36]. Bakır içeren çinko esaslı alaşımların sertlik, mukavemet ve aşınma direncini artırmak amacıyla bunlara başta silisyum olmak üzere magnezyum, mangan ve nikel elementleri de katılmaktadır [15-17,11,30,37,41,42]. Magnezyum katkısının bu alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve korozyon direncini artırdığı, ancak oksit oluşturarak sıvı durumdaki akışkanlıklarını azalttığı belirlenmiştir [22]. Nikel katkılarının ZA27 alaşımının aşınma direncini artırdığı, yüksek alüminyum içeren Al-40Zn-3Cu alaşımının ise mukavemetini düşürdüğü gözlenmiştir [39,40]. Silisyum katkılarının ise söz konusu alaşımların mukavemet değerlerinden ziyade sertlik ve aşınma dirençlerini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir [15-17,20,22]. Yapılan çalışmalar, monotektoid bileşime sahip çinko esaslı alaşımların [Zn-(30-48)Al] ötektik (Zn-5Al) ve ötektoid (Zn-22Al) bileşime sahip alaşımlara göre daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine; ötektik ve ötektoid alaşımların ise daha yüksek süneklik ve darbe direncine sahip olduklarını göstermiştir [2,38,39].

Çinko esaslı alaşımların yapı ve özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda üçlü ve dördü Zn-15Al-3Cu, Zn-15Al-3Cu-1Si, Zn-25Al-3Cu, Zn-25Al-3Cu-1Si, Zn-27Al-2Cu, Zn-40Al-2Cu ve Zn-40Al-2Cu-2Si alaşımları geliştirilmiştir [22,30,33,37-39]. Ayrıca, bu alaşımlarda boyutsal karasızlığa yol açan ϵ fazının yerine kararlı θ fazının oluşmasını sağlamak amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda üçlü ve dördü yeni alaşımlar (Al-40Zn-3Cu, Al-40Zn-3Cu-2Si, Al-25Zn-3Cu ve Al-25Zn-3Cu-3Si) geliştirilmiştir [28,44,45-47]. Ancak geliştirilen alüminyum esaslı bu alaşımların ticarileşme süreci henüz tamamlanmamıştır. Öte yandan ticarileştirilmiş ve kullanım alanı yaygın olan çinko esaslı alaşımların özelliklerinin daha da iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar günümüzde de sürdürülmektedir. Nitekim ticari ALZEN alaşımlarının sürtünme ve aşınma özelliklerinin sistematik olarak ve ayrıntılı biçimde incelenmemiş olduğu görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada bakır ve silisyum katkılarının ALZEN 305 alaşımının temelini oluşturan Zn-30Al alaşımının yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Faz Diyagramları

1.2.1. İkili Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı

Yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen ikili çinko-alüminyum faz diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Söz konusu diyagramda yer alan α alüminyumca zengin, η ise çinkoca zengin faz bölgelerini göstermektedir [1,5,24,48-61]. Çinkonun alüminyum içerisindeki katı çözünürlüğü % 83 değerine kadar ulaşırken α , α' ve β olarak adlandırılan farklı faz bölgelerini oluşturmaktadır. Kafes parametreleri birbirine çok yakın olduğundan α , α' fazları arasındaki sınır tam olarak belirlenememiştir. Bu durum faz diyagramında $\alpha + \alpha'$ olarak gösterilen bir kısmi çözünürlük bölgesinin oluşmasına neden olmuştur. Yavaş soğutma sonucunda bu fazlar kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşürler [62]. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki faz dönüşümlerinin hangi sıcaklık ve kimyasal bileşim oranlarında meydana geldikleri ve bunların formülleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı

Çinko-alüminyum faz diyagramında görüldüğü gibi 382 °C'lik sıcaklık ve % 95 Zn oranında ötektik dönüşüm meydana gelmektedir. Ötektik dönüşüm sonucunda yüzey merkezli kübik (YMK) yapılı β ile sıkı düzenli hekzagonal yapıya sahip η fazlarını içeren bir içyapı oluşmaktadır [24-28,62]. Ayrıca, alüminyumun η fazı içindeki katı çözünürlüğü

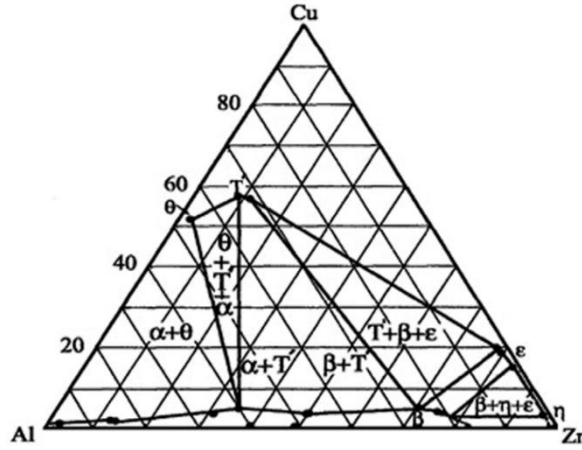
azalan sıcaklıkla azalmakta ve 20 °C sıcaklıkta % 0,05 Al oranına kadar düşmektedir. 276 °C sıcaklıkta meydana gelen ötektoid dönüşüm sonucunda ise β fazı α ve η fazlarına dönüşmektedir [62]. $\alpha / \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri [24-28].

Dönüşüm	Dönüşüm formülü	Dönüşüm noktası	
		Alüminyum oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik	$S \rightleftharpoons \beta + \eta$	5	382
Ötektoid	$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	22	276
Peritektik	$\alpha + s \rightleftharpoons \beta$	28	443
Monotektoid	$\alpha / \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$	40	340

1.2.2. Üçlü Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı

Üçlü çinko-alüminyum-bakır faz diyagramı tam olarak belirlenememiştir, ancak bu diyagramın düşük oranlarda bakır içeren bölümü Murphy [25] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve çeşitli sıcaklıklardaki izotermal kesitleri belirlenmiştir. Çinko-alüminyum-bakır faz diyagramının 350 °C sıcaklıktaki izotermal kesiti Şekil 2'de, bu sistemde meydana gelen faz dönüşümleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda yer alan α alüminyumca zengin β ve η çinkoca zengin fazları; ε (CuZn₄) yarı kararlı (metastabil), θ (CuAl₂) ve T'(Al₄Cu₃Zn) ise kararlı yapıya sahip metaller arası bileşikler göstermektedir [1,25]. Döküm sırasında oluşan metastabil ε fazı dördümlü faz reaksiyonu ile kararlı T' ve η fazlarına dönüşmekte ve bu dönüşüm sonucunda alaşımlarda hacimsel büyüme meydana gelmektedir [25,26,29,30,61]. Bu büyüme, alaşımın içerdiği bakır oranına bağlı olarak % 4,5 oranına kadar ulaşabilmektedir.



Şekil 2. Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminin 350 °C sıcaklıktaki izotermal kesiti [25].

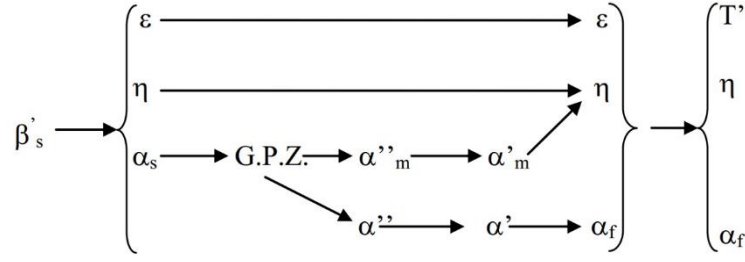
Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri [25].

Dönüşüm	Dönüşüm sıcaklığı (°C)
$T' + \beta \rightleftharpoons \alpha + \epsilon$	288
$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	275
$\beta + \epsilon \rightleftharpoons \alpha + \eta$	276
$\alpha + \epsilon \rightleftharpoons T' + \eta$	268

1.2.3. Dörtlü Çinko-Alüminyum-Bakır-Silisyum Faz Diyagramı

Dörtlü çinko-alüminyum-bakır-silisyum faz diyagramı tam olarak belirlenmemiş olmakla birlikte bu sistemdeki faz dönüşümleri Zhu ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [26,63,64]. Silisyumun, çinko-alüminyum matrisi içerisindeki çözünürlüğünün çok düşük olması nedeniyle bu alaşımlarda meydana gelen faz dönüşümlerini belirgin bir şekilde etkilemediği görülmüştür [26,63,64].

Çözündürme ve su verme işlemlerinden sonra yaşlandırılan Zn-20Al-3Cu-2Si alaşımında meydana gelen faz dönüşümleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Su verme işlemi sonunda elde edilen aşırı doymuş a_s katı çözümlerinin yaşlandırılması sırasında önce Guiner-Preston bölgeleri (GPZ) oluşmakta, bunu α''_m , α'_m , α'' , α' sembolleriyle gösterilen geçiş fazlarının oluşumu izlemekte ve bu fazlar da sonunda çinkoca zengin η ve alüminyumca zengin α_f fazlarına dönüşmektedir.



Şekil 3. Dörtlü Zn-Al-Cu-Si alaşım sisteminde meydana gelen faz dönüşümleri [26,27].

Silisyum parçacıklarının büyüklüğü ve alaşım içerisindeki dağılımlarının silisyum oranına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [17,46,65]. Silisyum oranının % 2'den daha düşük olması durumunda silisyum parçacıklarının içyapıda homojen olarak dağıldıkları, bu oranın üzerine çıkması durumunda ise söz konusu parçacıkların hem büyüdükleri hem de farklı bölgelerde toplanarak kümeleştikleri görülmüştür [17,46,65].

1.3. Çinko Esaslı Alaşımların Özellikleri

1.3.1. Çinko Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri

Çinko esaslı alaşımların fiziksel özellikleri içerdikleri alaşım elementleri ve bunların oranlarına bağlı olarak değişmektedir [36,48]. Alüminyum oranı arttıkça alaşımların katılma aralığı daralmakta, ergime noktası yükselmekte, yoğunlukları düşmekte, ısı iletkenlik, elektriksel iletkenlik ve ısıl genleşme katsayıları artmaktadır [1,3,7,13,19,36,48,64].

Çinko esaslı alaşımların yoğunlukları bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarının söz konusu değerlerinden daha düşüktür [7,10,36]. Yoğunluğun düşük olması söz konusu alaşımların özgül mukavemetlerinin yüksek olmasına yol açmaktadır [2,7,10]. Çinko esaslı ticari alaşımlar ile bazı geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çinko esaslı ticari alaşımlar ile bazı geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri

Alaşım	Yoğunluk (kg/cm ³)	Katılaşma aralığı (°C)	Isıl genleşme katsayısı ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m ^{°C})	Elektriksel iletkenlik (%IACS)
Zamak 3	6660	387-381	27,4	113	27
Zamak 5	6700	386-380	27,4	109	26
ZA-8	6300	404-375	23,3	115	28
ZA-12	6000	432-377	24,2	116	28
ZA-27	5000	484-376	26	126	30
SAE 40 pirinci	8500	1010-855	18	72	15
SAE 65 bronz	8775	999-831	17	70	9,6
SAE 660 bronz	8910	975-855	18	59	12
Kır dökme demir	7300	1260-1090	11,9	45	6

1.3.2. Çinko Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri

Çinko esaslı alaşımların mekanik özelliklerinin alüminyum oranına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir, Tablo 4 [4,19,36]. Yapılan çalışmalar sonucunda monotektoid bileşime sahip çinko esaslı alaşımların ötektik ve ötektoid bileşime sahip alaşımlardan çok daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir [4,7,10,13,31,35,38,39,67-70]. Bunun sebebi, monotektoid alaşımlarda katılaşma ve/veya yaşlandırma sırasında meydana gelen dönüşüm ile oluşan kararlı olmayan fazların α matrisinin kafes yapısını distorsiyona uğratmasıdır [71,72]. Dökülmüş durumdaki çinko esaslı alaşımların mekanik özelliklerinin ikincil dendrit kol aralığına bağlı olduğu belirlenmiştir [73,74]. Bu alaşımların soğuma hızlarının artmasıyla ikincil dendrit kol aralıkları azalmaktadır. İkincil dendrit kol aralığı azaldıkça da söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerleri artmaktadır [73,74].

Çinko esaslı alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmek için bu alaşımlara bakır, silisyum, magnezyum, mangan ve nikel gibi elementler katılmaktadır [15,16,22,37,39,41,43,44,64,65,75,76,78]. Özellikle bakır ve silisyum katkıları bu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır [23,31,44,37-

40,44-46,68]. Bu artışlar alaşımların matris yapısında katı çözeltili sertleşmesinin meydana gelmesi ve söz konusu alaşımların içyapılarında sert ve gevrek ϵ (CuZn_4) ve θ (CuAl_2) fazları ile silisyum parçacıklarının oluşumuna dayandırılarak açıklanmaktadır [1,17,23,28,31,37-40,44,65]. Ancak bakır ve silisyum oranlarının belirli değerleri aşması durumunda alaşımların çekme dayanımlarında azalma meydana gelmektedir [31,37-40]. Bu azalmanın, alaşım elementlerinin içyapıda oluşturduğu sert ve gevrek fazların alaşımları gevrekletirmesinden kaynaklandığı ifade edilmektedir [31,37-40].

Yapılan araştırmalar sonucunda çinko esaslı alaşımların mekanik özelliklerinin uygun ısı işlemlerle iyileştirilebildiği ortaya konulmuştur [25,31,40,62,79,80]. Bu alaşımların içyapılarını kararlı hale getirmek için T5 ve T7, sertlik ve mukavemetini arttırmak için de T6 ısı işlemleri uygulanmaktadır. T5 ısı işleminde söz konusu alaşımlar 100-200 °C arasındaki sıcaklıklarda uygun bir süre tavlansınca içyapıdaki metastabil fazlar kararlı fazlara dönüşürken sertlik ve mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum döküm sırasındaki denge dışı soğuma nedeniyle oluşan kalıntı gerilmelerin yaşlandırma sırasında büyük ölçüde giderilmesinden kaynaklanmaktadır [15,25,31,44,62,76,79-84]. T6 ve T7 ısı işlemleri ise çözündürme, su verme ve yaşlandırma aşamalarını kapsamaktadır [79,81]. Ancak bu iki ısı işlem arasındaki fark yaşlandırma süresinden kaynaklanmaktadır. T6 ısı işleminde en yüksek sertlik ve mukavemet elde edilinceye kadar yaşlandırma yapılırken, T7 ısı işleminde kararlı içyapı elde etmek için aşırı yaşlandırma yapılmaktadır. Her iki işlem sonucunda da dendritik yapı ortadan kalkar ve homojen bir içyapı elde edilir [21,79].

Çinko esaslı alaşımların yorulma dayanımlarının sertlik ve mukavemet değerlerine bağlı olduğu ve bu değerlerin artması durumunda yorulma dayanımlarının da arttığı görülmüştür [2,4,19]. Bu alaşımların farklı ortamlardaki (hava, tuzlu su ve asit çözeltilisi) yorulma dayanımlarının artan alüminyum ve bakır oranıyla arttığı, bakır oranının % 2'yi aşması durumunda ise azaldığı belirlenmiştir [85,86]. Çinko esaslı alaşımların sürünme davranışları hakkında sistematik bir çalışma bulunmamakla birlikte bakır katkılarının bu alaşımların sürünme direncini önemli ölçüde artırdığı gözlenmiştir [87,88]. ZA alaşımları içerisinde en yüksek sürünme direnci ZA-8 alaşımından elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada ZA-8 alaşımının sürünme direncinin % 2 Cu oranına kadar arttığı, daha yüksek bakır oranlarında ise önemli bir değişim sergilemediği belirlenmiştir [89].

Tablo 4. Çinko esaslı bazı ticari alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin mekanik özellikleri

Alaşım	Sertlik (BSD)	Çekme dayanımı	Kopma uzaması (%)	Darbe direnci (J)	Young Modülü
Zamak 2	100	359	7	48	85,5
Zamak 3	82	283	10	58	85,5
Zamak 5	91	331	7	65	85,5
Zamak 7	80	283	13	58	85,5
ZA-8	80-90	221-255	1-2	20	85,5
ZA-12	90-105	310-345	1-3	25	82,7
ZA-27	110-120	400-440	3-6	47	75
Zn-40Al-2Cu	103	340	1,8		
Zn-40Al-2Cu-2Si	125	378	3,1		
Al-40Zn-3Cu	128	390	5,8		
Al-40Zn-3Cu-2Si	135	345	2,3		
Al-25Zn-3Cu	144	352	4,1	12,5	
Al-25ZN-3Cu-3Si	148	354	3,2	2,7	
Zn-25Al-3Cu	55,4	327	13	70	
Zn-25Al-3Cu-1Si	67	364	2,13	22	
Zn-15Al-3Cu	90(RSD-F)	304	3,1	1,93	
Zn-15Al-3Cu-1Si	92(RSD-F)	314	1,9	1,49	
SAE 40 pirinci	60	255	30	15	2,7
SAE 65 bronz	105	286	8	37	75,8
SAE 660 bronz	95	278	11	45	79,3
Kır dökme demir	210	214	10	54	100

1.3.3. Çinko Esaslı Alaşımların Tribolojik Özellikleri

Yapılan çalışmalar sonucunda alüminyum, bakır ve/veya silisyum içeren çinko esaslı üçlü ve dörtlü alaşımların geleneksel yatak malzemelerine kıyasla daha üstün tribolojik özelliklere sahip oldukları görülmüştür [1,6,10,17-19,31,37]. Bu durum, alaşımların uygun içyapıya sahip olmaları ve aşınma yüzeylerinde çinko ve alüminyum oksit tabakalarının oluşmasına dayandırılarak açıklanmaktadır. Bu alaşımların içyapılarında bulunan bakırca zengin ϵ (CuZn_4), T' ($\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$) ve/veya θ (CuAl_2) fazları ile silisyum parçacıkları yük taşıma görevi yaparken, çinkoca zengin ve nispeten yumuşak olan η ve alüminyumca zengin α fazları kaymayı kolaylaştırmaktadır [15-18,31]. Bunun yanı sıra aşınma yüzeylerinde oluşan alüminyum oksit tabakası yük taşıma görevi yaparken, daha yumuşak olan çinko oksit tabakası kaymayı kolaylaştırarak yetersiz yağlama durumlarında bile söz konusu alaşımların üstün tribolojik davranış sergilemelerine olanak sağlamaktadır [9,21,31,33].

Yapılan çalışmalar sonucunda, çinko esaslı alaşımların aşınma direncinin artan bakır ve silisyum oranları ile arttığı, yaklaşık % 3 Cu ve % 2 Si oranlarının üzerine çıkılması durumunda ise azaldığı belirlenmiştir [22,29,37-39,42,46,47]. Bu alaşım elementlerinin sözü edilen alaşımların aşınma direncine etkileri katı çözeltili sertleşmesi ve içyapıda oluşan sert fazların hacimsel oran ve dağılımına göre açıklanmaktadır [37-40,42,46,47]. Çinko esaslı alaşımlara ilave edilen bakır elementi, katı çözeltili sertleşmesinin yanında içyapıda ϵ (CuZn_4) ve θ (CuAl_2) gibi sert ve gevrek fazların oluşmasına neden olmaktadır. Bu fazların yük taşıma görevi gördükleri ve bu sayede alaşımların aşınma davranışlarını iyileştirdiği görülmüştür [23,31,35,37-40,82]. Öte yandan silisyum içeren çinko esaslı alaşımlardaki silisyum parçacıklarının da yük taşıma görevi yaparak aşınma direncinin daha yüksek olmasını sağladığı gözlenmiştir [23,37,65]. Ancak silisyum oranının %2'nin üstünde olması durumunda silisyum parçacıklarının yapı içerisinde belirli bölgelerde toplanarak büyümeye başladığı bunun sonucunda da hem mekanik özelliklerin hem de aşınma direncinin olumsuz etkilendiği görülmüştür [37,65].

1.3.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Yatak malzemelerinin yeterli düzeyde sertlik ve mukavemet değerlerine, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direncine sahip olmalarının yanı sıra üretiminde kullanılacak alaşım elementlerinin tedarikinin kolay ve maliyetlerinin düşük olması istenir.

Bu amaç doğrultusunda geleneksel yatak alaşımları yerine çinko esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcaları olan Zamak, ZA ve ALZEN serisi alaşımlar uzun yıllar mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Yapılan alışmalar sonucunda çinko esaslı alaşımların geleneksel yatak malzemelerine göre çok daha üstün fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklere sahip oldukları ortaya konulmuştur. Yüksek özgül mukavemete sahip olmaları ile birlikte üretim ve ısıl işlemlerinin kolay olmaları da bu alaşımları ön plana çıkarmaktadır. Çinko esaslı alaşımların üstün tribolojik performans sergilemeleri ideal içyapılarının yanı sıra aşınma yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit tabakalarına dayandırılarak açıklanmaktadır. şöyle ki, çinko esaslı alaşımların yumuşak matris yapısı ile yüzeylerinde oluşan çinko oksit tabakası kaymayı kolaylaştırırken, içyapıdaki sert parçacıklar ile yüzeyde oluşan alüminyum oksit tabakası yük taşıma görevi yapmaktadır. Ancak tüm bu üstünlüklerin dışında söz konusu alaşımların kullanımı sırasında bazı sorunlarla karşılaşılmıştır. Bunların başında sertlik ve mukavemet değerlerinin artan sıcaklıkla düşmesi ve özellikle bakır içeren alaşımlarda boyutsal kararsızlığın ortaya çıkması gelmektedir. Bu sorunların giderilmesi için bakır oranının belirli bir seviyenin üzerine çıkarılmaması, bakır yerine silisyum ve nikel gibi farklı alaşım elementleri kullanılması ve/veya uygun ısıl işlem uygulanması önerilmektedir. Bu alaşımlara katılan silisyumun aşınma direncini iyileştirdiği, ancak mukavemet değerlerinin artırılmasında bakır kadar etkili olmadığı görülmüştür.

Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle ötektik (Zn-5Al), ötektoid (Zn-22Al) ve monotektoid [Zn-(30-40)Al] esaslı alaşımlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Zn-30Al esaslı alaşımlar üzerindeki inceleme ve araştırma alışmaları İkinci Dünya Savaşı sırasında başlatılmış ve 1970'li yılların başında ALZEN 305 (Zn-30Al-5Cu) adlı ticari alaşım geliştirilmiştir. Ancak, bu alaşımın kimyasal bileşiminin belirlenmesine yönelik sistematik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca, silisyum katkılarının bu alaşımın yapı ve özelliklerine etkileri konusunda literatürde herhangi bir bilgi yer almamaktadır. Özellikle kaymalı yatak malzemesi olarak geliştirilen bu alaşımın mekanik ve tribolojik özellikleri hakkında literatürde yeterli bilgi olmaması oldukça dikkat çekmektedir. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada bakır ve/veya silisyum katkılarının ALZEN 305 alaşımının temelini oluşturan Zn-30Al alaşımının yapı ve özelliklerine etkilerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların ticari SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından aynı koşullarda elde edilen bulgularla karşılaştırılarak çeşitli uygulamalar için en uygun kimyasal bileşimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde alaşımların üretimi ve kimyasal analizleri ile yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesinde kullanılan araç, gereç ve yöntemler hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Alaşımların Üretimi ve Kimyasal Analiz

Bu çalışmada bir adet Zn-30Al alaşımı, beş adet üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımı ve altı adet Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımı kokil kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Söz konusu alaşımlar elektrikli bir pota fırını içerisinde ergitildikten sonra 650-700°C arasında değişen sıcaklıklardan oda sıcaklığında tutulan 45 x 60 x 190 mm boyutlarına sahip çelikten yapılmış bir kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Bu alaşımların üretiminde yüksek saflıkta çinko (% 99,99) ve ticari saflıkta alüminyum (% 99,7) ile Al-50Cu ve Al-20Si ön alaşımları kullanıldı. Ayrıca, karşılaştırma yapmak amacıyla piyasadan SAE 65 (CuSn12) ve SAE 660 (CuSn7Pb5) bronzları temin edildi. Alaşımların kimyasal bileşimleri atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) yöntemi ile belirlendi.

2.2. Alaşımların Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerini İncelenmesi

Metalografik incelemeler için bu alaşımlardan talaşlı imalat yöntemiyle 25 mm çapında 10 mm kalınlığında numuneler üretildi. Bu numuneler zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerini içeren standart metalografi yöntemiyle hazırlandı. Zımparalama işlemi 320 numara SiC zımpara ile gerçekleştirildi. Zımparalanan numuneler 9 µm, 3 µm ve 0,3 µm'lik çuhalar ve bunlara uygun solüsyonlar kullanılarak parlatıldı. Söz konusu numuneler parlatma işleminin ardından % 20'lik nital (% 20 nitrik asit + % 80 etil alkol) ayırıcı ile dağlandı. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının dağlanmasında ise 2 g FeCl₃ + 5 ml HCl + 30 ml H₂O + 60 ml etanol çözeltisi kullanıldı. Hazırlanan numuneler hem optik hem de taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek içyapılarını gösteren görüntüler elde edildi. Alaşımların içyapılarını oluşturan fazlar ise enerji dispersif X-ışını spektroskopisi (EDS) yöntemiyle belirlendi.

Alaşımların yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için talaşlı imalat yöntemiyle hazırlanan numunelerin boyutları ± 0,001 mm hassasiyetine sahip bir mikrometre, kütleleri

ise $\pm 0,01$ mg hassasiyetindeki bir dijital terazi ile ölçüldü. Ölçülen kütle değerleri hacim değerlerine bölünerek alaşımların yoğunlukları belirlendi.

Alaşımların sertlikleri Rockwell cihazında F skalası kullanılarak ölçüldü ve ölçüm sonuçları Brinell sertlik değerlerine (BSD) dönüştürüldü. Alaşımların mikrosertlikleri ise Vickers sertlik ölçme yöntemiyle belirlendi. Bu ölçümler 10 g'lık yük altında 5 s'lik batma süresi içerisinde gerçekleştirildi. Sertlik değerleri beş ölçüm sonucunun ortalaması alınarak belirlendi. Alaşımların darbe deneyleri 10 x 10 x 55 mm boyutlarındaki V-çentikli numuneler kullanılarak ölçüldü. Bu deneyde her bir alaşım için üçer adet numune kullanıldı ve ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak alaşımların darbe dirençleri belirlendi. Alaşımların çekme ve basma dayanımları sırasıyla 10 x 50 TS 138 B ve 10 x 10 TS 206 standartlarına uygun numuneler vasıtasıyla belirlendi. Bu deneyler $4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ lik deformasyon hızında gerçekleştirildi. Alaşımların kalite indeksi değerleri ise Kalite indeksi [MPa] = $\sigma_{\epsilon} + 200 \cdot \log(\epsilon)$ formülüyle hesaplandı. Bu denklemde yer alan σ_{ϵ} alaşımın çekme dayanımını, ϵ ise birim uzamayı ifade etmektedir. Her bir alaşım için üç adet numune kullanıldı ve ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak alaşımların çekme ve basma dayanımları ile kopma uzaması değerleri belirlendi.

2.3. Alaşımların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi

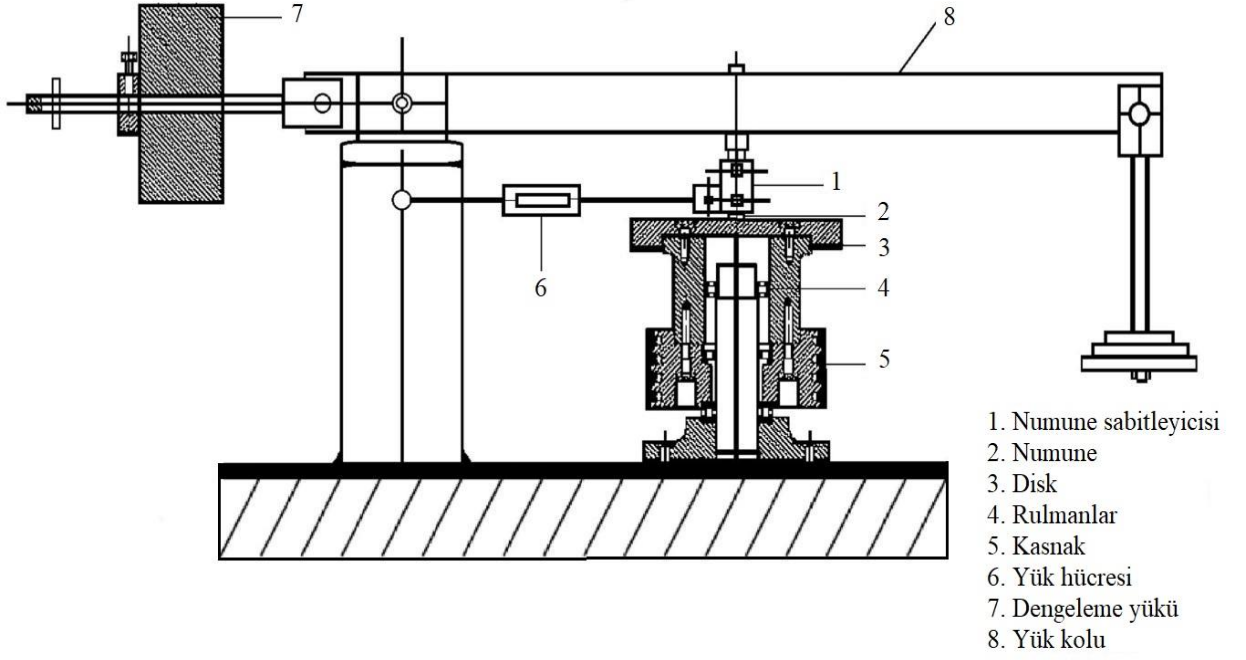
Alaşımların tribolojik özellikleri blok-disk esaslı bir deney düzeneği yardımıyla incelendi. Bu deney düzeneğinin teknik resimleri Şekil 4 ve 5'te, genel ve ayrıntılı yapısını gösteren resimler ise Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Söz konusu deney düzeneğini oluşturan parçalar şu şekilde sıralanabilir: 3 kW gücünde bir elektrik motoru, bu motor tarafından tahrik edilen bir mil ve bu mile bağlı bir aşındırma diski, bir adet numune tutucu, bir adet yükleme kolu, bir adet hız kontrol ünitesi, yağlama sistemi ve sürtünme kuvveti ölçüm devresi. Bu düzeneğe ait aşındırma diski SAE 1045 çeliğinden imal edildikten sonra sertleştirme ve temperleme işlemlerine tabi tutularak 55 RSD-C değerinde bir sertlik elde edildi. Söz konusu disk, son olarak taşlama işlemine tabi tutularak 0,07-0,15 μm değerinde bir yüzey pürüzlülüğü elde edildi.

Bu deney düzeneğinde yükleme, yükleme kolunun ucuna ağırlık asmak suretiyle; yağlama ise deney düzeneğinden daha yüksek bir yere yerleştirilmiş olan depodan ince bir hortum yardımıyla alınan yağın bir debi ayarlayıcısından geçirildikten sonra disk üzerine damlatılmasıyla gerçekleştirildi. Bu çalışmada SAE 20W/50 normuna uygun yağ kullanıldı.

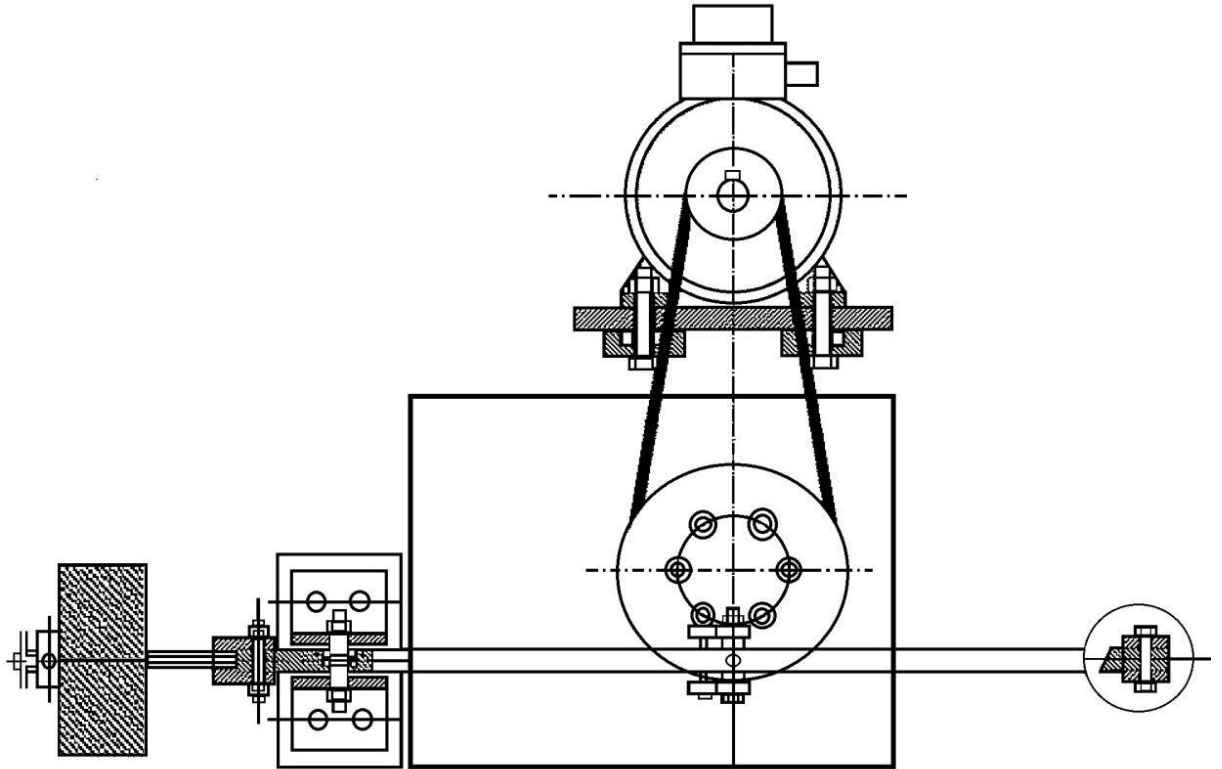
Sürtünme kuvvetini ölçmek için numune tutucu ile düzenekteki sabit bir mesnet arasına 50 kg kapasiteli S-50 tipi bir yük hücresi yerleştirildi. Sözü edilen yük hücresinin ucuna belirli ağırlıklar asılarak gerilim-kuvvet ilişkisini gösteren eğri elde edildi ve bu eğrinin denklemi veri toplama ünitesinin programına işlendi. Veri toplama ünitesine gelen gerilim sinyalleri, elde edilen denklem aracılığıyla kuvvet değerlerine dönüştürüldü ve bu değerler deney sırasında her iki saniyede bir veri alacak şekilde bilgisayara kaydedildi.

Sürtünme ve aşınma deneyleri teknik resmi Şekil 8’de verilen 10 x 15 x 26,6 mm boyutlarında talaşlı yöntemle hazırlanan numuneler ile gerçekleştirildi. Numunelerin çalışma sıcaklıklarının ölçümünde bakır-nikel termoeleman çifti kullanıldı. Bunu sağlamak için söz konusu termoeleman çifti aşınma numunesinin temas yüzeyinden 2 mm yukarıya açılan bir deliğe yerleştirildi. Termoeleman çifti tarafından üretilen gerilim değerleri bir veri toplama ünitesi yardımıyla sıcaklık değerine dönüştürüldü ve bu değerler yine bilgisayar ortamında her iki saniyede bir veri alacak şekilde deney süresince kaydedildi. Sürtünme ve aşınma deney numuneleri hem deneylere başlamadan önce hem de deneyler sonucunda uygun kimyasal çözücülerle temizlendi. Bu işlemde numuneler sırasıyla trikloretilen (C_2HCl_3) ve alkol-aseton karışımı içerisinde ultrasonik temizleyici yardımıyla temizlendi. Temizlenen numunelerin kütleleri ise 0,01 mg’lık hassasiyete sahip bir dijital terazi ile ölçüldü ve ölçülen kütle kaybı değerleri alaşımların yoğunluklarına bölünerek aşınma ile meydana gelen hacim kayıpları belirlendi.

Zn-30Al esaslı alaşımlar ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme ve aşınma özellikleri yağlı ve yağsız durumlarda incelendi. Yağsız durumda yapılan deneyler 1-5 MPa basınç ve 0,5-2,5 m/s hız aralıklarında gerçekleştirildi. Söz konusu alaşımların sürtünme katsayısı ve sıcaklığı 2500 m’lik yol boyunca sürekli kaydedildi. Hacim kaybı değerleri ise her 500 metrede bir ölçüldü. Yağlı koşullarda yapılan deneyler ise farklı yağ debisi ($0,5-3 \text{ cm}^3/\text{saat}$), farklı basınç (1-8 MPa) ve farklı kayma hızı (1-3 m/s) değerlerinde 20 km’lik kayma yolu tamamlanarak gerçekleştirildi. Ayrıca söz konusu alaşımların sürtünme ve aşınma özelliklerinin alınan yola göre değişimlerini incelemek amacıyla daha uzun mesafeli (108 km) deneyler yapıldı. Bu deneyler 6 MPa’lık basınç, 2 m/s’lik kayma hızı ve $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ ’lik yağ debisinde gerçekleştirildi.



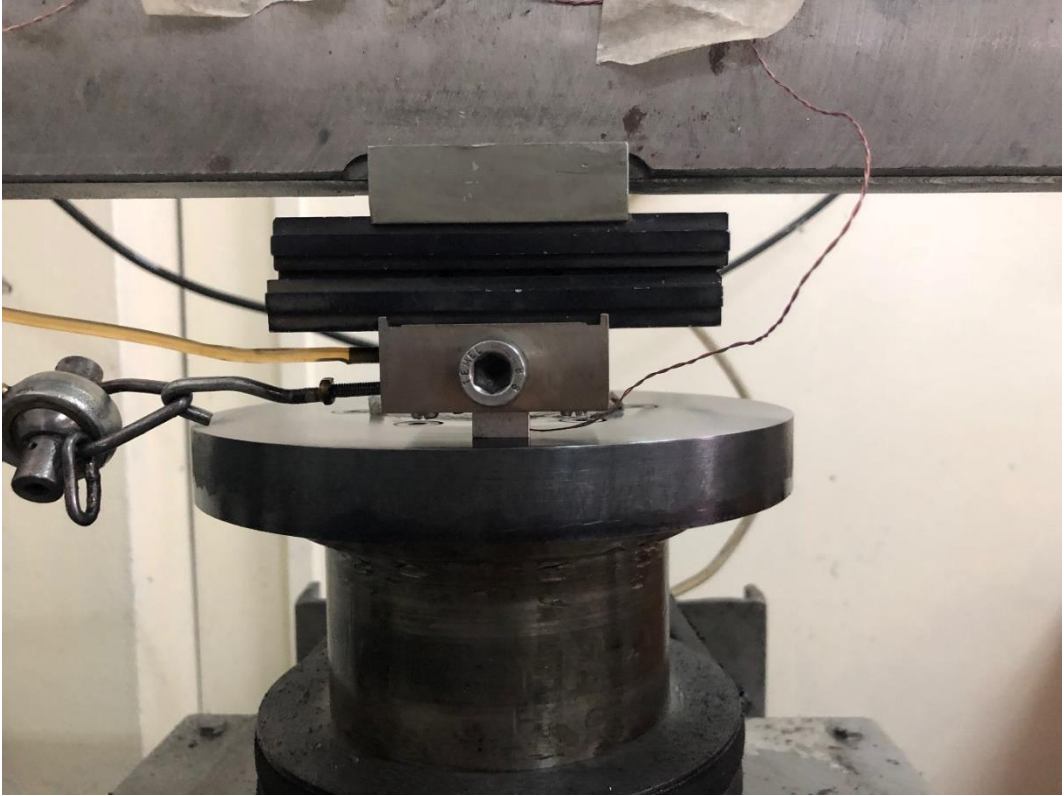
Şekil 4. Aşınma deney düzeneğinin kesit resmi (önden görünüm)



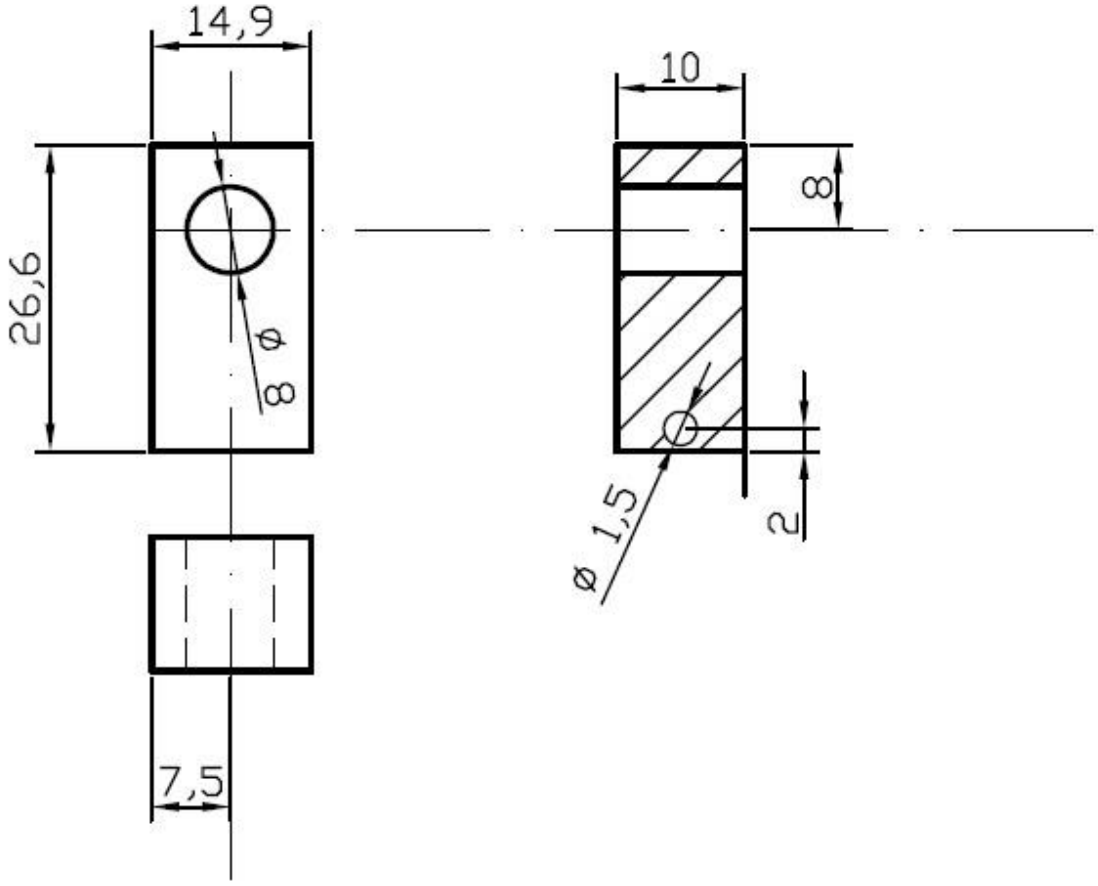
Şekil 5. Aşınma deney düzeneğinin kesit resmi (üstten görünüm)



Şekil 6. Aşınma deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 7. Aşınma deney düzeneğinin yakından görünümü



Şekil 8. Sürtünme ve aşınma deney numunesinin teknik resmi

2.4. Aşınma Yüzeylerinin ve Parçacıklarının İncelenmesi

Deneye tabi tutulan alaşımların aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla aşınma numunelerinin yüzeyleri hem deney öncesinde hem de deney sonrasında SEM yardımıyla incelendi. Söz konusu numunelerin kayma yönüne paralel veya boyuna kesitleri alınarak yüzey altı mikroyapıları SEM yardımıyla incelendi ve bu kesitler üzerinde mikrosertlik ölçümleri yapılarak numune sertliğinin derinliğe göre nasıl değiştiği belirlendi. Ayrıca yağsız durumda yapılan deneylerden sonra disk yüzeyinden bir yapışkan karbon bant ile toplanan aşınma parçacıkları SEM yardımıyla incelendi.

3. BULGULAR

Bu bölümde, tez kapsamında yapılan kimyasal analiz ve metalografi çalışmaları ile fiziksel, mekanik ve tribolojik deneylerden elde edilen bulgular sırasıyla verilmektedir.

3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimleri

Üretilen Zn-30Al esaslı alaşımlar ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Zn-30Al esaslı alaşımların kimyasal bileşimleri

Alaşım	Kimyasal bileşim oranı (% ağırlık)			
	Zn	Al	Cu	Si
Zn-30Al	70,1	29,9	-	-
Zn-30Al-1Cu	68,1	30,1	-	-
Zn-30Al-2Cu	68,2	29,9	1,9	-
Zn-30Al-3Cu	67,1	29,8	3,1	-
Zn-30Al-4Cu	65,8	30,1	4,1	-
Zn-30Al-5Cu	65	29,9	5,1	-
Zn-30Al-3Cu-0,5Si	66,4	30,2	2,9	0,5
Zn-30Al-3Cu-1Si	66,1	29,9	2,9	1,1
Zn-30Al-3Cu-2Si	64,9	30,1	3,1	1,9
Zn-30Al-3Cu-3Si	63,9	30,2	3	2,9
Zn-30Al-3Cu-4Si	63	30,2	2,9	3,9
Zn-30Al-3Cu-5Si	61,7	30,1	3,1	5,1

Tablo 6. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının kimyasal bileşimleri

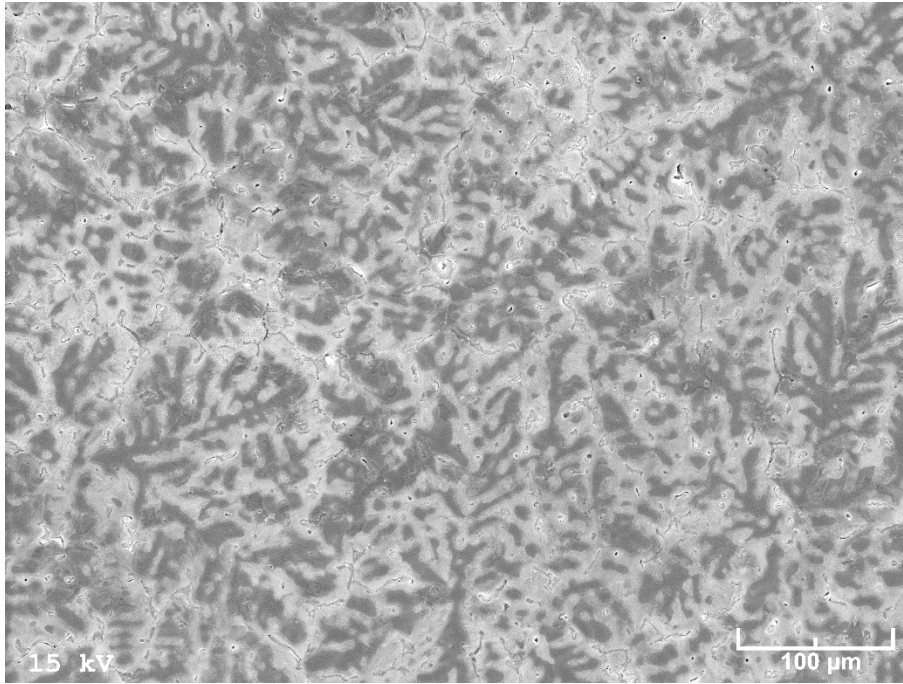
Alaşım	Kimyasal bileşim oranı (% ağırlık)			
	Cu	Sn	Pb	Zn
SAE 65 bronz	87,9	12,1	-	-
SAE 660 bronz	83,9	7,1	6,4	2,6

3.2. Yapısal İncelemelerden Elde Edilen Bulgular

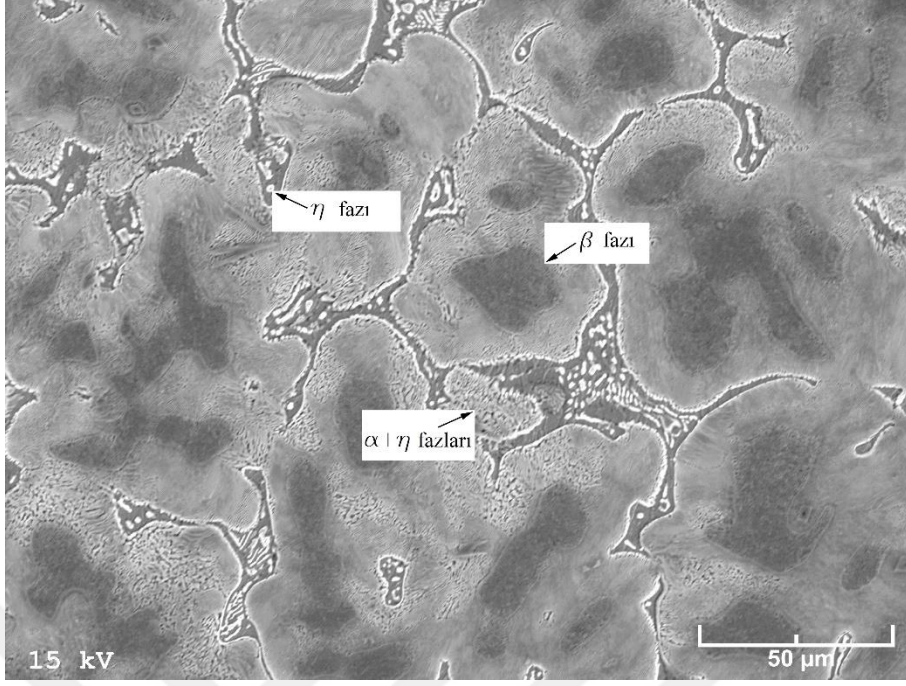
Bu çalışmada üretilen ikili Zn-30Al ve üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının dökülmüş durumdaki içyapılarını gösteren SEM görüntüleri Şekil 9-14'te verilmiştir. İkili Zn-30Al alaşımının içyapısının çinkoca zengin β dendritleri ile ötektoid dönüşüm ürünü olan $\alpha + \eta$ fazlarından oluştuğu görülmüştür, Şekil 9. Düşük oranlardaki bakır katkılarının bu alaşımın içyapısını fazla değişmediği, ancak bakır oranının % 2'nin üzerine çıkarılması durumunda üçlü alaşımlarda ϵ (CuZn_4) fazının oluştuğu görüldü, Şekil 11-14. Bakır oranı arttıkça ϵ fazına ait parçacıkların boyut ve hacimlerinin arttığı gözlemlendi.

Silisyum içeren dördü alaşımlarının SEM görüntüleri Şekil 15-17'de verilmiştir. Bu alaşımların içyapılarında α , β , η ve ϵ fazlarından başka silisyum parçacıklarının bulunduğu görülmüştür. Söz konusu alaşımlarda silisyum oranı arttıkça alaşımların içyapılarında bulunan silisyum parçacıklarının irileştiği ve farklı bölgelerde kümeleştikleri belirlenmiştir.

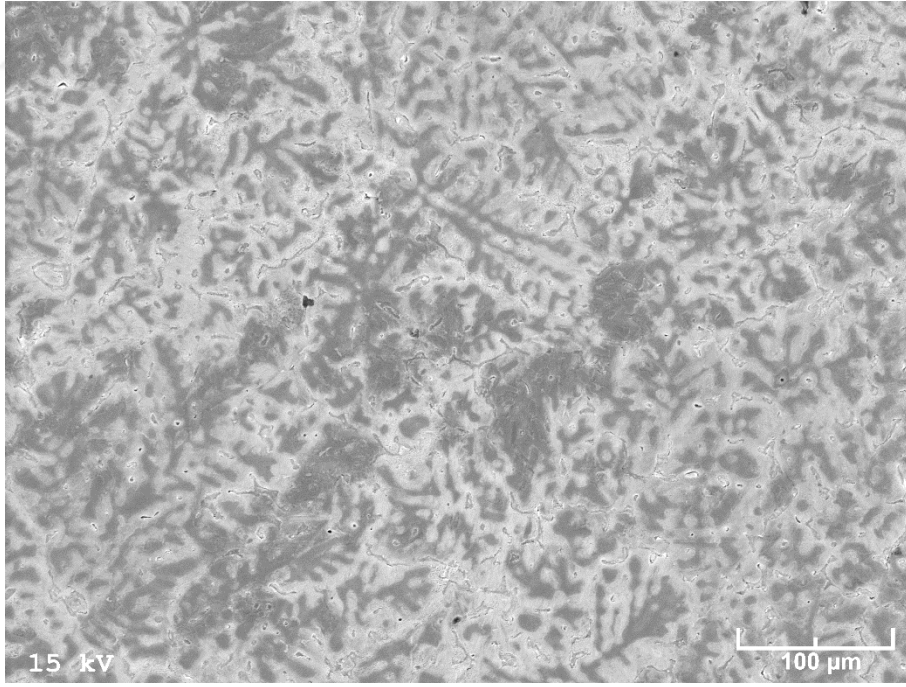
SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından ışık mikroskobu ile elde edilen içyapı görüntüleri, sırasıyla Şekil 18 ve 19'da verilmiştir. SAE 65 bronzunun içyapısının bakırca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen ötektoid α ve δ fazlarından oluştuğu belirlenmiştir, Şekil 18. SAE 660 bronzunun içyapısında ise SAE 65 bronzundaki fazların yanı sıra kurşunca zengin bir fazın olduğu görülmüştür, Şekil 19.



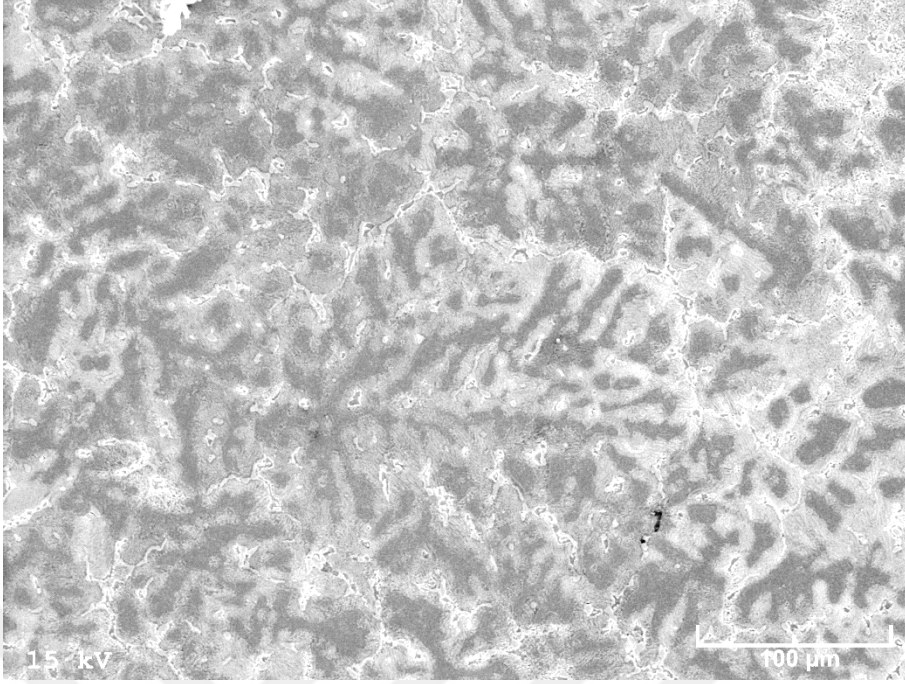
Şekil 9. Zn-30 Al alaşımının içyapısının SEM görüntüsü.



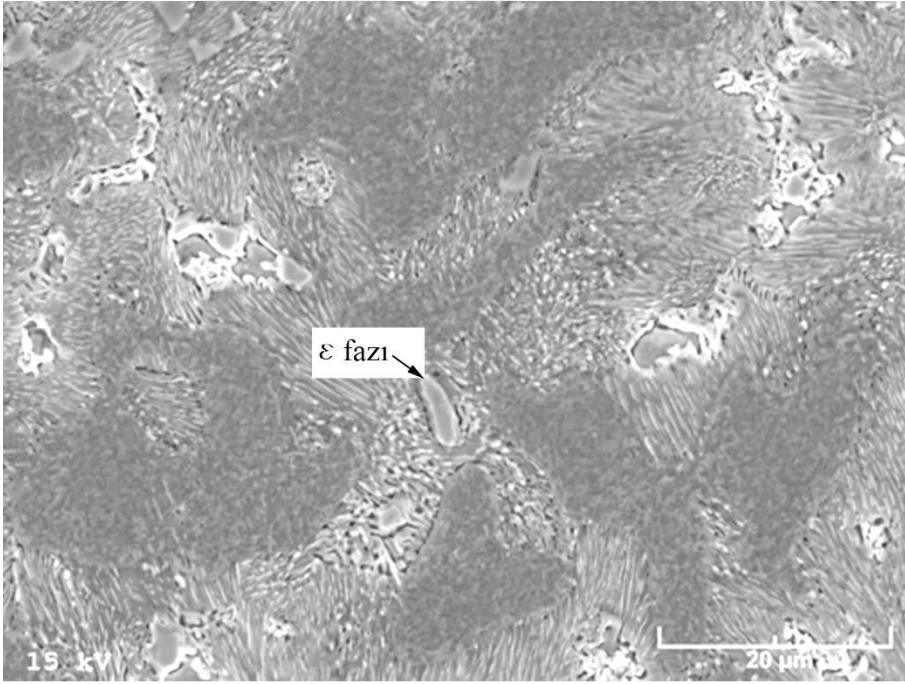
Şekil 10. Zn-30 Al alaşımının içyapısının detaylı SEM görüntüsü



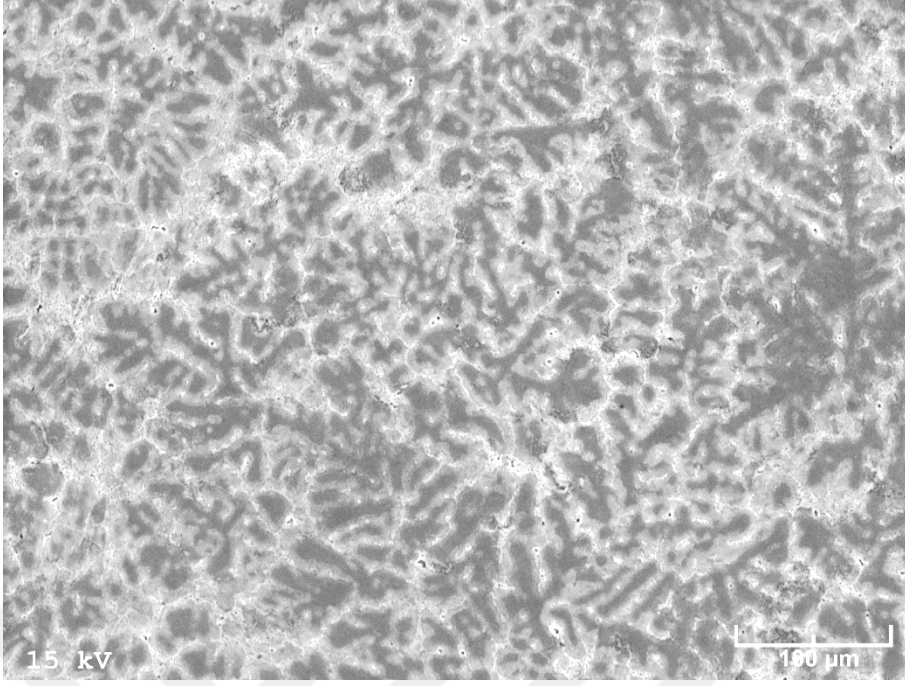
Şekil 11. Zn-30Al-1Cu alaşımının içyapısının SEM görüntüsü



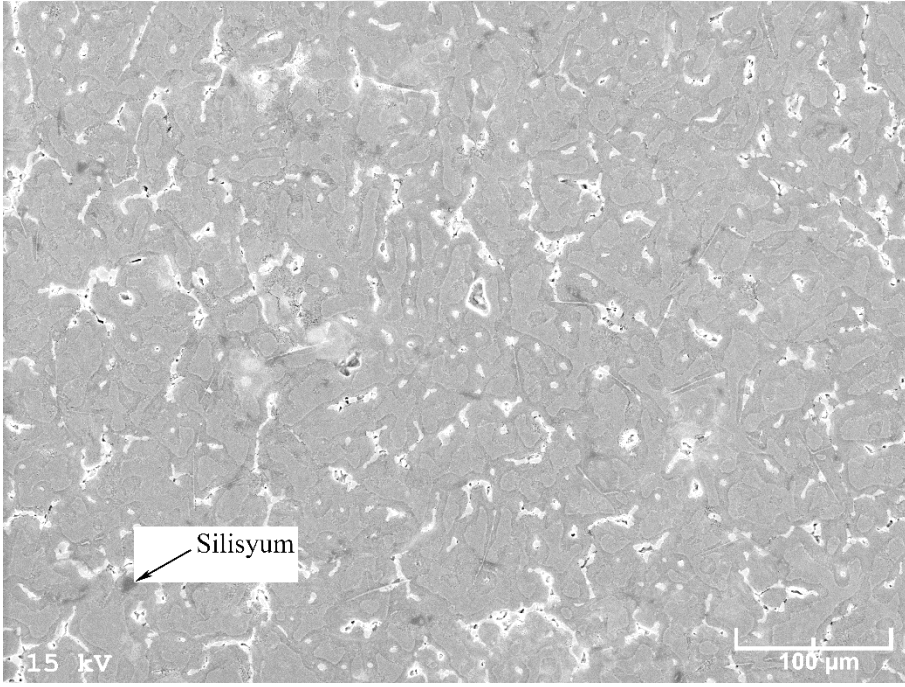
Şekil 12. Zn-30Al-3Cu alaşıımının içyapısının SEM görüntüsü



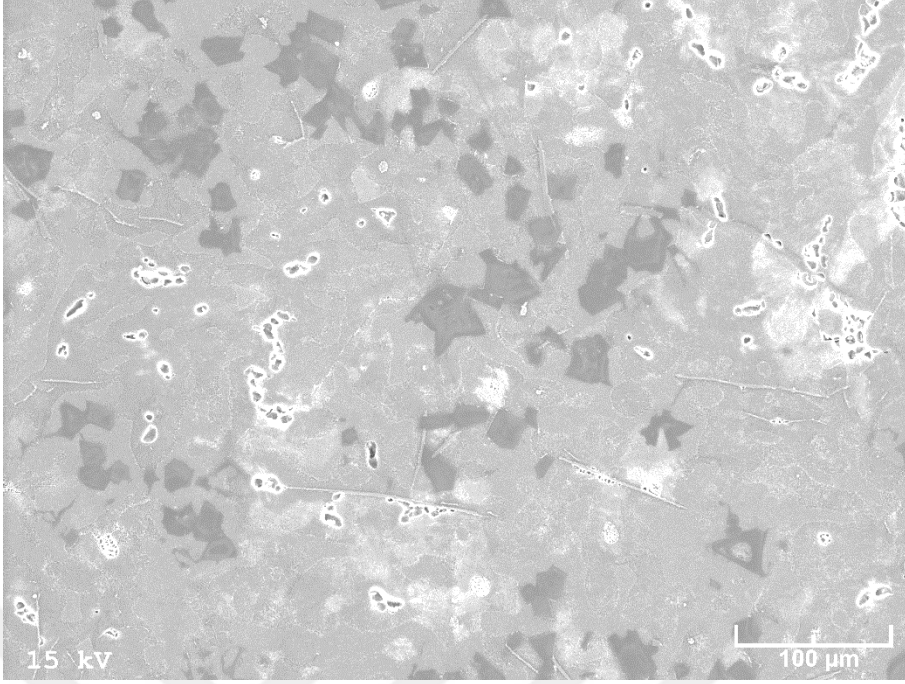
Şekil 13. Zn-30Al-3Cu alaşıımından yüksek büyütmede elde edilen SEM görüntüsü.



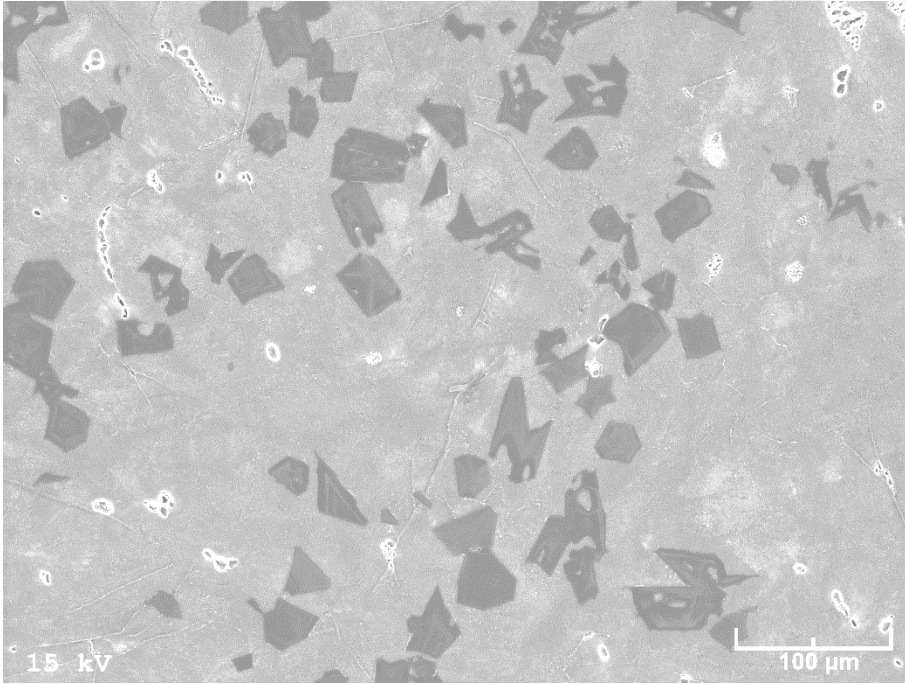
Şekil 14. Zn-30Al-5Cu alaşımasının içyapısının SEM görüntüsü



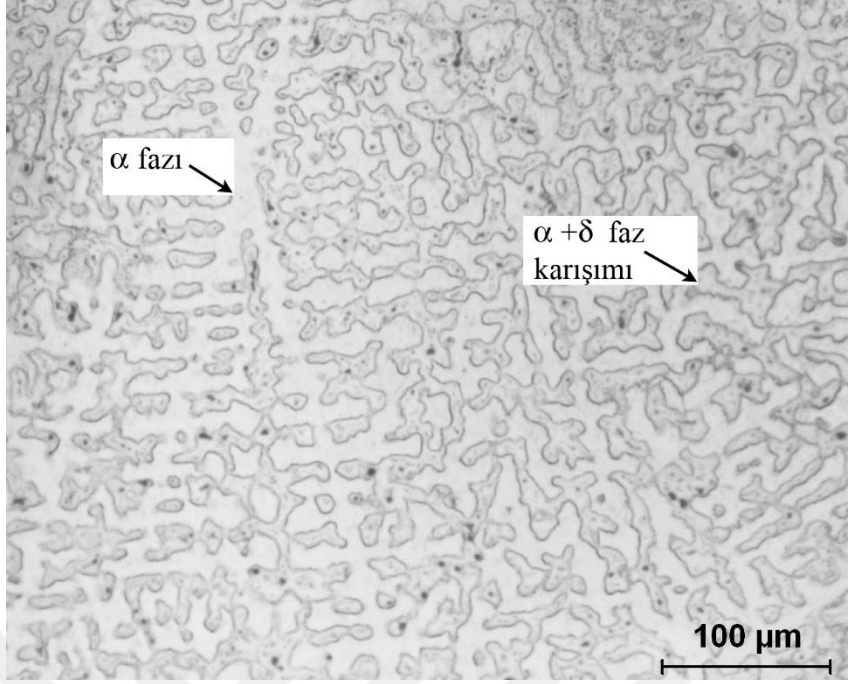
Şekil 15. Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımasının içyapısını gösteren SEM görüntüsü



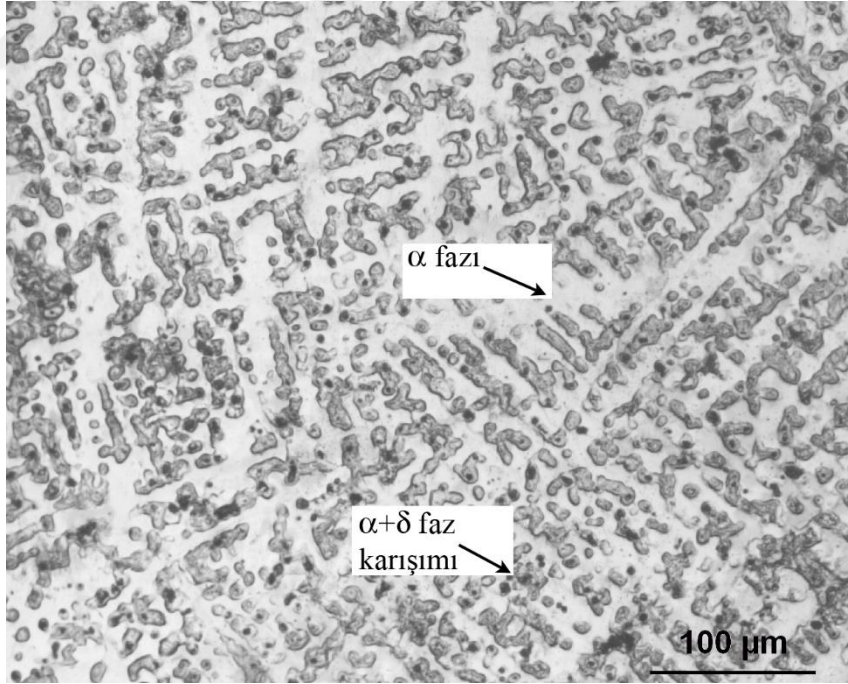
Şekil 16. Zn-30Al-3Cu-3Si alaşımının içyapısını gösteren SEM görüntüsü



Şekil 17. Zn-30Al-3Cu-5Si alaşımının içyapısını gösteren SEM görüntüsü



Şekil 18. SAE 65 bronzundan ışık mikroskobu ile elde edilen içyapı görüntüsü



Şekil 19. SAE 660 bronzundan ışık mikroskobu ile elde edilen içyapı görüntüsü

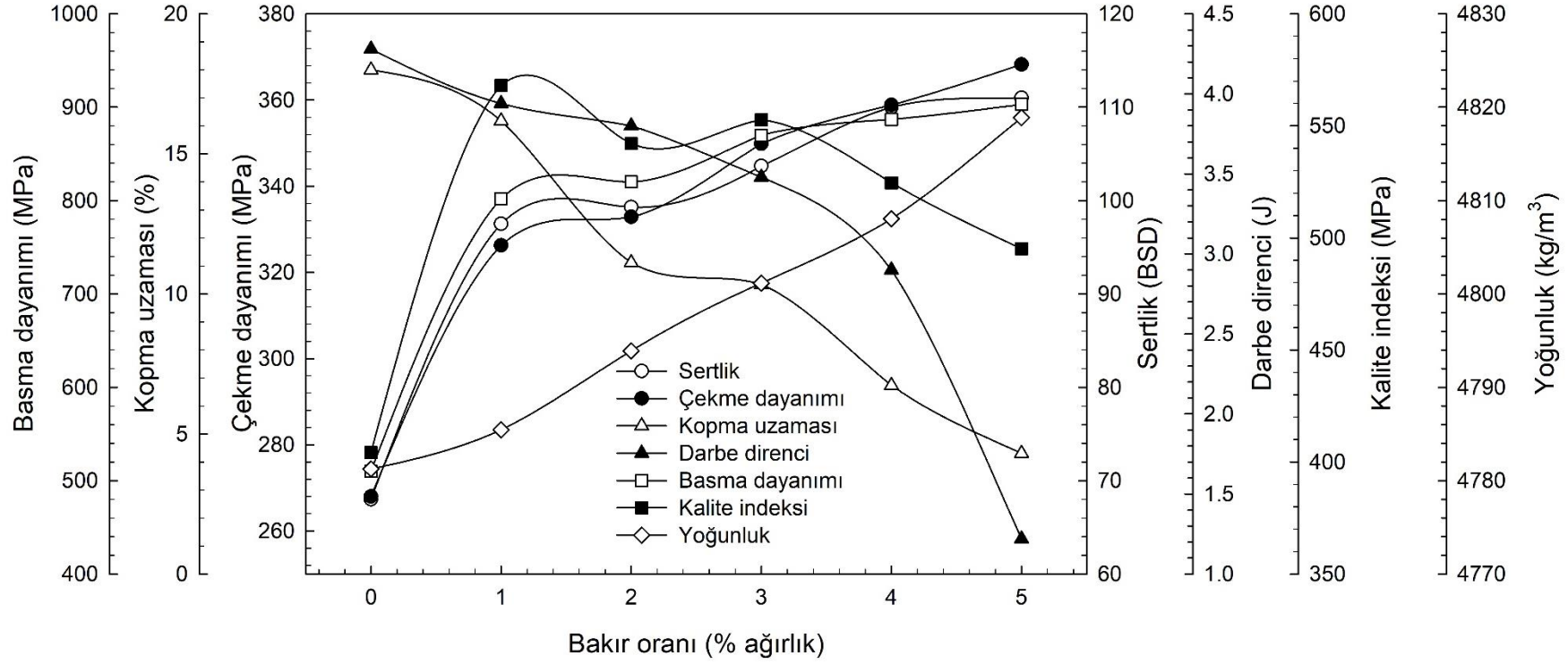
3.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylelerden Elde Edilen Bulgular

Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, sertlik, darbe dayanımı, yoğunluk ve kalite indeksi değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 20’de verilmiştir. Bu eğriler sertlik, çekme ve basma dayanımları ile yoğunluk değerleri artan bakır oranı ile artarken, kopma uzaması ve darbe direnci değerlerinin azaldığını göstermektedir. Alaşımların kalite indeksi değeri ise artan bakır oranı ile artmakta, ancak % 3 Cu oranının üzerine çıkılması durumunda belirgin bir azalma sergilemektedir.

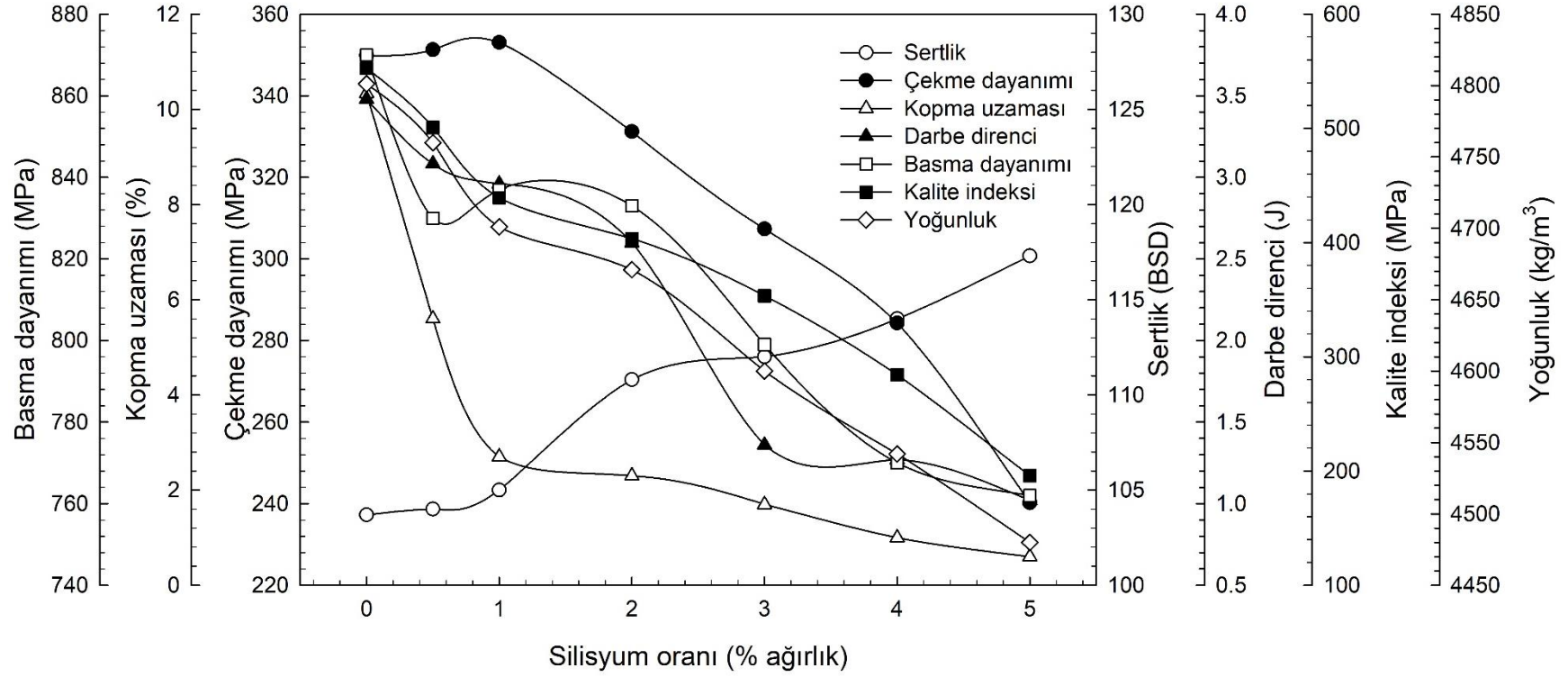
Dörtlü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin silisyum oranına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 21’de verilmiştir. Bu eğriler silisyum oranı arttıkça alaşımların sertlik değerinin arttığı, kopma uzaması, kalite indeksi, darbe direnci ve yoğunluk değerlerinin azaldığını göstermektedir. Ancak söz konusu alaşımların çekme ve basma dayanımlarının artan silisyum oranı ile artarak % 1 Si oranında en yüksek değerlerine ulaştıkları bu orandan sonra ise azaldıkları görülmektedir.

Tablo 7. Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yoğunluk, sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci ve kalite indeksi değerleri.

Alaşım	Yoğunluk (kg/m ³)	Sertlik (BSD)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)	Basma dayanımı (MPa)	Darbe direnci (J)	Kalite İndeksi (MPa)
Zn-30Al	4781	68	268	18	510	4,28	404,2
Zn-30Al-1Cu	4785	97,5	326,5	16,2	802	3,94	568
Zn-30Al-2Cu	4793	99,3	332,9	11,1	820	3,8	542,1
Zn-30Al-3Cu	4801	103,7	349,8	10,3	870	3,5	552,7
Zn-30Al-4Cu	4808	110	358,5	6,7	887	2,9	524,6
Zn-30Al-5Cu	4818	111	368,3	4,3	903	1,2	495,2
Zn-30Al-3Cu-0,5Si	4760	104	351,3	5,6	830	3,1	500,9
Zn-30Al-3Cu-1Si	4701	405,1	353,1	2,7	837	2,9	439,3
Zn-30Al-3Cu-2Si	4671	110,8	331,2	2,3	833	2,6	403,5
Zn-30Al-3Cu-3Si	4600	112	307,4	1,7	799	1,4	353,4
Zn-30Al-3Cu-4Si	4542	114	284,2	1,1	770	1,3	284,2
Zn-30Al-3Cu-5Si	448	117,3	240	0,6	762	1	195,8
SAE 65 bronzu	8775	103	285	9	1135	7,8	475,8
SAE 660 bronzu	8910	87	280	12	1075	12,9	495,8



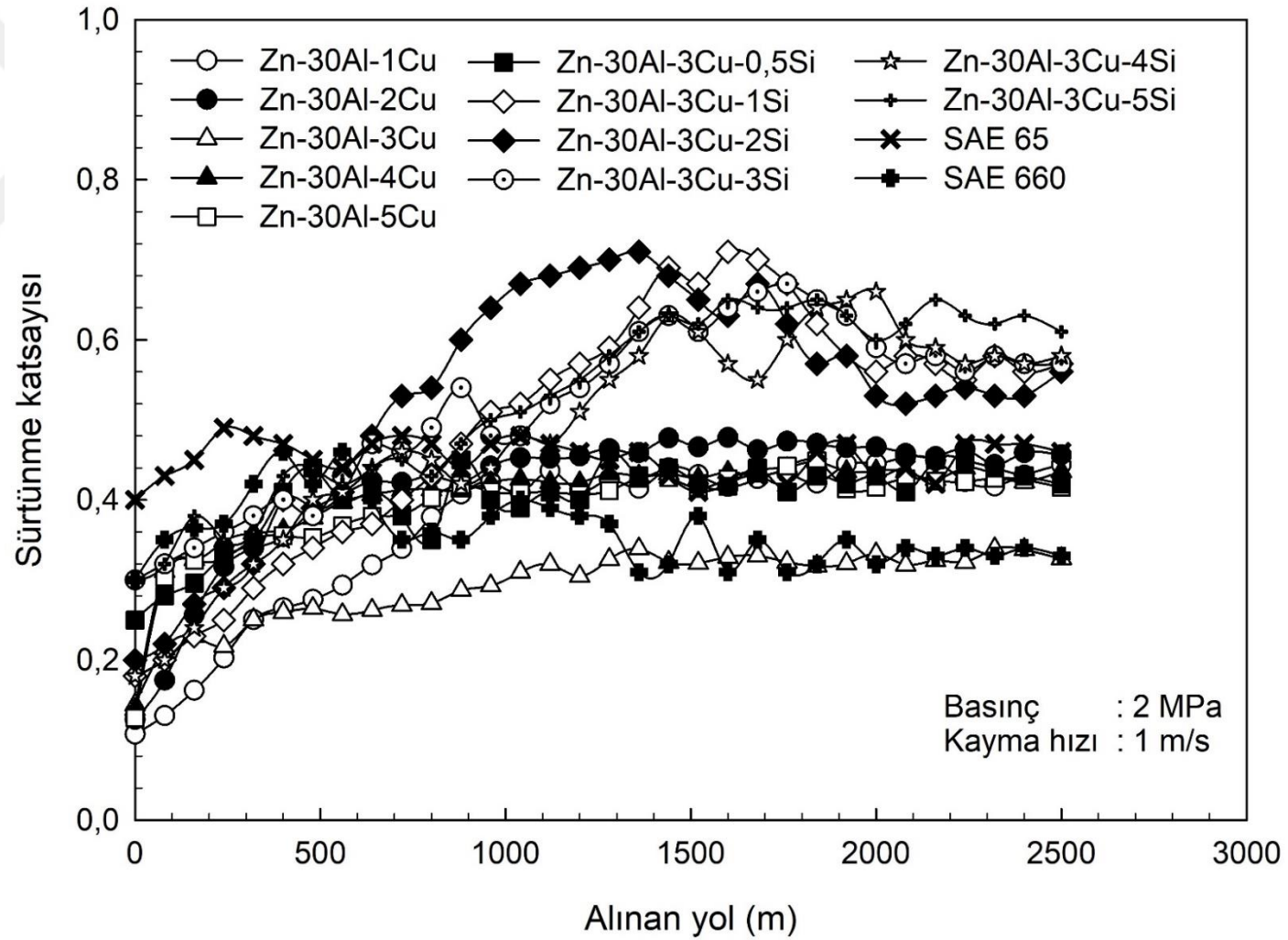
Şekil 20. Zn-30Al-(0-5)Cu alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler



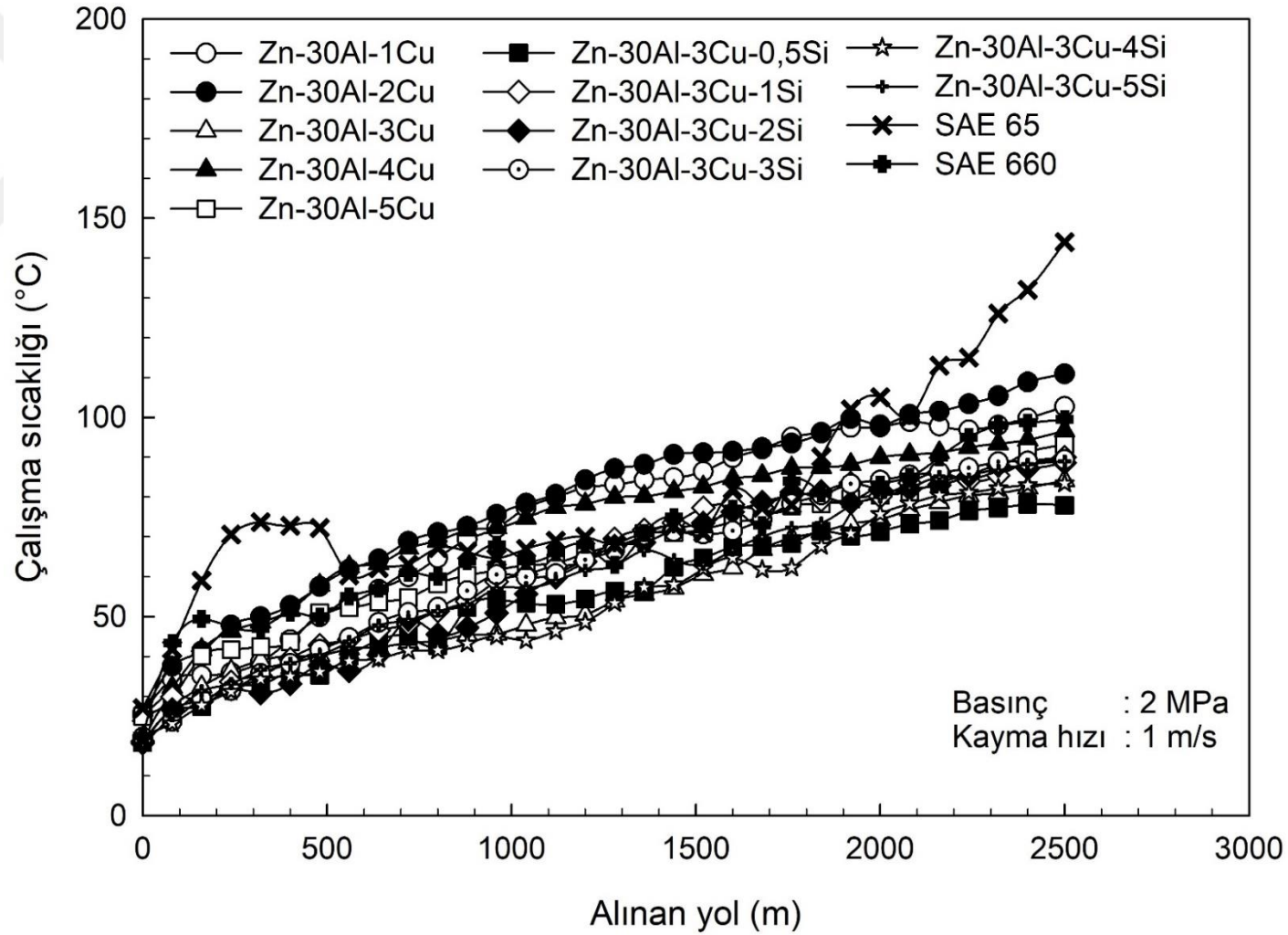
Şekil 21. Zn-30Al-3Cu(0,5-5)Si alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı, kopma uzaması, darbe direnci, kalite indeksi ve yoğunluk değerlerinin silisyum oranına göre değişimlerini gösteren eğriler.

3.4. Sürtünme ve Aşınma Deneylelerinden Elde Edilen Bulgular

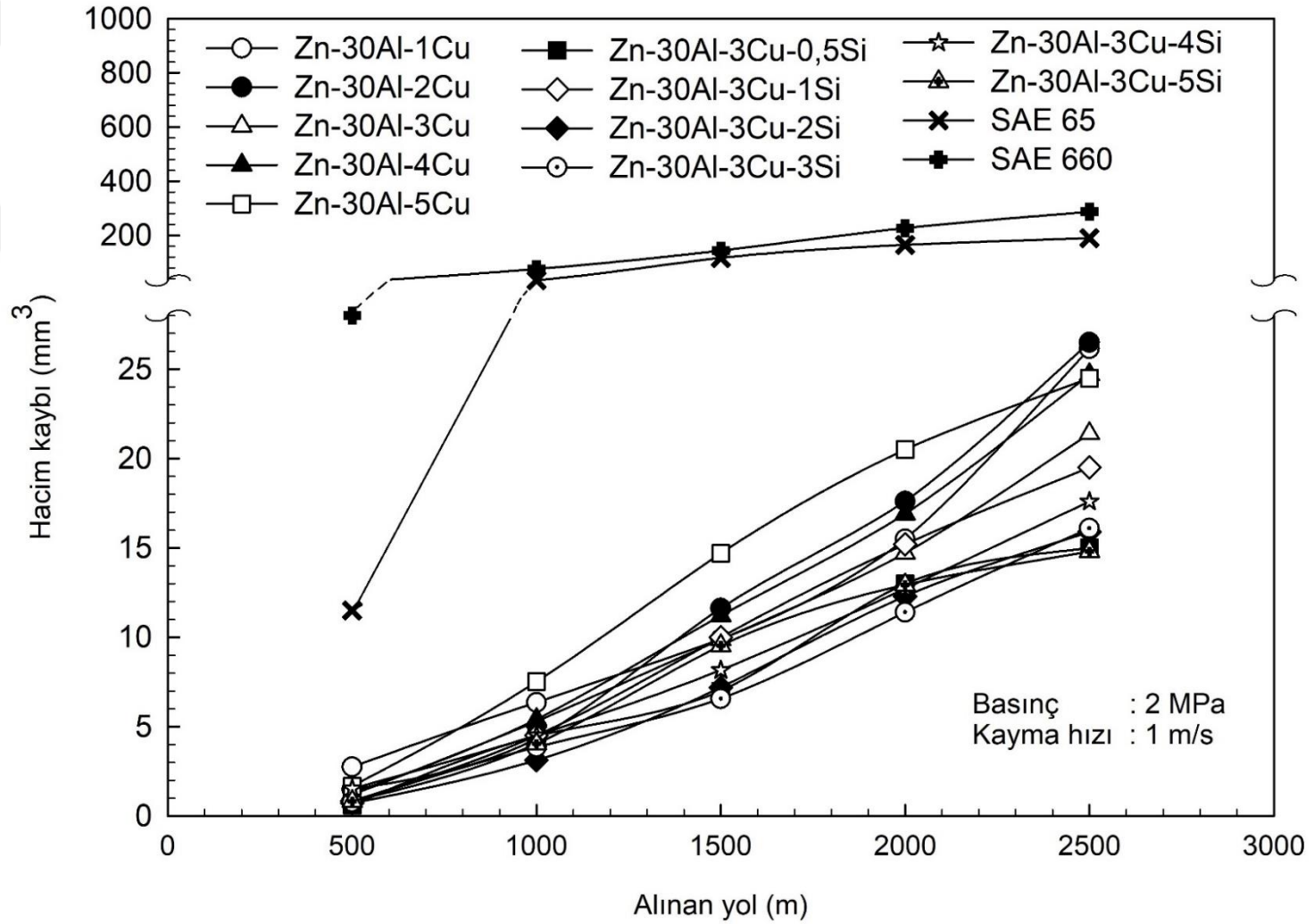
Yağsız durumda 2 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında 2500 m'lik yol boyunca deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 22-24'te verilmiştir. Söz konusu değerlerin bakır ve silisyum oranlarına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise Şekil 25-30'da verilmiştir. Bu eğriler, üçlü alaşımlara ve bronzlara ait sürtünme katsayısı değerlerinin ilk 300 m'lik yola karşı gelen başlangıç aşamasında hızlı bir artış gösterdikten sonra azalan bir hızla artmaya devam ettiğini göstermektedir. Dörtlü alaşımlarda ise sürtünme katsayısı değerlerinin ilk 1500 m'lik yol boyunca hızlı bir şekilde yükseldiği daha sonrasında ise azalarak nispeten kararlı hale geldikleri gözlemlendi. Çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise artan yol ile birlikte sürekli arttığı görüldü. Üç boyutlu grafikler incelendiğinde, üçlü alaşımların söz konusu değerlerinin % 3 Cu oranında, dörtlü alaşımların söz konusu değerlerinin ise % 0,5 Si oranında en düşük seviyelerine ulaşıktan sonra arttıkları görülmektedir.



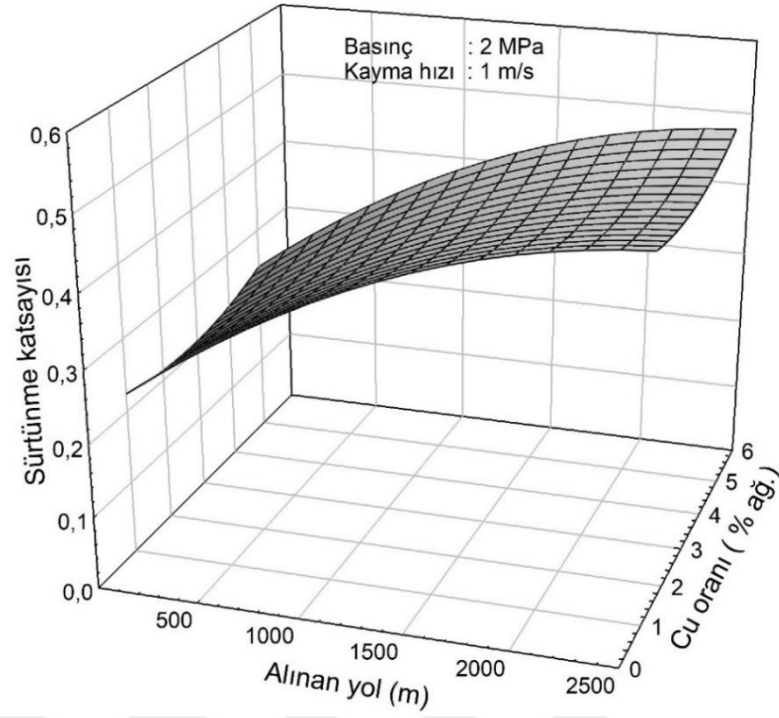
Şekil 22. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



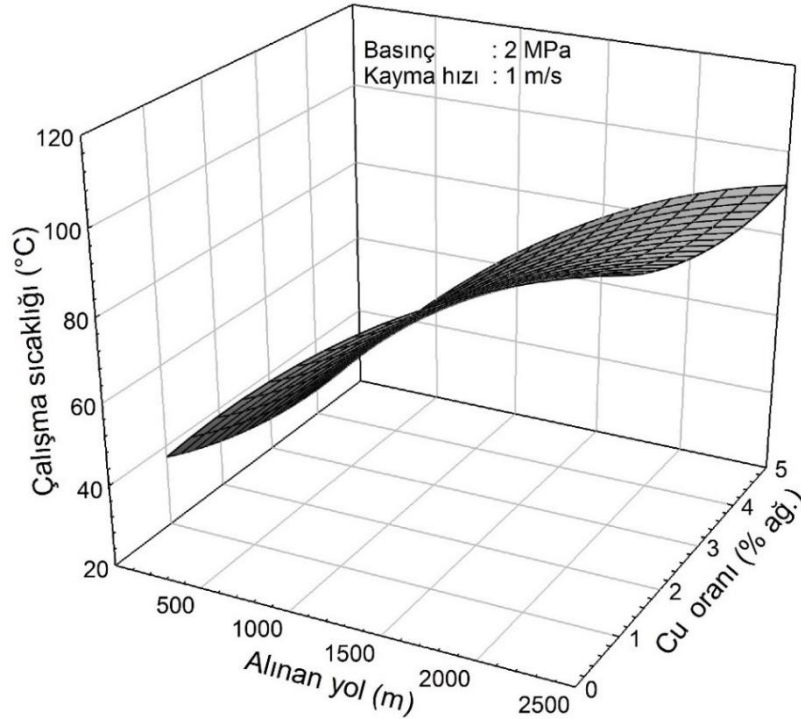
Şekil 23. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



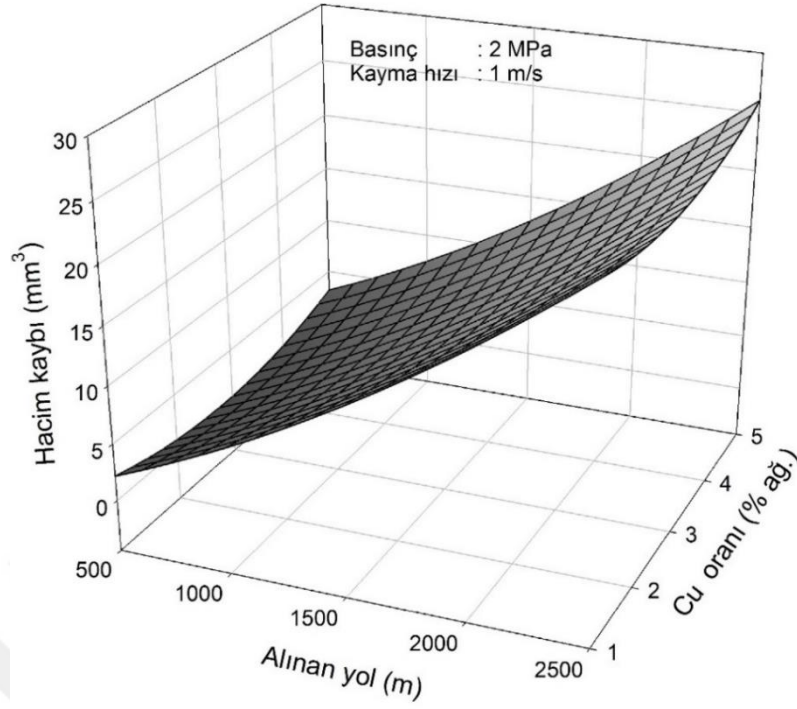
Şekil 24. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



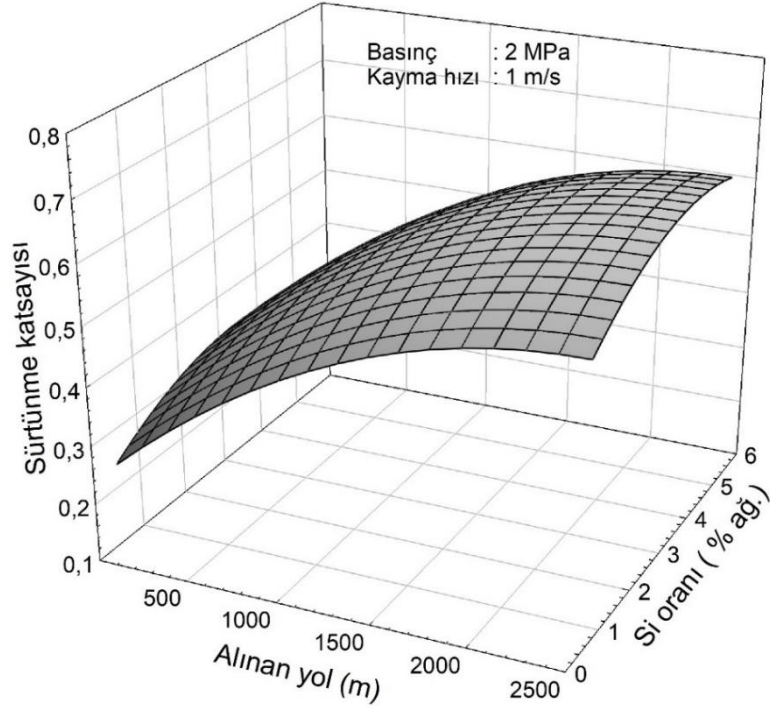
Şekil 25. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



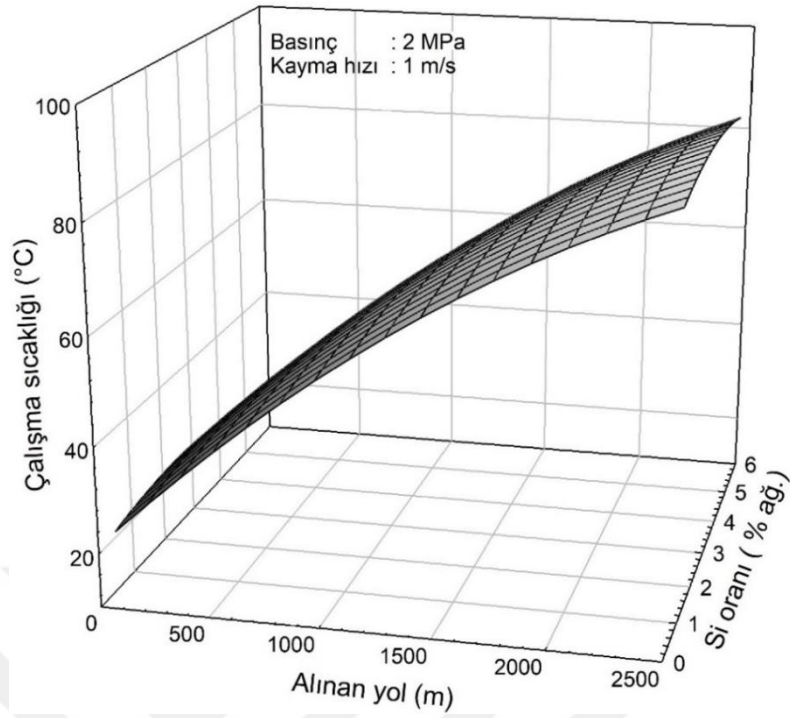
Şekil 26. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



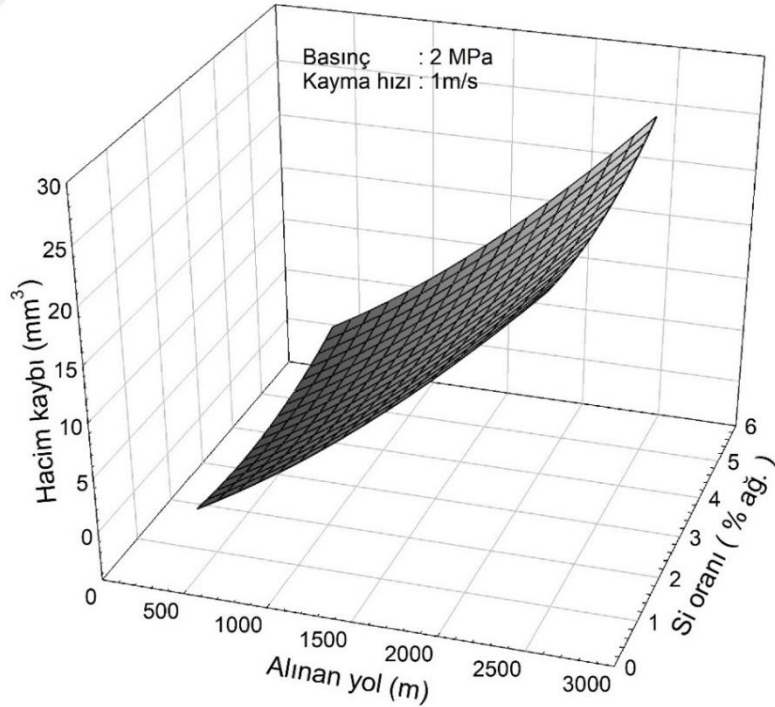
Şekil 27. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 28. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

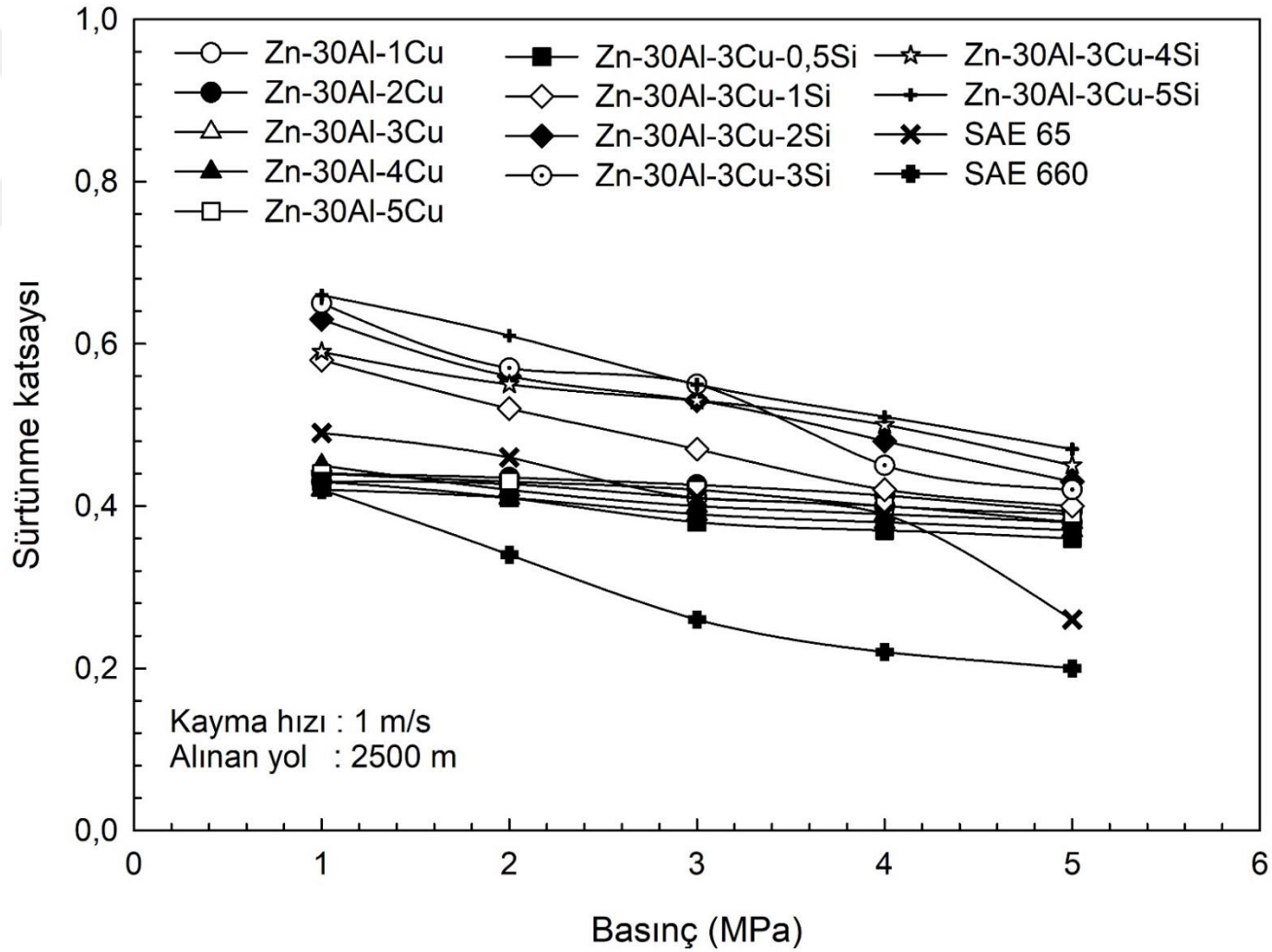


Şekil 29. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

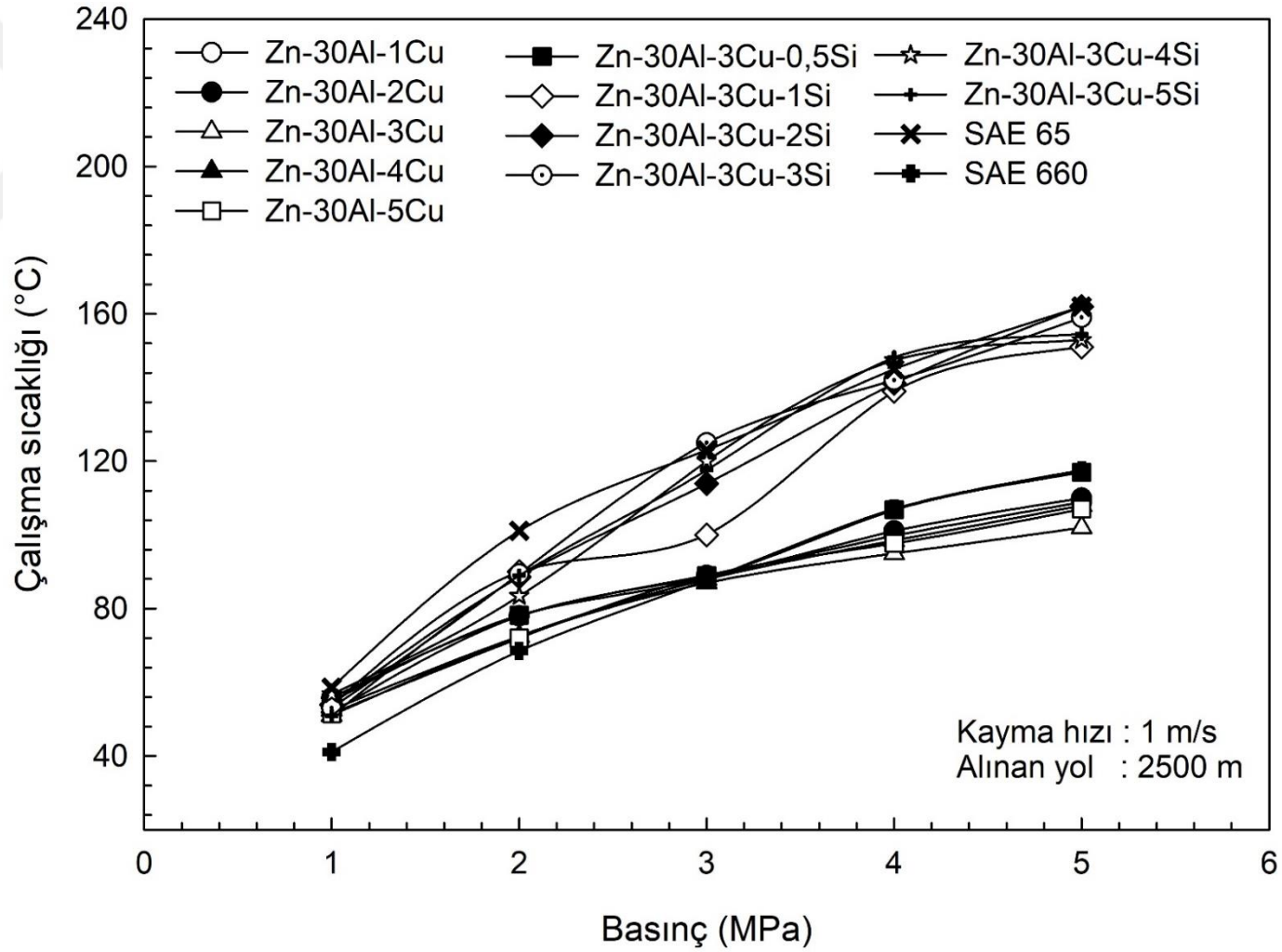


Şekil 30. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

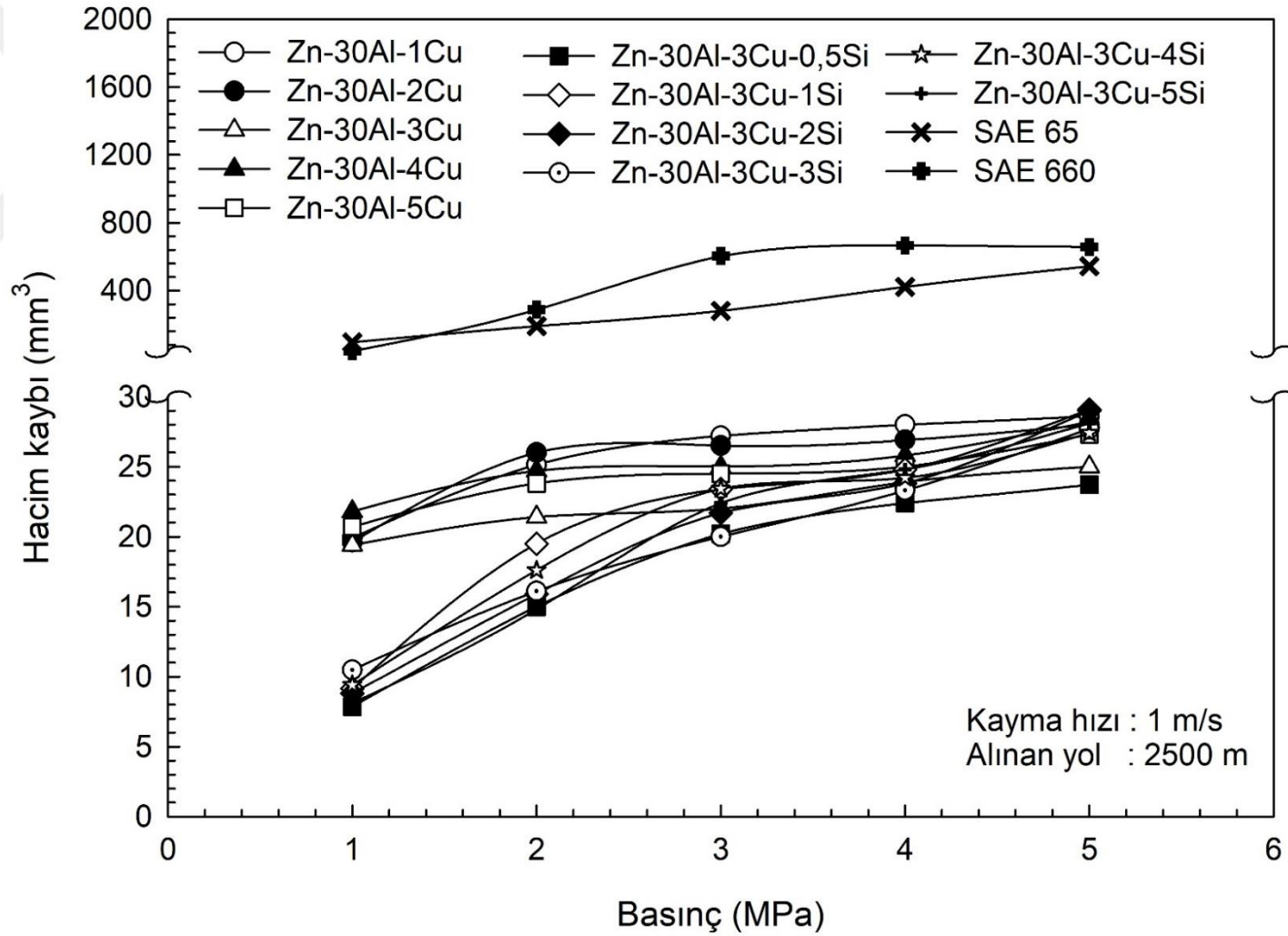
Yağsız durumda farklı basınç (1-5 MPa) değerlerinde ve 1 m/s'lik kayma hızında 2500 m'lik kayma yolu tamamlanıncaya kadar deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 31-33'te; bu değerlerin bakır ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise sırasıyla Şekil 34-39'da verilmiştir. Bu eğrilere bakıldığında bütün malzemelerde basınç arttıkça sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Üç boyutlu grafikler incelendiğinde, Zn-30Al-(0-5)Cu alaşımlarında en düşük sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin % 3 oranında bakır içeren alaşımdan elde edildiği görülmektedir. Silisyum içeren Zn-30Al-3Cu(0,5-5)Si alaşımlarında ise söz konusu değerlerin % 0,5 Si oranında minimum seviyelerine ulaştıkları görülmektedir.



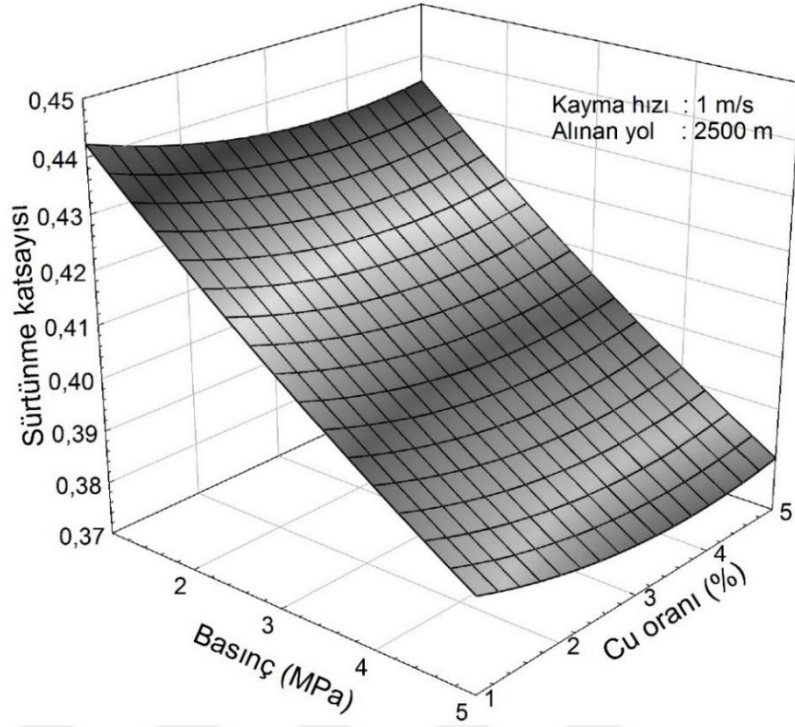
Şekil 31. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



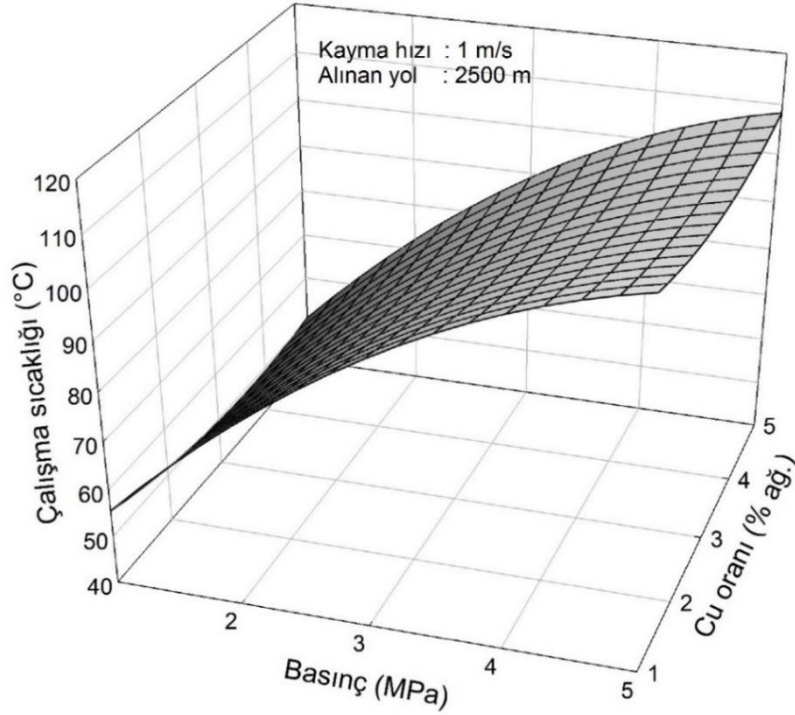
Şekil 32. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



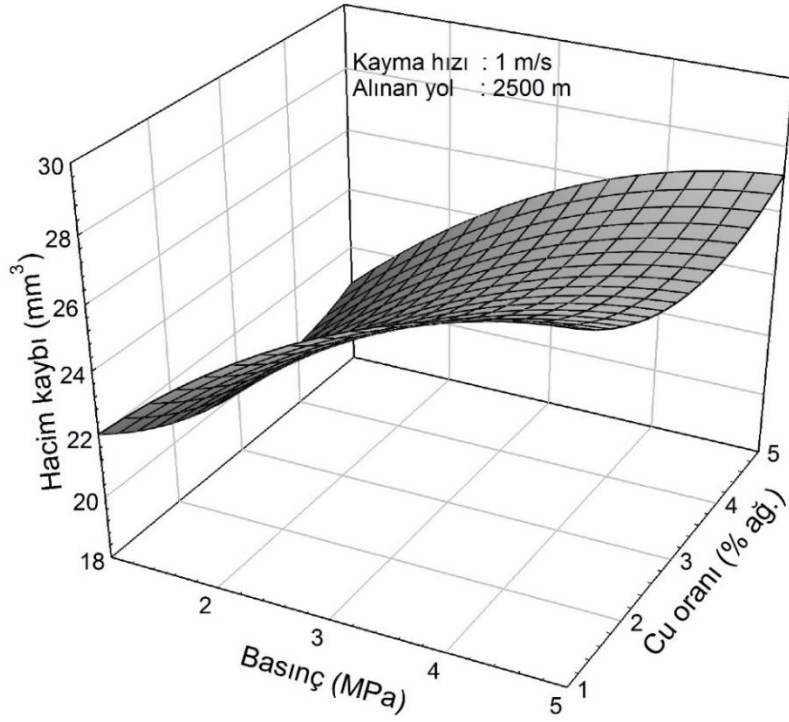
Şekil 33. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



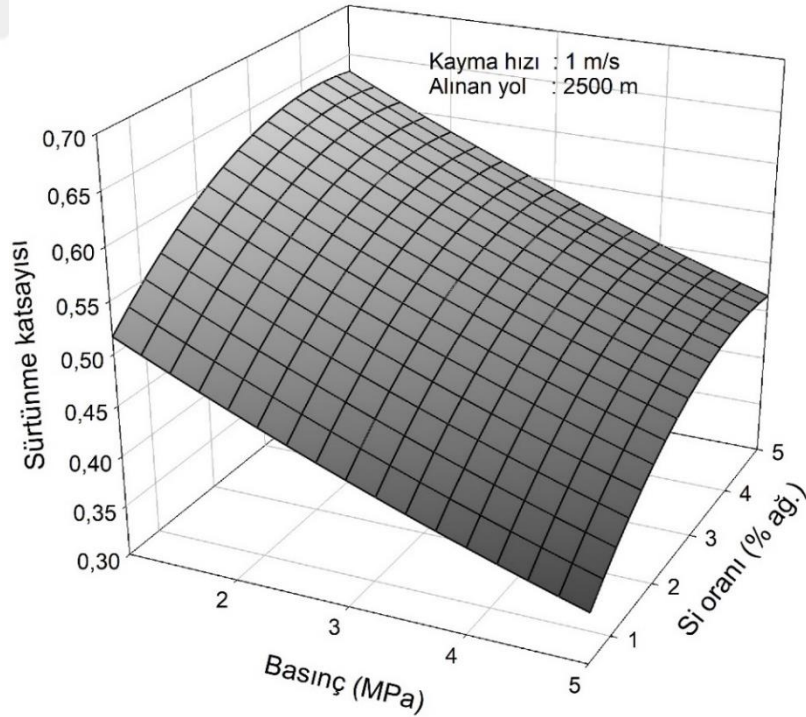
Şekil 34. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



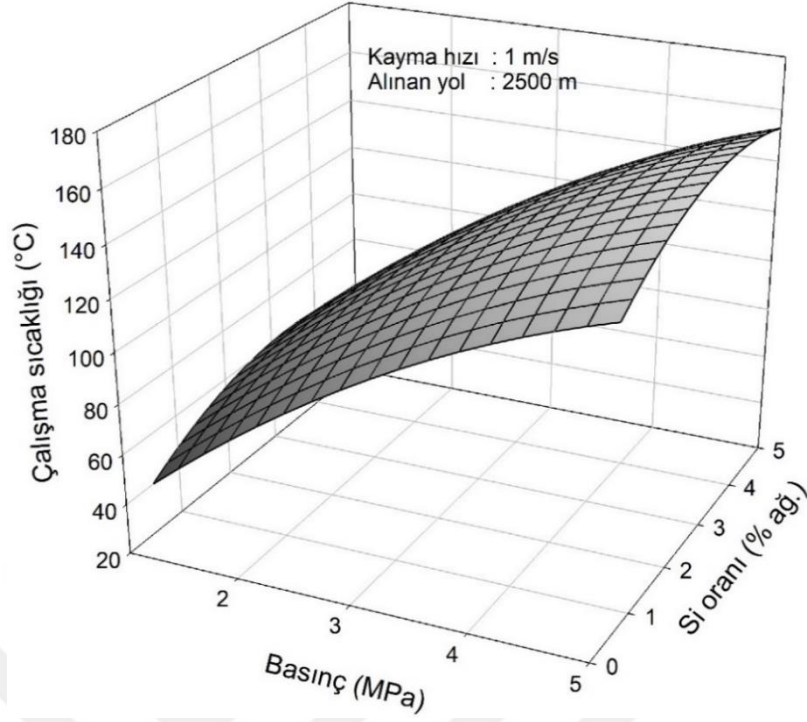
Şekil 35. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



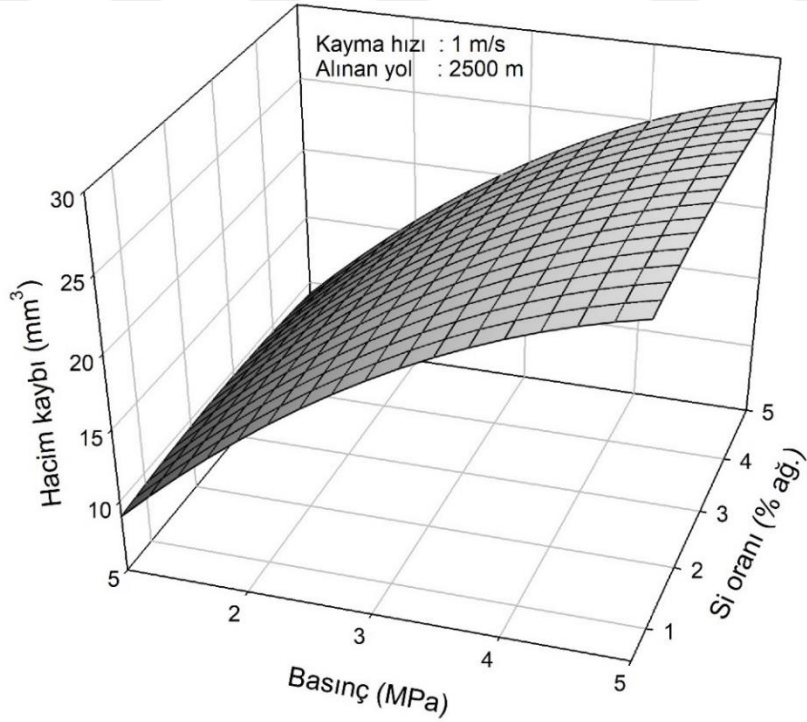
Şekil 36. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 37. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

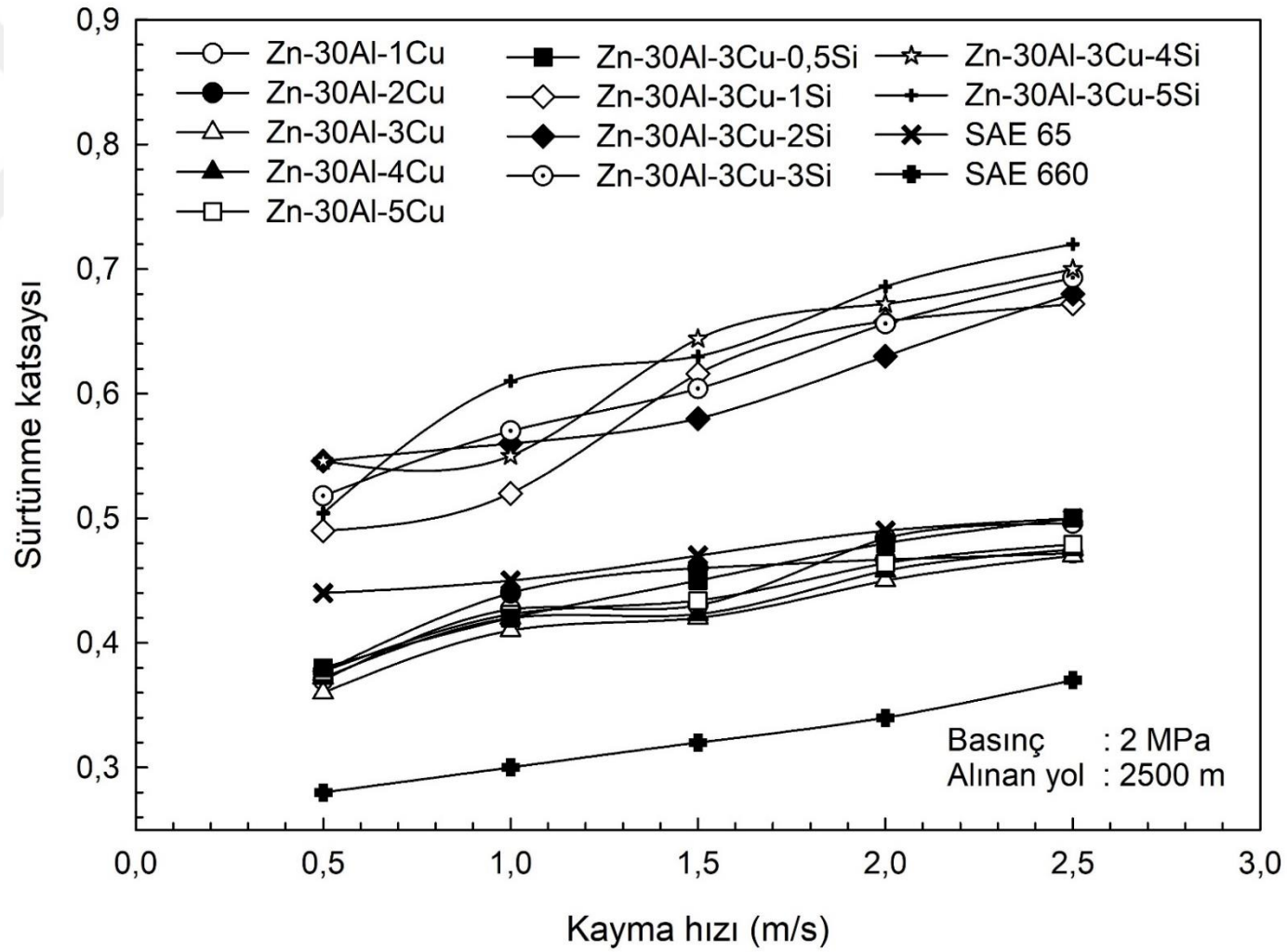


Şekil 38. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

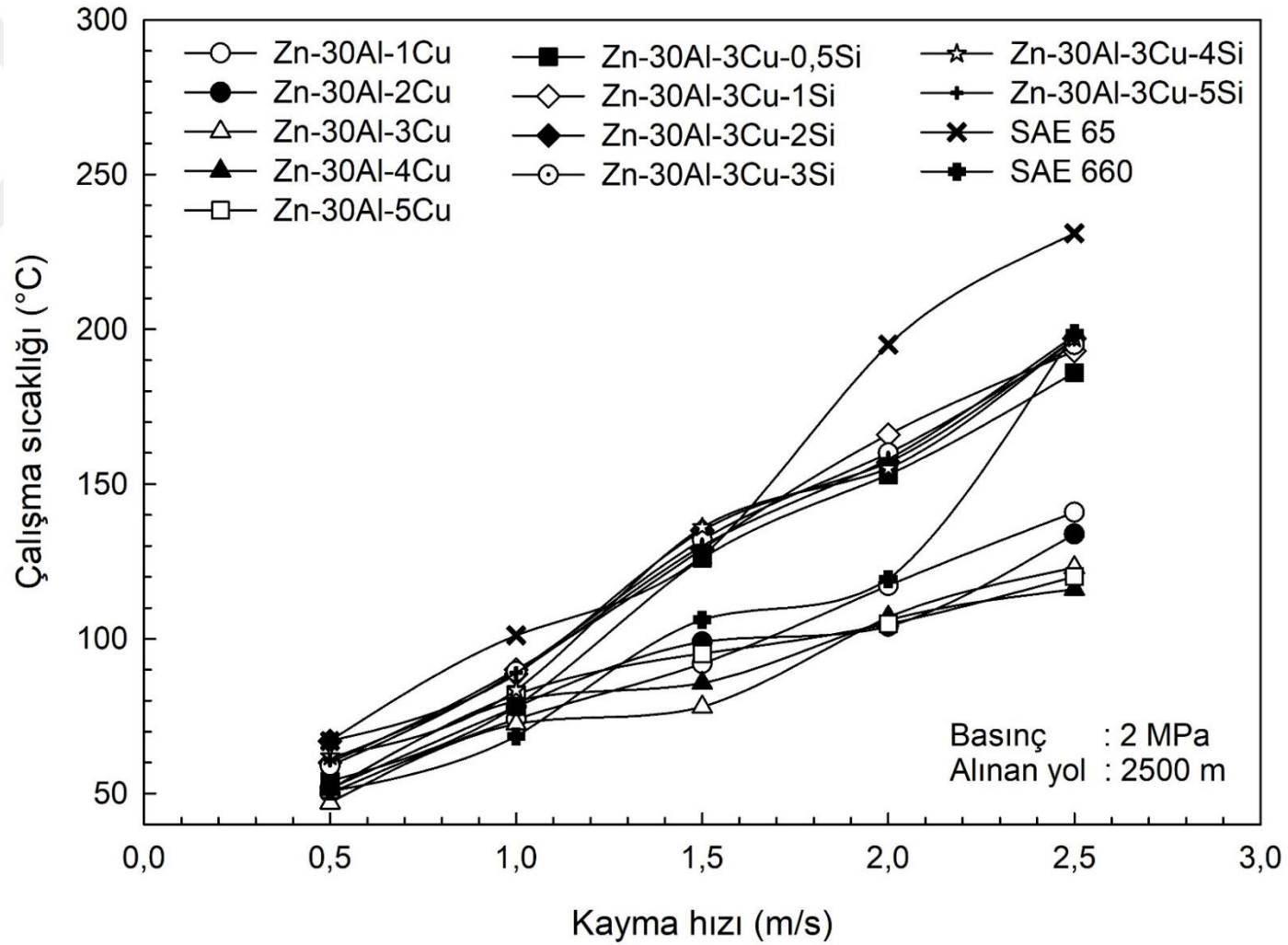


Şekil 39. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

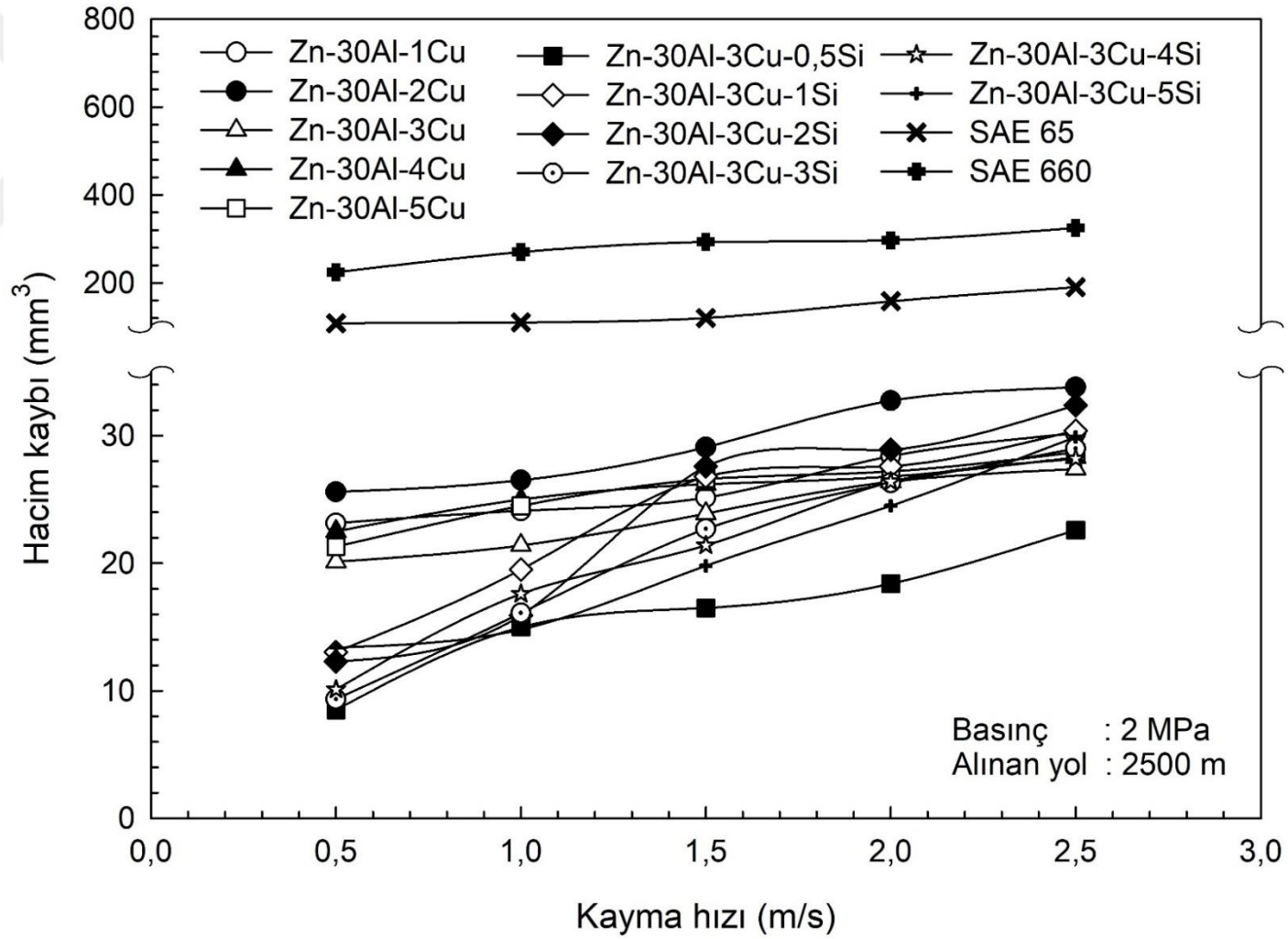
Yağsız durumda farklı kayma hızlarında (0,5-2,5 m/s) ve 2 MPa'lık basınç altında 2500 m'lik kayma yolu tamamlanıncaya kadar deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 40-42'de; bu değerlerin bakır ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise sırasıyla Şekil 43-48'de verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde, kayma hızı arttıkça söz konusu değerlerin hepsi artış göstermektedir. Üç boyutlu grafiklere bakıldığında, Zn-30Al-(0-5)Cu alaşımlarında % 3 oranında bakır içeren alaşımda en düşük sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Dörtlü Zn-30Al-3Cu(0,5-5)Si alaşımlarında ise söz konusu değerlerin % 0,5 Si oranında minimum seviyelerine ulaştıkları görülmektedir.



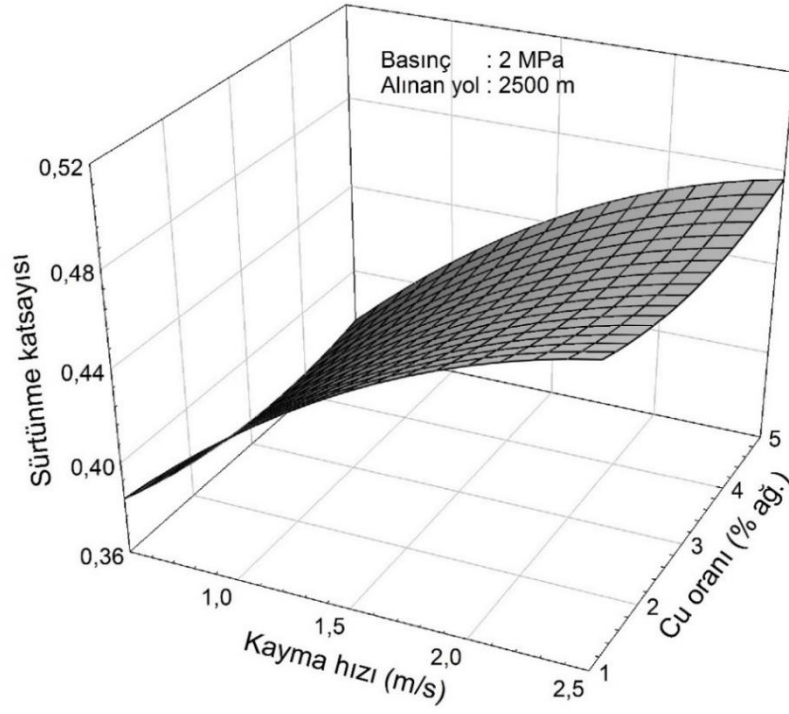
Şekil 40. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



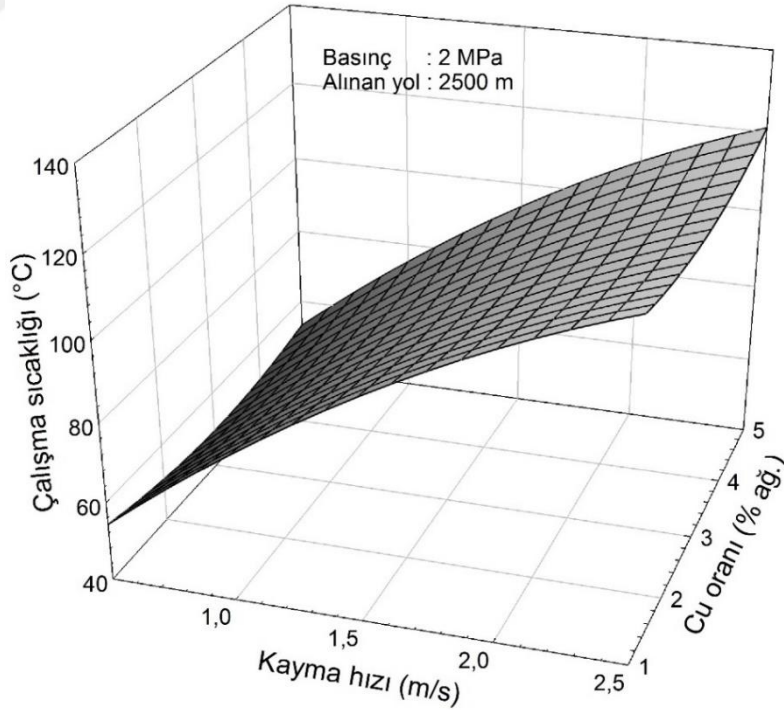
Şekil 41. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



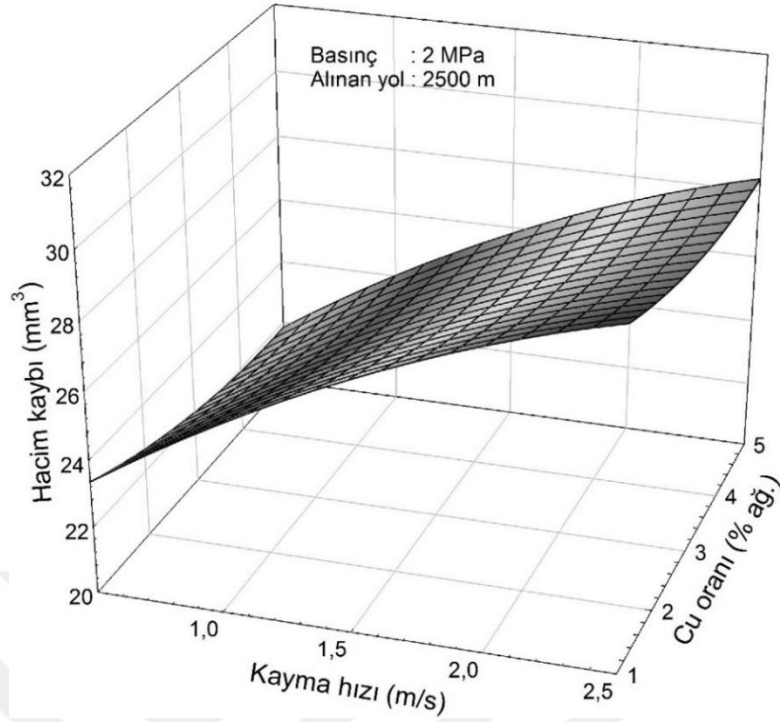
Şekil 42. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



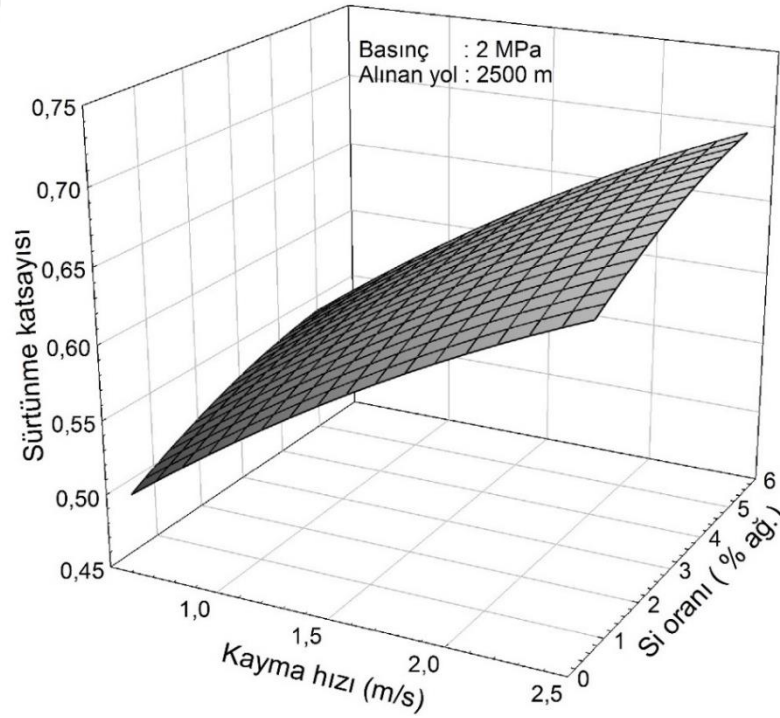
Şekil 43. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



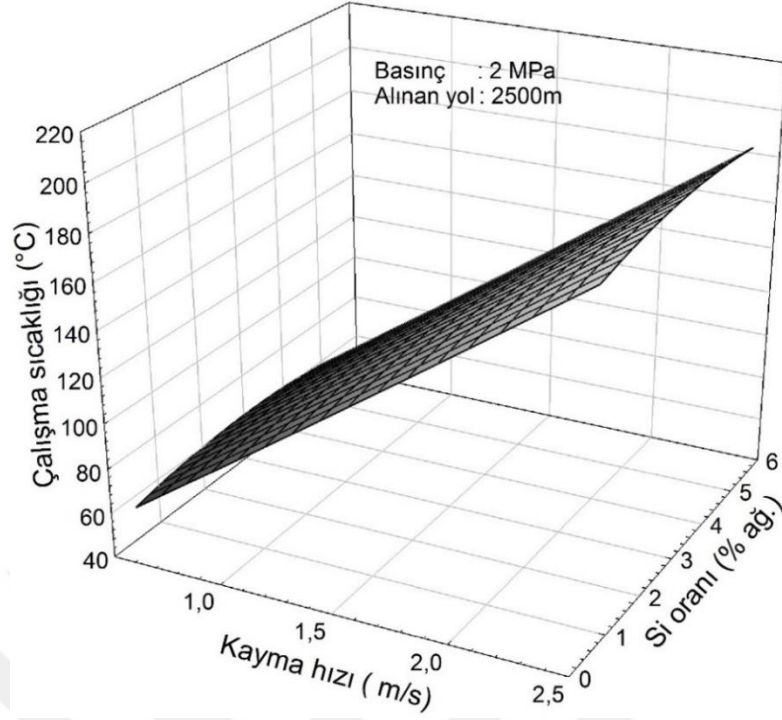
Şekil 44. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



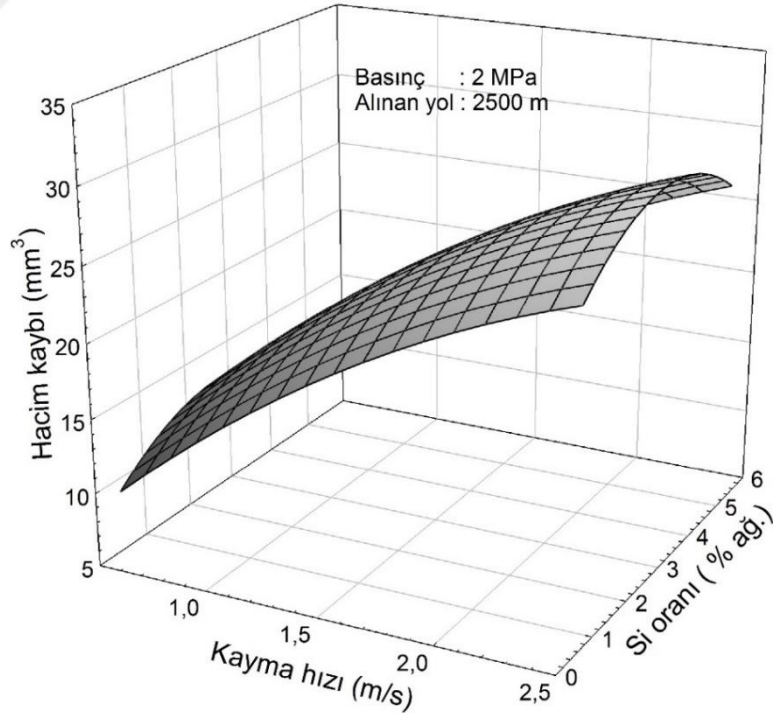
Şekil 45. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 46. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

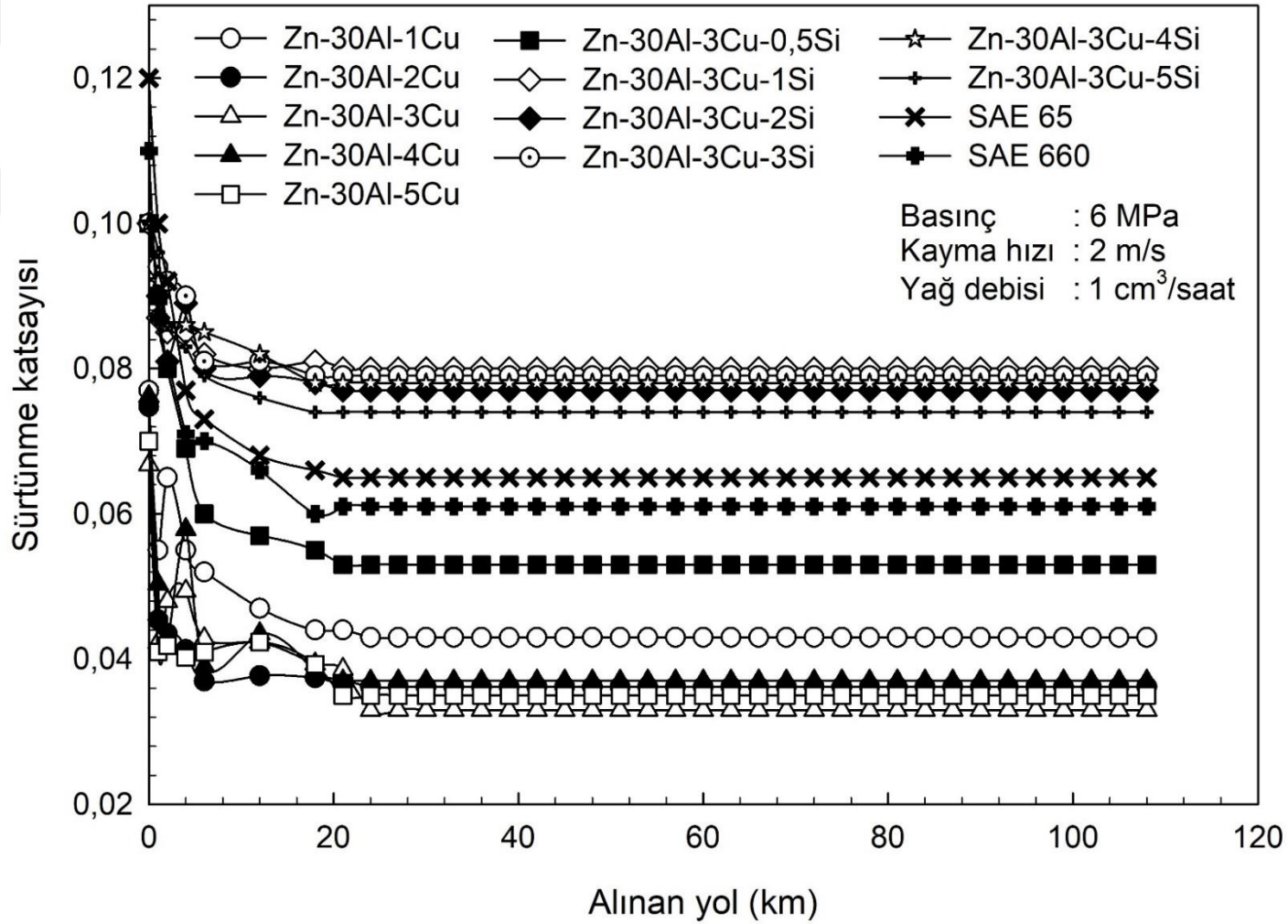


Şekil 47. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

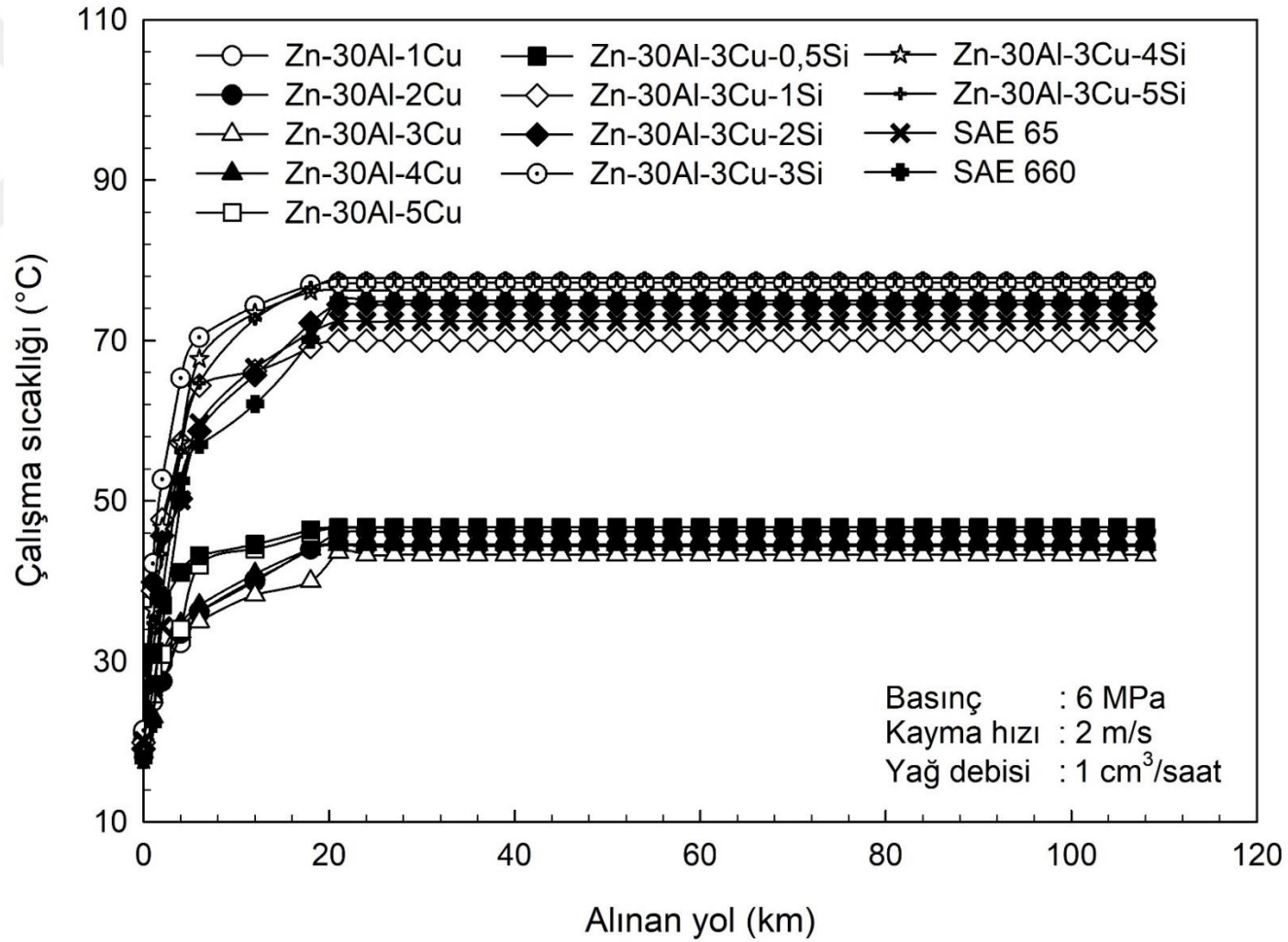


Şekil 48. Yağsız durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

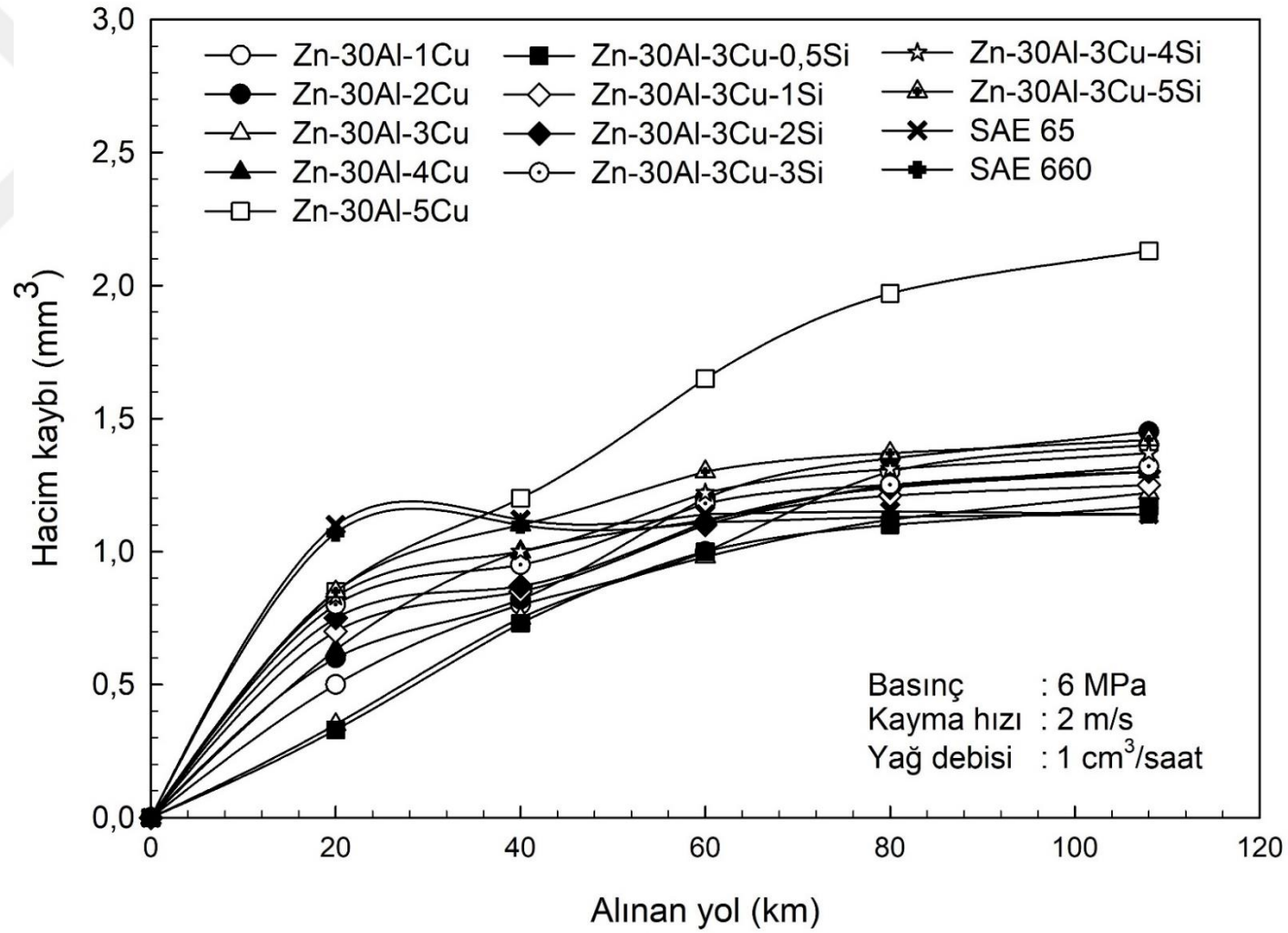
6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisi koşullarında 108 km yol boyunca deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 49-51'de; bu değerlerin bakır ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise sırasıyla Şekil 52-57'de verilmiştir. Bu eğrilere bakıldığında sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığı değerlerinin deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde arttığı ve yaklaşık 20 km'den sonra sabit değerlere ulaştığı, üçlü ve dörtlü alaşımların hacim kaybı değerlerinin ise sürekli olarak arttığı görülmektedir. Üç boyutlu grafikler incelendiğinde Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarında söz konusu değerlerin artan bakır oranıyla azalıp % 3 oranında en düşük seviyelerine ulaştıktan sonra arttığı görülmektedir. Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının bu değerlerinin ise % 0,5 Si oranında minimum seviyeye ulaştıktan artan silisyum oranı ile arttıkları görülmektedir.



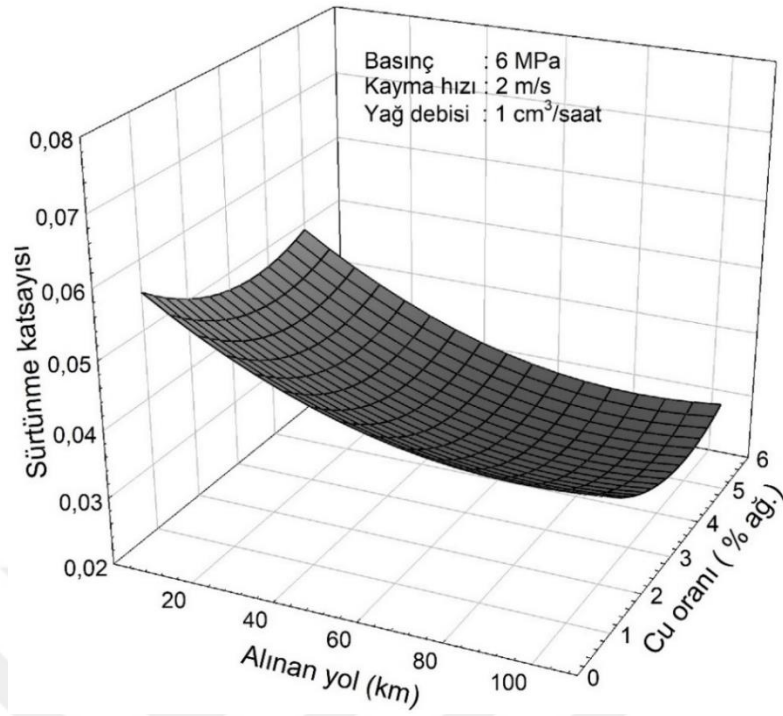
Şekil 49. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



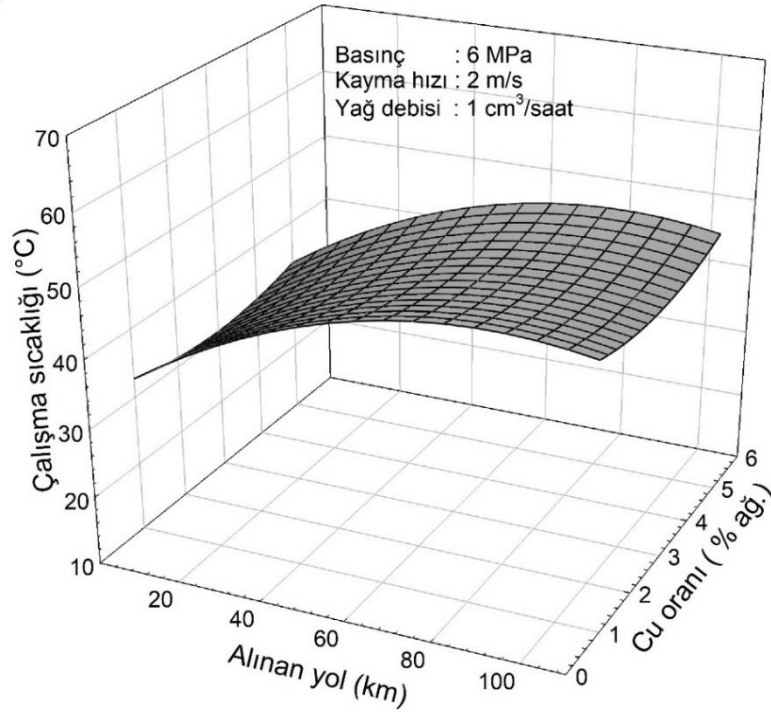
Şekil 50. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



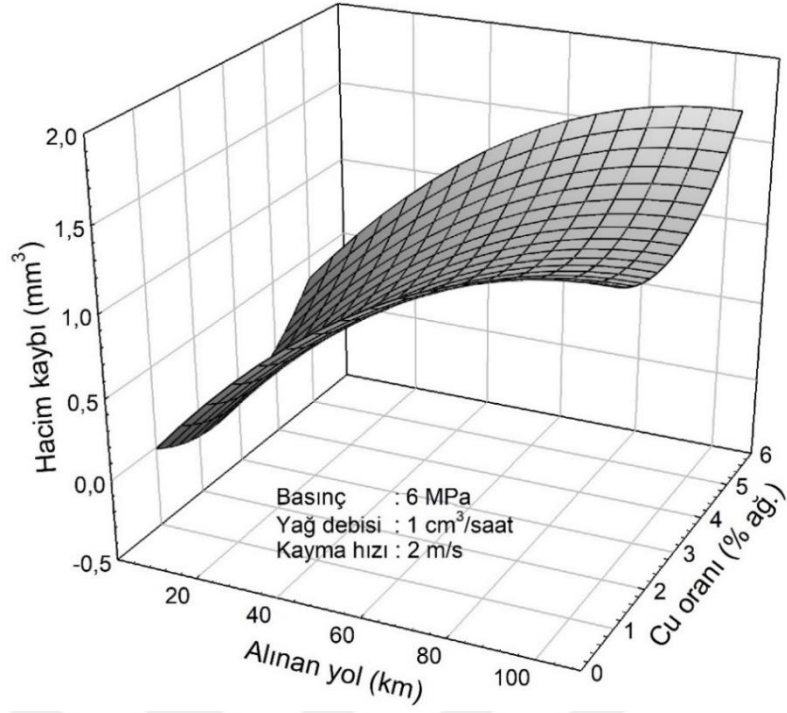
Şekil 51. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yola göre değişimlerini gösteren eğriler



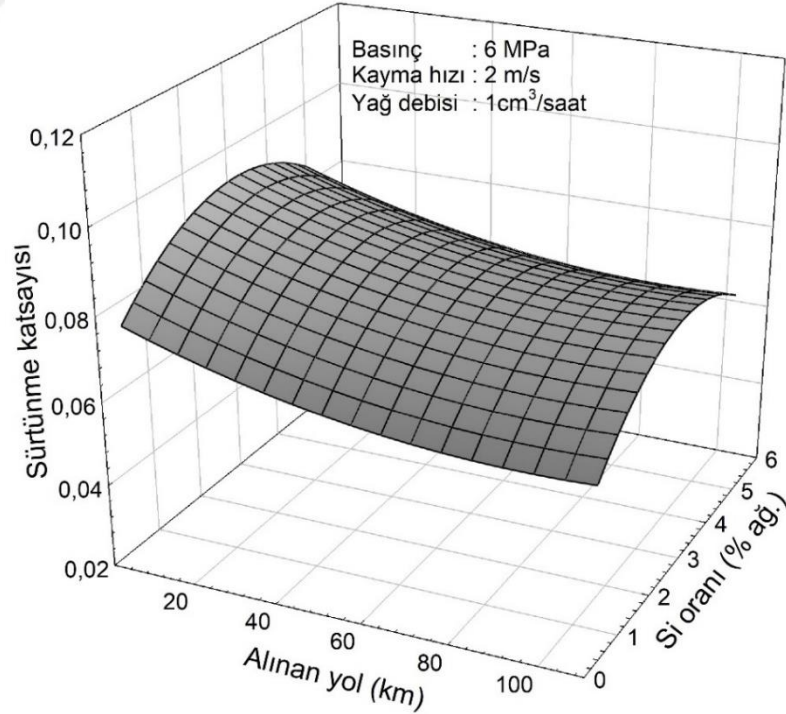
Şekil 52. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



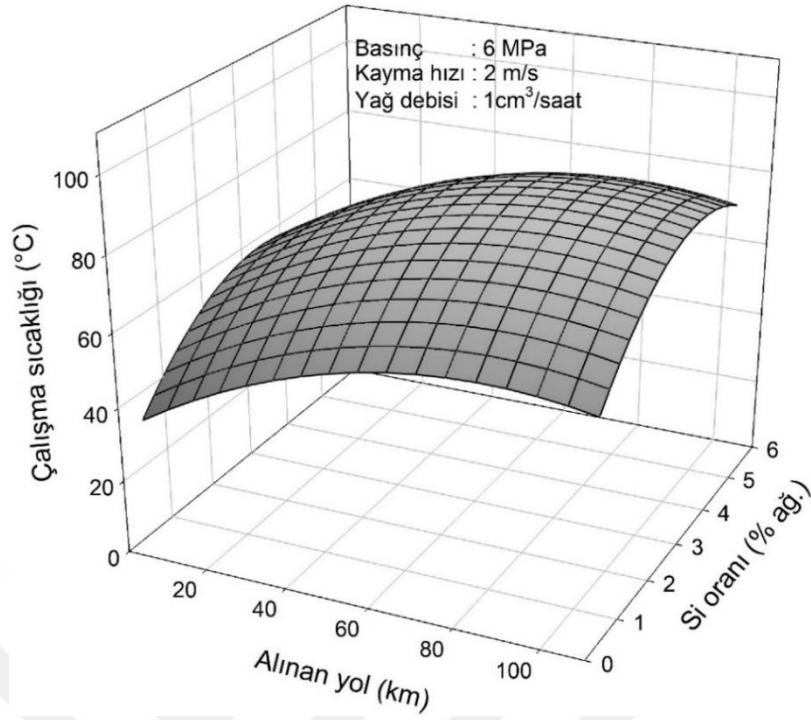
Şekil 53. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



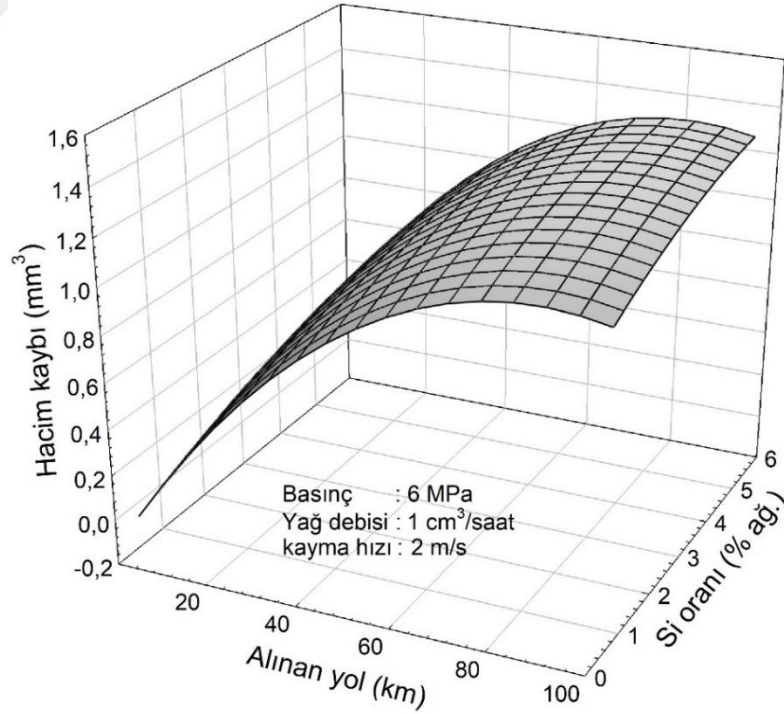
Şekil 54. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 55. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

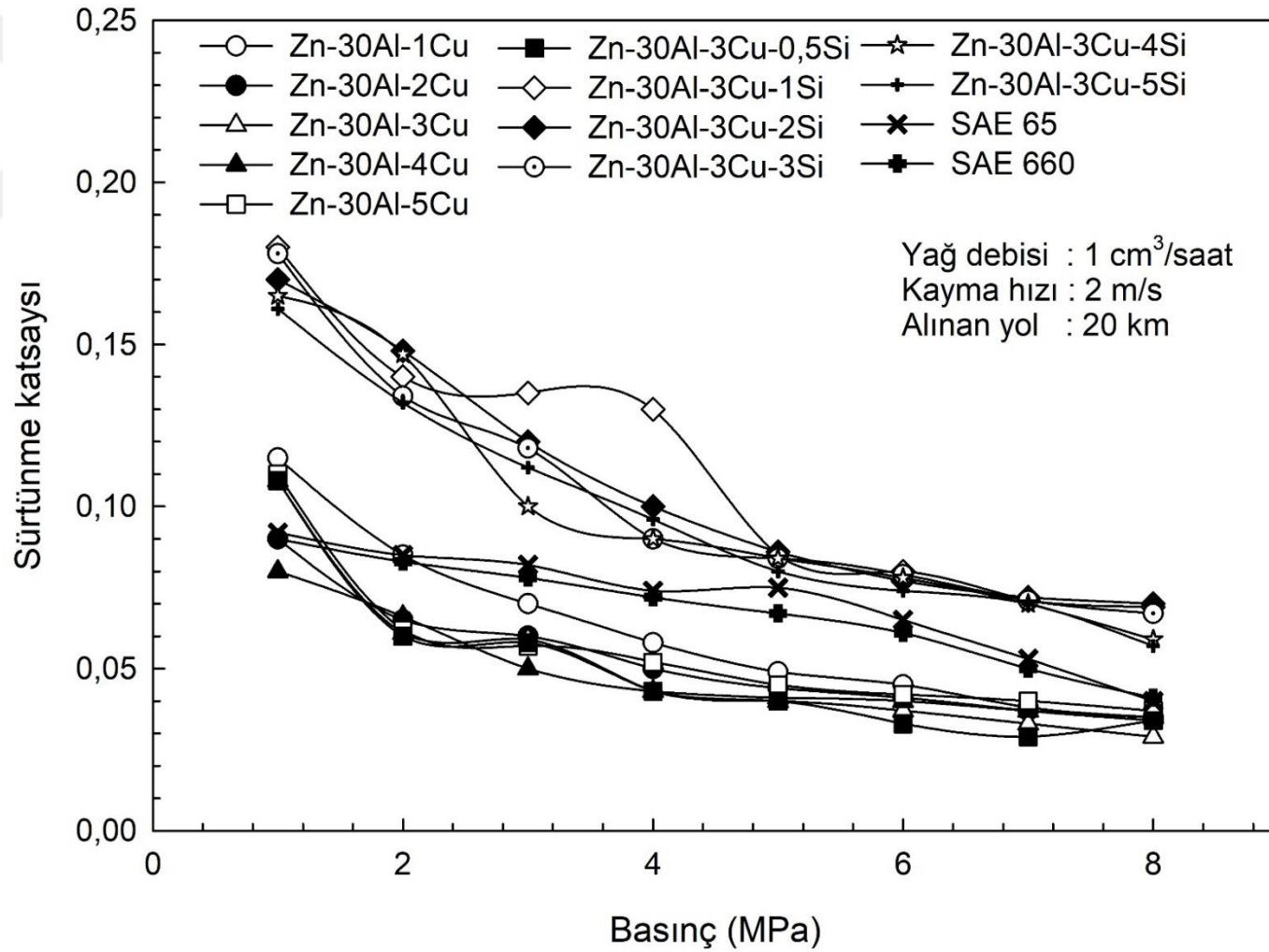


Şekil 56. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

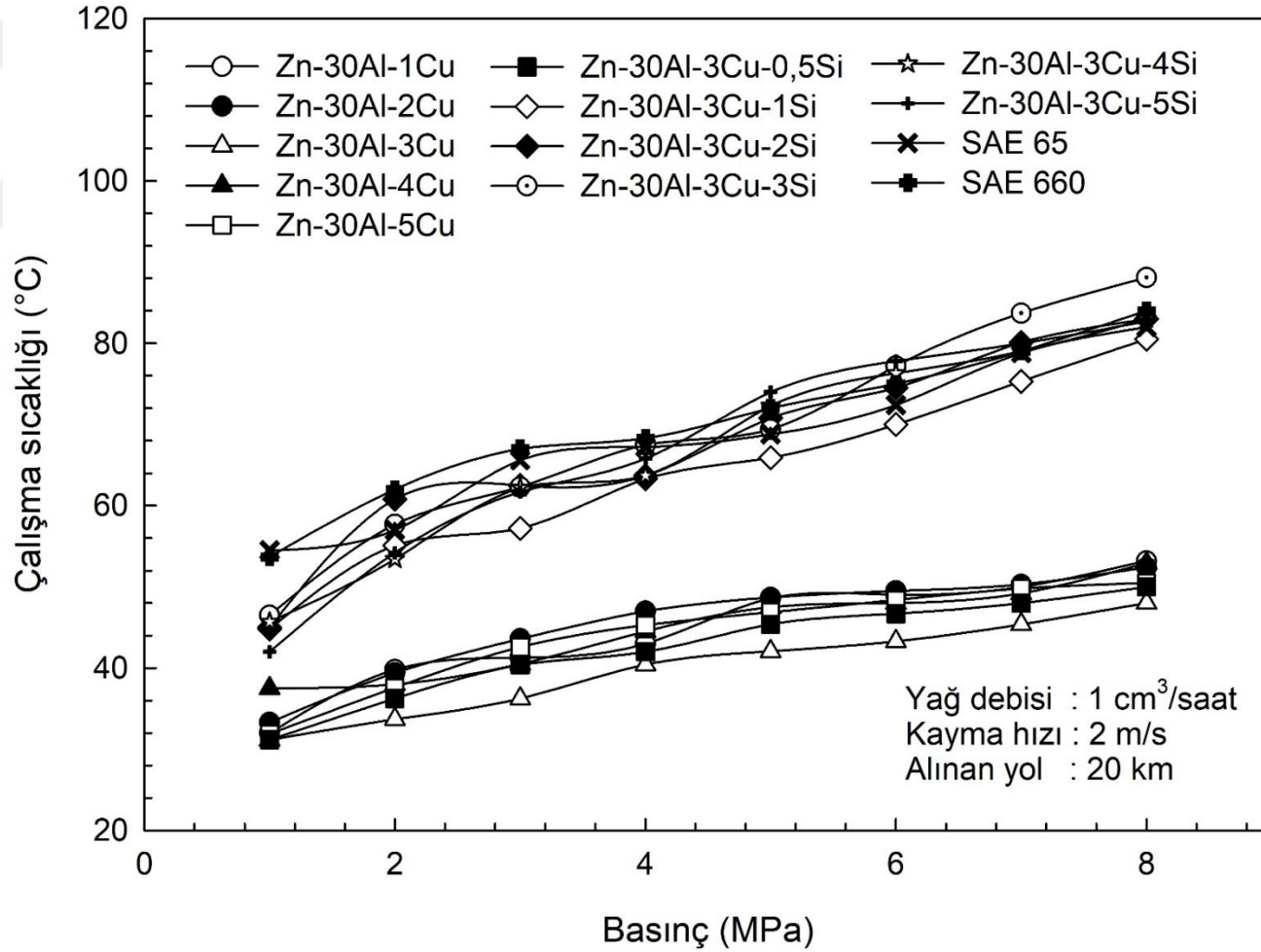


Şekil 57. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

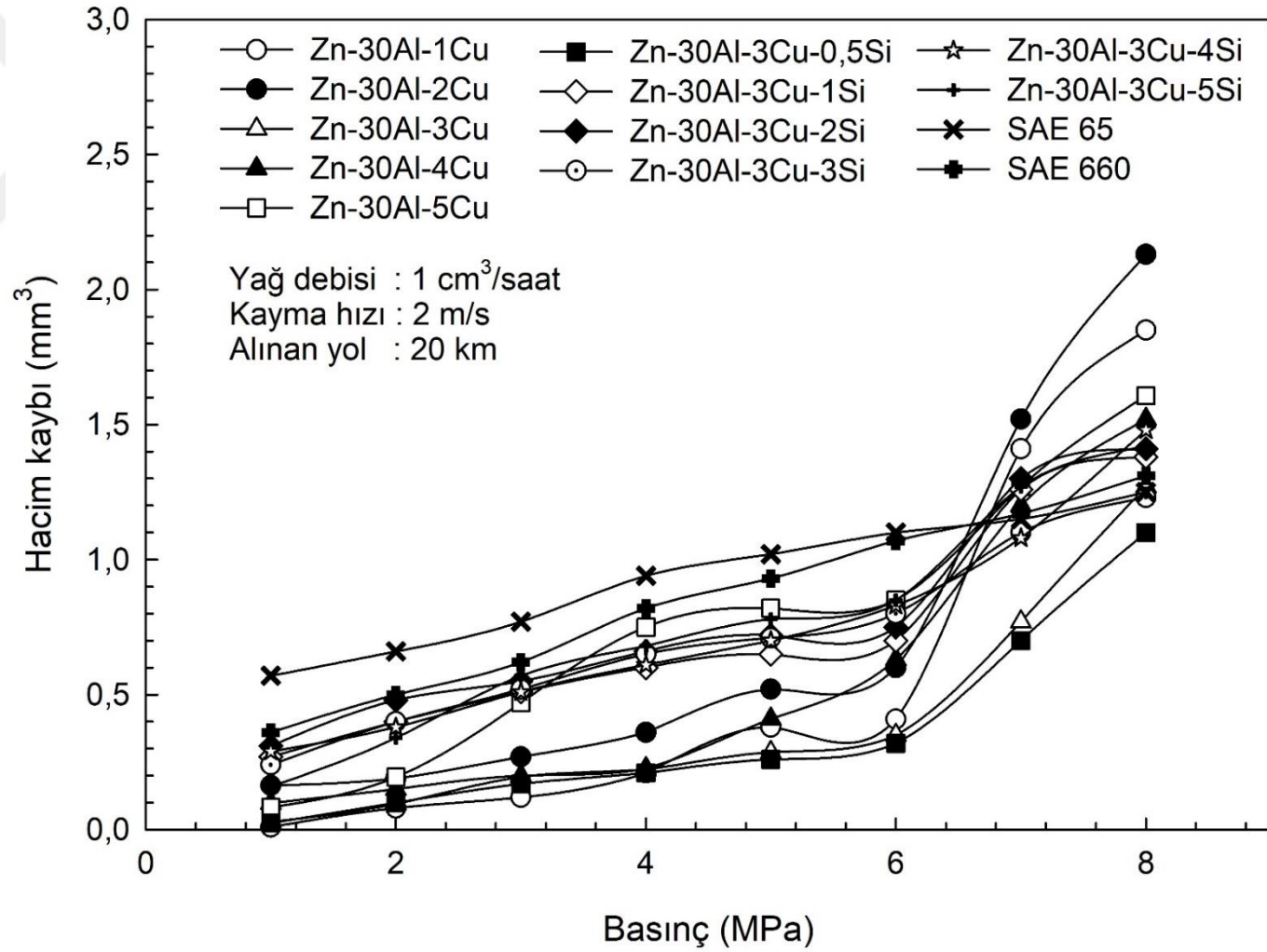
Farklı basınç (1-8 MPa) değerlerinde, 1 cm³/saat'lik yağ debisi ve 2 m/s'lik kayma hızında 20 km'lik kayma yolu tamamlanıncaya kadar deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 58-60'da; söz konusu değerlerin bakır ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise sırasıyla Şekil 61-66'da verilmiştir. Bu eğrilere göre basınç arttıkça sürtünme katsayısı değerinin azaldığı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Üç boyutlu grafikler incelendiğinde, Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin bakır oranını ile fazla bir değişiklik göstermediği, ancak % 3 Cu oranında en düşük seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Silisyum içeren Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının söz konusu değerlerinin ise % 0,5 Si oranında en düşük seviyelerine indikten sonra artan silisyum oranı ile arttığı görülmektedir.



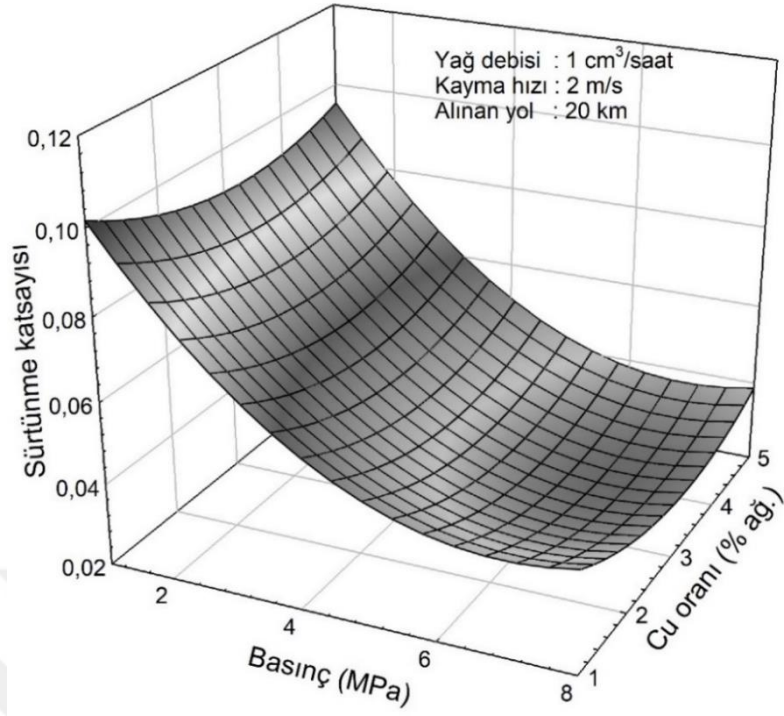
Şekil 58. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



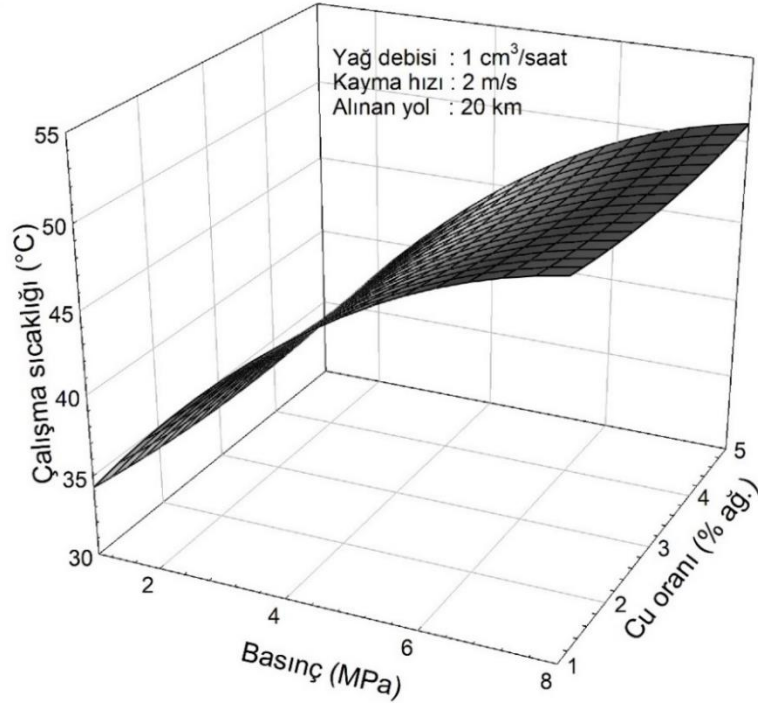
Şekil 59. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



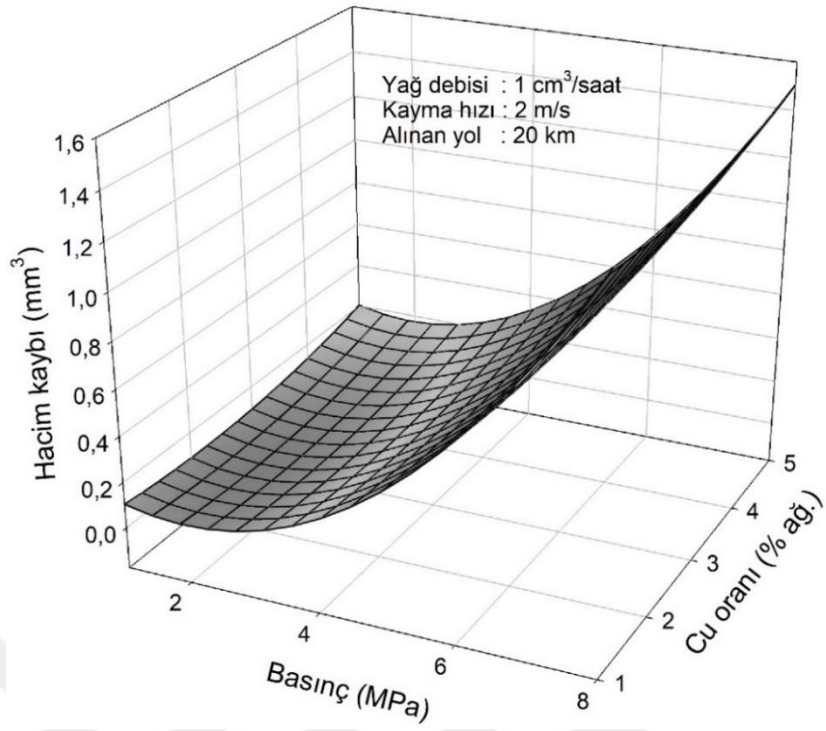
Şekil 60. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınca göre değişimlerini gösteren eğriler



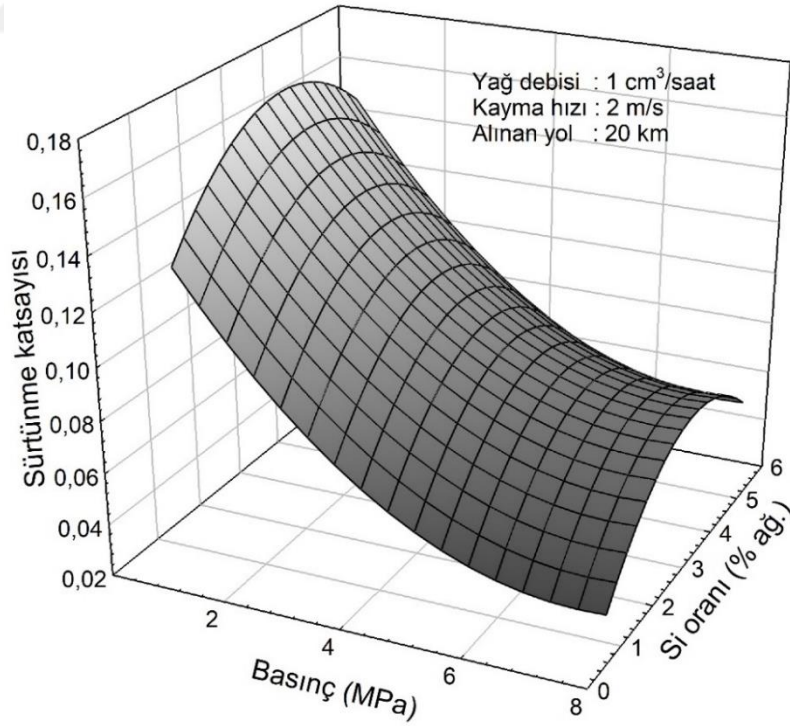
Şekil 61. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



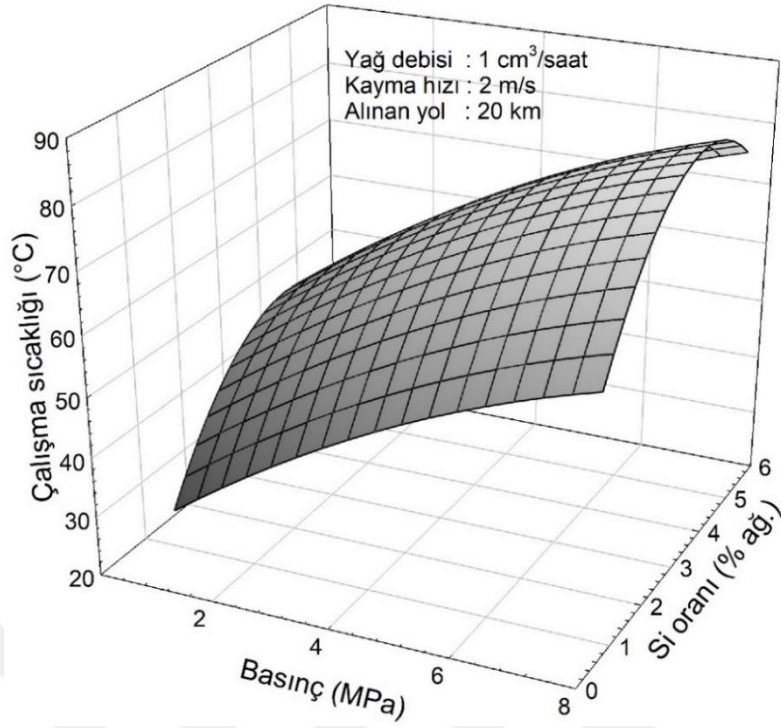
Şekil 62. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



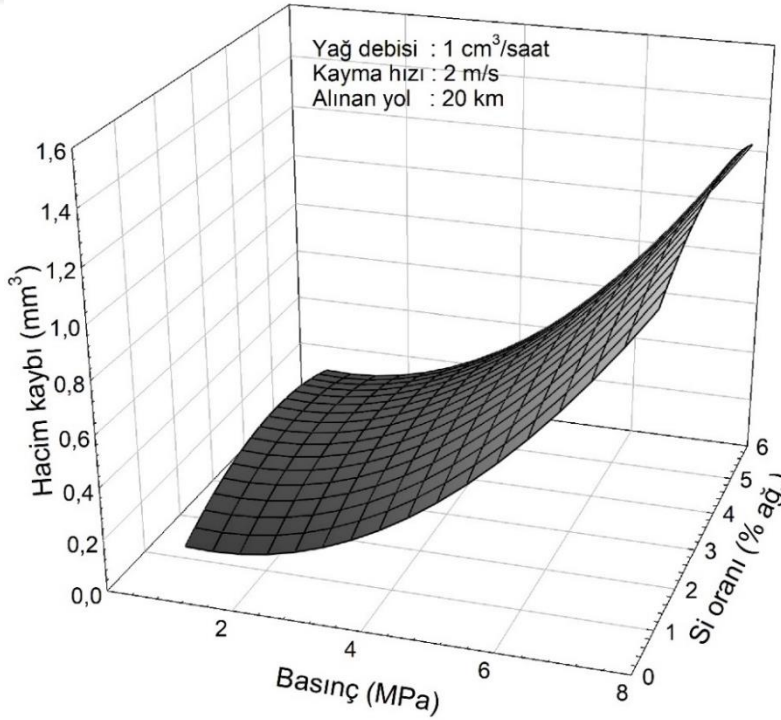
Şekil 63. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 64. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

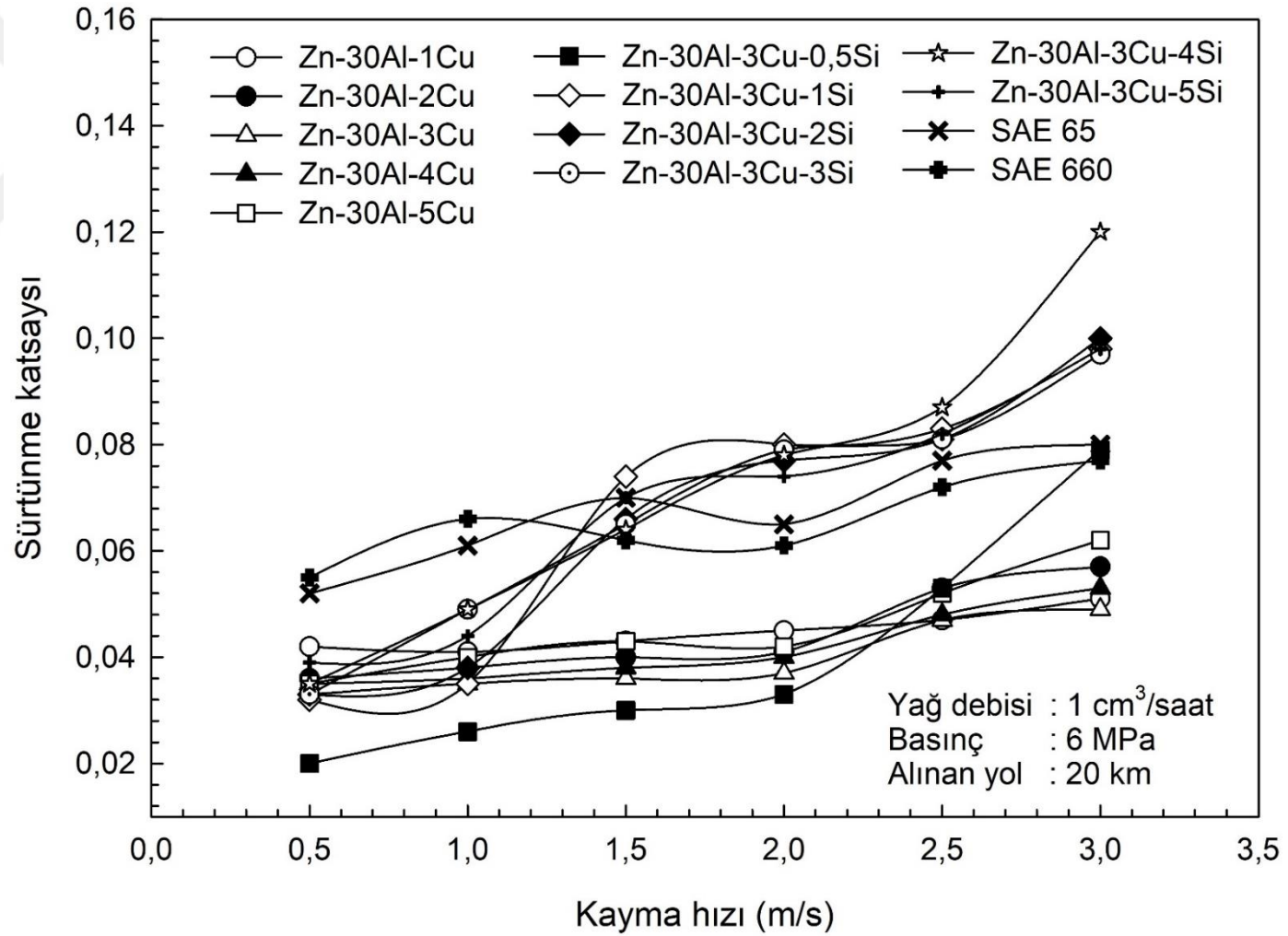


Şekil 65. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı katsayısı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

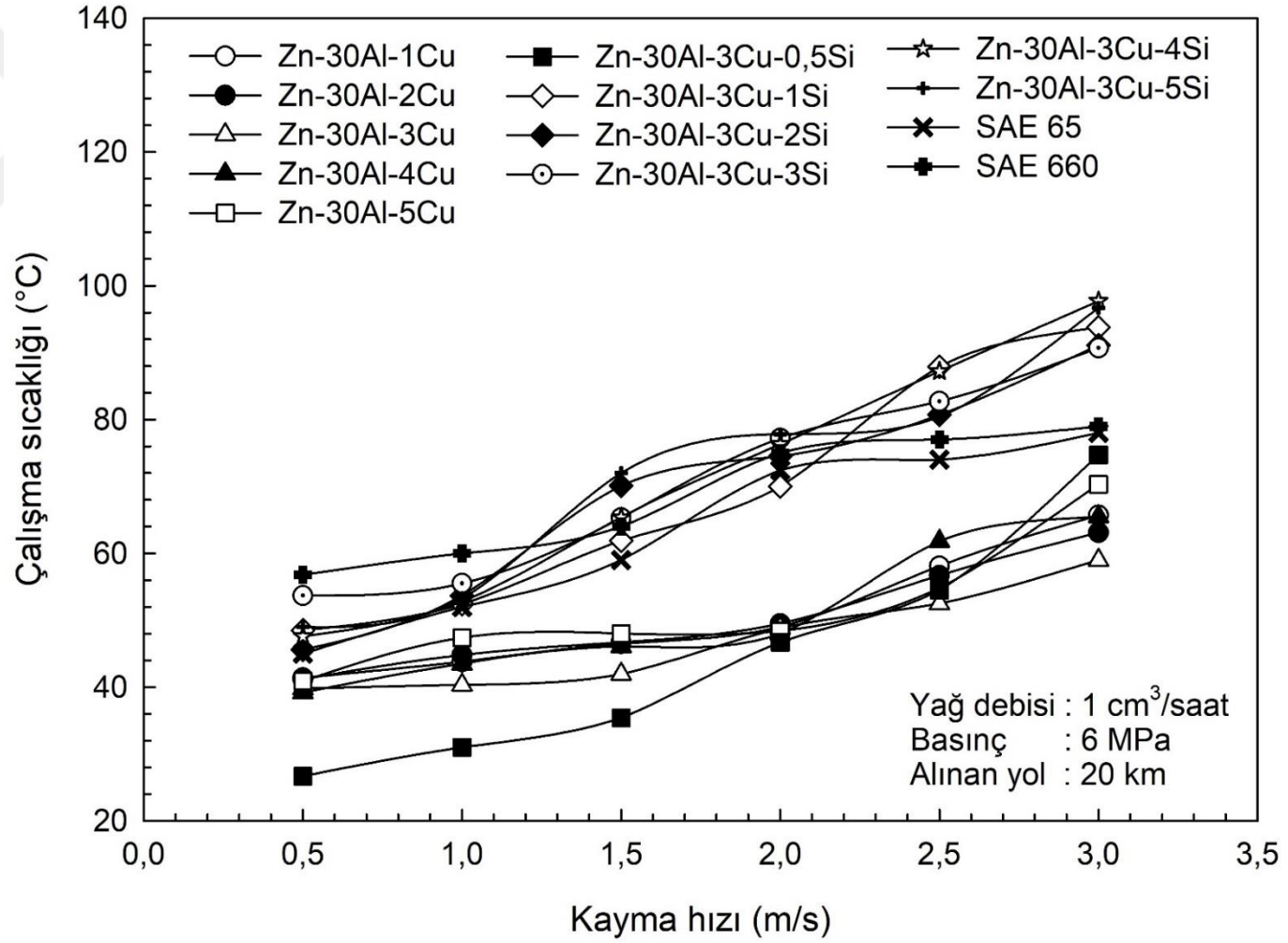


Şekil 66. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin basınç ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

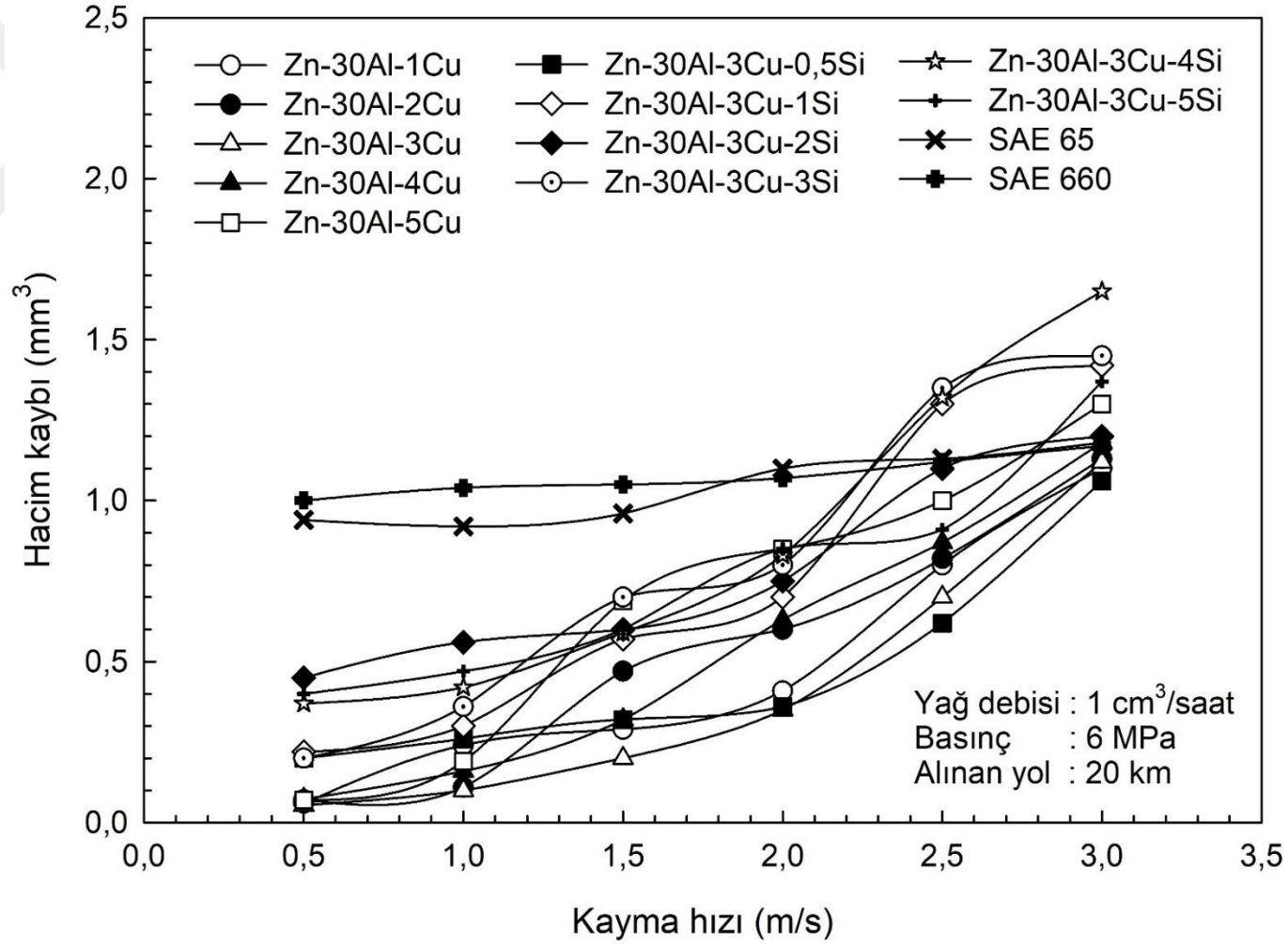
Farklı kayma hızı (0,5-3 m/s) değerlerinde, 1 cm³/saatlik yağ debisi ve 6 MPa'lık basınç altında 20 km'lik kayma yolu tamamlanincaya kadar deneye tabi tutulan Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 67-69'da; söz konusu değerlerin bakır ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafikler ise sırasıyla Şekil 70-75'te verilmiştir. Bu eğrilere bakıldığında, kayma hızının artması durumunda tüm bu değerlerin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca, SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının hacim kaybı değerlerinin kayma hızından çok fazla etkilenmedikleri görüldü. Üç boyutlu grafikler incelendiğinde, Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin bakır oranını ile fazla bir değişiklik göstermediği, ancak % 3 Cu oranında en düşük seviyelerine indiği görülmektedir. Dörtlü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının söz konusu değerlerinin ise % 0,5 Si oranında en düşük seviyelerine ulaştıktan sonra artan silisyum oranı ile arttıkları görülmektedir.



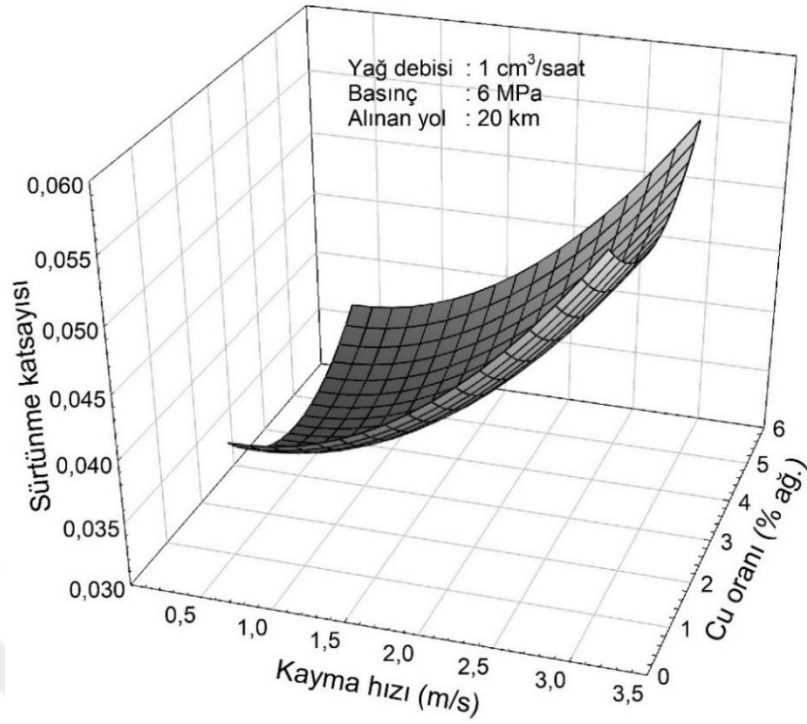
Şekil 67. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



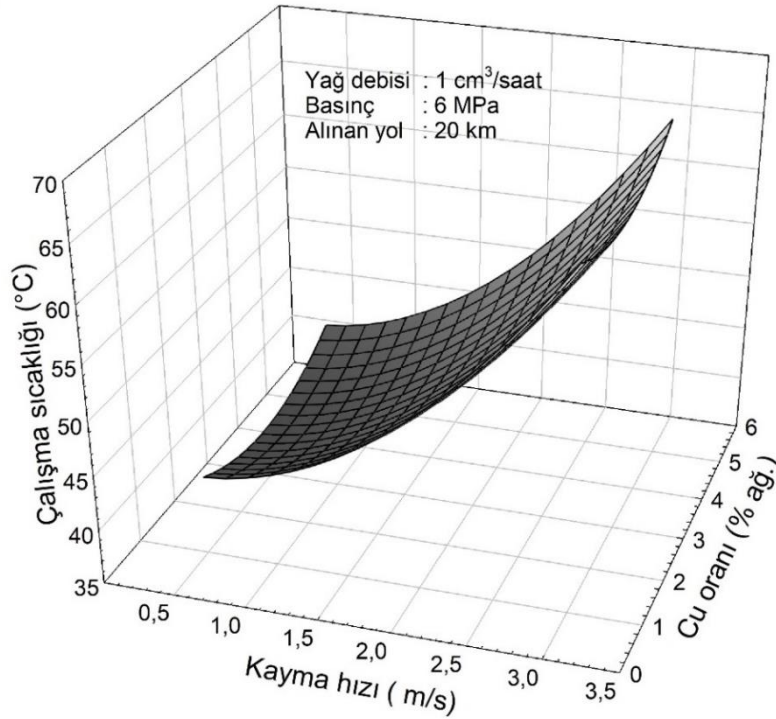
Şekil 68. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



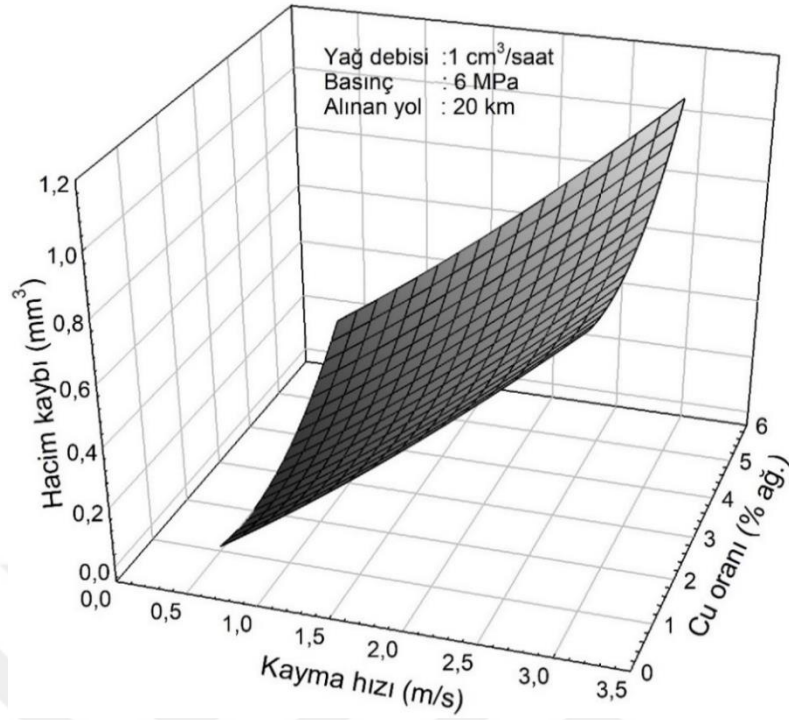
Şekil 69. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızına göre değişimlerini gösteren eğriler



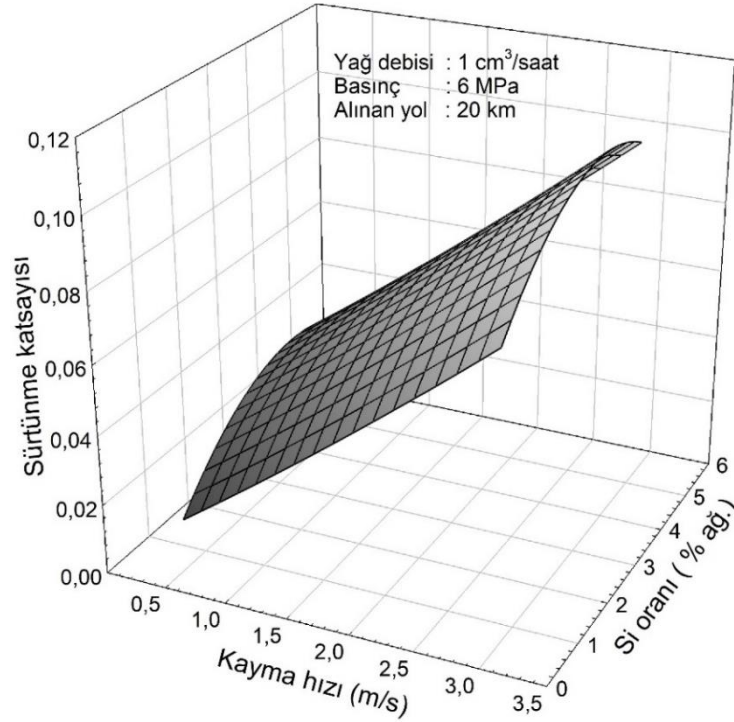
Şekil 70. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



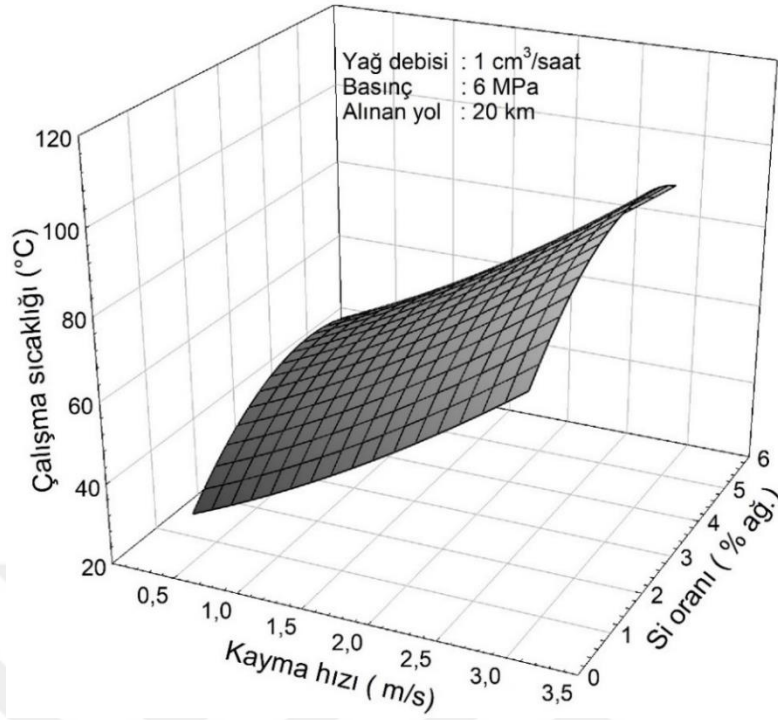
Şekil 71. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



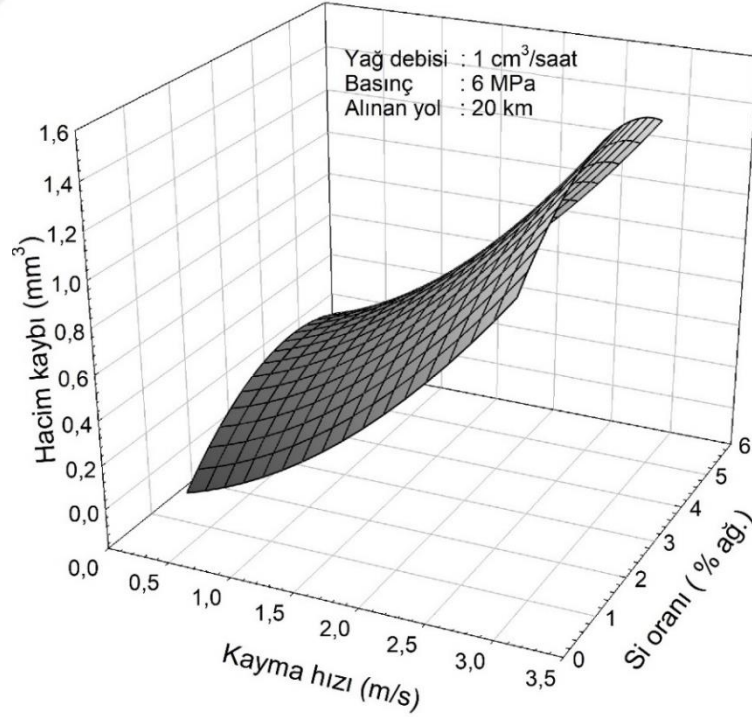
Şekil 72. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve bakır oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 73. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

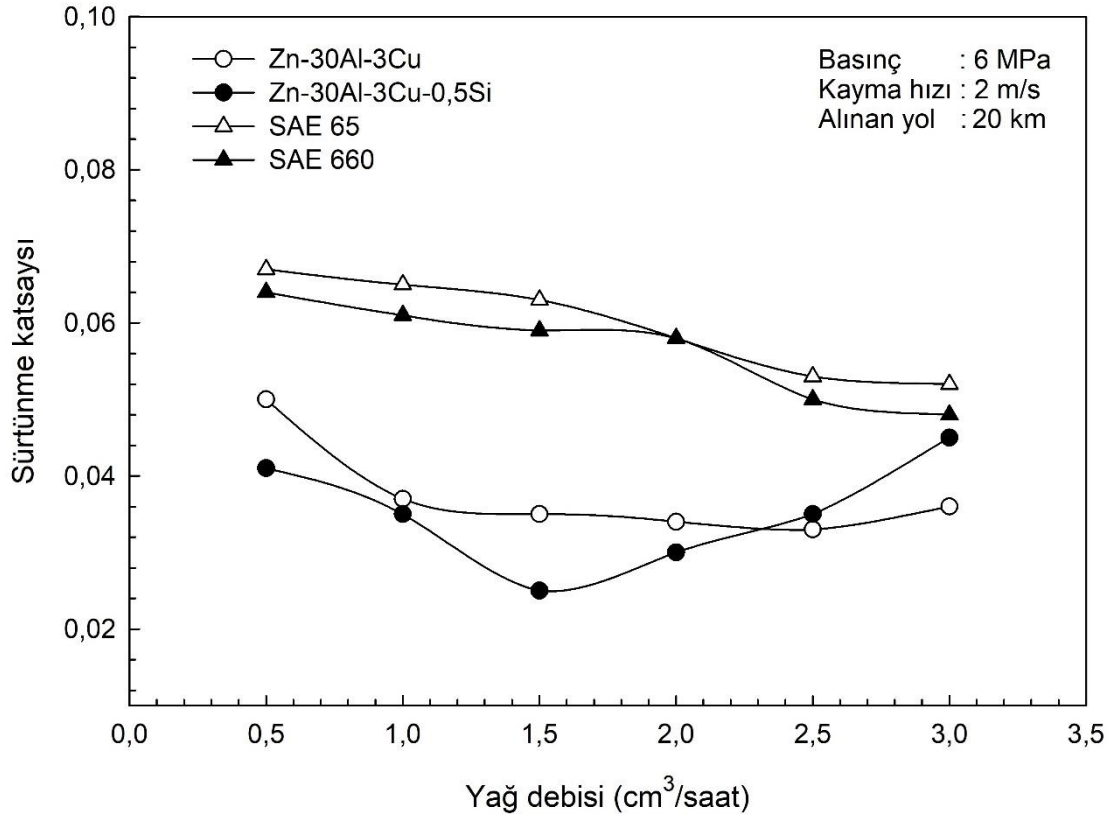


Şekil 74. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

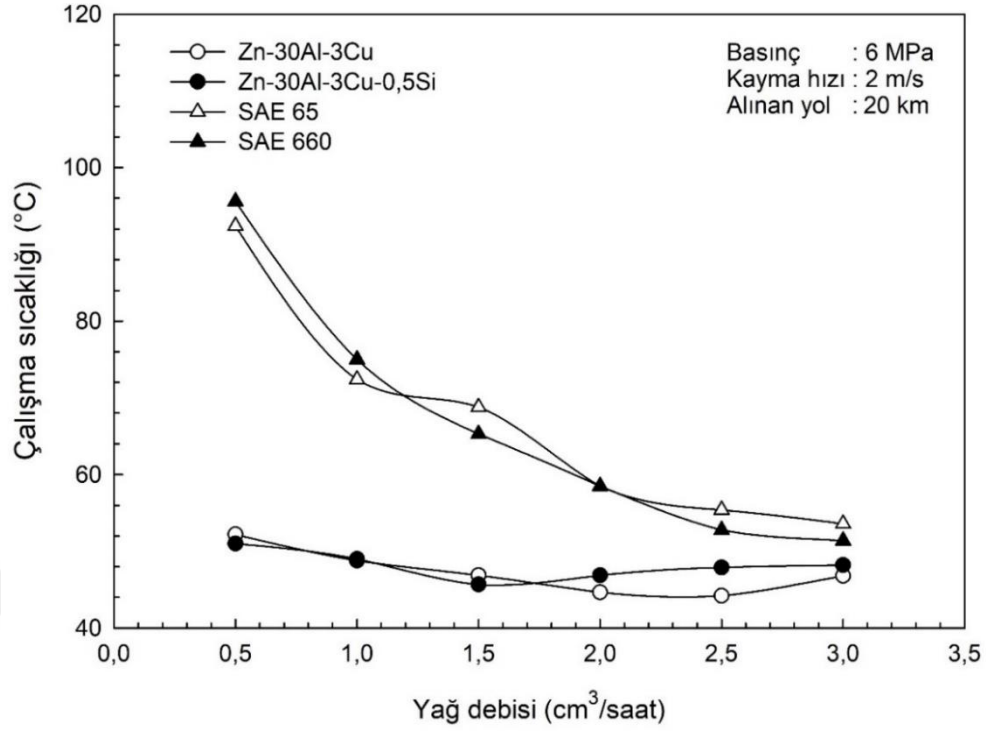


Şekil 75. Yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ve silisyum oranına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

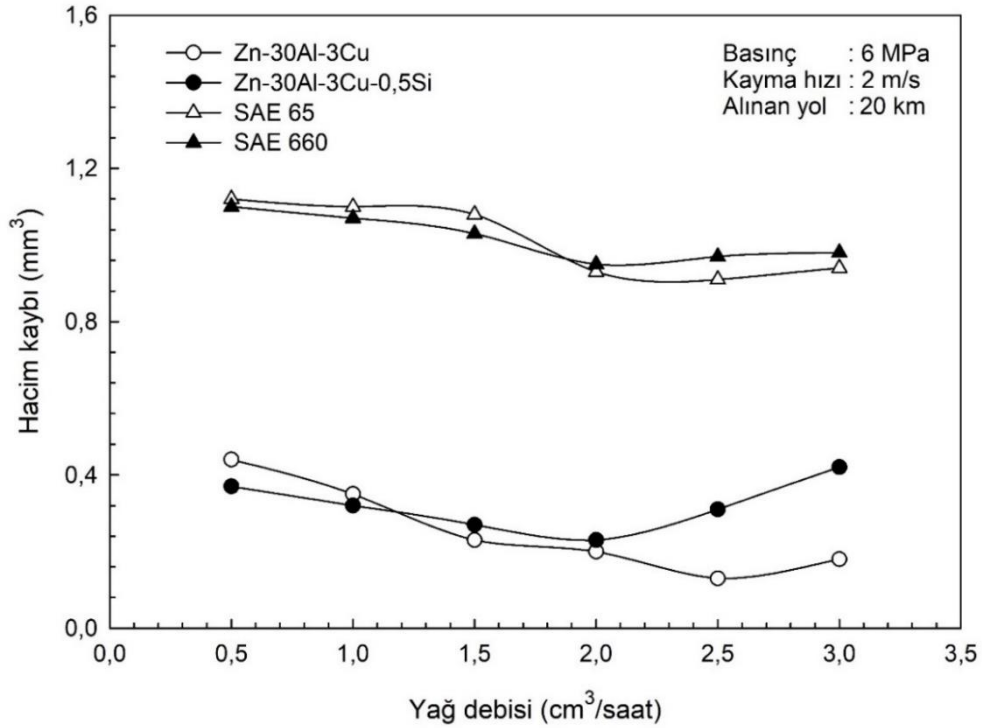
Üçlü ve dörtlü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncine sahip olan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler sırasıyla Şekil 76-78'te verilmiştir. Bu eğriler, her iki alaşıma ait sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin 1,5-2,5 cm³/saat'lik yağ debisi aralığında minimumdan geçtikten sonra az da olsa artış sergilediklerini göstermektedir



Şekil 76. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler

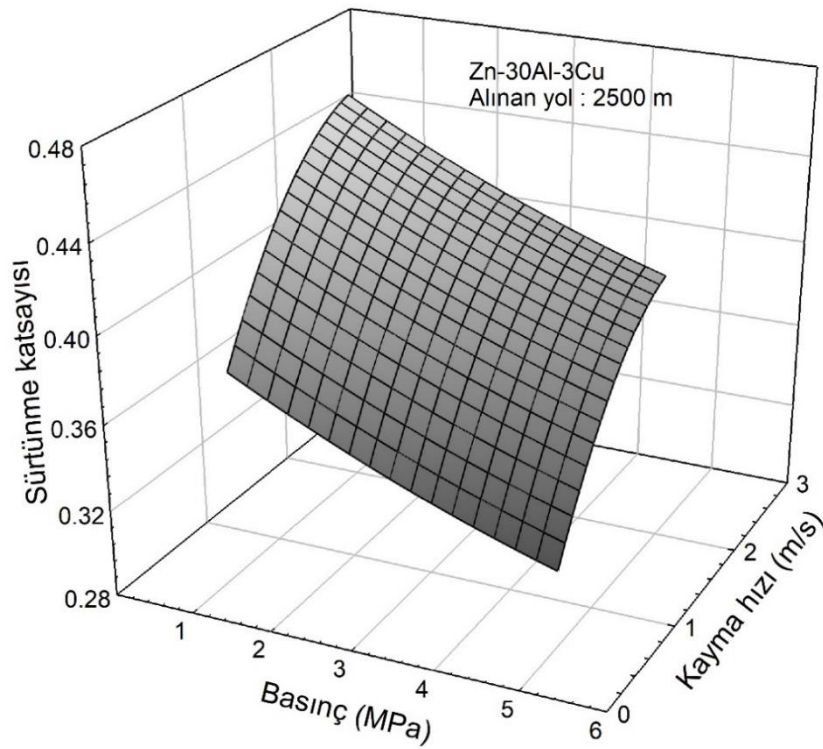


Şekil 77. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen çalışma sıcaklığı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler

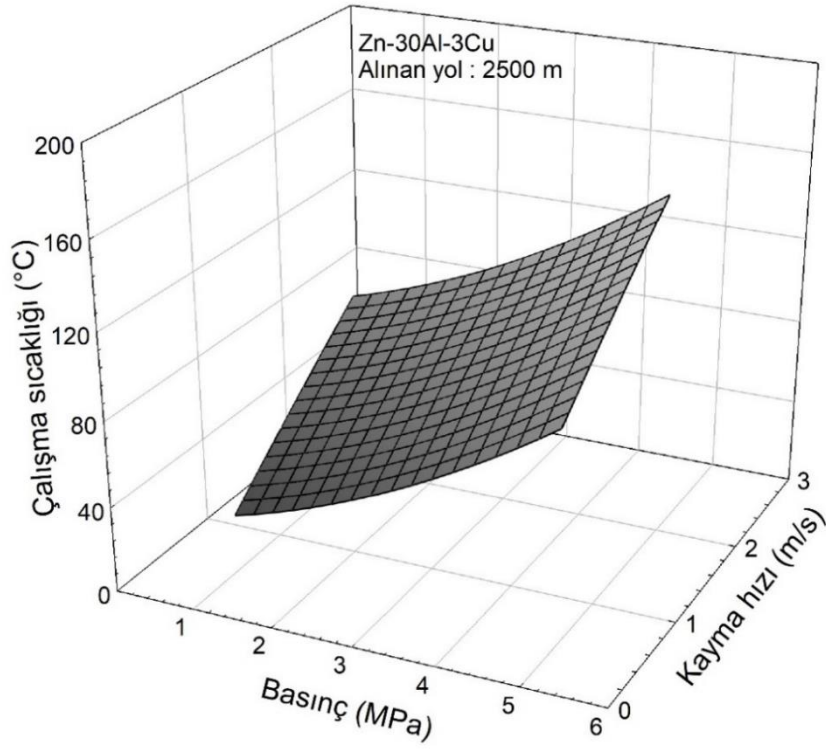


Şekil 78. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağlı durumda gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen hacim kaybı değerlerinin yağ debisine göre değişimlerini gösteren eğriler

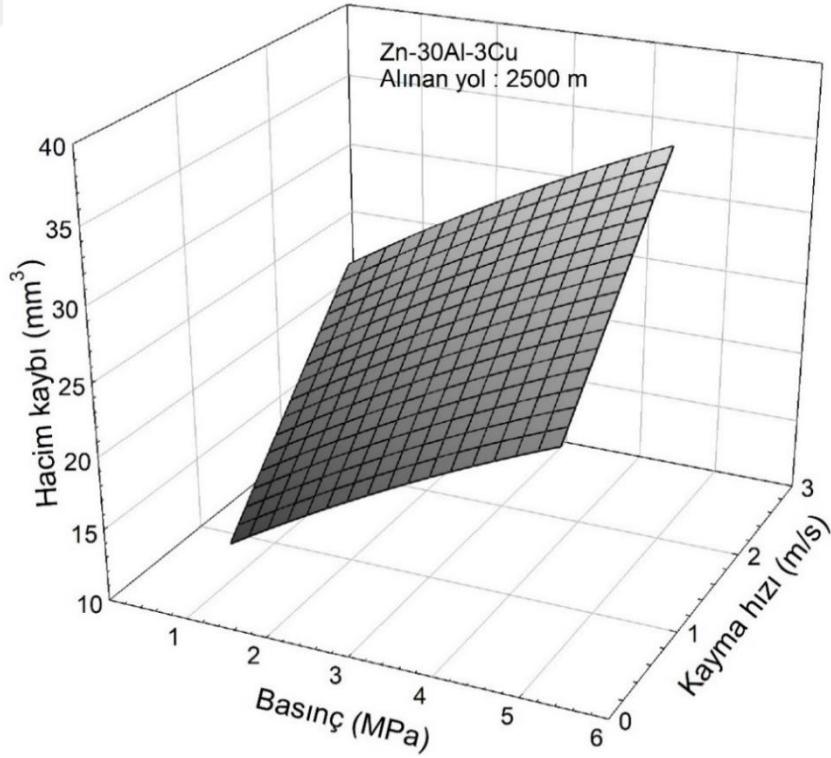
Üçlü ve dörtlü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncine sahip olan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarına ait sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren üç boyutlu grafikler sırasıyla Şekil 79-90'da verilmiştir. Bu eğrilere bakıldığında alaşımlarda en düşük sürtünme katsayısı değerleri en yüksek basınç ve en düşük kayma hızında elde edilirken, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artan basınç ve kayma hızı ile sürekli arttıkları görülmektedir.



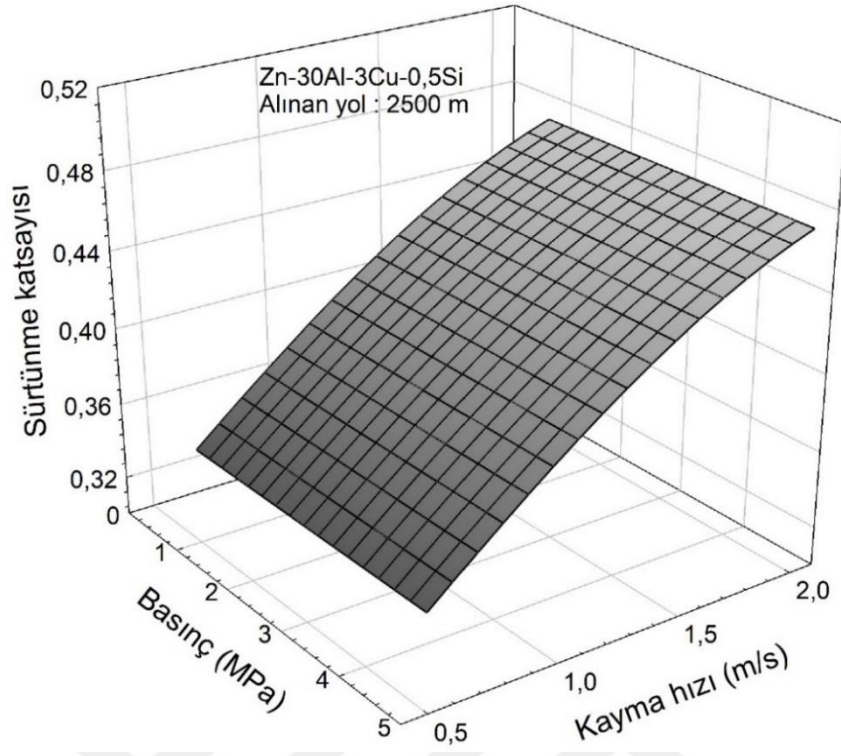
Şekil 79. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



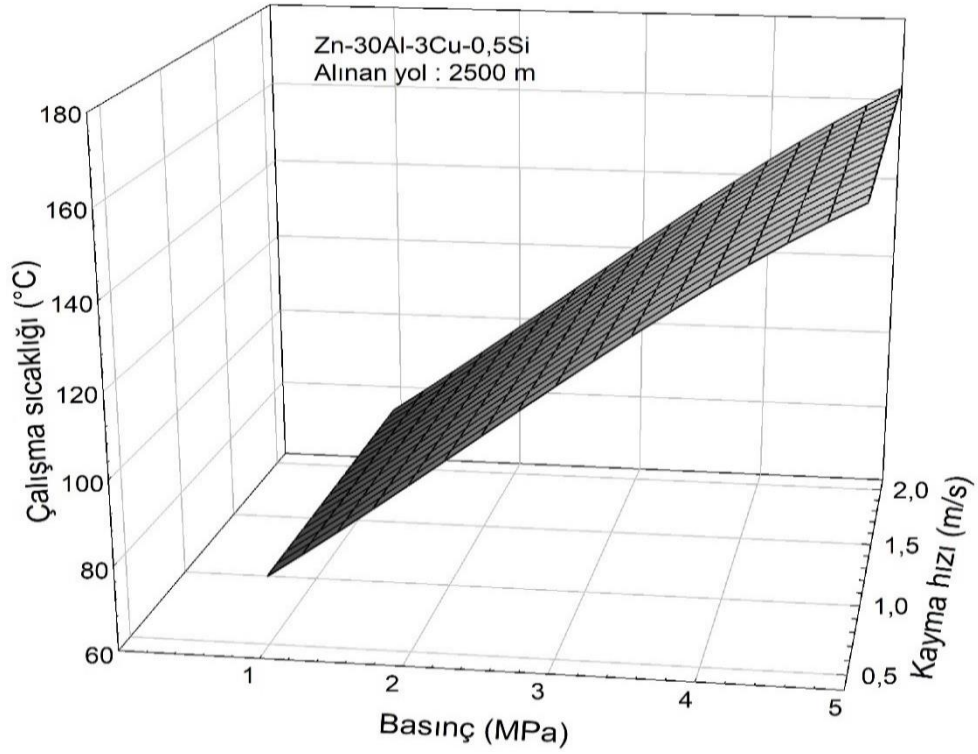
Şekil 80. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



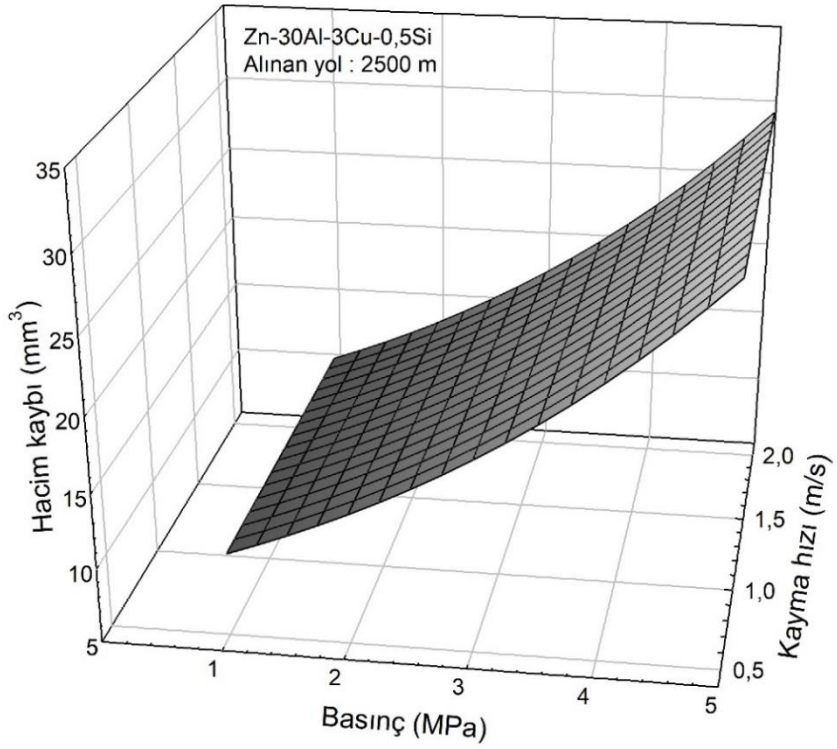
Şekil 81. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



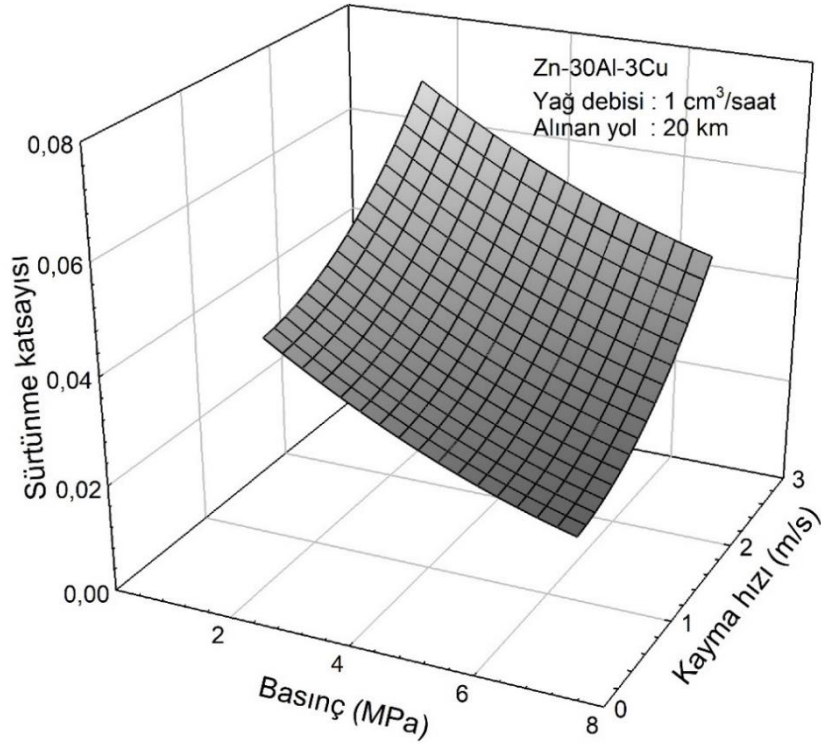
Şekil 82. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



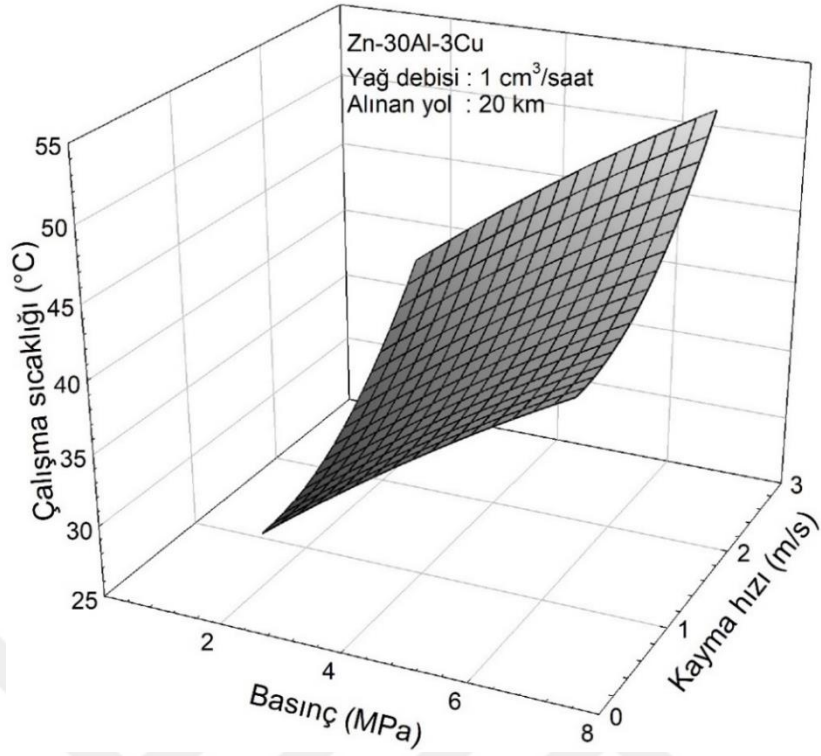
Şekil 83. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



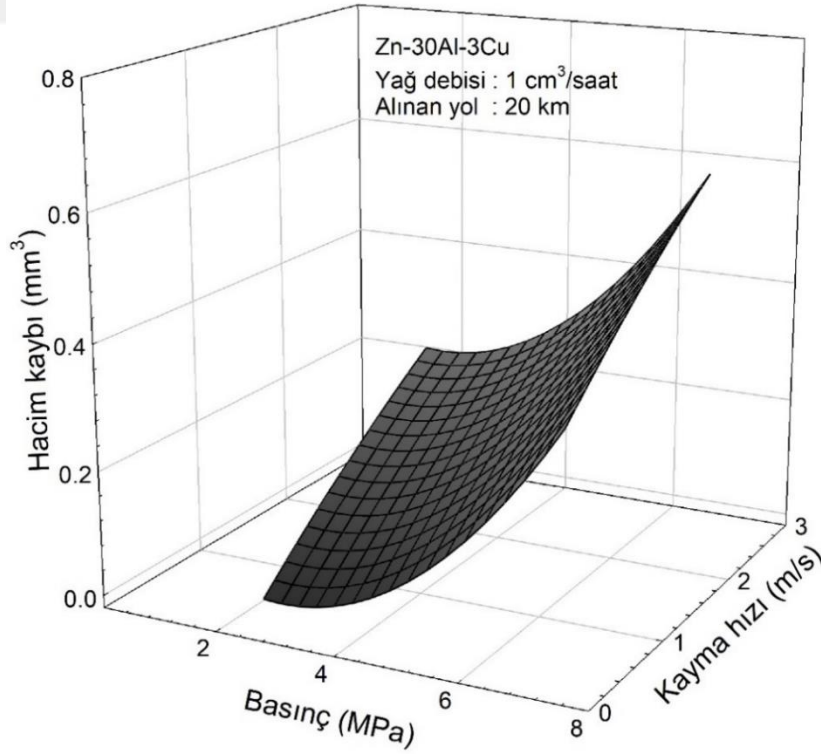
Şekil 84. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağsız durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



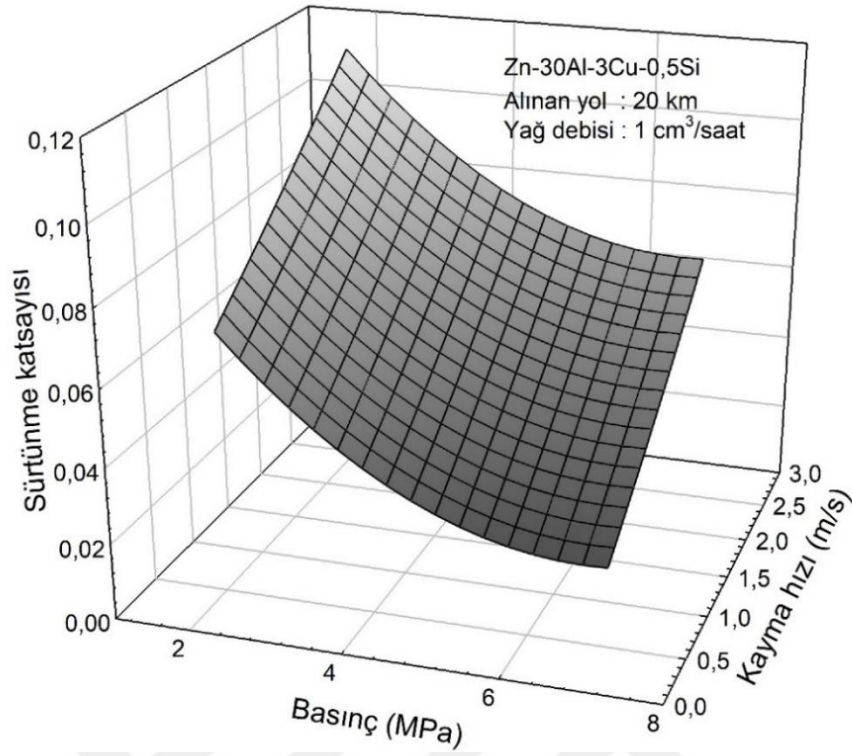
Şekil 85. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



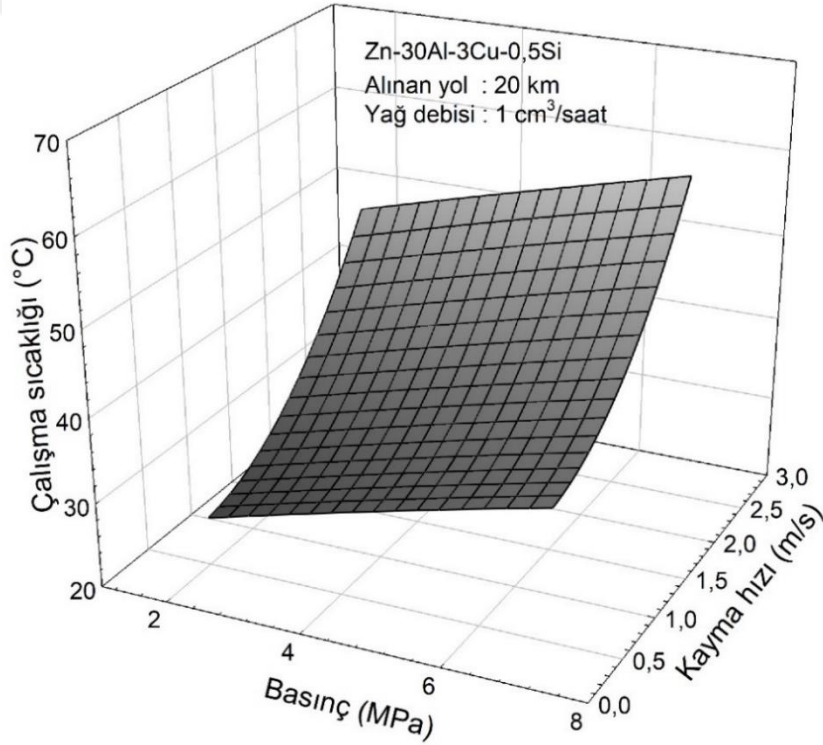
Şekil 86. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



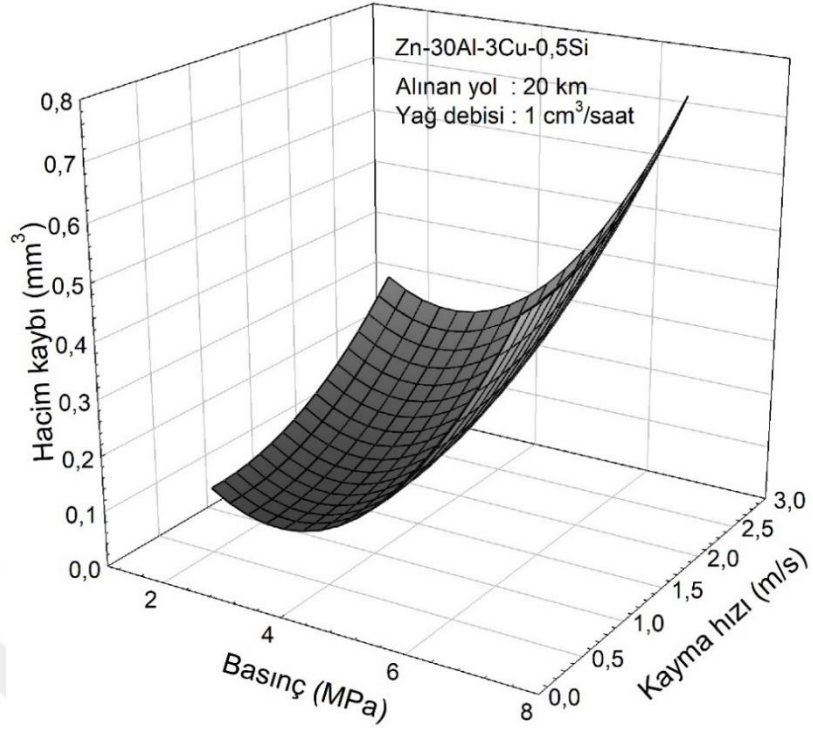
Şekil 87. Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



Şekil 88. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki sürtünme katsayısı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



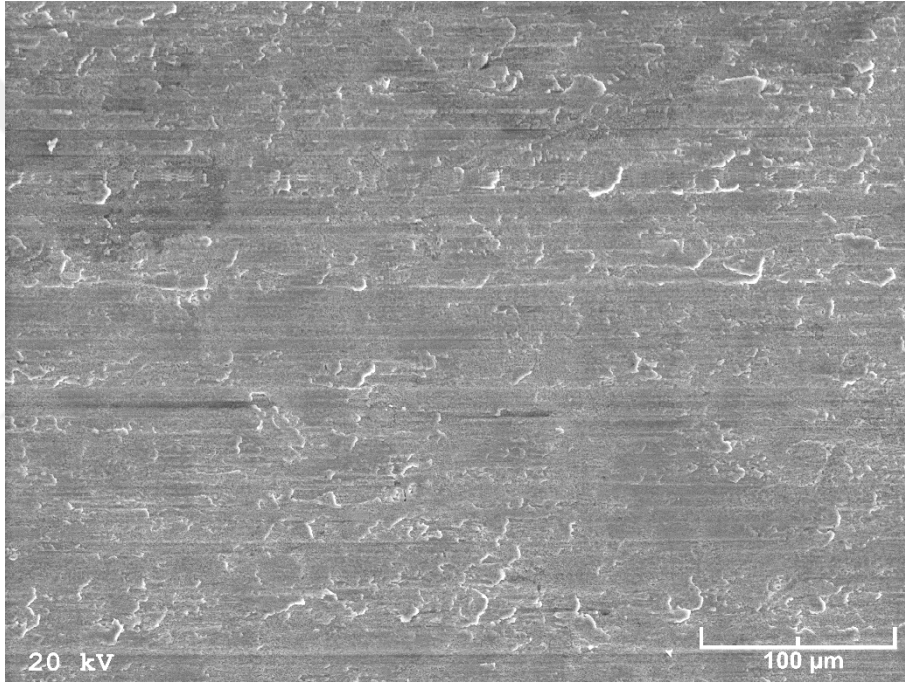
Şekil 89. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki çalışma sıcaklığı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik



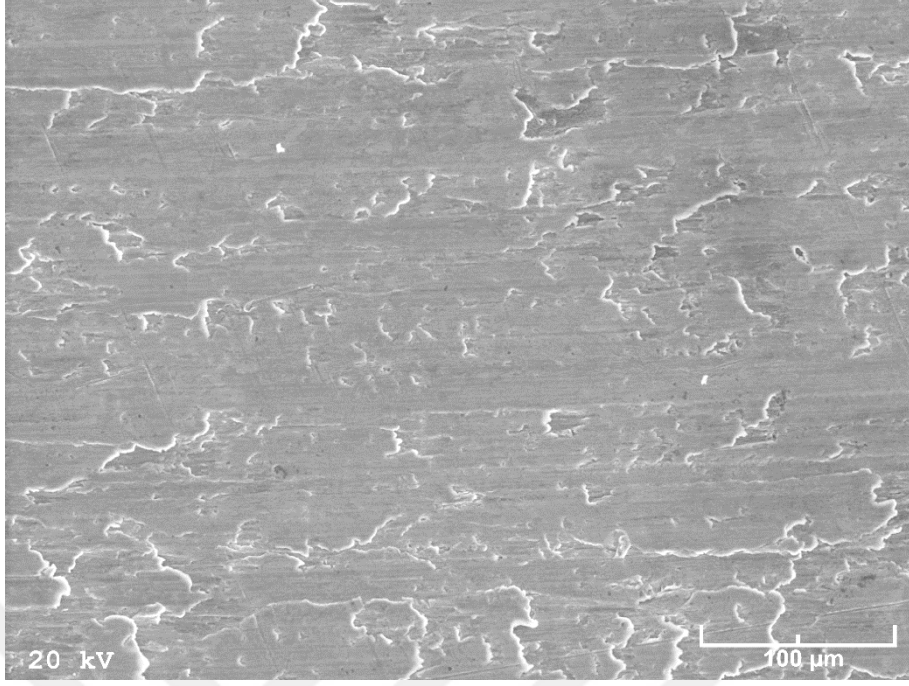
Şekil 90. Zn-30Al-3Cu-0,5 Si alaşımının yağlı durumdaki hacim kaybı değerinin basınç ve kayma hızına göre değişimlerini gösteren 3 boyutlu grafik

3.5. Yağsız Durumda Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

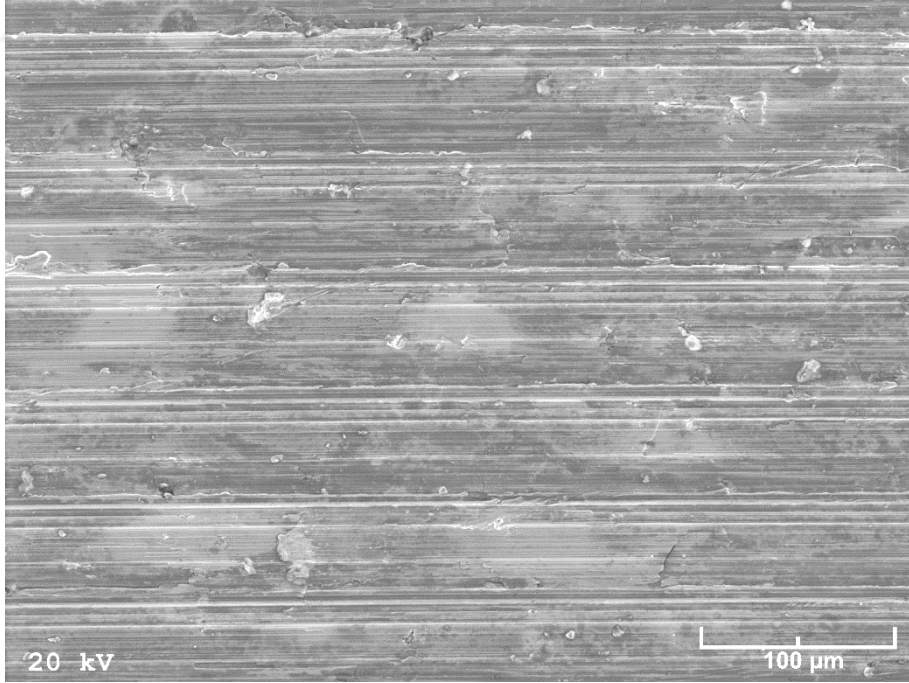
Zn-30Al esaslı üçlü ve dörtlü alaşımlar ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının talaşlı imalat yöntemiyle hazırlanan aşınma numunelerinin yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 91-94'de verilmiştir. Bu görüntüler tornalama ve frezeleme işlemleri sırasında numune yüzeylerinde oluşan izleri göstermektedir. Bu görüntüler incelendiğinde Zn-30Al esaslı üçlü ve dörtlü alaşımlara ait numunelerin yüzeylerinde sıvanma belirtilerinin, bronzlara ait numunelerin yüzeylerinde ise çiziklerin öne çıktığı görülmektedir.



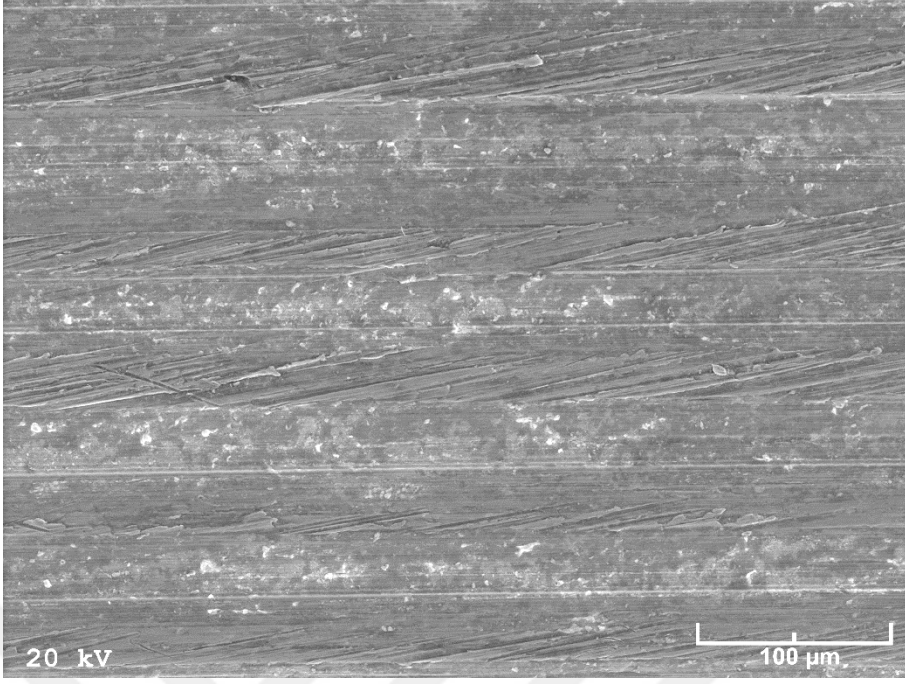
Şekil 91. Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 92. Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü

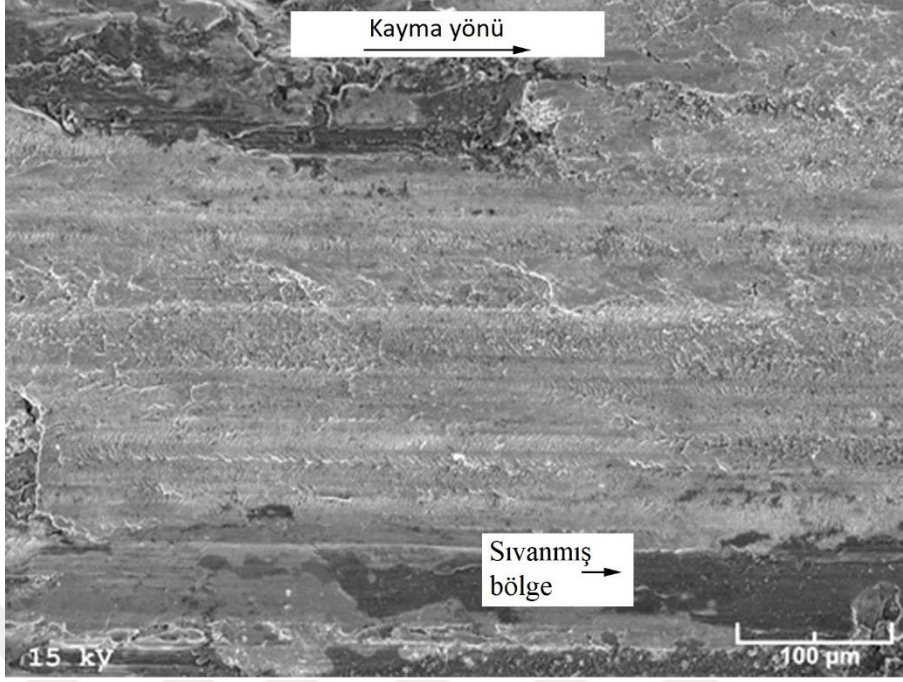


Şekil 93. SAE 65 bronzuna ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü

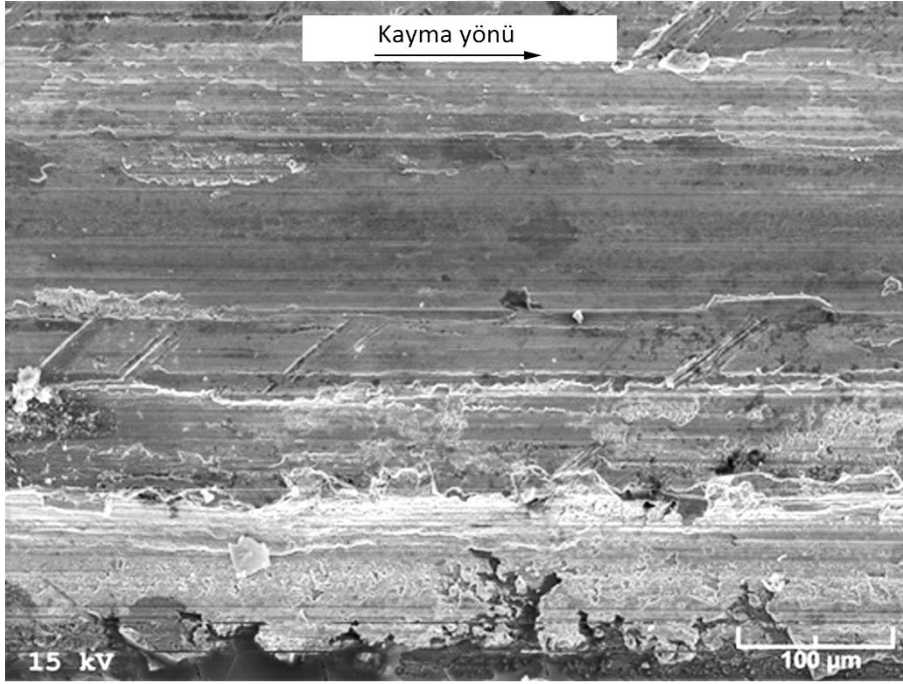


Şekil 94. SAE 660 bronzuna ait aşınma deney numunesinin yüzeyinden deney öncesi elde edilen SEM görüntüsü

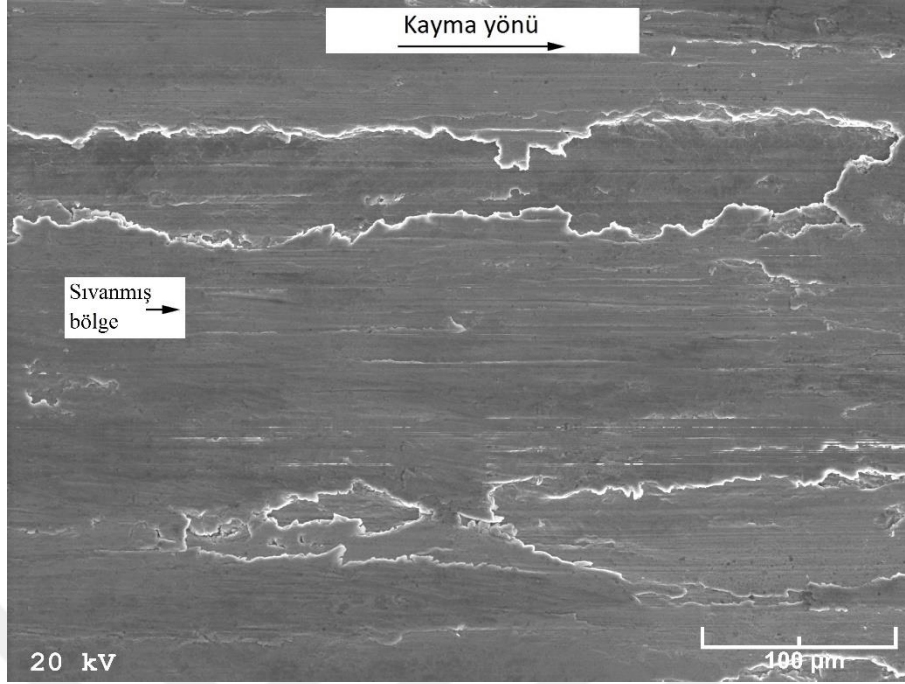
Yağsız durumda farklı basınç (1-5 MPa) ve kayma hızlarında (0,5-2,5 m/s) 2500 m'lik deneye tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 95-110'da verilmiştir. Zn-30Al esaslı alaşımların aşınma yüzeylerinin birbirine benzemesi nedeniyle burada yalnızca üçlü ve dörtlü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direnci sergileyen Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarına ait numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine yer verilmiştir. Bu görüntülere bakıldığında Zn-30Al esaslı alaşımların aşınma yüzeylerinde sıvanma belirtileri ile çiziklerin yer aldığı görülmektedir. Basınç ve kayma hızı arttıkça Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının aşınma yüzeylerinde oluşan sıvanmış bölgelerin kalınlaştığı ve aşınma izlerinin daha belirgin bir hale geldiği görüldü. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinde ise daha çok pullanma ve soyulmanın meydana geldiği gözlemlendi.



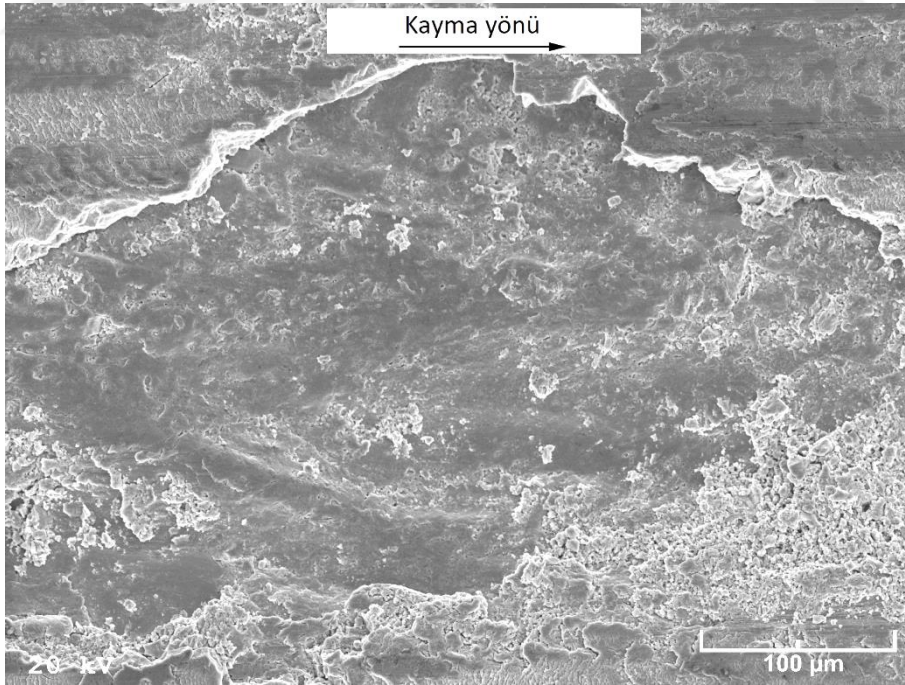
Şekil 95. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



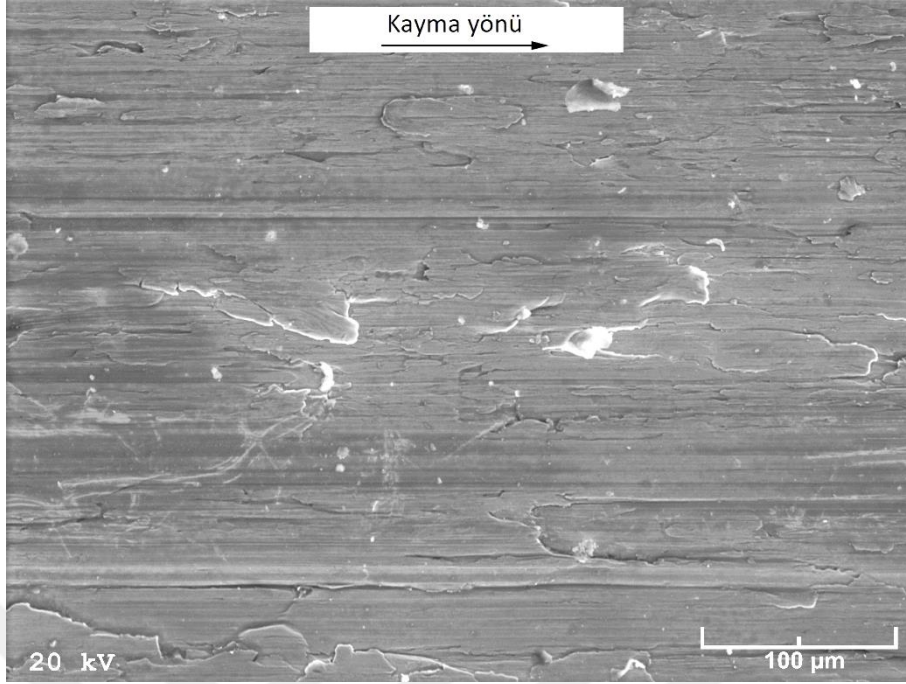
Şekil 96. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



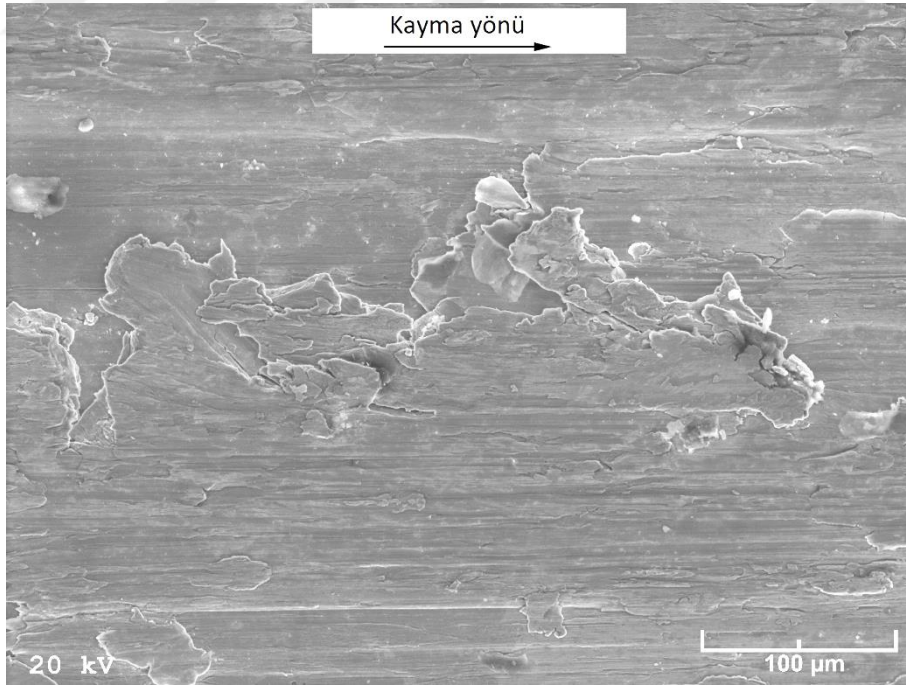
Şekil 97. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



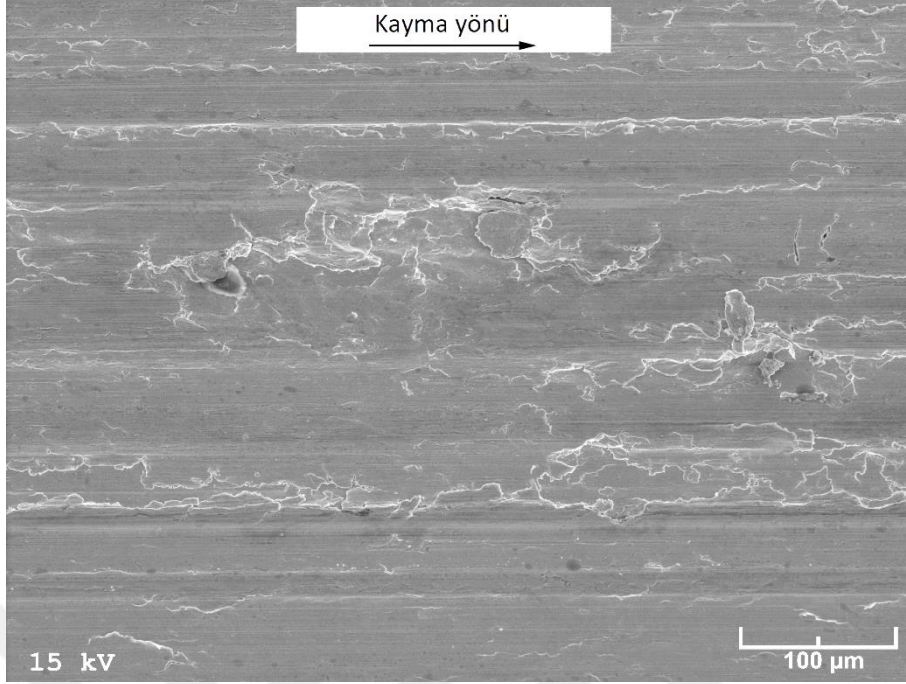
Şekil 98. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



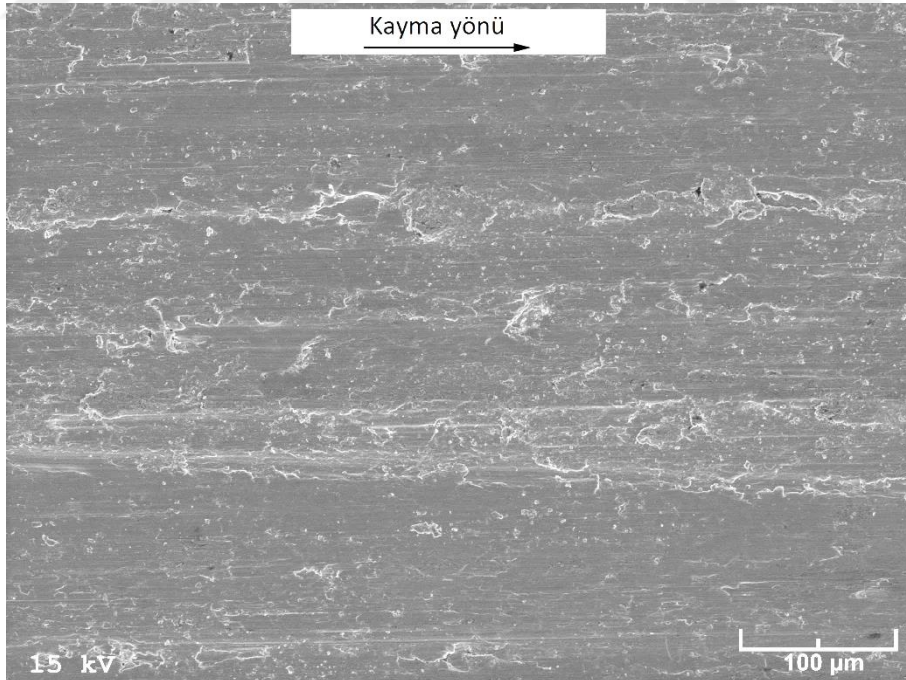
Şekil 99. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



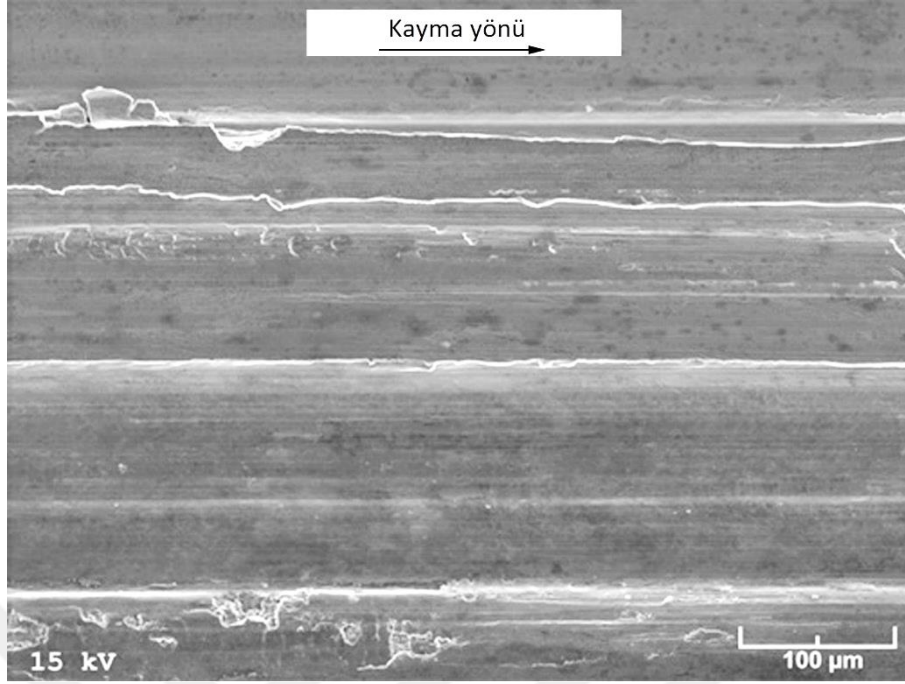
Şekil 100. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



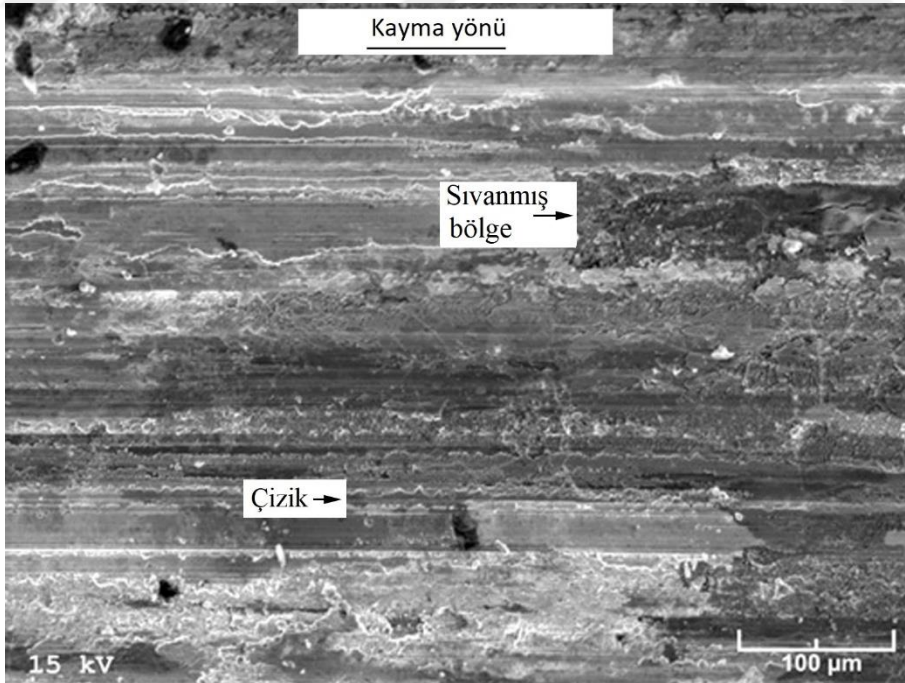
Şekil 101. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



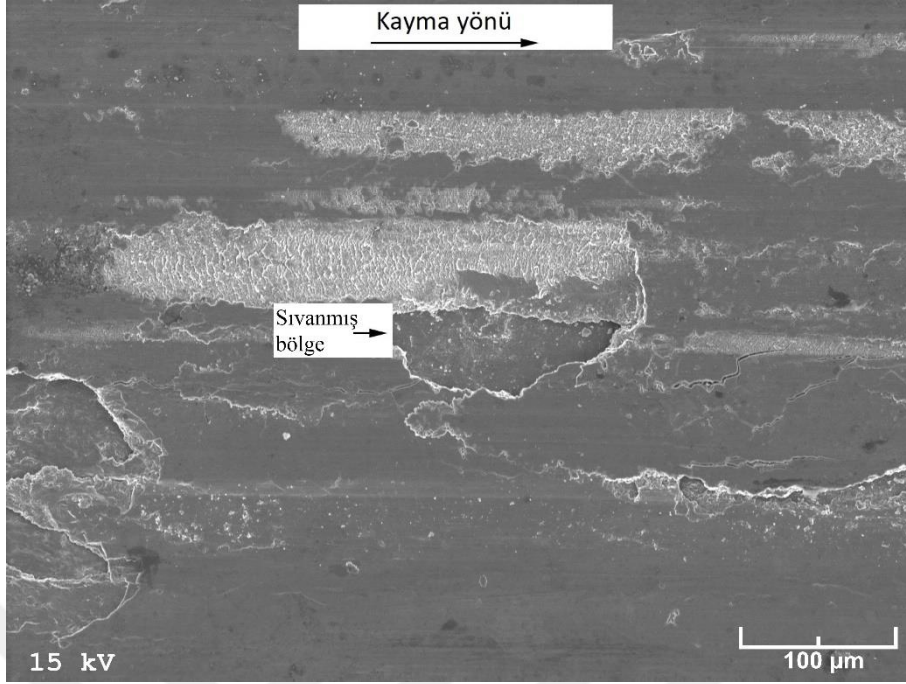
Şekil 102. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



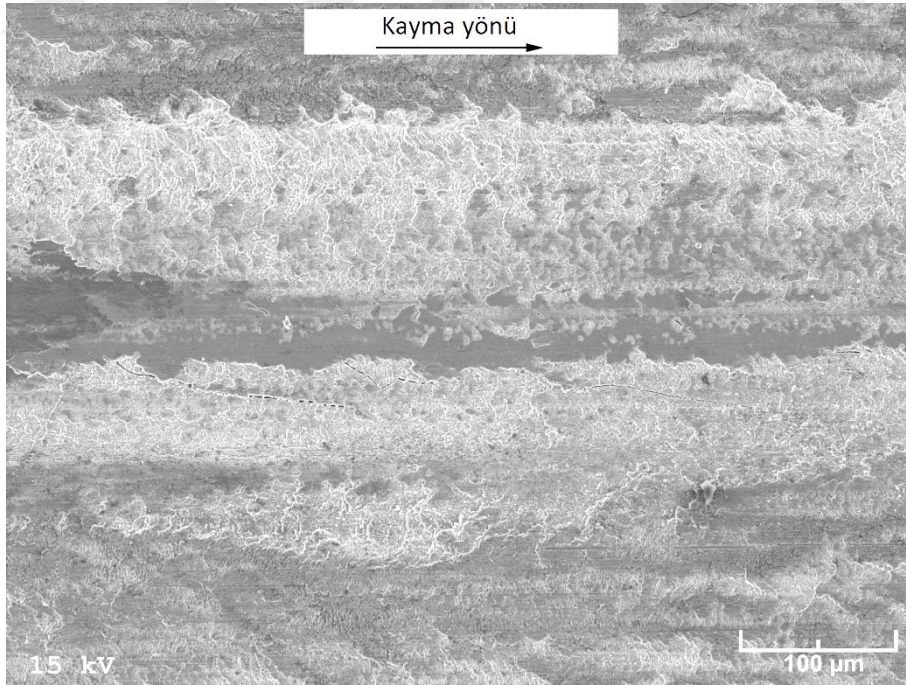
Şekil 103. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



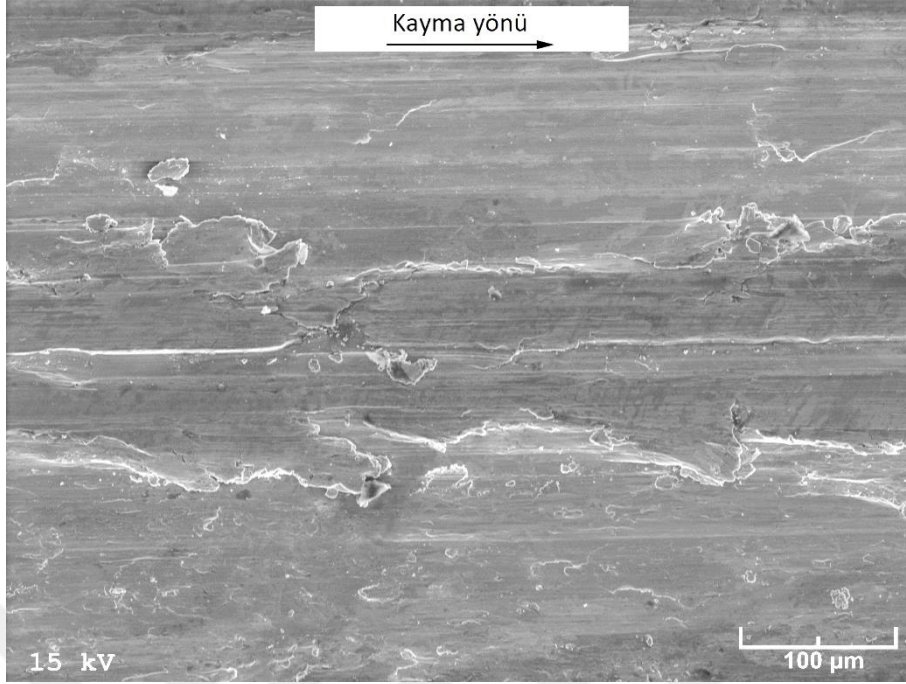
Şekil 104. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



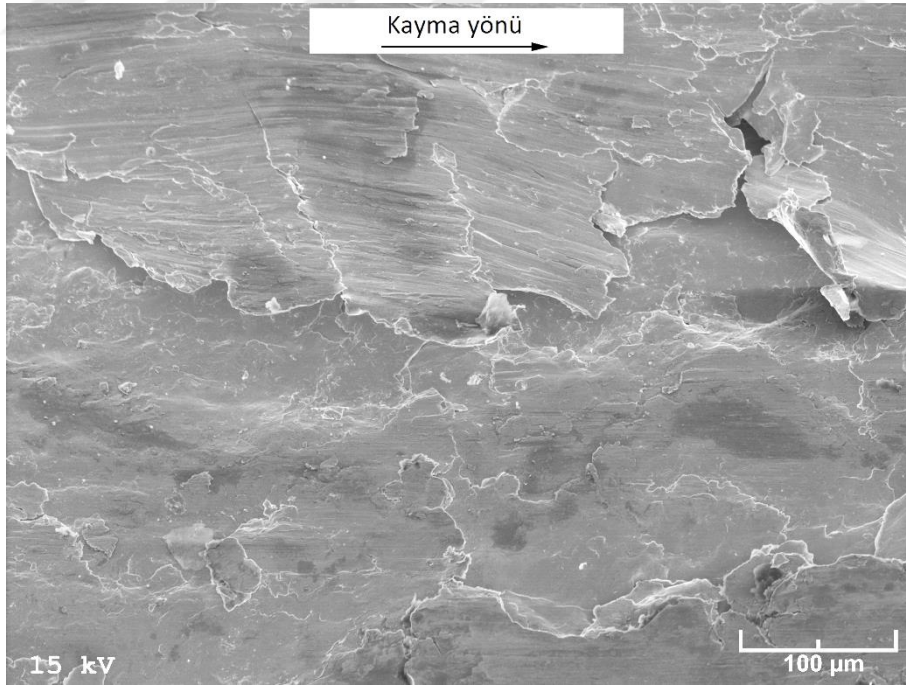
Şekil 105. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



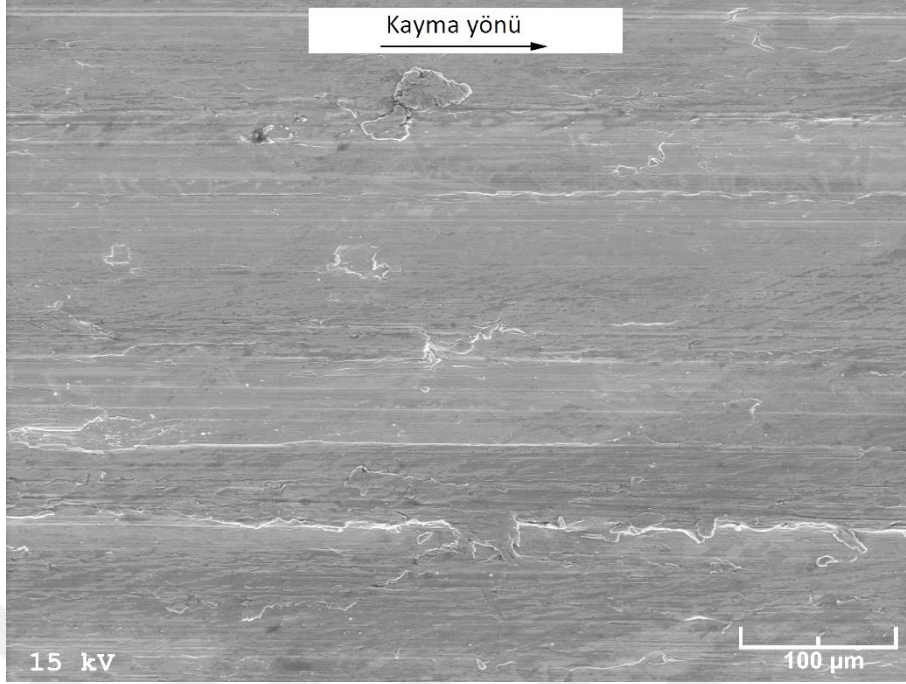
Şekil 106. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



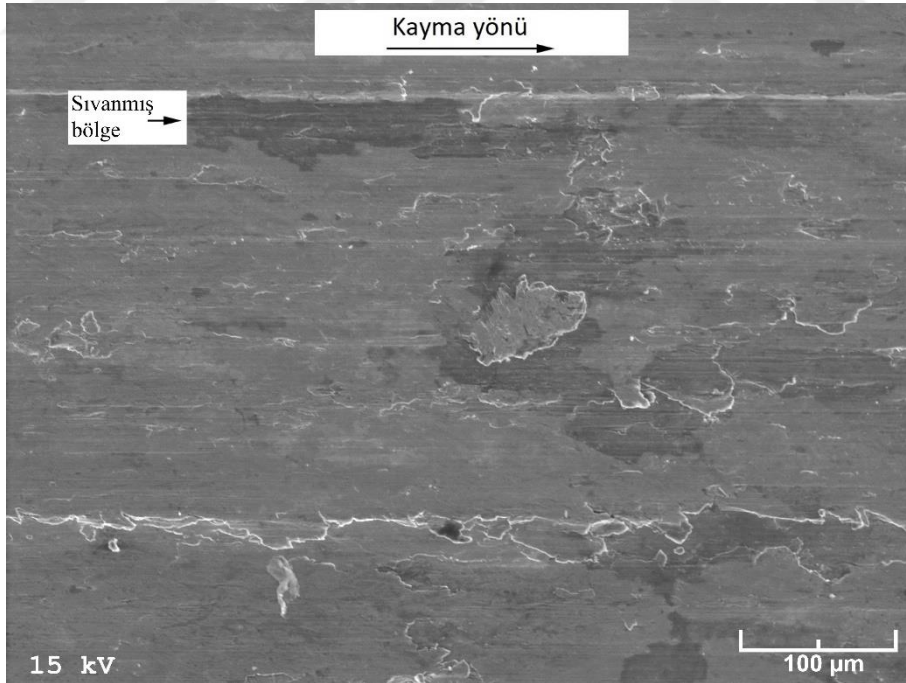
Şekil 107. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 108. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



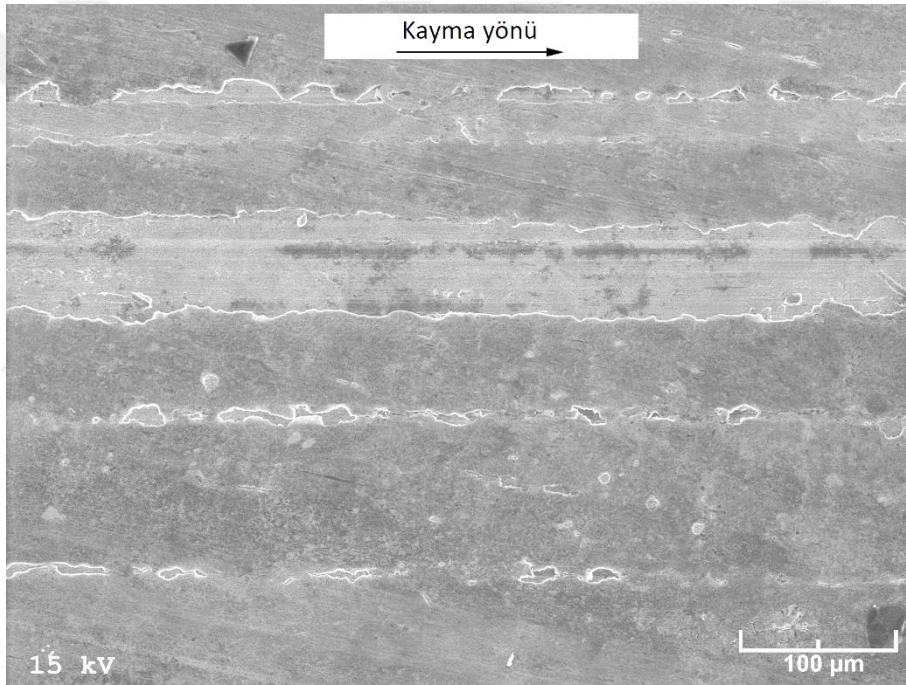
Şekil 109. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



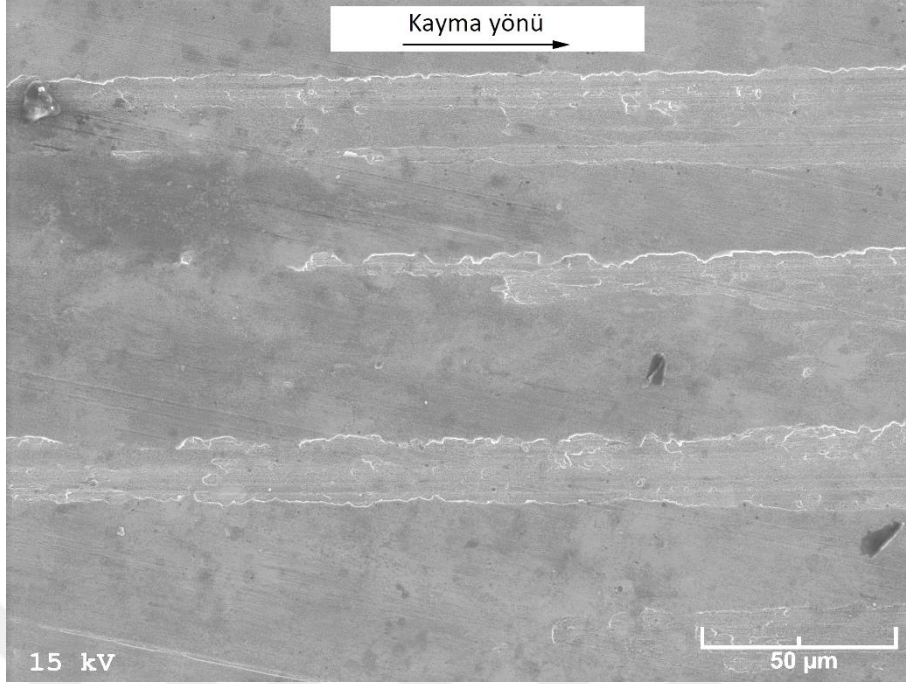
Şekil 110. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen 2500 m mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

3.6. Yağlı Durumda Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

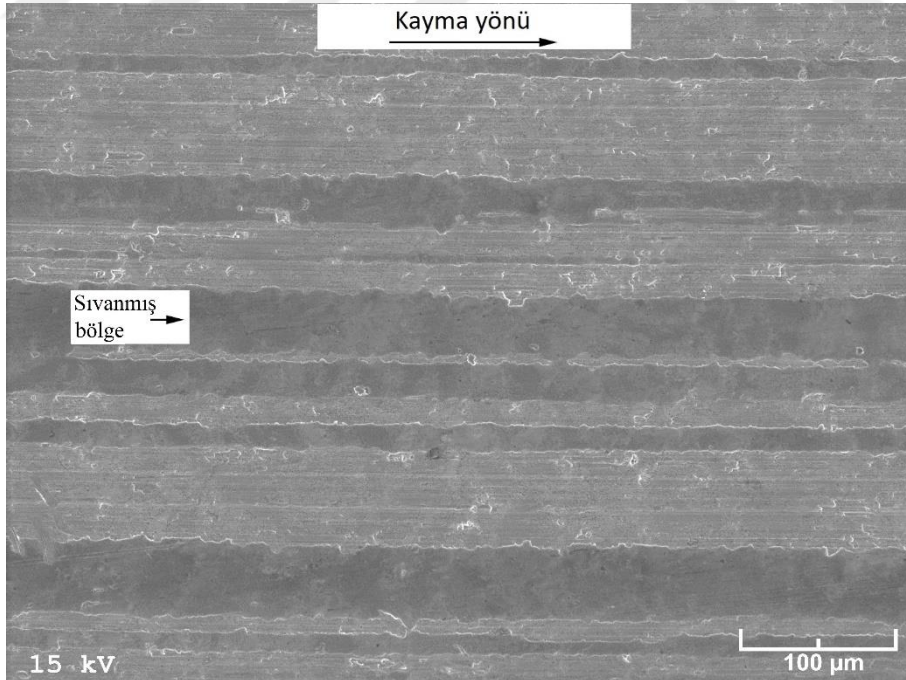
1cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında 108 km'lik yol tamamlanıncaya kadar aşınma deneyine tabi tutulan üçlü Zn-30Al-1Cu, Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-5Cu ve dördü Zn-30Al-3Cu-0,5Si, Zn-30Al-3Cu-3Si ve Zn-30Al-3Cu-5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 111-118'de verilmiştir. Bu şekillere bakıldığında üçlü ve dördü alaşımların aşınma yüzeylerinde sıvanmış bölgeler ile çiziklerin oluştuğu, bakır ve silisyum oranları arttıkça sıvanmış bölgelerin azalıp çiziklerin genişlediği görülmektedir.



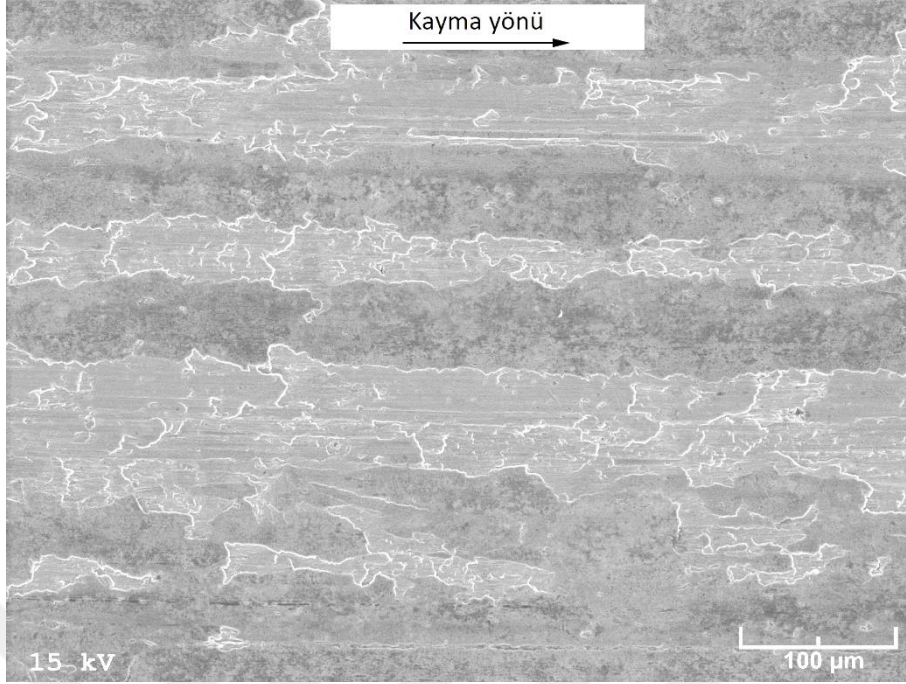
Şekil 111. Yağlı durumda 1 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-1Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



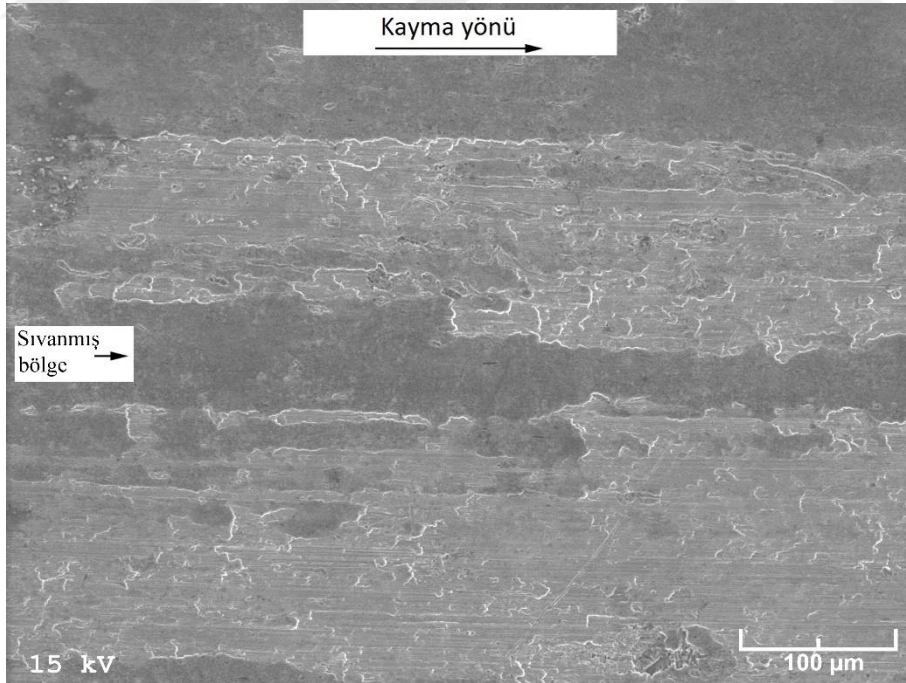
Şekil 112. Yağlı durumda $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



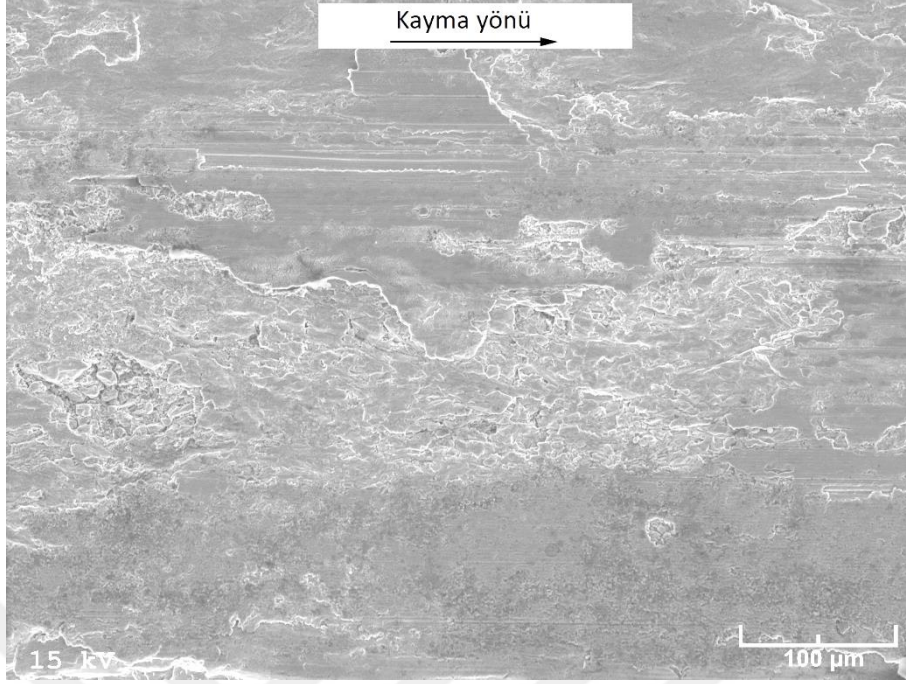
Şekil 113. Yağlı durumda $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



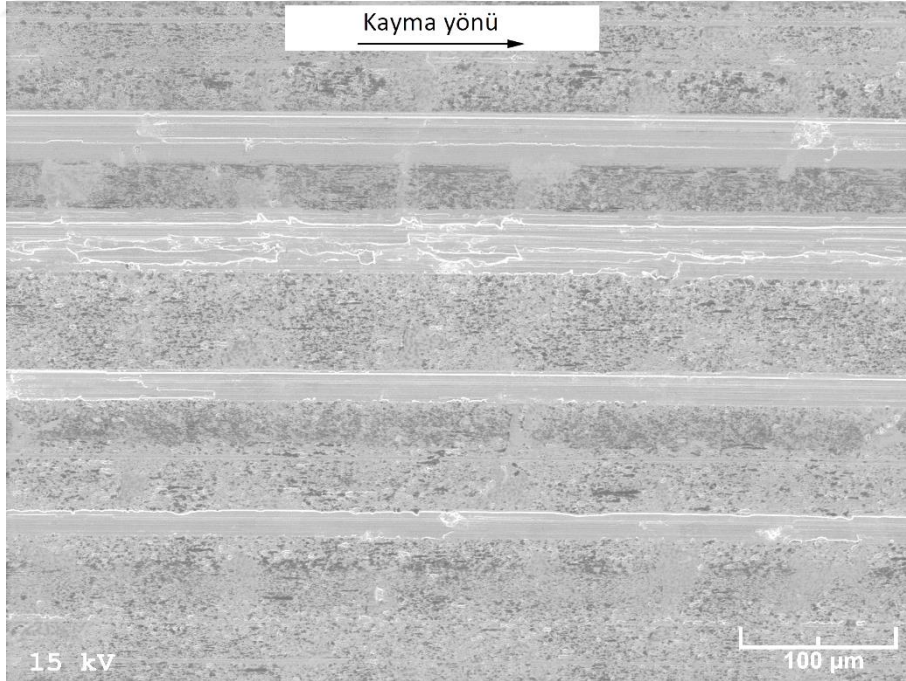
Şekil 114. Yağlı durumda $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



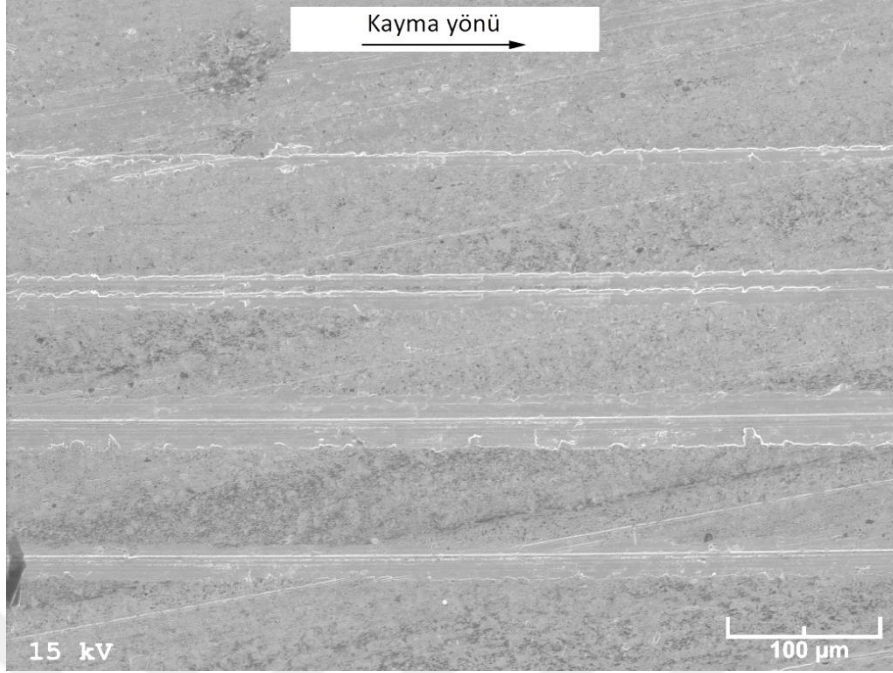
Şekil 115. Yağlı durumda $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-3Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 116. Yağlı durumda 1 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

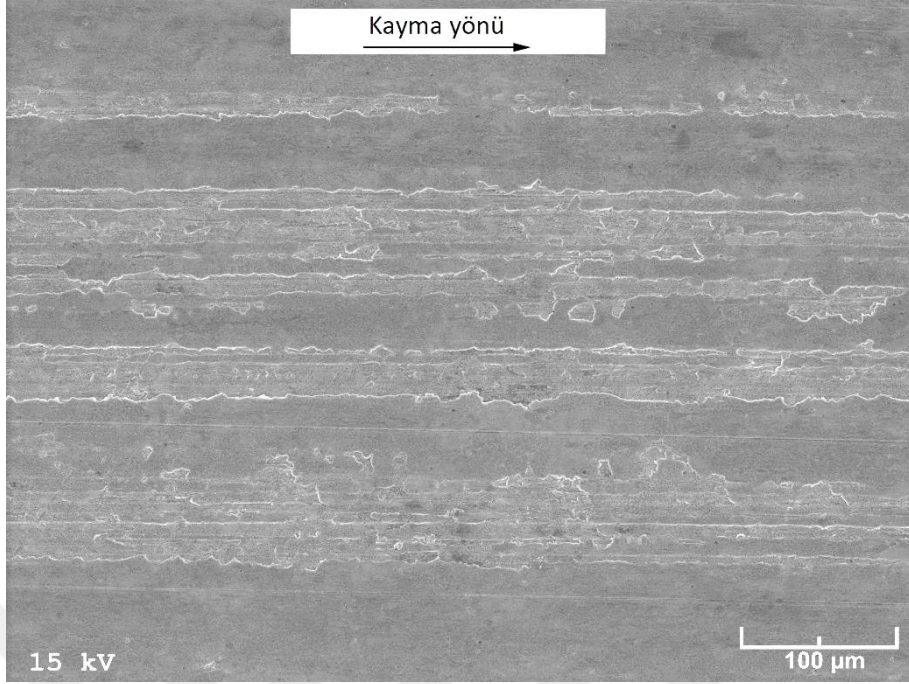


Şekil 117. Yağlı durumda 1 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

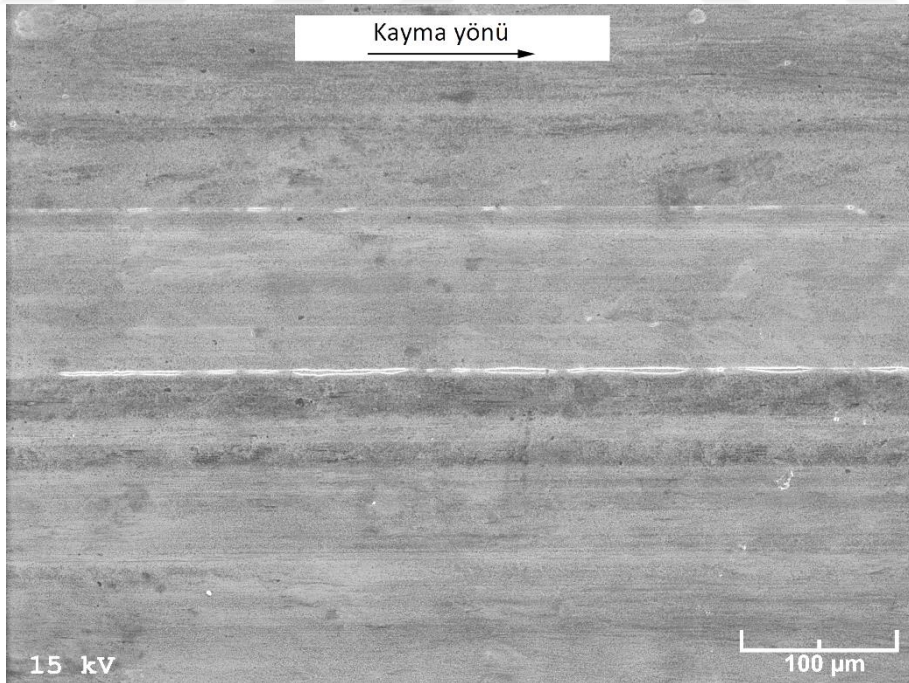


Şekil 118. Yağlı durumda $1 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

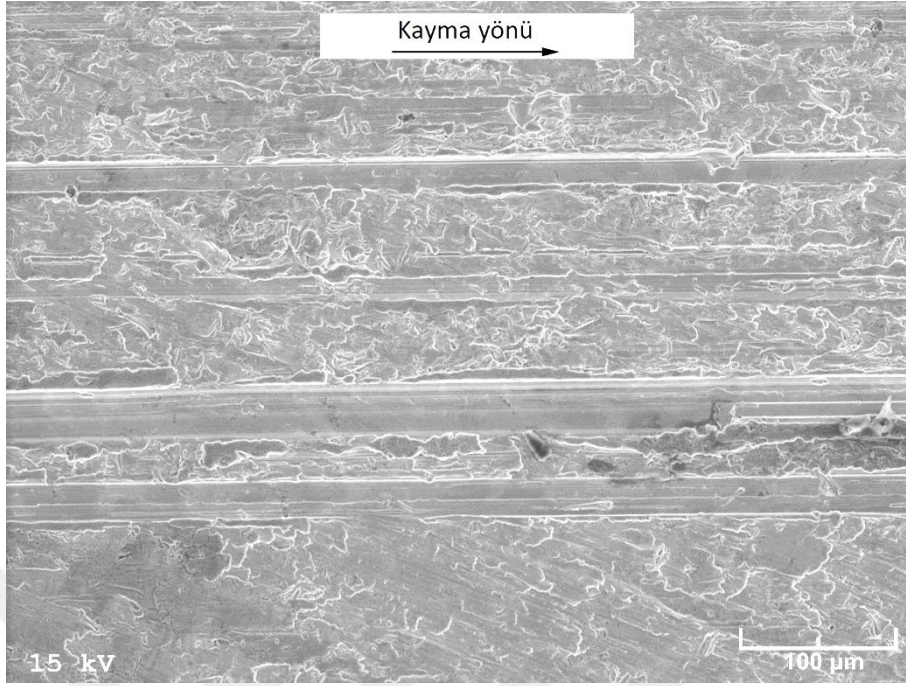
Farklı basınç, kayma hızı ve yağ debisi değerlerinde 20 km'lik kayma yolu tamamlanıncaya kadar aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarına ait numunelerin aşınma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 119-142'de verilmiştir. Bu görüntülere bakıldığında alaşımlara ait numunelerin aşınma yüzeylerindeki sıvanmış bölgelerin artan basınç, hız ve yağ debisi ile arttığını göstermektedir.



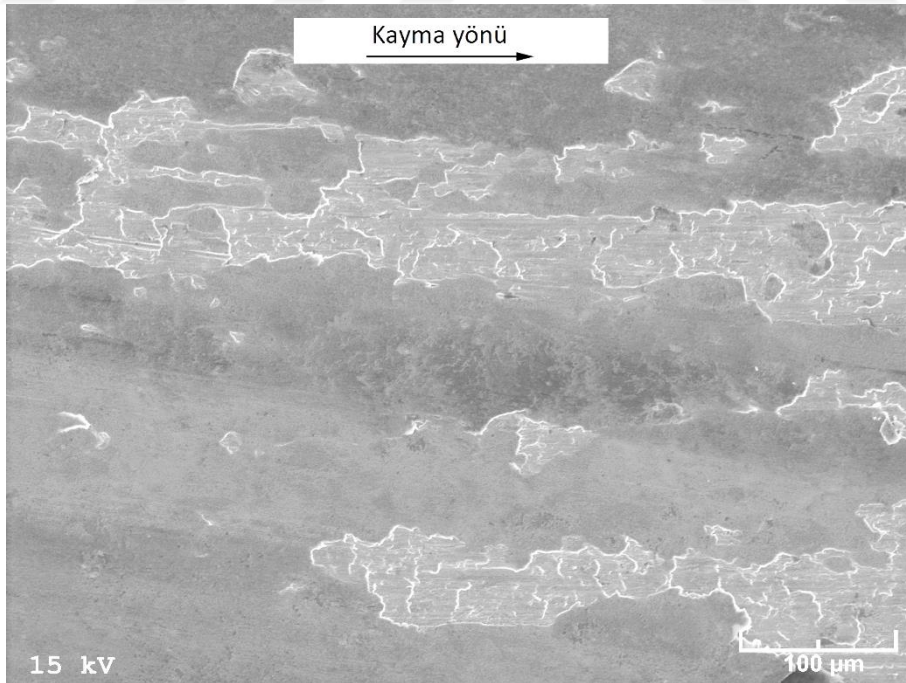
Şekil 119. Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



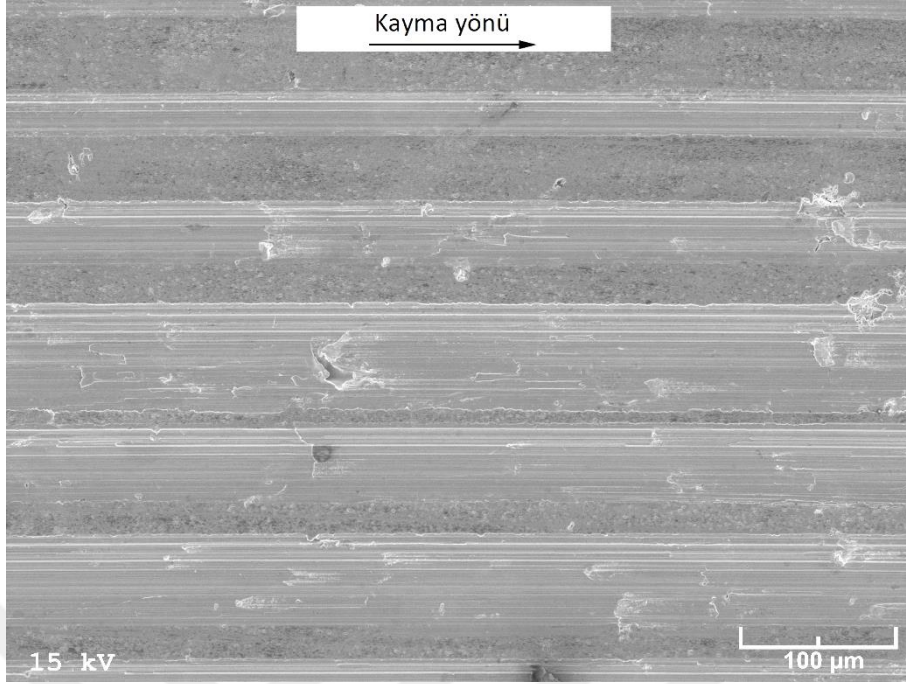
Şekil 120. Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



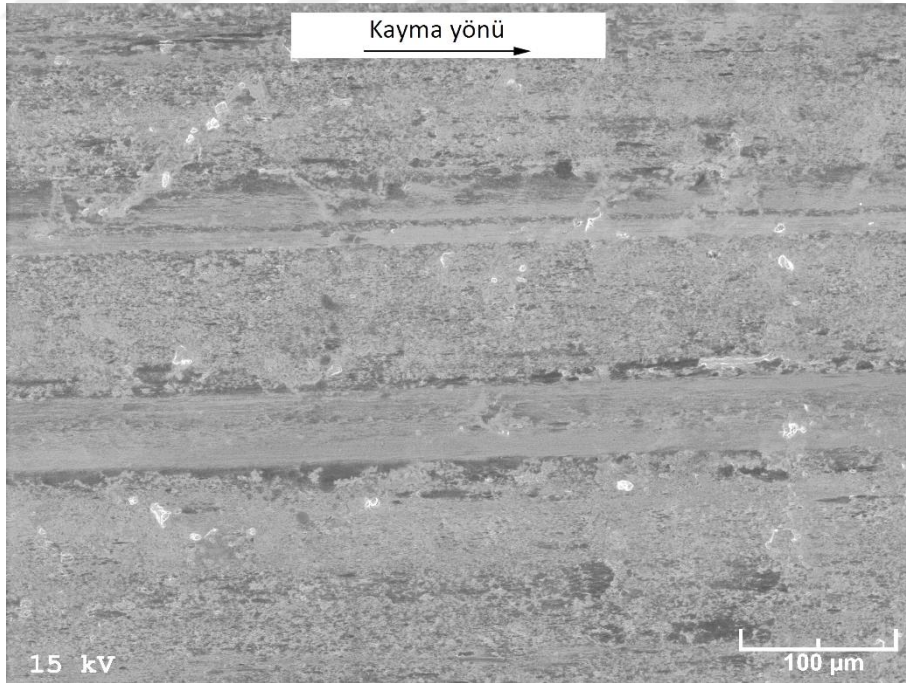
Şekil 121. Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



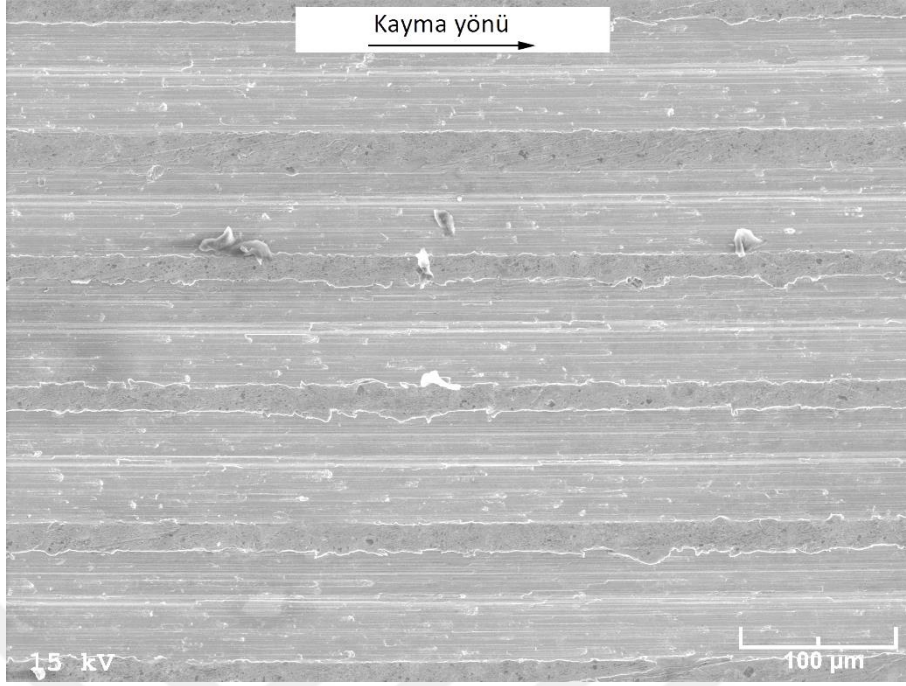
Şekil 122. Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



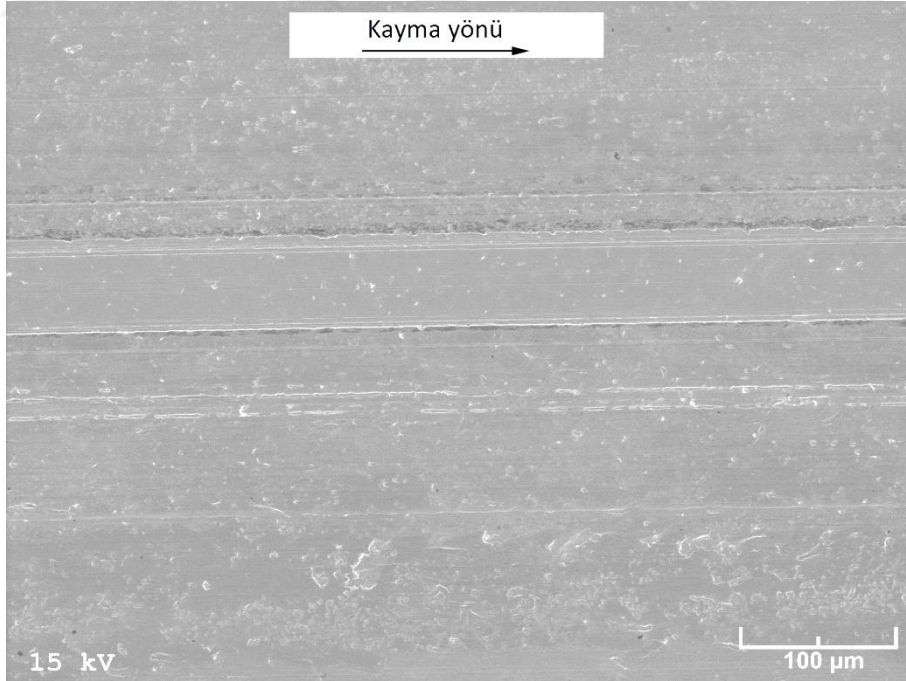
Şekil 123. Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



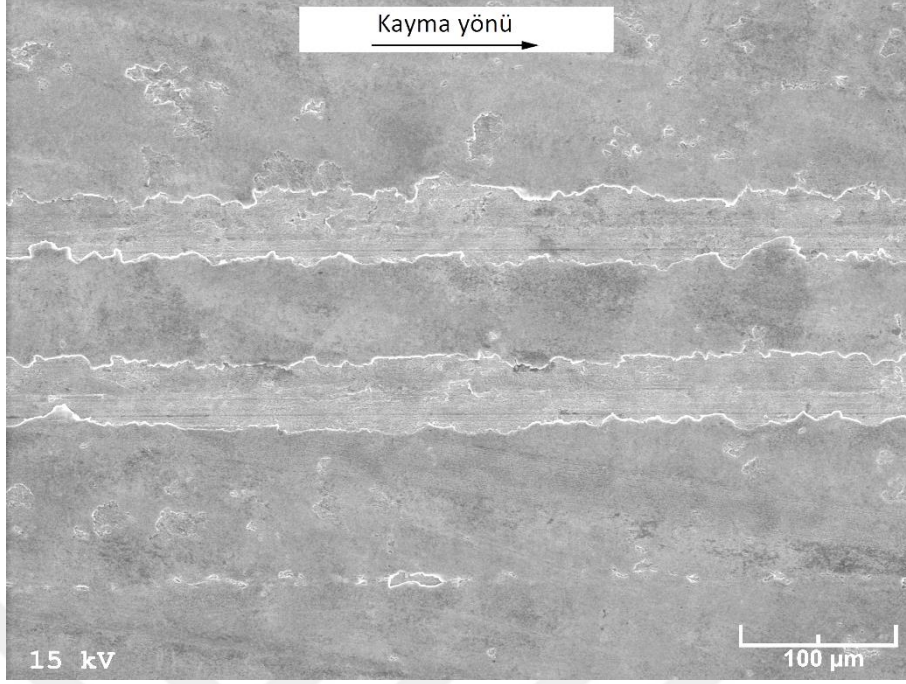
Şekil 124. Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



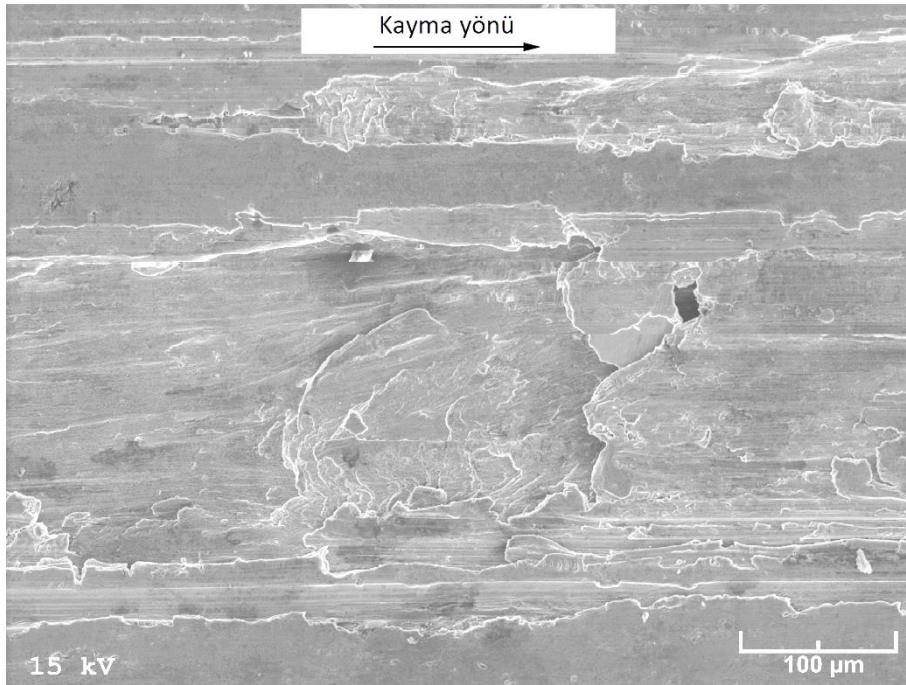
Şekil 125. Yağlı durumda 1 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



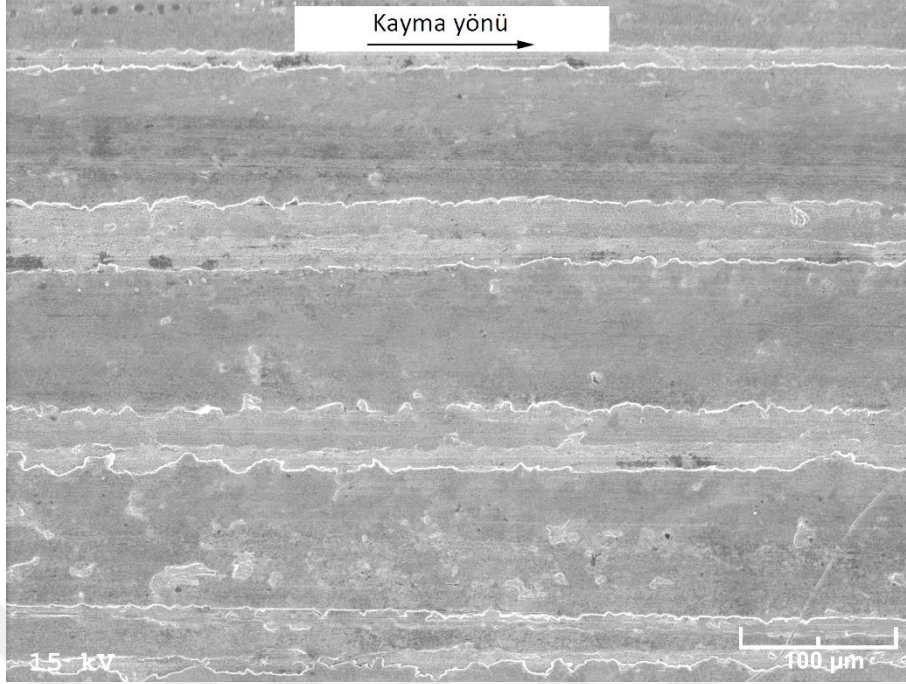
Şekil 126. Yağlı durumda 8 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



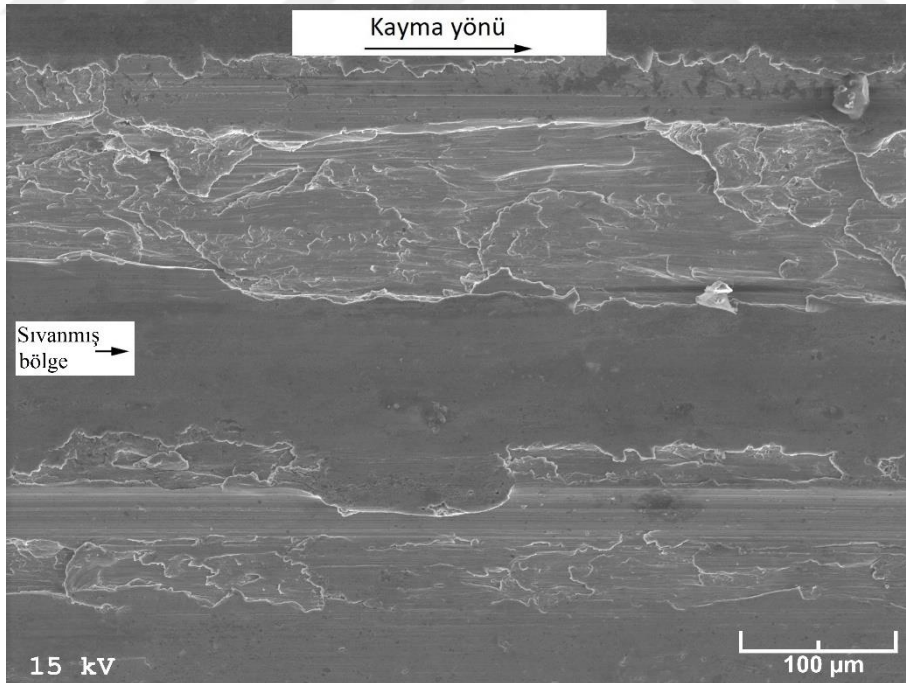
Şekil 127. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



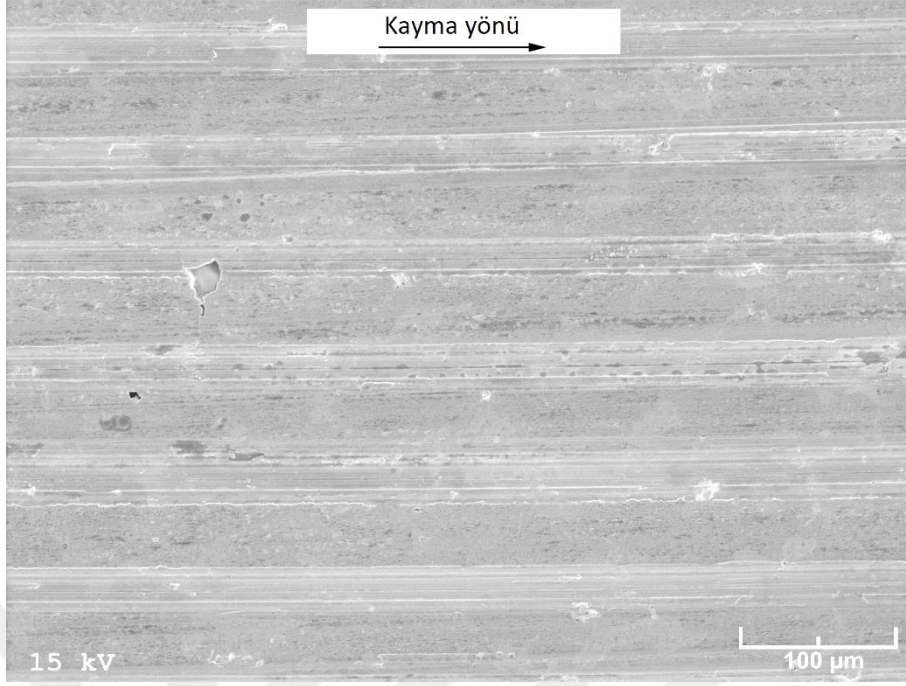
Şekil 128. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



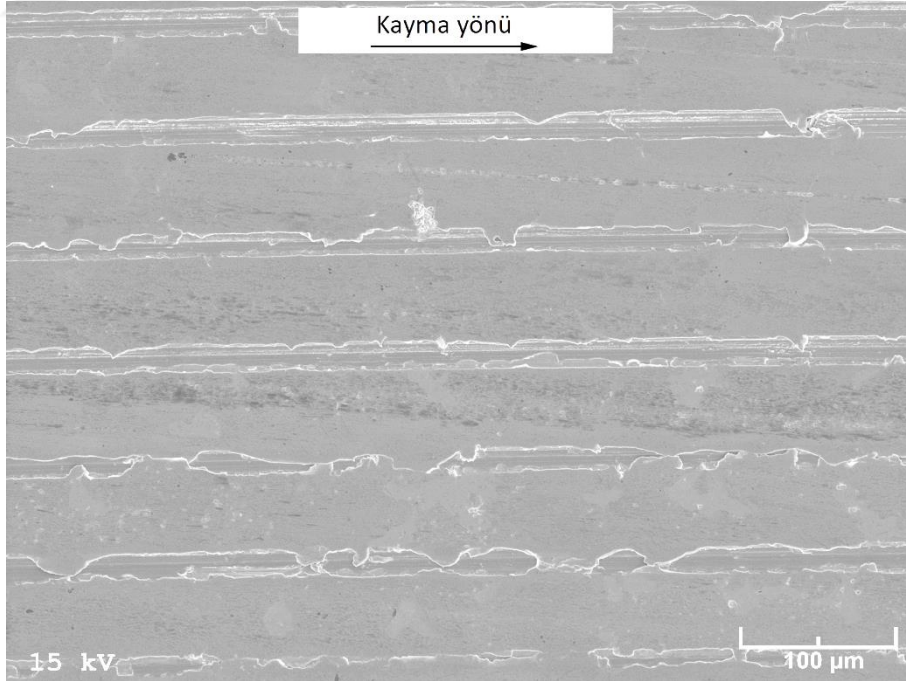
Şekil 129. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



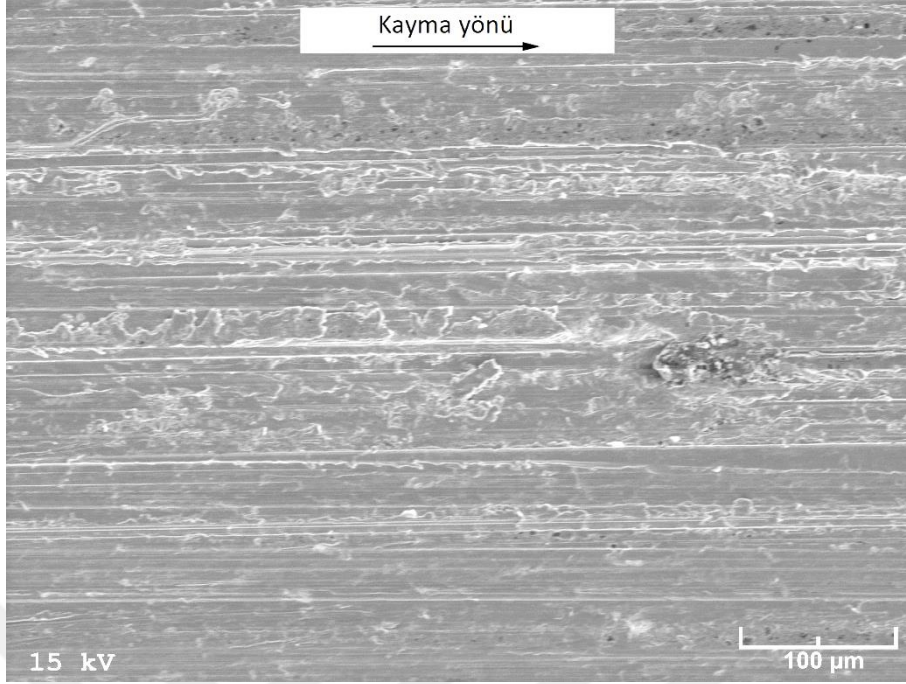
Şekil 130. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



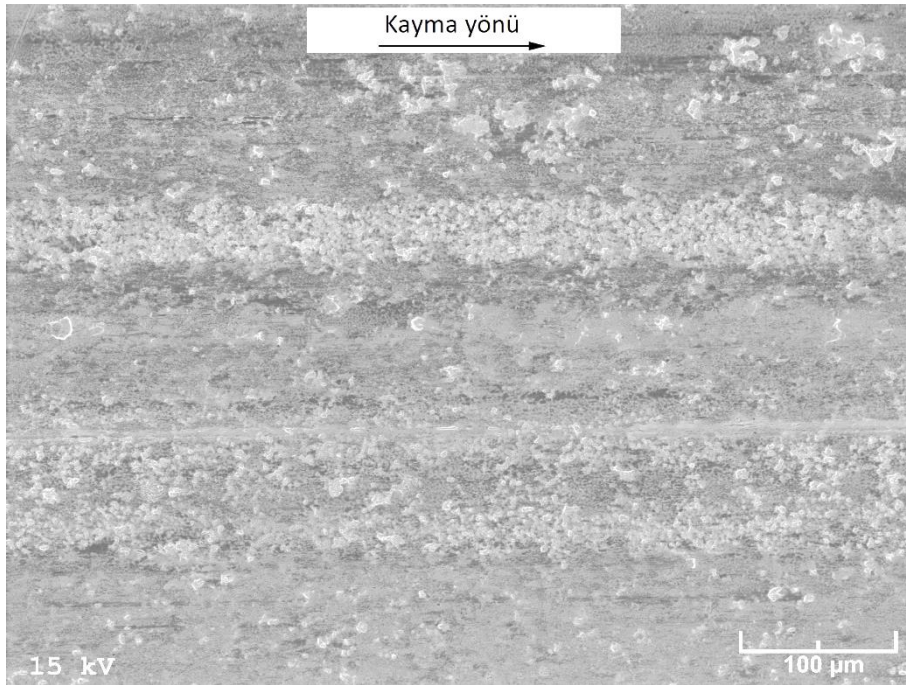
Şekil 131. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



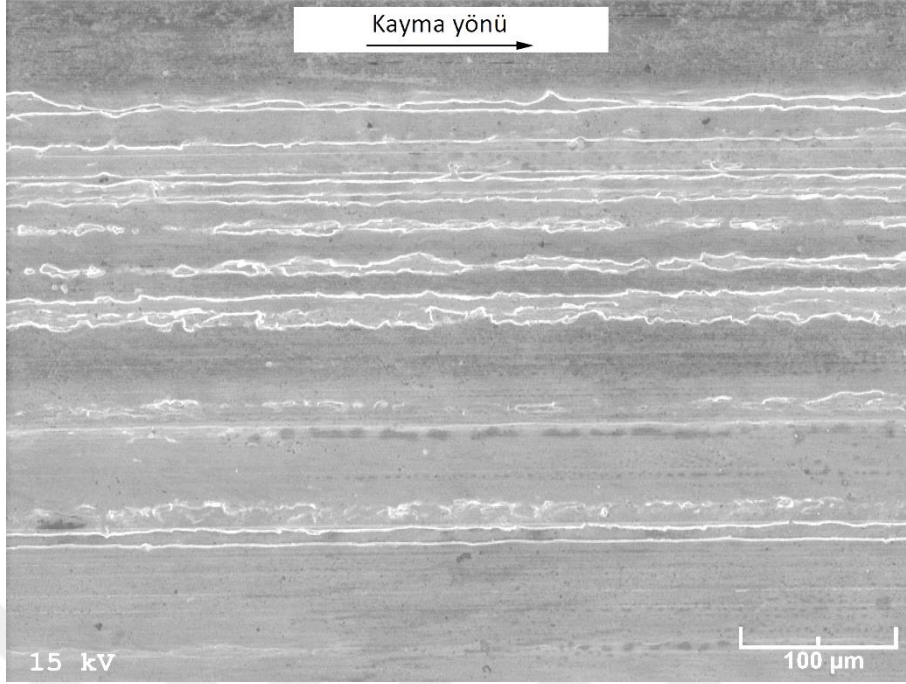
Şekil 132. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



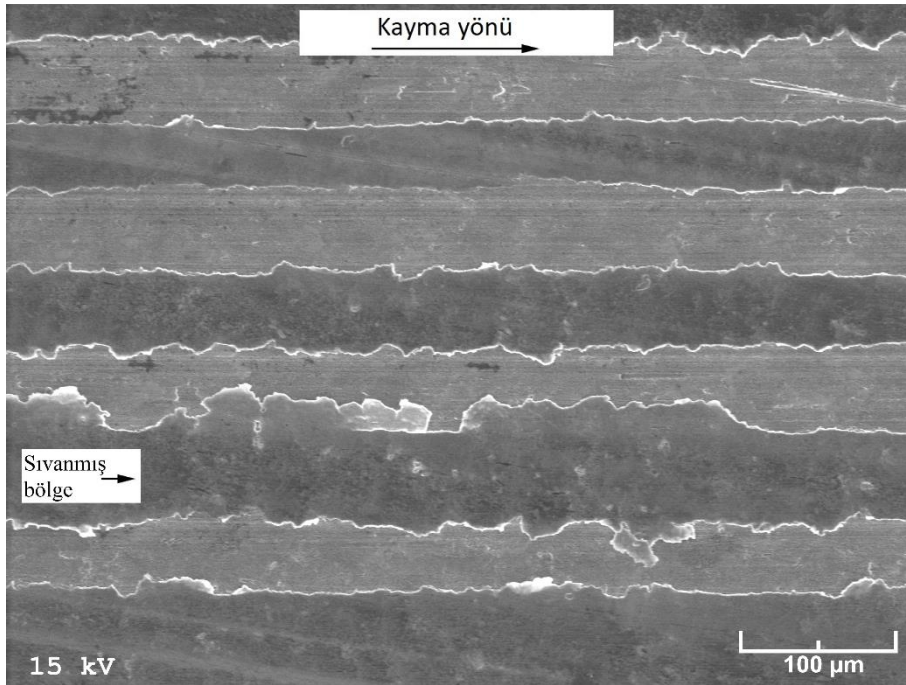
Şekil 133. Yağlı durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



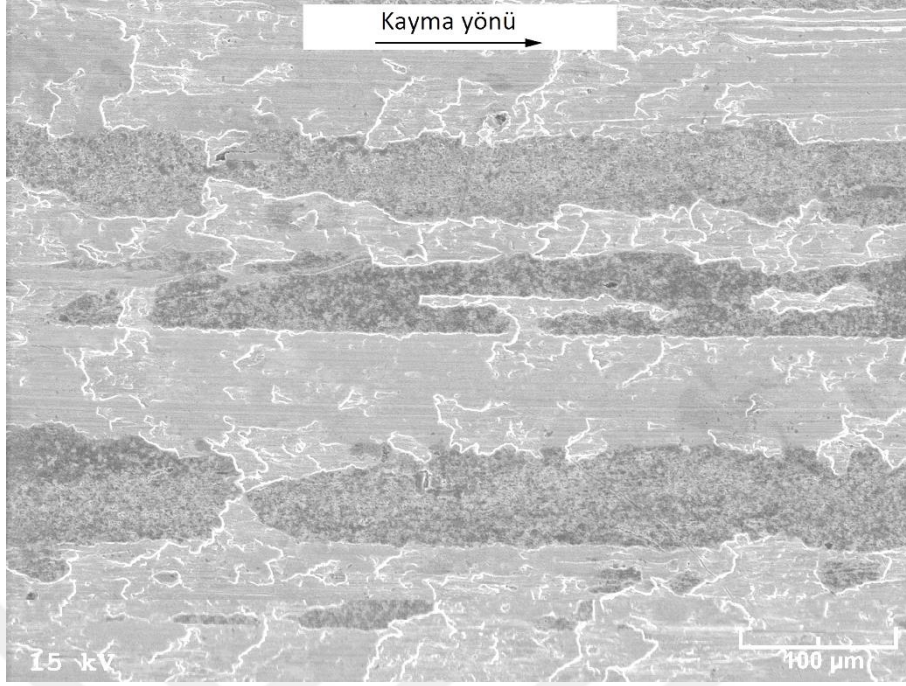
Şekil 134. Yağlı durumda 3 m/s'lik kayma hızı, 6 MPa'lık basınç ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



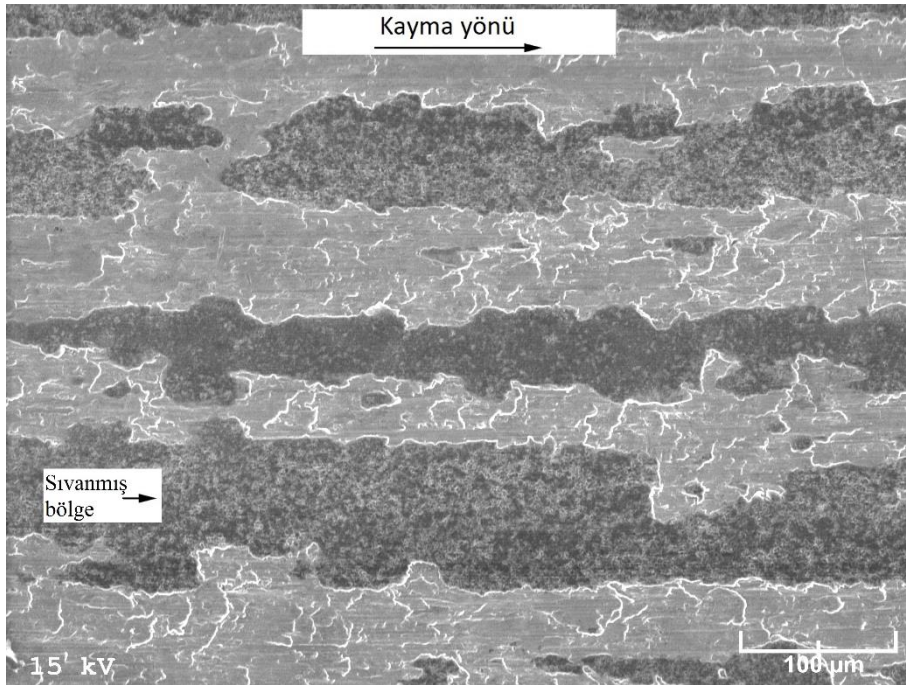
Şekil 135. Yağlı durumda $0,5 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa 'lık basınç ve 2 m/s 'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



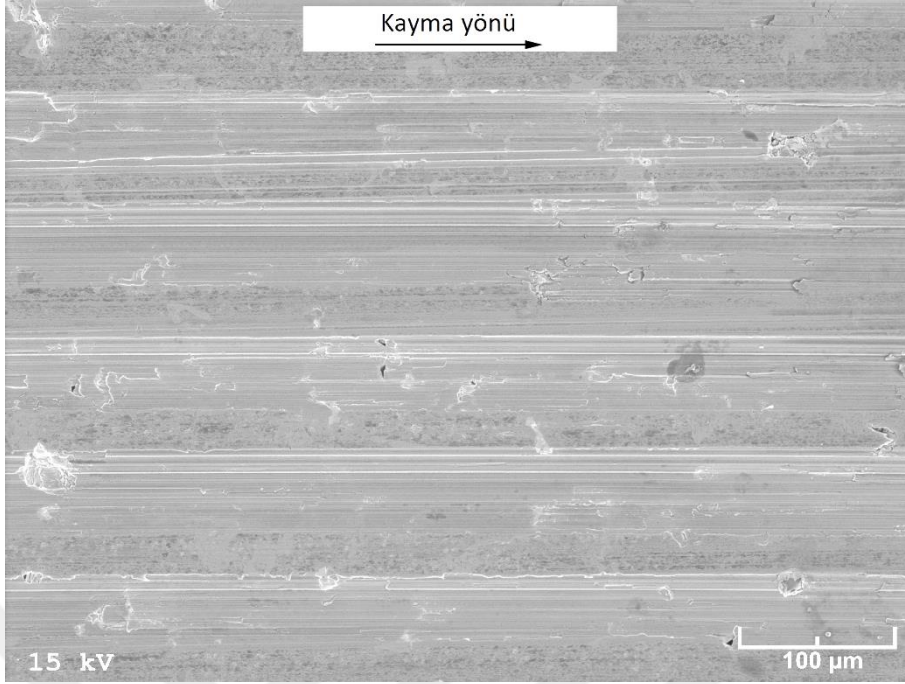
Şekil 136. Yağlı durumda $3 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa 'lık basınç ve 2 m/s 'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



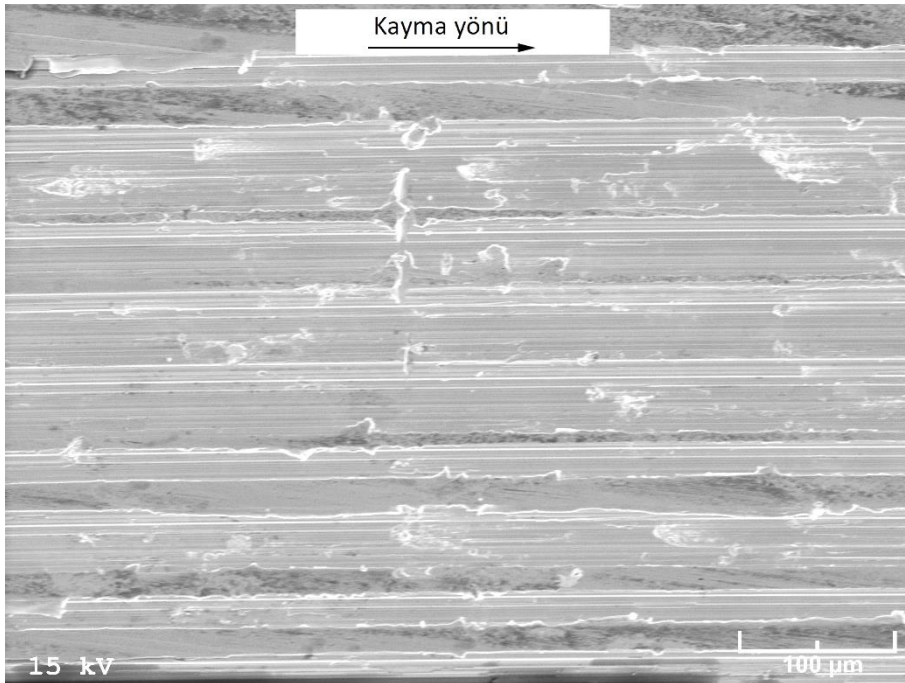
Şekil 137. Yağlı durumda $0,5 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



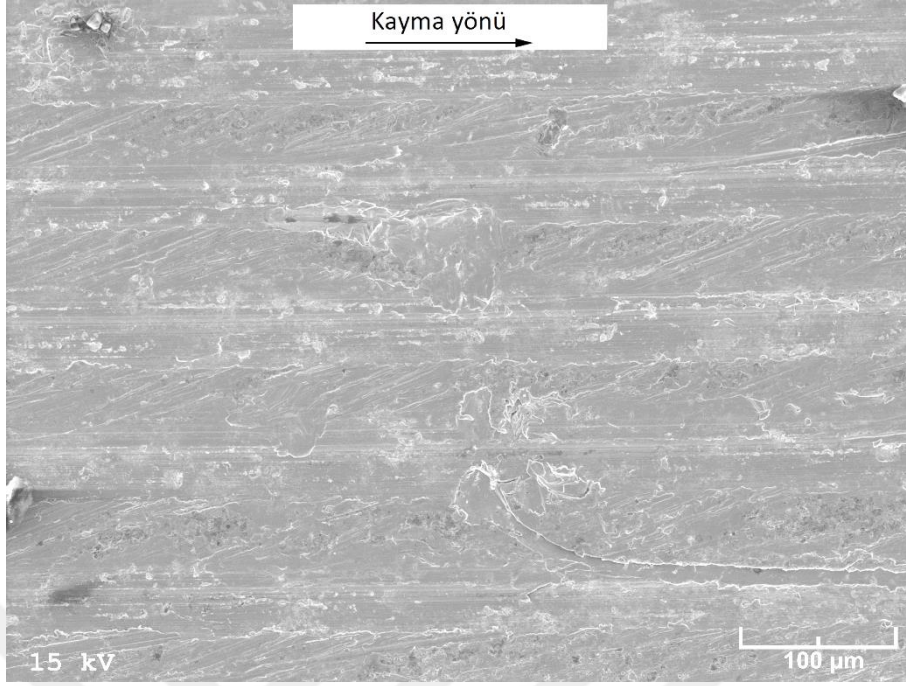
Şekil 138. Yağlı durumda $3 \text{ cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



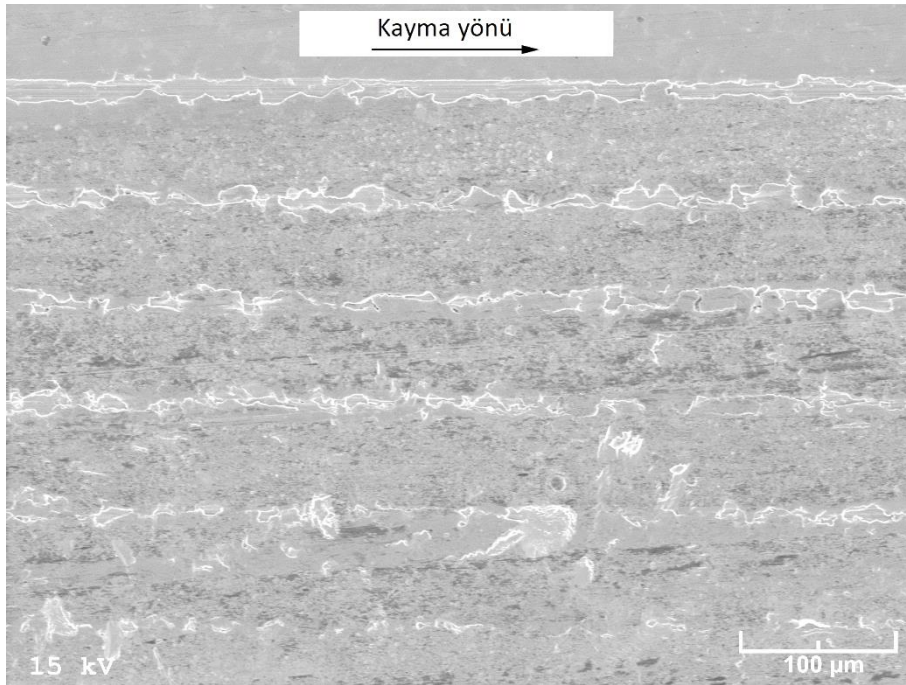
Şekil 139. Yağlı durumda 0,5 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 140. Yağlı durumda 3 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



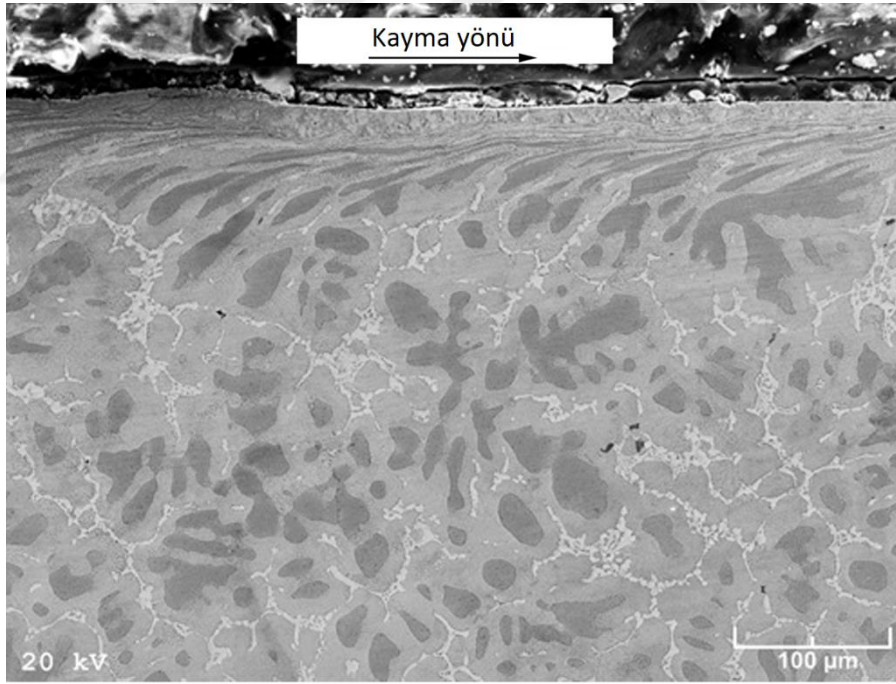
Şekil 141. Yağlı durumda 0,5 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü



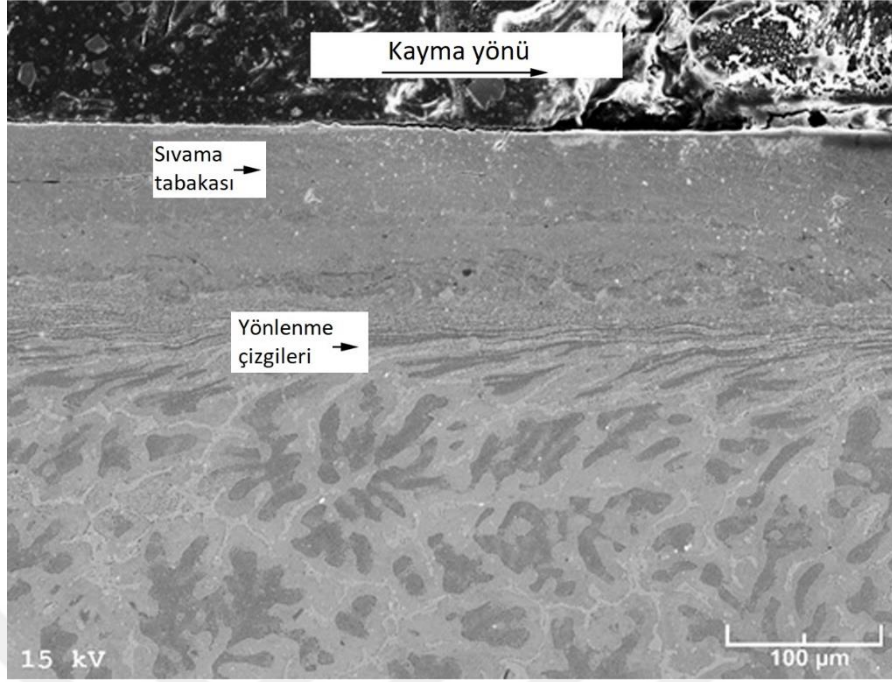
Şekil 142. Yağlı durumda 3 cm³/saat'lik yağ debisi, 6 MPa'lık basınç ve 2 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen 20 km mesafeli aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzunun aşınma yüzeyinden elde edilen SEM görüntüsü

3.7. Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yüzey Altı İncelemelerinden Elde Edilen Bulgular

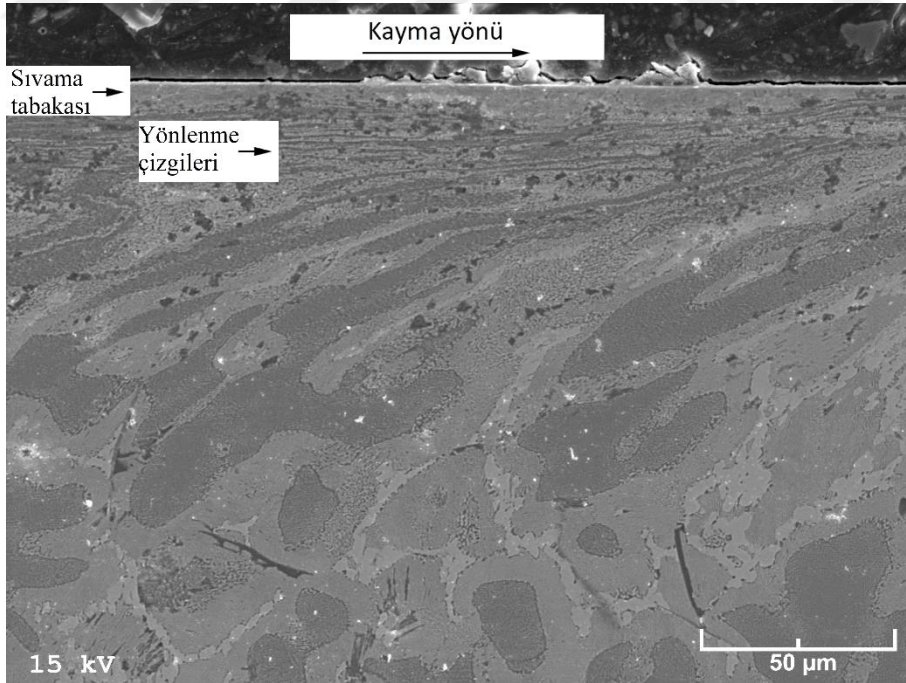
Yağsız durumda farklı basınç ve kayma hızlarında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinin SEM görüntüleri Şekil 143-158'de verilmiştir. Üçlü ve dörtlü alaşımların söz konusu kesitleri üzerinde yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla ince taneli sıvama tabakası, yönlenme çizgileri içeren tabaka ve yapısal değişime uğramamış yani orijinal bölgenin yer aldığı görülmektedir. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarına ait numunelerin yüzeylerinin altında ise pek belirgin olmamakla birlikte yalnızca kayma doğrultusunda yönlenmiş dar bir bölgenin yer aldığı gözlemlendi. Basınç ve kayma hızının artmasıyla aşınma yüzeylerinin altında yer alan tabakaların kalınlık ve derinliklerinin arttığı belirlendi.



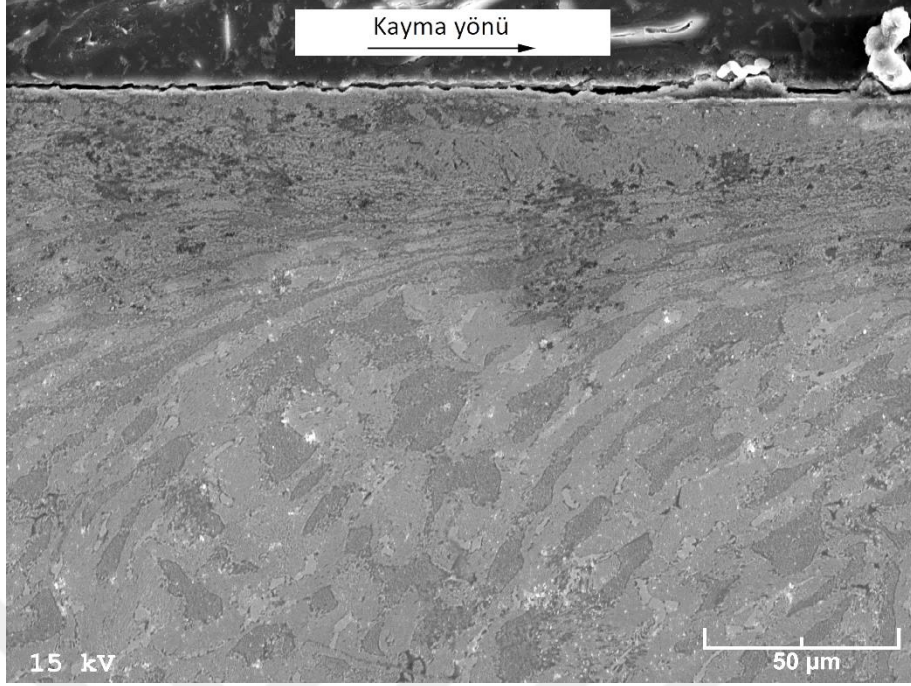
Şekil 143. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



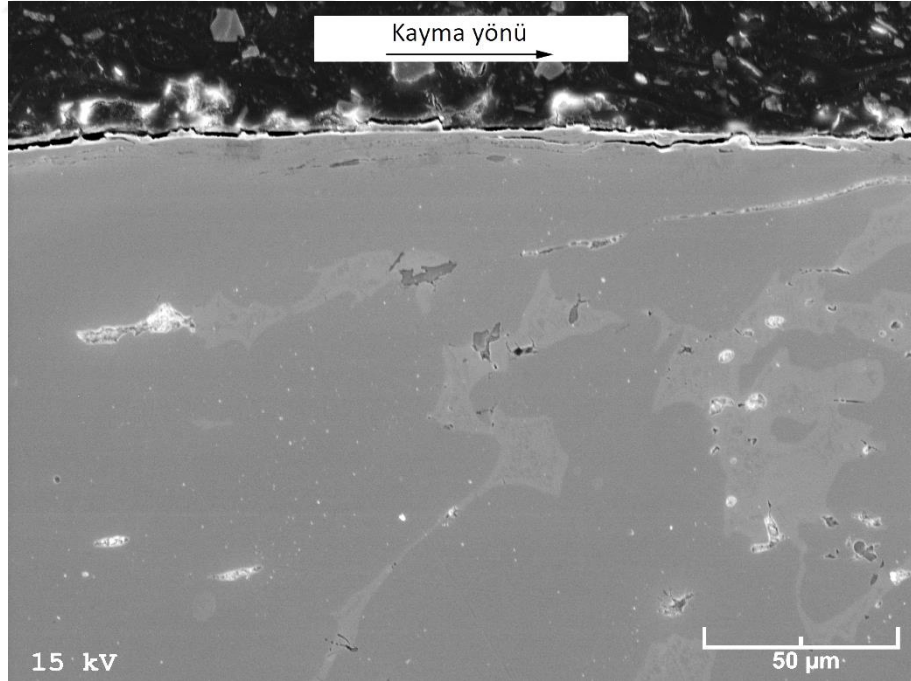
Şekil 144. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



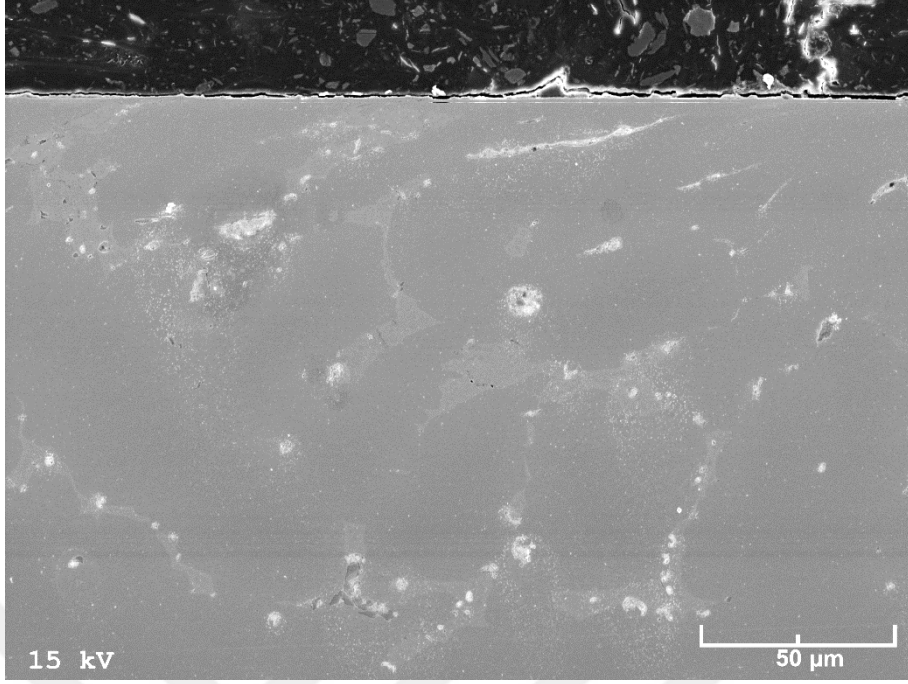
Şekil 145. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



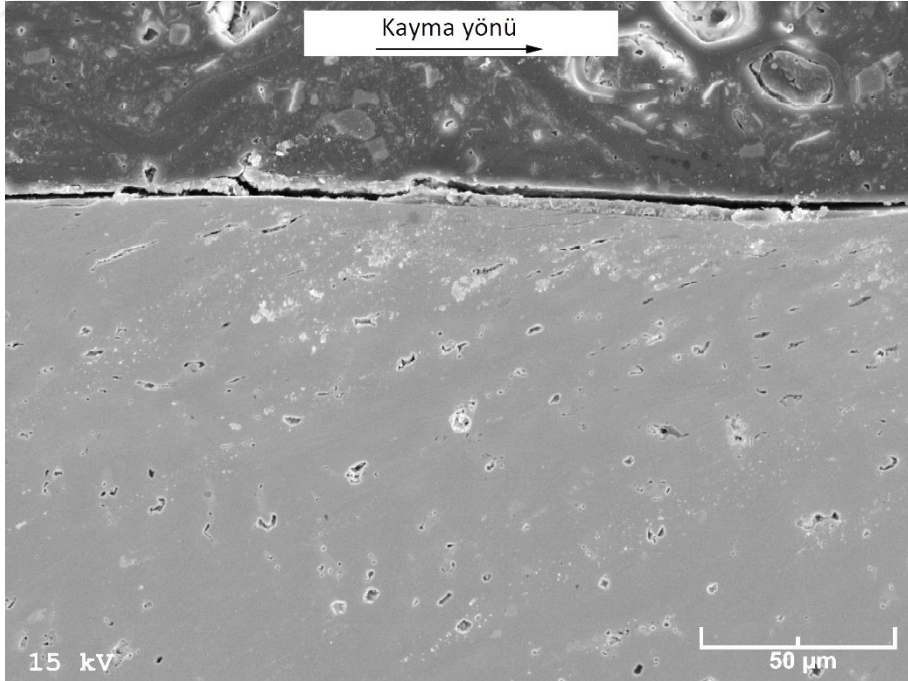
Şekil 146. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



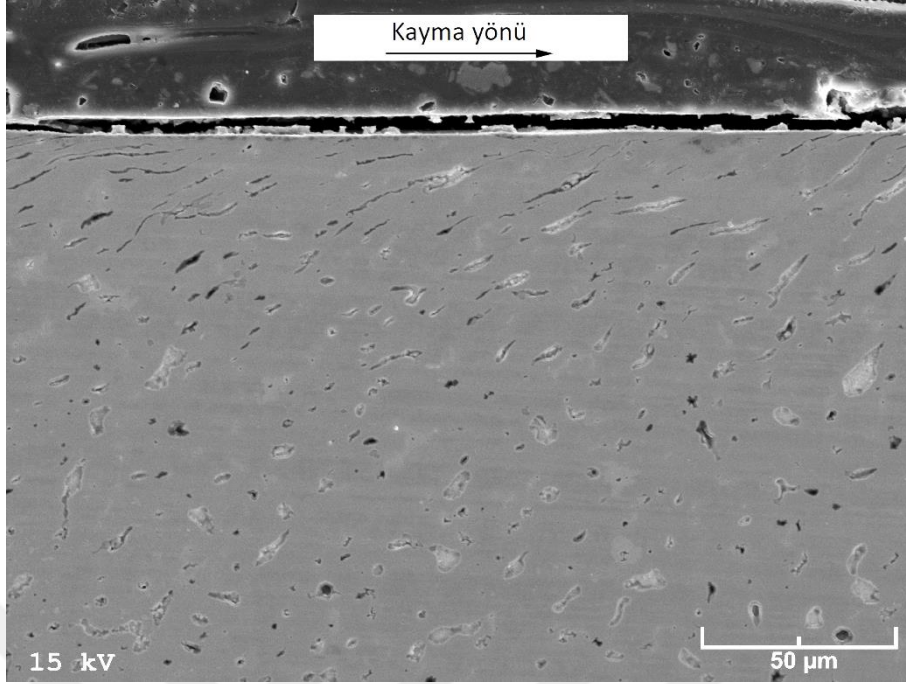
Şekil 147. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



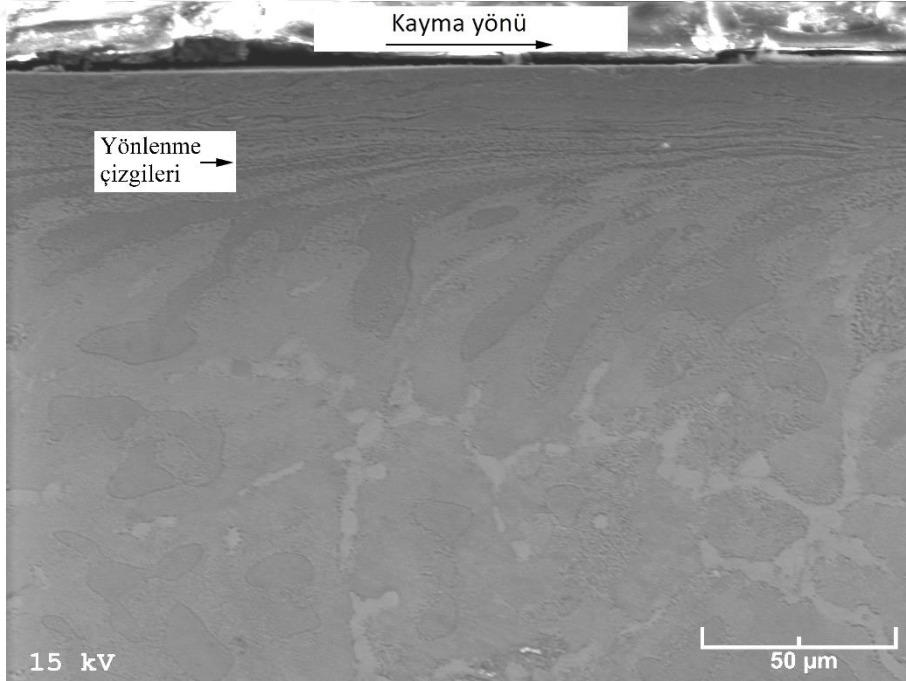
Şekil 148. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



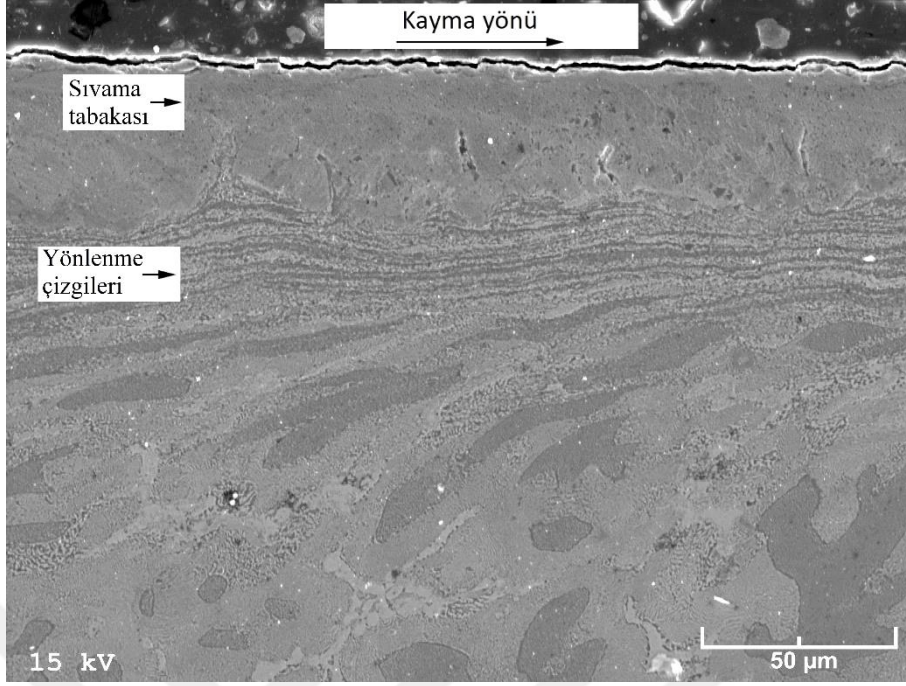
Şekil 149. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



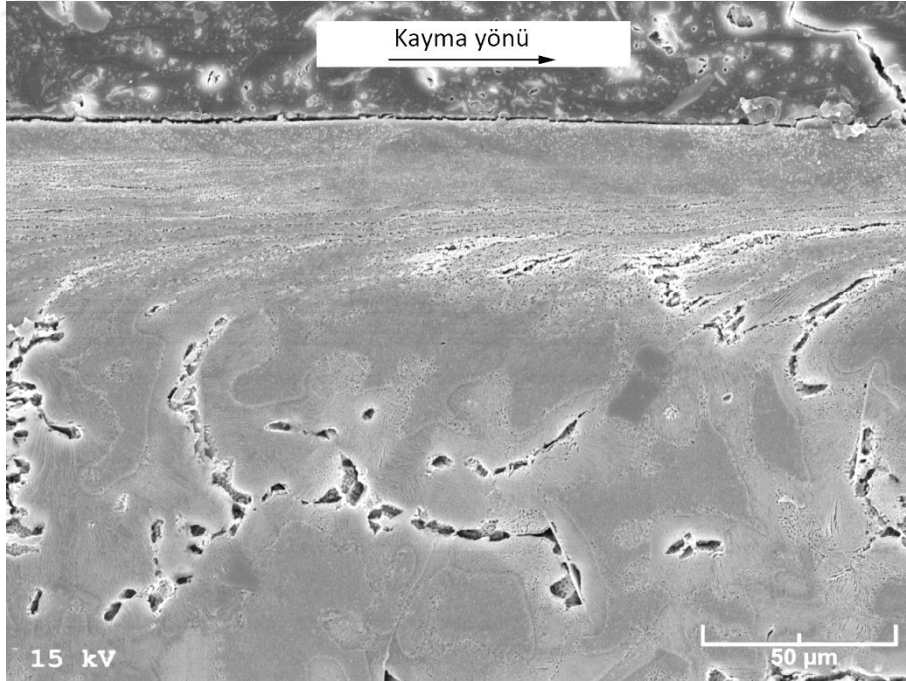
Şekil 150. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



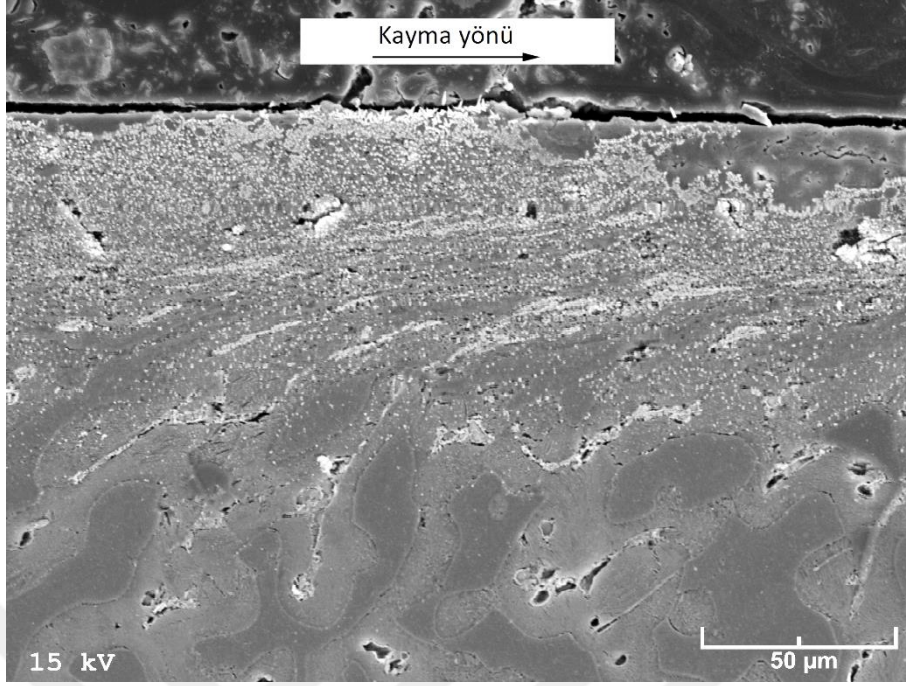
Şekil 151. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



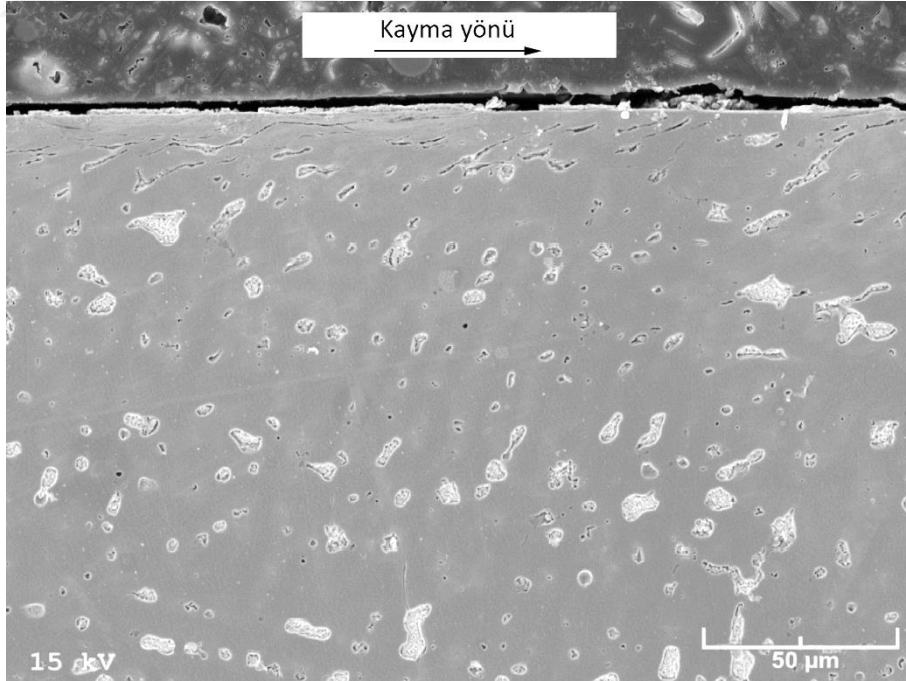
Şekil 152. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



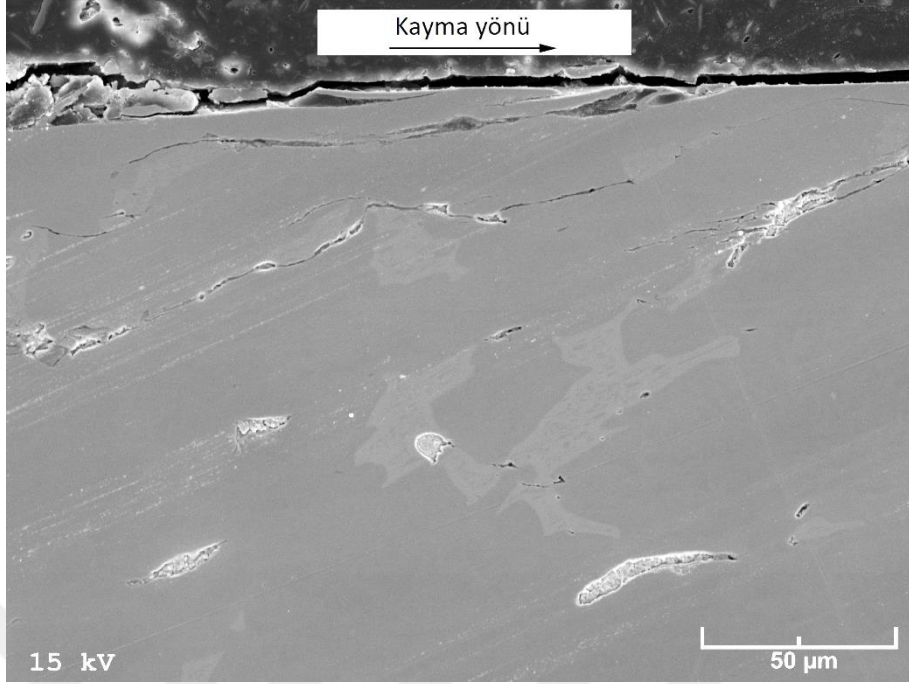
Şekil 153. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



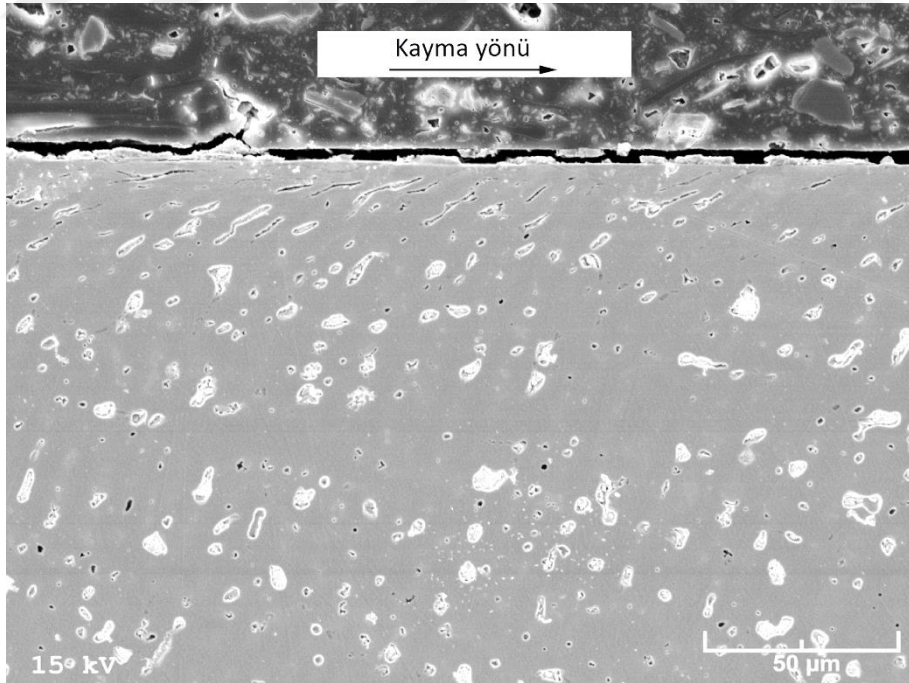
Şekil 154. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



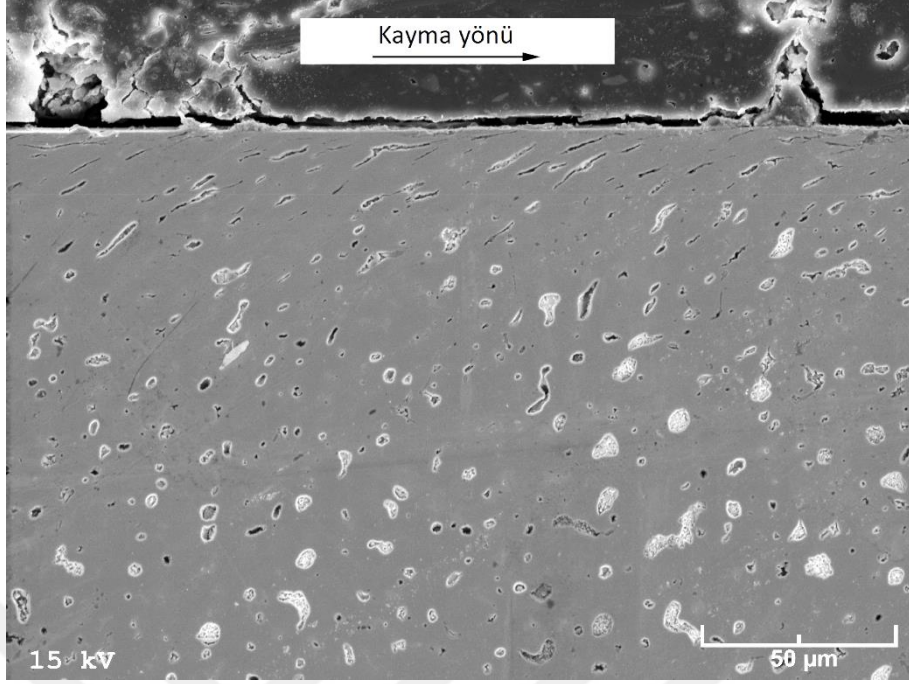
Şekil 155. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü



Şekil 156. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü

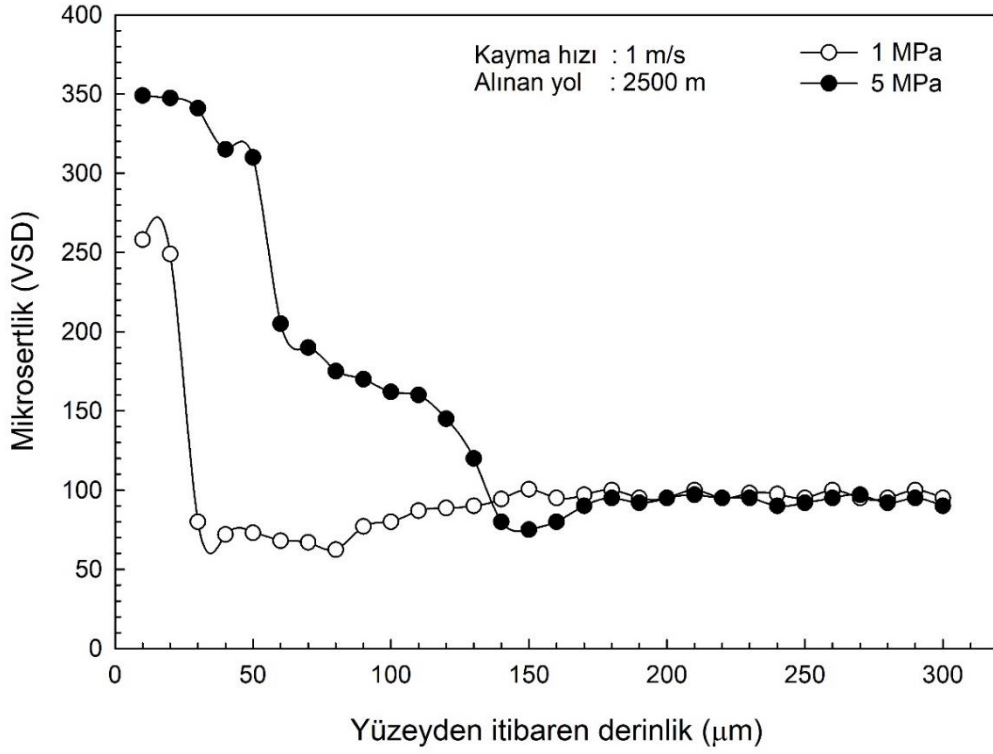


Şekil 157. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü

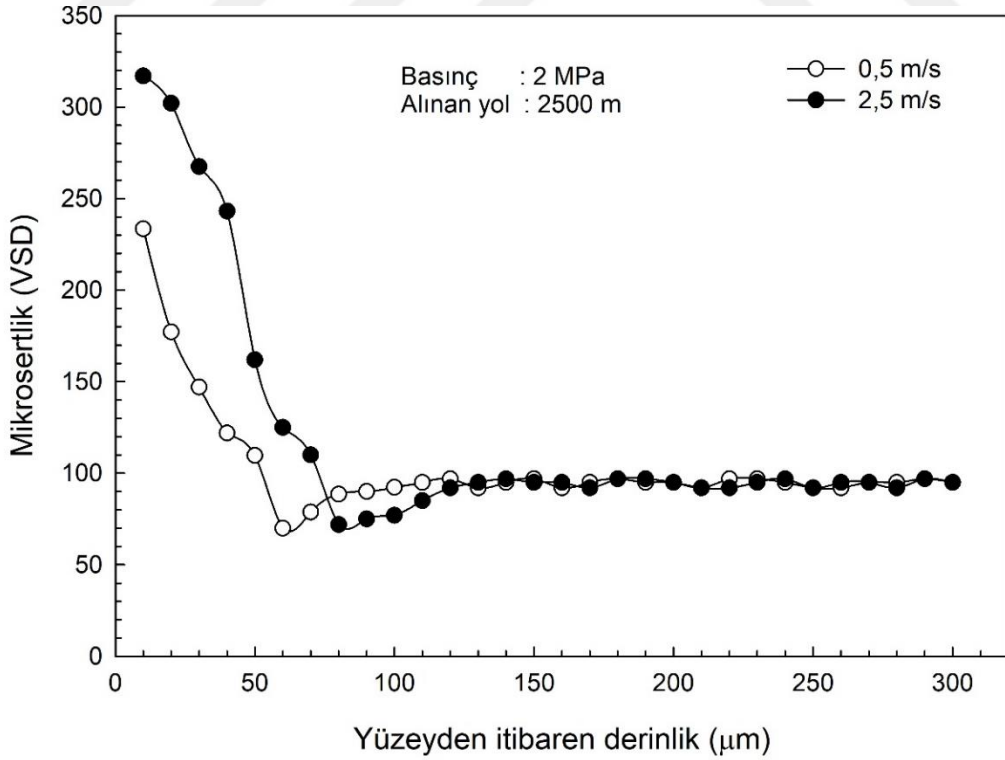


Şekil 158. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinden elde edilen SEM görüntüsü

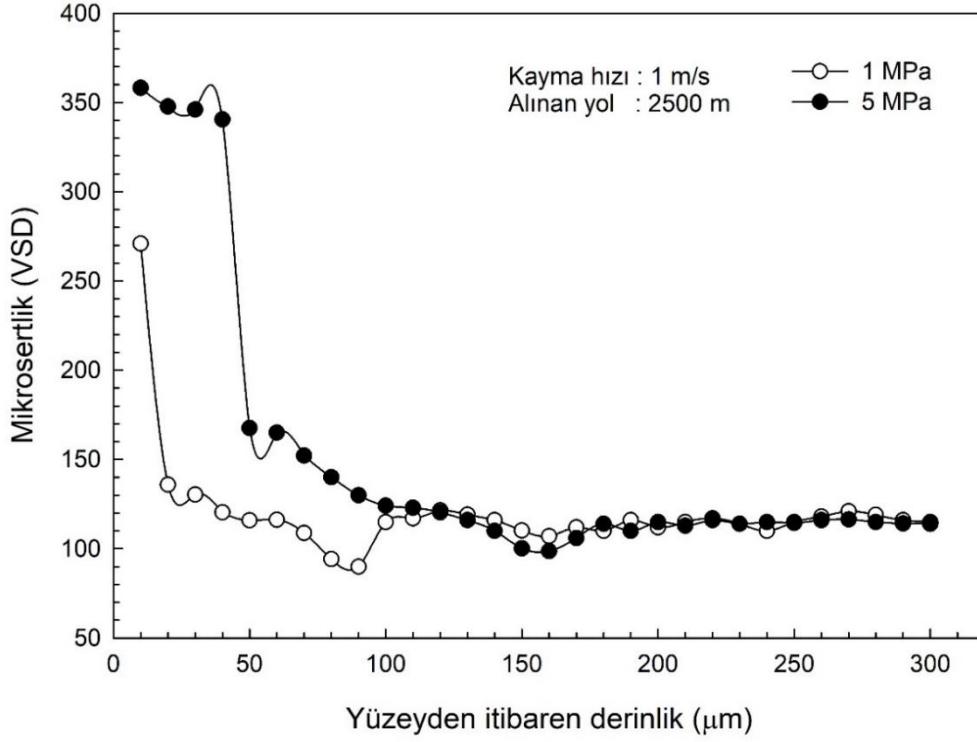
Yağsız durumda farklı basınç ve kayma hızlarında aşınma deneyine tabi tutulan söz konusu alaşımlar ile bronzlara ait numunelerin yüzey altı mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 159-166'da verilmiştir. Bu eğriler basınç ve kayma hızının artması ile yüzey tabakasının sertliğinin arttığını göstermektedir. Ayrıca, bu sertlik artışında basıncın kayma hızına göre daha etkili olduğu görülmektedir.



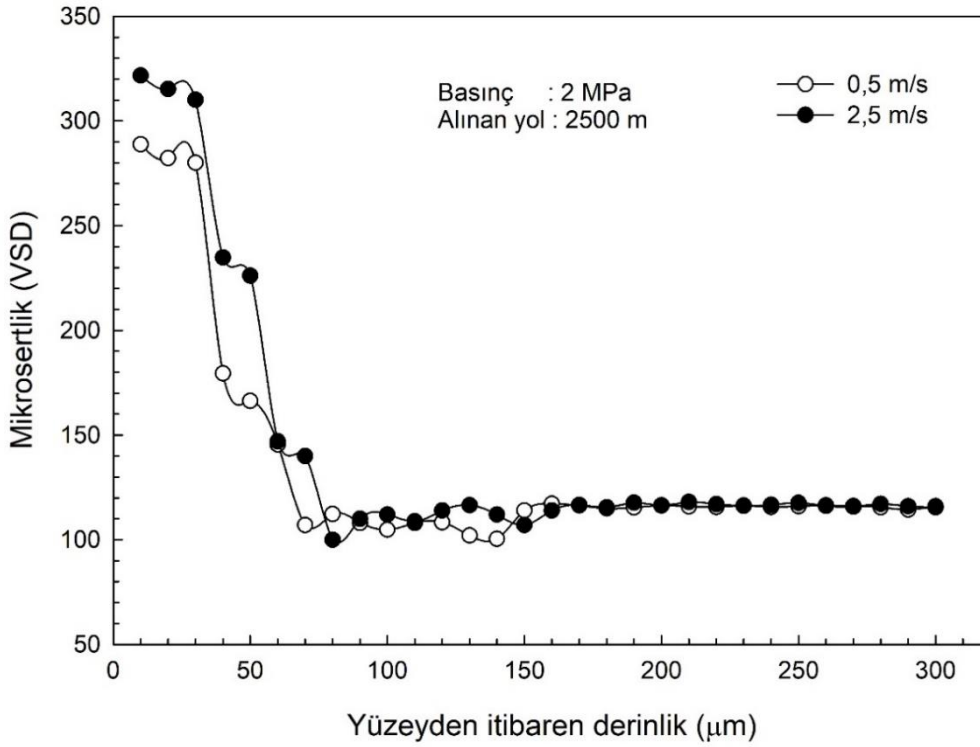
Şekil 159. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler



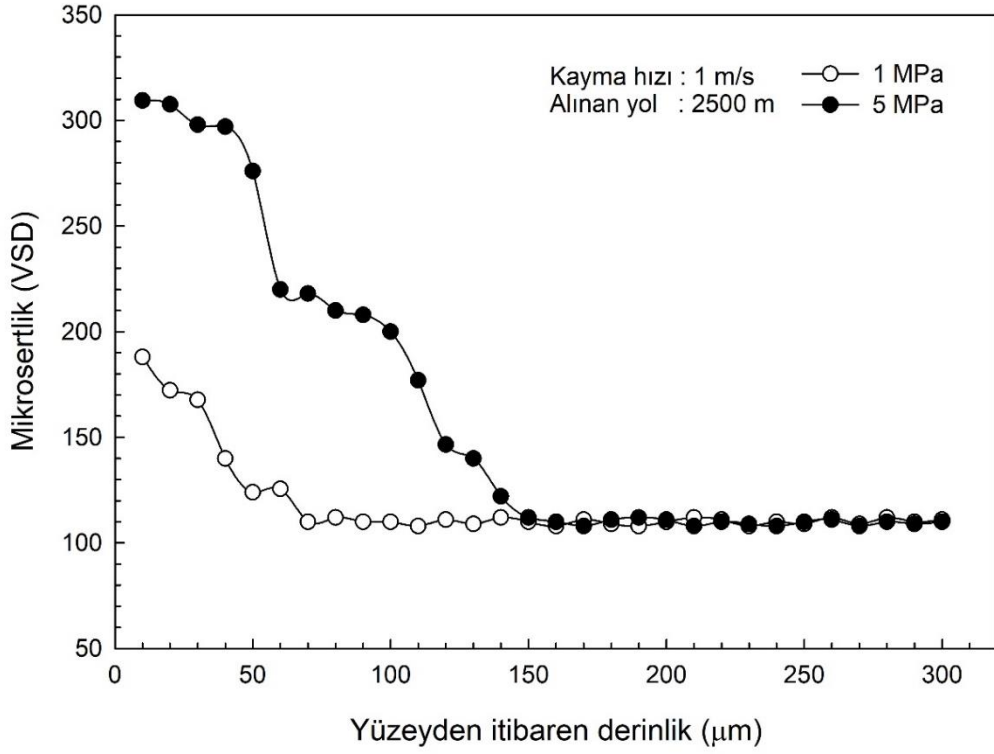
Şekil 160. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler



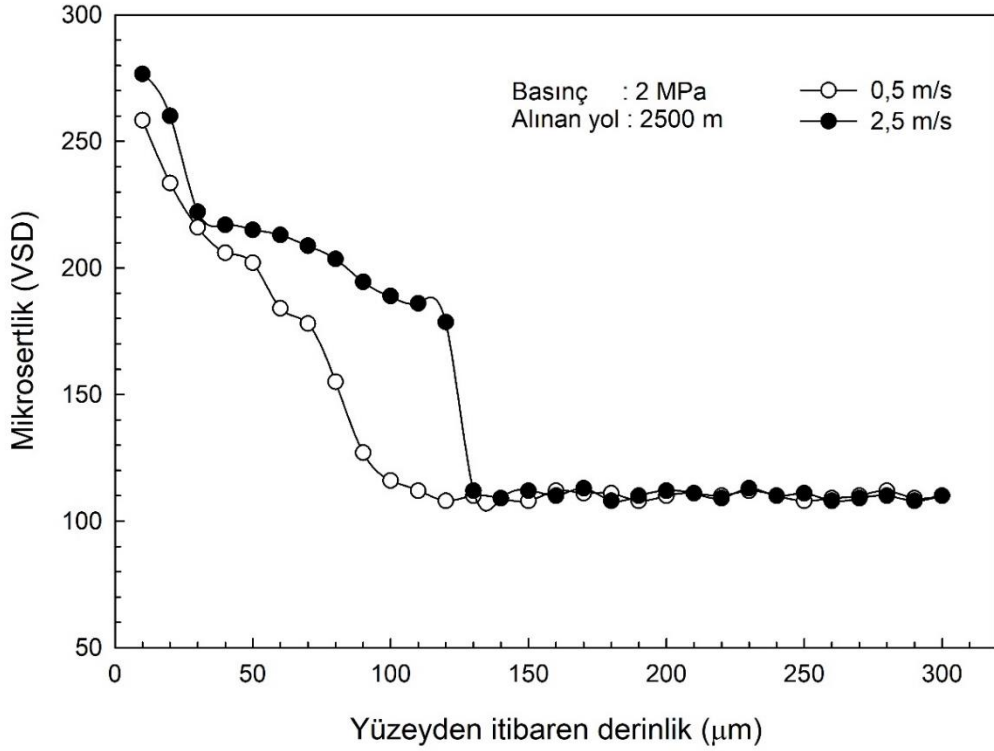
Şekil 161. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler



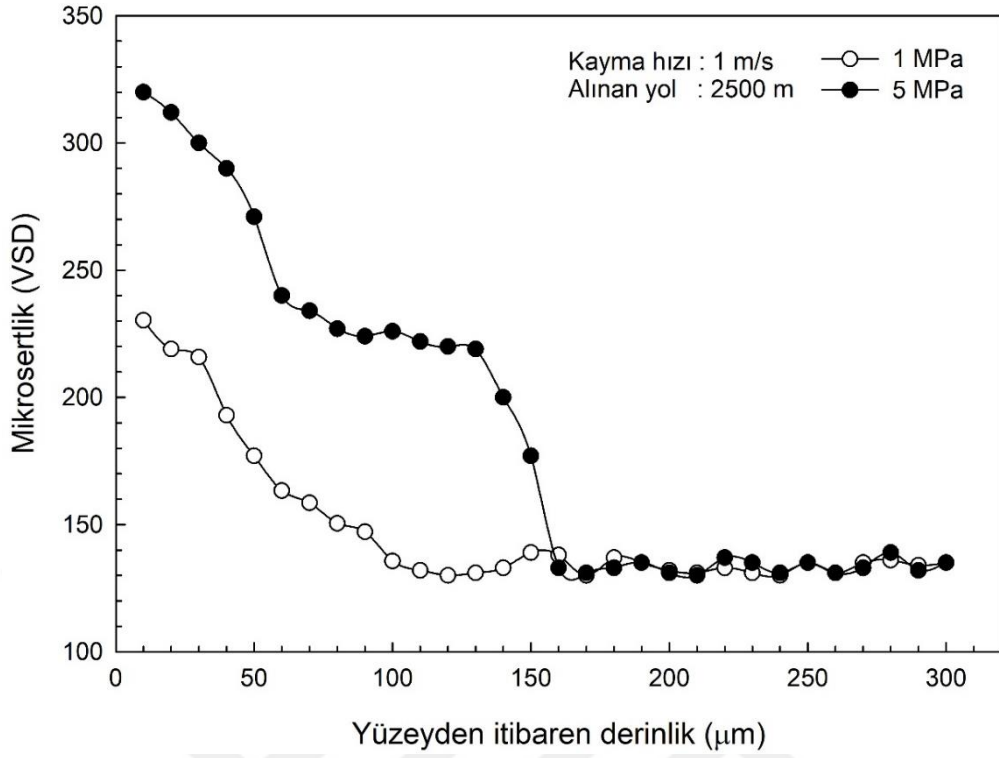
Şekil 162. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler



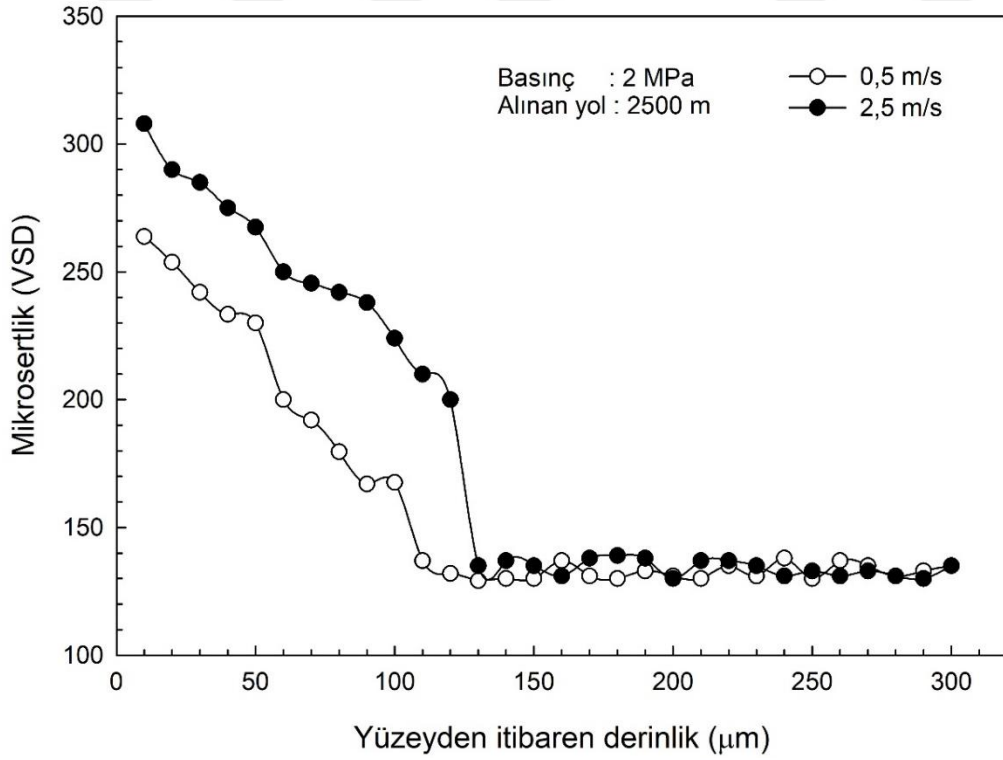
Şekil 163. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 65 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 164. Farklı kayma hızlarında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 65 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler

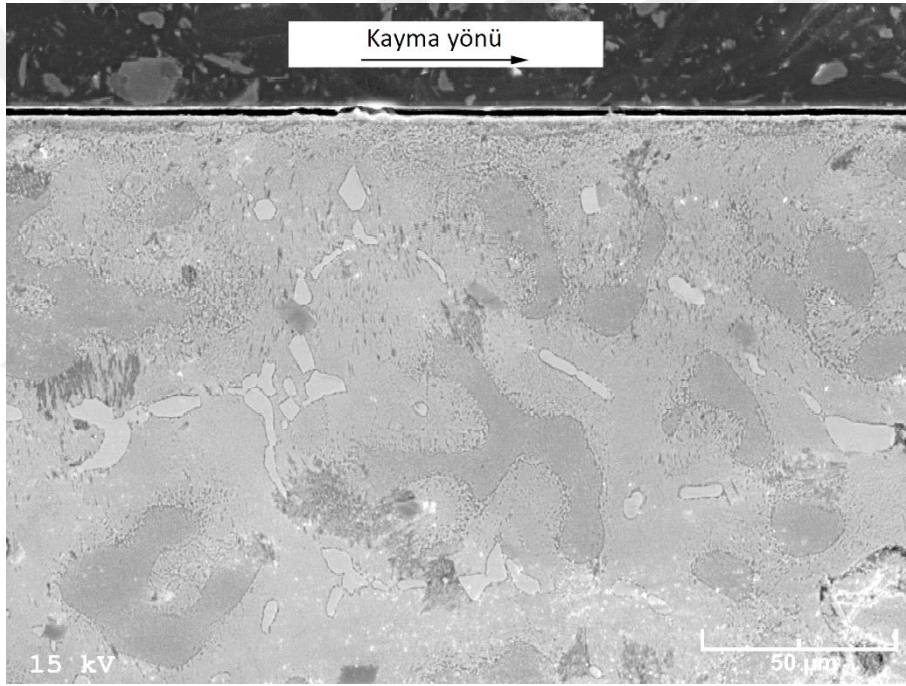


Şekil 165. Farklı basınçlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler

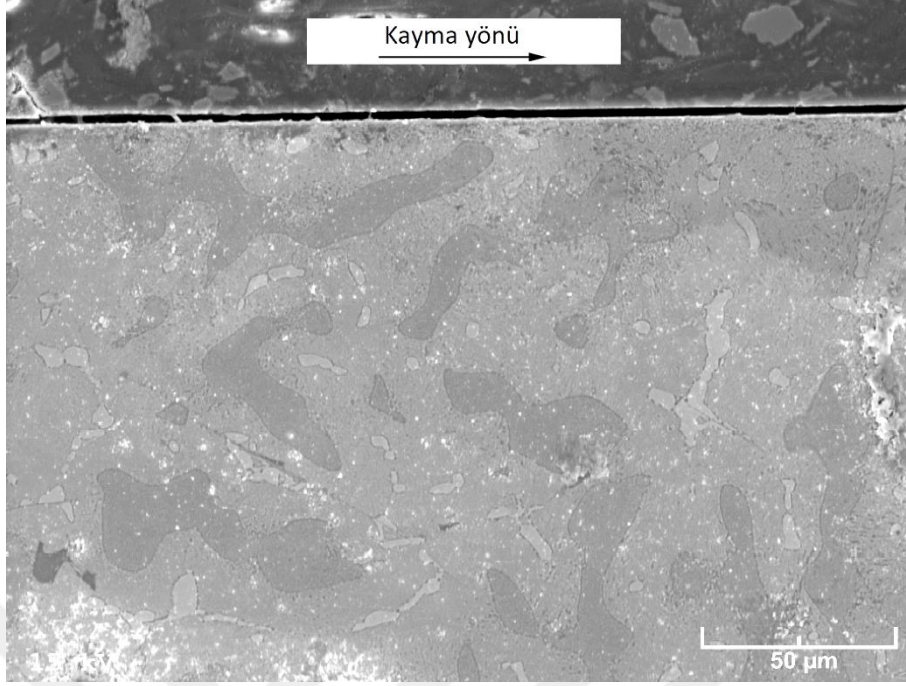


Şekil 166. Farklı hızlarda yağsız aşınma deneyine tabi tutulan SAE 660 bronzuna ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinden elde edilen mikrosertlik değerlerinin derinliğe göre değişimini gösteren eğriler

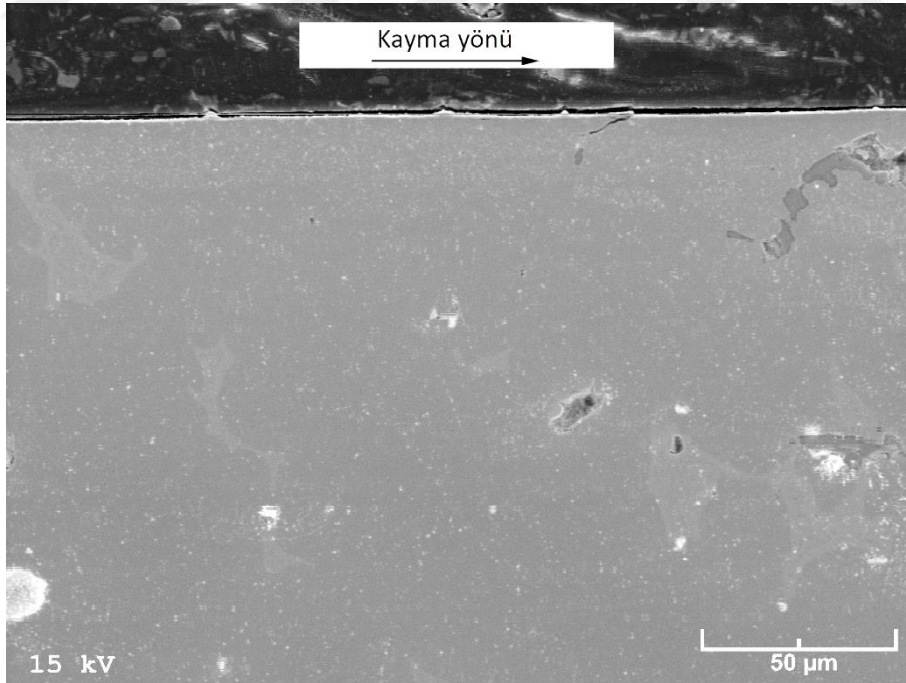
6 MPa'lık basınç, $1\text{cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisi ve 2 m/s'lik kayma hızında uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyine tabi tutulan üçlü Zn-30Al-3Cu ve dördü Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımları ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitlerinin SEM görüntüleri Şekil 167-170'de verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin yüzeylerinin altında belirgin bir yapısal değişimin meydana gelmediği görülmektedir. Yapılan mikrosertlik ölçümleri de bu numunelerin yüzeylerinin altında önemli bir sertlik değişiminin meydana gelmediğini göstermiştir. Bu nedenle burada yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin mikrosertlik-derinlik eğrilerinin gösterilmesine gerek duyulmamıştır.



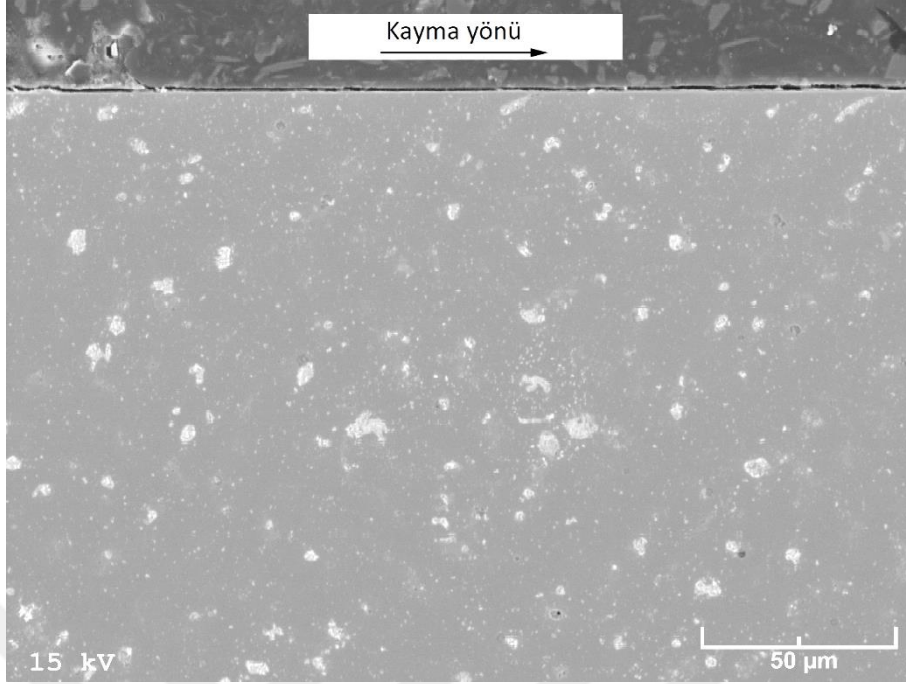
Şekil 167. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve $1\text{cm}^3/\text{saat}$ 'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü



Şekil 168. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü



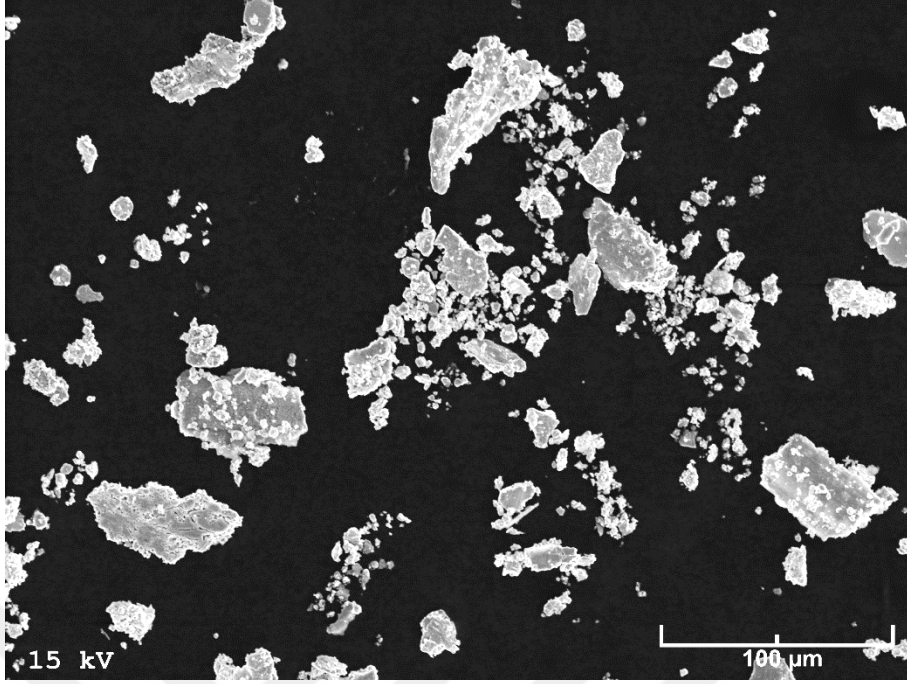
Şekil 169. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 65 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü



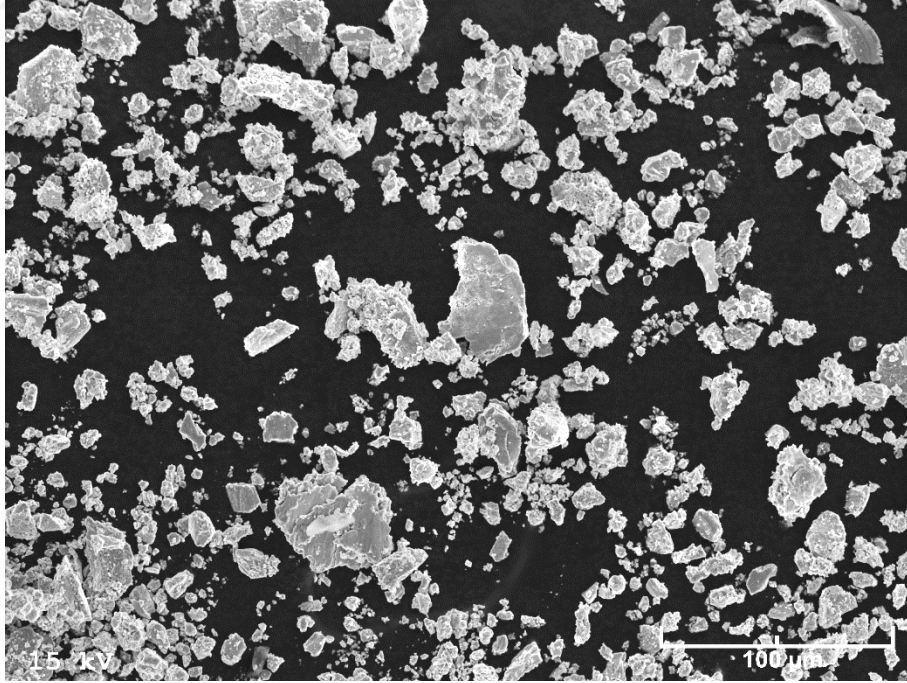
Şekil 170. Yağlı durumda 6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde gerçekleştirilen uzun mesafeli (108 km) aşınma deneyi sonucunda SAE 660 bronzuna ait numunenin kayma doğrultusuna paralel kesitinin SEM görüntüsü

3.8. Aşınma Parçacıklarının İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

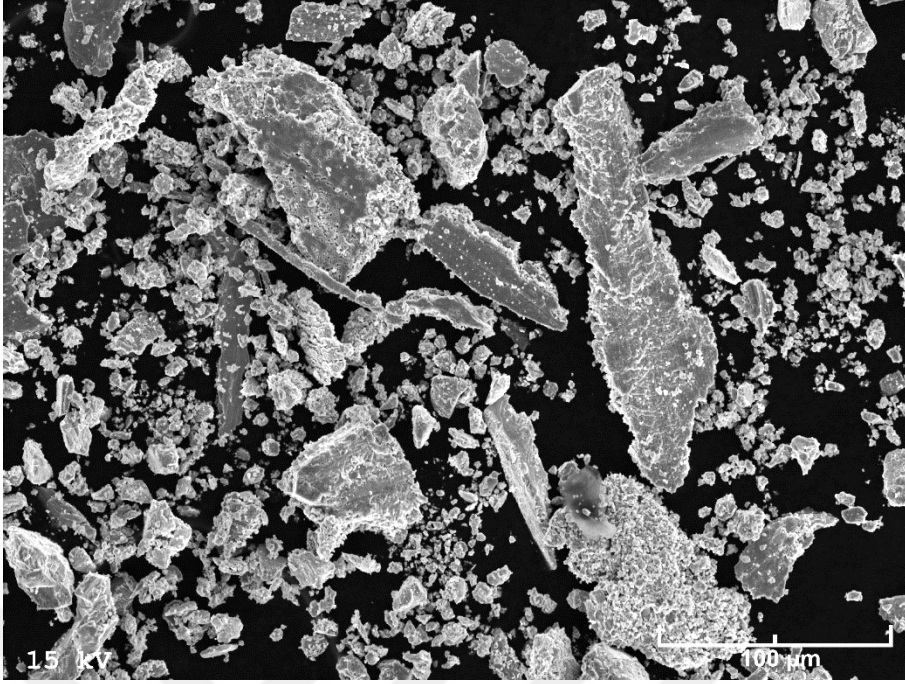
Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarına ait numunelerden yağsız durumda farklı kayma hızı ve basınçlarda yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma parçacıklarının SEM görüntüleri Şekil 171-178'de verilmiştir. Söz konusu görüntüler incelendiğinde basıncın aşınma parçacıklarının şekil ve boyutu üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı, ancak düşük kayma hızlarında yassı ve nispeten büyük boyutlu parçacıkların olduğu görülmektedir.



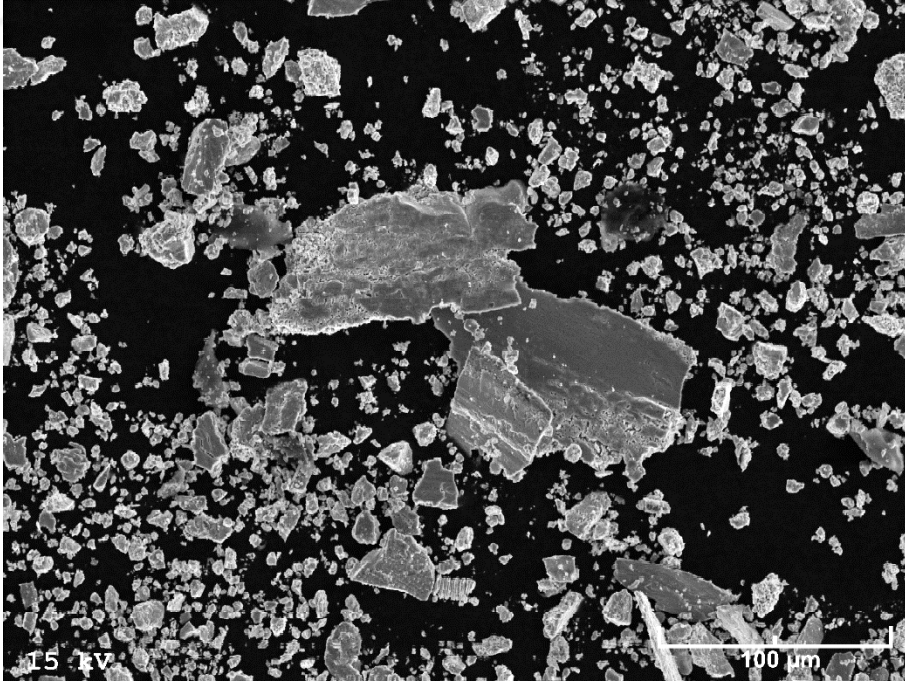
Şekil 171. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



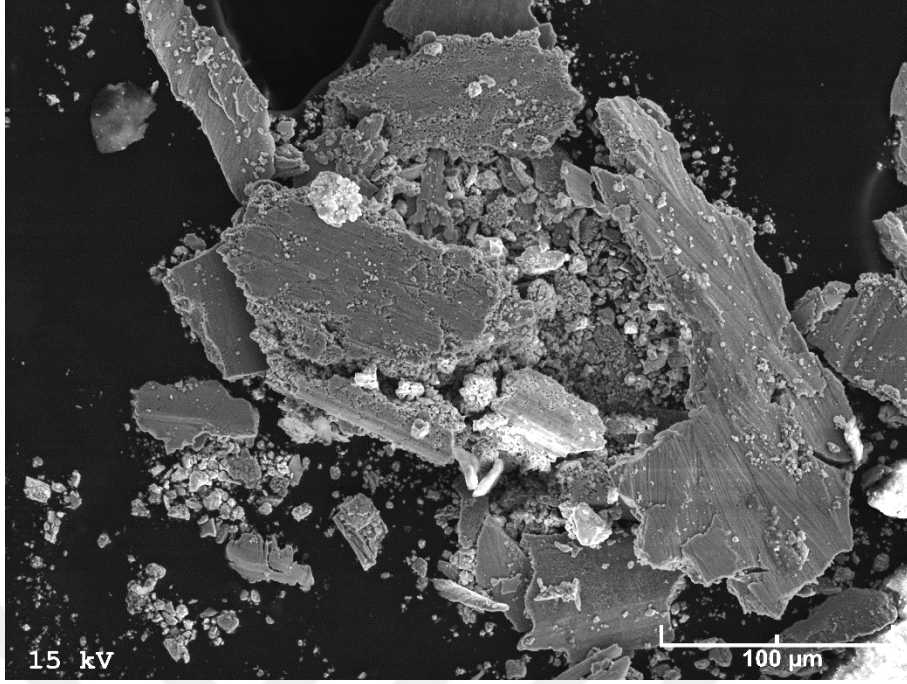
Şekil 172. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



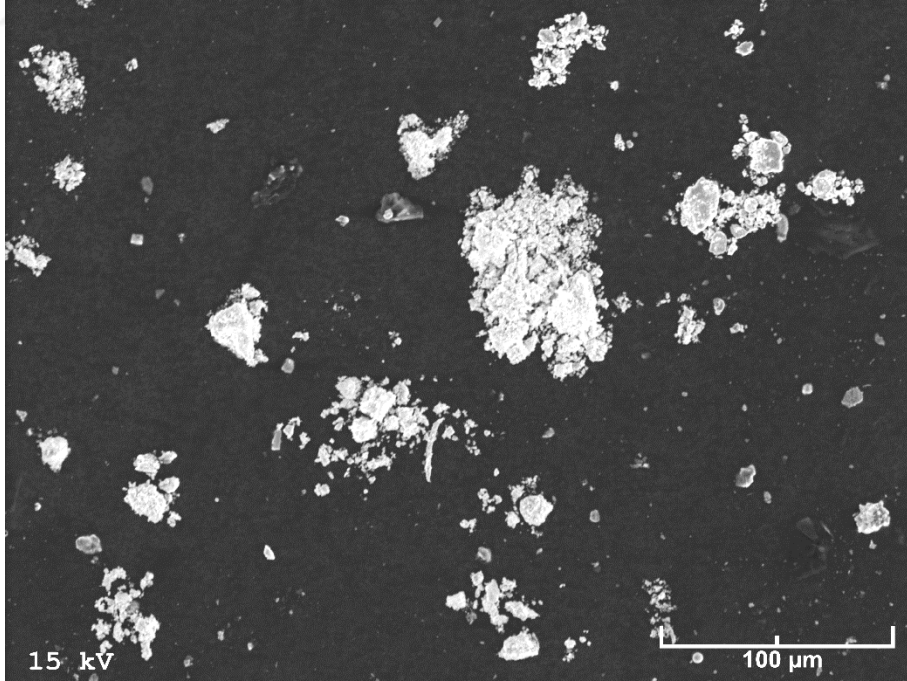
Şekil 173. Yağsız durumda 1 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



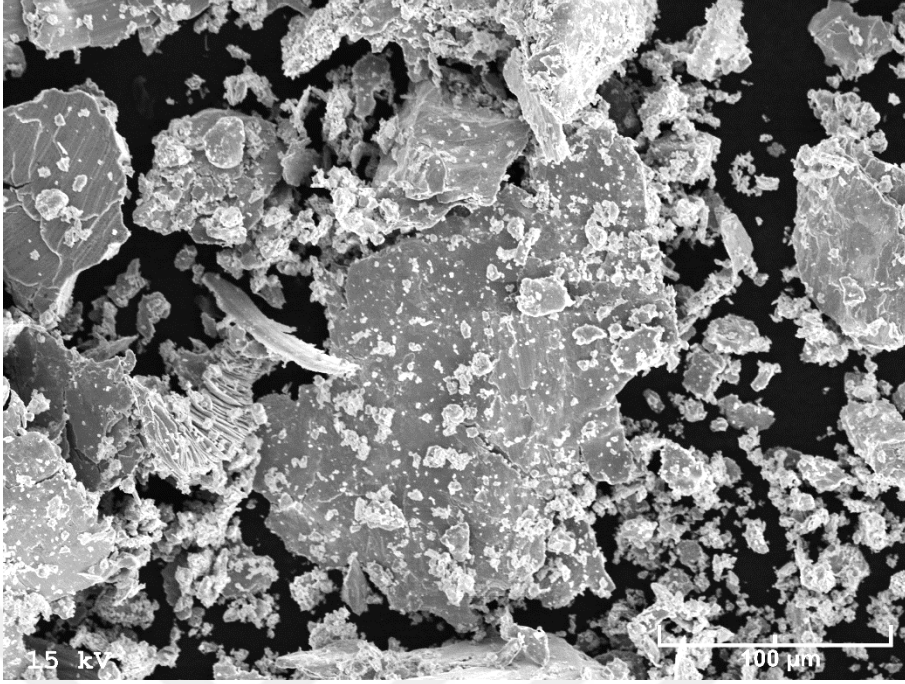
Şekil 174. Yağsız durumda 5 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



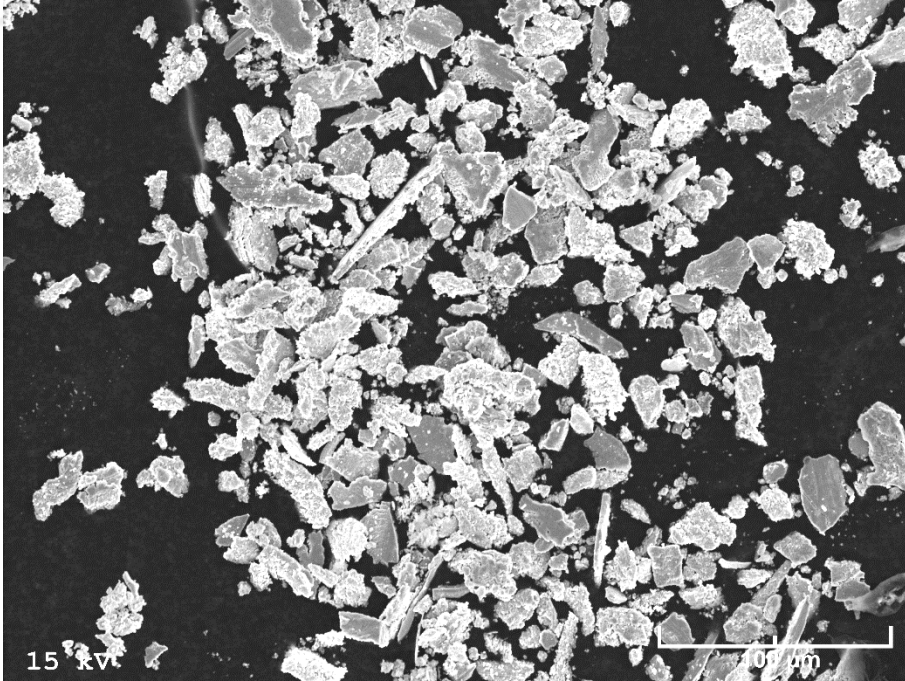
Şekil 175. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



Şekil 176. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



Şekil 177. Yağsız durumda 0,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü



Şekil 178. Yağsız durumda 2,5 m/s'lik kayma hızı ve 2 MPa'lık basınç altında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımına ait aşınma parçacıklarının SEM görüntüsü

4. TARTIŞMA

Bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda bir sıra dâhilinde ele alınarak bilimsel ilkelerin ışığı altında tartışılmaktadır.

4.1. Metalografik İncelemelerden Elde Edilen Bulguların Tartışılması

İkili Zn-30Al alaşımının içyapısının çinkoca zengin η ve β fazları ile birlikte β fazının dönüşüm ürünü olan $\alpha + \eta$ fazlarından oluştuğu görüldü, Şekil 9,10. Bakır içeren üçlü Zn-30Al-Cu alaşımlarının içyapılarının ikili alaşımın içyapısından pek farklı olmadığı, ancak % 2'den daha yüksek oranlarda bakır içeren alaşımların içyapılarında ϵ (CuZn_4) fazının oluştuğu gözlemlendi, Şekil 11-14. Bakır oranı arttıkça ϵ fazının boyut ve hacimsel oranının arttığı görüldü. Bu gözlem bakırın β fazı içerisindeki çözünme durumuna göre açıklanabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bakırın bu alaşımların matrisini oluşturan β fazı içerisindeki en yüksek çözünürlüğünün % 2-3 dolayında olduğu belirlenmiştir. Bu durum ϵ fazının, β fazı içerisinde çözünemeyen bakırın çinko ile reaksiyona girmesi sonucu oluştuğunu göstermektedir [42,43,90,91]. Bu nedenle bakır oranı arttıkça ϵ fazının boyut ve hacimsel oranının artması beklenir.

Silisyum içeren alaşımların içyapılarında ise β , α , η ve ϵ fazlarının yanı sıra silisyum parçacıklarının yer aldığı görüldü, Şekil 15-17. Silisyum parçacıklarının % 3'ten daha düşük oranlarda silisyum içeren alaşımların içyapılarında homojen bir dağılım sergiledikleri, bu değerden daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımlarda ise irileşerek belirli bölgelerde kümeleştikleri görüldü. Yapılan EDS analizleri söz konusu parçacıkların birincil silisyum fazına ait olduklarını gösterdi. Bu parçacıkların % 3'ten daha yüksek oranda silisyum içeren alaşımlar içerisinde bazı bölgelerde kümelenmeleri bunların yoğunluğuna dayandırılarak açıklanabilir. Yoğunluğu düşük olan silisyum parçacıkları sıvı metal içerisinde yüzeye doğru hareket ederken birbirlerine temas ederek bir araya toplanabilirler. Bu nedenle söz konusu parçacıklar alaşım yapısı içerisinde kümelenmiş bir görünüm sergilerler [40,65].

4.2. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulguların Tartışılması

Bakır oranı arttıkça Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının sertlik, çekme dayanımı ve basma dayanımının arttığı; kopma uzaması, darbe direnci ve yoğunluk değerlerinin ise azaldığı görüldü, Şekil 20. Söz konusu alaşımların kalite indeksi değerlerinin % 1 bakır oranında en yüksek seviyeye ulaştığı, bakır oranının % 3 değerinin üzerine çıkması durumunda ise azaldığı belirlendi. Söz konusu değişimler katı çözeltiler sertleşmesi ve ϵ fazının oluşumuna dayandırılarak açıklanabilir. Bilindiği gibi bakırın β fazı içerisindeki en yüksek çözünürlüğü % 3 dolayındadır. Bu değerden daha yüksek oranlarda bakır içeren alaşımlarda çözünmeyen fazlalık bakır çinko ile tepkimeye girerek sert ve gevrek bir intermetalik bileşik olan ϵ fazı oluşturmaktadır. Buna göre % 3 oranına kadar bakır içeren alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerindeki artış katı çözeltiler sertleşmesinden, bu değerden daha yüksek oranlarda bakır içeren alaşımların söz konusu değerlerinde meydana gelen artış ise katı çözeltiler sertleşmesinin yanı sıra sert ve gevrek ϵ fazının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Alaşımların kopma uzaması ve darbe direnci gibi süneklik değerlerinin artan bakır oranıyla azalması da yine aynı şekilde % 3 oranına kadar bakır içeren alaşımlarda katı çözeltiler sertleşmesinden, bu değerden daha yüksek oranlarda bakır içeren alaşımlarda ise katı çözeltiler sertleşmesinin yanı sıra yapıda oluşan ϵ fazının bu alaşımları gevrekleştirmesinden kaynaklandığı söylenebilir [42,43,90,91].

Silisyum oranı arttıkça Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sertliğinin sürekli arttığı, kopma uzaması, darbe direnci ve kalite indeksi değerlerinin sürekli azaldığı, çekme ve basma dayanımlarının ise % 1 silisyum oranından sonra hızlı bir şekilde azaldığı gözlemlendi, Şekil 21. Bu bulgular sert ve gevrek silisyum parçacıklarının etkilerine dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, % 1 oranına kadar silisyum içeren alaşımlarda küçük boyutlu veya ince silisyum parçacıkları oluşmakta ve bu parçacıklar yapı içerisinde nispeten homojen bir dağılım sergilemektedir, Şekil 15. Bu durum % 1 oranına kadar silisyum içeren alaşımlarda dispersiyon sertleşmesine yol açarak bunların sertlik ve mukavemet değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu değerden (% 1) daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımlarda ise daha büyük boyutlu ve keskin köşeli silisyum parçacıkları oluşmakta ve bunlar farklı yerlerde toplanmaktadır, Şekil 16,17. Bu durumda hem silisyum parçacıkları arasındaki ortalama mesafe hem de silisyum fazının gevreklik etkisi artmaktadır. Bu nedenle % 1'den daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımların çekme ve basma dayanımları ile süneklik değerleri artan silisyum oranı ile azalmaktadır. Bu sonuçlara dayanarak % 1 oranına kadar

silisyum içeren alaşımların çekme ve basma dayanımlarında meydana gelen artışın dispersiyon sertleşmesinden, %1 den daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımların söz konusu değerlerinde meydana gelen azalmanın ise dispersiyon sertleşmesinin etkisinin azalıp silisyum parçacıklarının çentik etkisi ile gevrekliğin artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Benzer şekilde söz konusu alaşımların kopma uzaması ve darbe direnci değerlerinin artan silisyum oranı ile azalması da sert ve gevrek silisyum parçacıklarının çentik etkisinden kaynaklanmaktadır. Benzer sonuçların silisyum içeren çinko ve alüminyum esaslı farklı alaşımlarla yapılan çalışmalardan da elde edildiği görülmüştür [40,46,65,76,78].

4.3. Aşınma Deneylerinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması

2 MPa'lık basınç ve 1 m/s'lik kayma hızında yağsız aşınma deneyine tabi tutulan üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu ve dörtlü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı değerlerinin alınan yol ile gittikçe azalan bir hızla artarak kararlı bir duruma ulaştığı gözlemlendi, Şekil 22. Bu durum, alınan yol arttıkça sürtünen yüzeylerin birbirine alışmasından ve aşınma yüzeylerinde oksit tabakalarının oluşmasından kaynaklanmış olabilir. Bilindiği gibi aşınma yüzeylerinin pürüzlülüğü azaldıkça sürtünme kuvveti azalır ve ayrıca yüzeyde oluşan oksit tabakaları kaymayı kolaylaştırır [78,92,93]. Alaşımların çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin alınan yol ile sürekli arttığı görüldü, Şekil 23,24. Önceki çalışmalarda da gözlenen bu durum söz konusu değerlerin alınan yol arttıkça hacim kaybı ve çalışma sıcaklığı değerlerinin birikimli olarak artmasından kaynaklanmaktadır [78,93]. Üçlü alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artan bakır oranıyla azalıp % 3 değerinde en düşük seviyeye ulaştığı, bakır oranının % 3'ü geçmesi durumunda ise bu değerlerin arttıkları gözlemlendi, Şekil 25-27. Bu sonuçlar alaşımların içyapılarına ve mekanik özelliklerine dayandırılarak açıklanabilir. Yukarıda belirtildiği gibi söz konusu alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve basma dayanımı değerleri artan bakır oranı ile artmaktadır. Ayrıca bakır oranının % 3'ü geçmesi durumunda içyapıda sert ve gevrek ϵ fazı oluşmakta ve bakır oranı arttıkça ϵ fazının yapı içerisindeki oranı artmaktadır. Dörtlü alaşımlarda ise bu değerler % 0,5 silisyum değerinde en düşük seviyeye ulaşmış olup daha sonra artan silisyum oranıyla birlikte arttıkları görüldü, Şekil 28-30. Söz konusu değerlerin artışı, alaşımların içyapısında bulunan sert ve gevrek silisyum parçacıklarının hem sayı hem de hacimsel olarak artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Aşınan malzemelerin sertlik ve mukavemeti arttıkça sürtünme katsayısı ve aşınma hacminin azaldığı

bilinmektedir [21,28,37-41,46]. Diğer taraftan malzemelerin çalışma sıcaklıklarının artan sürtünme katsayısı ile arttığı bilinmektedir [78,93]. Bu nedenlerden dolayı söz konusu alaşımların sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerlerinin üçlü alaşımlarda % 3 Cu dördümlü alaşımlarda ise % 0,5 Si oranına kadar artan bakır ve silisyum oranı ile artması, bakır ve silisyum oranının bu seviyenin üzerine çıkması durumunda ise azalması beklenir.

Üçlü ve dördümlü alaşımlar içerisinde en düşük sürtünme katsayısı değerlerini sırasıyla Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının sergilediği gözlemlendi, Şekil 22,25,28 Hacim kaybı değerleri karşılaştırıldığında silisyum içeren dördümlü alaşımın daha düşük hacim kaybı değerlerine sahip olduğu yani daha yüksek aşınma direnci sergilediği görülmüştür, Şekil 24,27,30. Bunun sebebi olarak dördümlü alaşımın içerisinde yer alan silisyum parçacıkları gösterilebilir. Şöyle ki, alaşımın içyapısında bulunan silisyum parçacıklarının yük taşıma görevi yaptıkları, bunun sonucu olarak da silisyum içeren alaşımlarda daha düşük hacim kaybı değerleri elde edildiği söylenebilir.

Yağsız çalışma durumunda basınç arttıkça üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu ve dördümlü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise arttığı gözlemlendi, Şekil 31-39. Sürtünme katsayılarının artan basınç ile azalmaları alaşımların yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakalarına dayandırılarak açıklanabilir. Kuru çalışma durumunda sürtünen yüzeylerdeki pürüzlerin zamanla azaldığı ve aşınan malzemenin yüzeyinde nispeten düzgün bir sıvanmış bölge oluştuğu bilinmektedir [92]. Ayrıca, kuru sürtünme durumunda çinko esaslı alaşımların yüzeylerinde çinko oksit tabakası oluşmaktadır ve basınç arttıkça bu tabakaların oluşum hızı ve kalınlıkları artmaktadır [47,78,93,94]. Oluşan bu tabakalar kaymayı kolaylaştırarak söz konusu alaşımların sürtünme katsayılarının azalmasına yol açmaktadır [47,78,93,94]. Bu nedenlerden dolayı söz konusu alaşımların sürtünme katsayıları artan basınç ile azalmaktadır. Söz konusu alaşımların hacim kaybı ve çalışma sıcaklıklarının artan basınç ile artması ise temas alanı ve yüzey tabakasının kalınlığına göre açıklanabilir. Bilindiği gibi basınç arttıkça yüzeylerin temas alanı, yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti ve aşınan malzeme yüzeyinde oluşan sert ve gevrek sıvama tabakasının kalınlığı artmaktadır [78,92]. Temas alanı ve sürtünme kuvvetinin artması sürtünme ısısının, yüzeyde oluşan sert ve gevrek tabakanın kalınlığının artması da kırılma nedeniyle yüzeyden kopan aşınma parçacıklarının sayı ve büyüklüğünün artmasına yol açmaktadır. Sürtünme ısısının artması çalışma sıcaklığının artması, aşınma parçacıklarının sayı ve büyüklüklerinin artması da hacim

kaybının artması sonucunu doğurur. Bu nedenlerden dolayı alaşımların çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri artan basınç ile artış gösterir.

Yağsız çalışma durumunda üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu ve dördü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin kayma hızı ile hemen hemen doğru orantılı olarak arttıkları gözlemlendi, Şekil 40-48. Sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığı değerlerinin artması sürtünme kuvvetinin, hacim kaybı değerlerinin artması ise sürtünme ve merkezkaç kuvvetlerinin artmasına dayandırılarak açıklanabilir. Bilindiği gibi kayma hızı arttıkça sürtünme kuvveti ve ortaya çıkan sürtünme ısı artmakta ancak test süresi kısaldığından bu ısının uzaklaşması için gereken süre azalmaktadır [92]. Bu durum numuneden diske geçen ısı miktarının azalmasına ve dolayısıyla da numune sıcaklığının giderek artmasına neden olmaktadır. Artan kayma hızı ile merkezkaç kuvvetinin artması disk yüzeyinden daha fazla aşınma parçacığının uzaklaşmasına ve dolayısıyla aşınan numune yüzeyine sıvıyan parçacık miktarının azalmasına neden olur. Bu nedenle alaşımlarda aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kaybında artış görülür. Hacim kaybına ait üç boyutlu grafikler incelendiğinde üçlü ve dördü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncini sırasıyla Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının sergilediği görüldü, Şekil 45,48.

Yapılan korelasyonlar sonucunda üçlü ve dördü alaşımların hacim kaybı, sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığı değerleri ile bakır veya silisyum oranı, alınan yol, basınç ve kayma hızı arasındaki ilişkileri gösteren ampirik bağıntılar elde edilmiştir. Söz konusu bağıntılar 1-48 numaralı formüller ile gösterilmiştir. Bu bağıntılarda yer alan ΔV hacim kaybını [mm^3], μ sürtünme katsayısını, T çalışma sıcaklığını [$^{\circ}\text{C}$], Cu bakır oranını [% ağı.], Si silisyum oranını [% ağı.], d alınan yolu [m], p basıncı [MPa], ve s kayma hızını [m/s] ifade etmektedir. Söz konusu ampirik bağıntılar aşağıda verilmiştir:

Üçlü ve dördü alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve alınan yol arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.2549 - 0.0443\text{Cu} + 0.0003d + 0.00\text{Cu}^2 \quad (1)$$

$$T = 44.9958 - 8.8498\text{Cu} + 0.0436d + 1.0614\text{Cu}^2 \quad (2)$$

$$\Delta V = 1.0330 - 2.7806\text{Cu} + 0.006d + 0.5\text{Cu}^2 \quad (3)$$

$$\mu = 0.1981 + 0.0003\text{Si} + 0.0711d - 8.169\text{Si}^2 - 0.0102d^2 \quad (4)$$

$$T = 19.9270 + 2.5853\text{Si} + 0.0375d - 0.5064\text{Si}^2 - 4.553d^2 \quad (5)$$

$$\Delta V = -1.6774 - 1.1583\text{Si} + 0.0065d + 0.2841\text{Si}^2 \quad (6)$$

Alaşımın sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.46 - 0.0084Cu - 0.017p + 0.0011Cu^2 - 0.0006p^2 \quad (7)$$

$$T = 34.74 - 6.6Cu + 28.8p + 0.89Cu^2 - 2.39p^2 \quad (8)$$

$$\Delta V = 20.81 - 2.42Cu + 3.66p + 0.34(Cu^2 - p^2) \quad (9)$$

$$\mu = 0.534 - 0.072Si - 0.054p + 0.008Si^2 - 0.002p^2 \quad (10)$$

$$T = -6,11 + 17,22Si + 40,9p - 2,486Si^2 - 2,762p^2 \quad (11)$$

$$\Delta V = 0,5 + 0,67Si + 8,835p - 0,144Si^2 - 0,711p^2 \quad (12)$$

Alaşımın sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve kayma hızı arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.35 - 0.015Cu - 0.1s + 0.0023Cu^2 - 0.017s^2 \quad (13)$$

$$T = 34.26 - 6.6Cu + 54.8s + 1.04Cu^2 - 6.94s^2 \quad (14)$$

$$\Delta V = 21.75 - 1.03Cu + 4.43s + 0.1Cu^2 - 0.72s^2 \quad (15)$$

$$\mu = 0.423 - 0.019Si - 0.12s - 0.001Si^2 - 0.02s^2 \quad (16)$$

$$T = 19,053 + 5,594Si + 65,822s - 0,865Si^2 + 0,685s^2 \quad (17)$$

$$\Delta V = 0,445 + 3,736Si + 19,858s - 0,654Si^2 - 2,01s^2 \quad (18)$$

6 MPa'lık basınç, 2 m/s'lik kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik yağ debisinde 108 km'lik yol tamamlanıncaya kadar aşınma deneyine tabi tutulan üçlü ve dördü alışımların sürtünme katsayısı değerlerinin deneyin başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde azalarak, sıcaklık değerlerinin ise hızla artarak ve yaklaşık 20 km'lik yol sonunda sabit değerlere ulaştıkları görüldü, Şekil 49,50,52,53,55,56. Hacim kaybı değerlerinin ise alınan yol ile başlangıçta hızlı bir şekilde arttığı daha sonra bu artışın yavaşlayarak devam ettiği görüldü, Şekil 51,54,57. Aşınma deneylerinin başlangıcında sürtünme katsayısı değerlerinin hızlı bir şekilde azalması statik sürtünmeden yağlı sürtünmeye geçilmesinden, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise hızlı bir şekilde artması rodaj devresinde yeterli kalınlıkta yağ filmi oluşmadığı için metal-metal temasının meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır [37,92,93]. Deney devam ettikçe artan yağ filmi kalınlığı yüzeyleri birbirinden ayırmaya yetecek seviyeye ulaşıncaya da söz konusu ölçüm sonuçları sabit değerlere ulaşmaktadırlar.

2 m/s'lik sabit kayma hızı ve 1 cm³/saat'lik sabit yağ debisinde aşınma deneylerine tabi tutulan üçlü ve dördü alışımların sürtünme katsayılarının artan basınç ile azaldığı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin ise arttığı görüldü, Şekil 58-66. Bu durum, söz

konusu koşullarda hidrodinamik yağlamanın olduğunu göstermektedir. Hidrodinamik yağlama esnasında sürtünme katsayısının artan basınçla azaldığı bilinmektedir [95]. Öte yandan basınç arttıkça yağ filmi kalınlığının azalması yağ molekülleri arasındaki sürtünmeyi de azaltacağından bu durum sürtünme katsayısının azalmasına yol açtığı söylenebilir. Çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artması ise artan basınç ile rodaj devresinde meydana gelen metal-metal teması, sürtünme kuvveti ve sürtünme ısısının artmasından kaynaklandığı söylenebilir.

6 MPa'lık sabit basınç ve 1 cm³/saat'lik sabit yağ debisinde aşınma deneylerine tabi tutulan alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artan kayma hızıyla arttığı ve bu artışın özellikle 2 m/s'den daha yüksek kayma hızlarında daha belirgin bir hale geldiği görüldü, Şekil 67-75. Bu durum yağa etki eden merkezkaç kuvvetine, yağda meydana gelen çalkalanmaya ve yağın viskozitesinin değişmesine göre açıklanabilir. Kayma hızı arttıkça disk ile numune arasındaki yağa etki eden merkezkaç kuvveti de artar. Merkezkaç kuvvetinin artması disk yüzeyinden daha fazla yağın savrulmasına ve yağ içerisinde daha fazla sürtünmenin meydana gelmesine yol açar. Bu savrulma nedeniyle disk ile numune yüzeyi arasındaki yağ miktarı veya yağ filmi kalınlığında azalma meydana gelir. Bu durum çalışma sırasında ortaya çıkan sürtünme ısısının yağ ile yeterince uzaklaştırılmamasına yol açar. Ayrıca, kayma hızı arttıkça sürtünme ısısının uzaklaştırılması yeterli zamanın olmaması nedeniyle zorlaşır. Bu nedenlerden dolayı kayma hızı arttıkça alaşımların çalışma sıcaklıklarında artış meydana gelir. Çalışma sıcaklığının artması yağın viskozitesini düşüreceğinden yağın kendi içerisindeki sürtünme azalacaktır. Ancak bu durum yağın diskin yüzeyinden savrulmasını kolaylaştıracağından yağ filmi kalınlığı değişkenlik gösterecek ve sonuç olarak sürtünme katsayısının artmasına neden olabilir. Hacim kaybında meydana gelen artış ise rodaj devresine bağlı olarak açıklanabilir. Her ne kadar kayma hızının artması rodaj döneminin kısılmasına neden olsa da yağda meydana gelen savrulmanın artması yeterli yağ filmi kalınlığının oluşmasını geciktirir. Bu durum yüzeyler arasındaki metal-metal temasının daha uzun bir süre devam etmesine ve hacim kaybının artmasına yol açabilir.

Üçlü ve dörtlü alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve alınan yol arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.0631 - 0.0085Cu - 0.0005d - 0.0011Cu^2 \quad (19)$$

$$T = 49.7754 - 4.8237Cu + 0.0248d + 0.839Cu^2 \quad (20)$$

$$\Delta V = 0.2593 - 0.3401Cu + 0.0275d + 0.0719Cu^2 \quad (21)$$

$$\mu = 0.0668 + 0.0168Si - 0.0004d - 0.0026Si^2 \quad (22)$$

$$T = 22.8679 + 18.5303Si + 0.8055d - 2.5802Si^2 - 0.0059d^2 \quad (23)$$

$$\Delta V = -0.1107 + 0.1005Si + 0.0284d - 0.0086Si^2 - 0.0002d^2 \quad (24)$$

Alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.135 - 0.01Cu - 0.023p + 0.002(Cu^2 + p^2) \quad (25)$$

$$T = 30,534 - 1,1Cu + 4,98p + 0,154Cu^2 - 0,276p^2 \quad (26)$$

$$\Delta V = 0,479 - 0,212Cu - 0,164p + 0,04(Cu^2 + p^2) \quad (27)$$

$$\mu = 0.149 + 0.034Si - 0.033p - 0,005Si^2 + 0,002p^2 \quad (28)$$

$$T = 14,623 + 18,16Si + 7,497p - 2,661Si^2 - 0,302p^2 \quad (29)$$

$$\Delta V = 0,106 + 0,073Si - 0,041p - 0,005Si^2 + 0,022p^2 \quad (30)$$

Alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile bakır veya silisyum oranı ve kayma hızı arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.046 - 0.007Cu - 0.03p + 0.001Cu^2 + 0,003s^2 \quad (31)$$

$$T = 45,855 - 3,908Cu - 2,464s + 0,686Cu^2 + 3,356s^2 \quad (32)$$

$$\Delta V = -0,1 - 0,105Cu + 0,273s + 0,029(Cu^2 + s^2) \quad (33)$$

$$\mu = -0,006 + 0,019Si + 0,023s - 0,002Si^2 \quad (34)$$

$$T = 17,94 + 16,195Si + 11,545s - 2,282Si^2 + 1,924s^2 \quad (35)$$

$$\Delta V = -0,129 + 0,284Si + 0,062s - 0,042Si^2 + 0,108s^2 \quad (36)$$

6 MPa'lık sabit basınç ve 2 m/s'lik sabit kayma hızında aşınma deneylerine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri yağ debisi arttıkça azalmakta, yağ debisinin 2,5 cm³/saat değerinin üzerine çıkması durumunda ise bu değerler artışa geçmektedir, Şekil 76-78. Bu durumun ilk başta artan yağ debisi ile yağ filmi kalınlığının artarak metal-metal temasının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yüksek yağ debisi değerlerinde ise disk yüzeyi ve numune arasındaki yağda çalkalanma meydana gelmekte ve yağ filmi kalınlığı değişkenlik göstermektedir ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerinin arttığı söylenebilir. Yağ filmi kalınlığının kararlı olmaması, sürtünme ısısının tam uzaklaştırılmamasına yol açtığı ve bunun sonucunda da çalışma sıcaklığı değerlerinin artmasına neden olduğu söylenebilir. Benzer şekilde değişkenlik gösteren yağ filmi kalınlığı sebebiyle metal-metal teması tam anlamıyla ortadan kalkmadığı için de hacim kaybı değerleri arttığı söylenebilir.

Üçlü ve dördü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncine sahip olan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının aşınma özelliklerinin basınç ve kayma hızı ile nasıl değiştiklerini görmek için yapılan deneylerden elde edilen veriler ile oluşturulan 3 boyutlu grafikler incelendiğinde sürtünme katsayısının yüksek basınç ve düşük kayma hızında en düşük; çalışma sıcaklığı ve hacim kaybının ise düşük basınç ve kayma hızında en düşük değerlerini aldıkları görüldü, Şekil 79-90. Bu durum basınç ve kayma hızının söz konusu değerler üzerindeki önceden belirtilen etkilerini doğrular niteliktedir.

Zn-30Al-3Cu alaşımının yağsız çalışma durumundaki sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile kayma hızı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.3364 + 0.1347s - 0.0211p - 0.0304s^2 + 0.0001p^2 \quad (37)$$

$$T = -3.072 + 44.8836s + 6.19p - 1.756s^2 + 1.9229p^2 \quad (38)$$

$$\Delta V = 4.5640 + 9.0394s + 3.6755p - 0.11s^2 - 0.14p^2 \quad (39)$$

Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının yağsız çalışma durumundaki sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile kayma hızı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.3525 + 0.1432s - 0.034p - 0.024s^2 + 0.003p^2 \quad (40)$$

$$T = 0.6950 - 32.746s + 28.004p + 46.94s^2 - 0,9411p^2 \quad (41)$$

$$\Delta V = -4,613 + 15,137s - 0,454p - 1,816s^2 + 0,8614p^2 \quad (42)$$

Zn-30Al-3Cu alaşımının yağlı çalışma durumundaki sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile kayma hızı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.0612 - 0.0036s - 0.0086p + 0.0057s^2 + 0.0004p^2 \quad (43)$$

$$T = 22.6949 - 2.8139s + 3.5563p + 2.7243s^2 - 0.0952p^2 \quad (44)$$

$$\Delta V = -0.0114 + 0.1653s - 0.0757p - 0.0116s^2 + 0.0163sp^2 \quad (45)$$

Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımının yağlı çalışma durumundaki sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ile kayma hızı ve basınç arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar:

$$\mu = 0.1071 + 0.0199s - 0.0287p + 0.0011s^2 + 0.0021p^2 \quad (46)$$

$$T = 21.7723 - 3.2822s + 2.227p + 4.9529s^2 - 0.0273p^2 \quad (47)$$

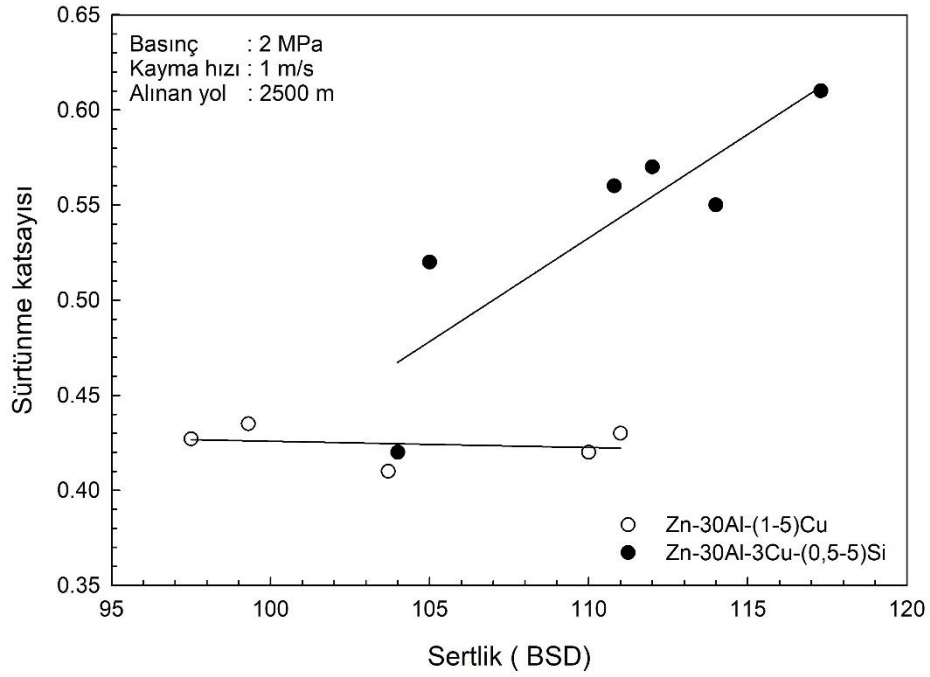
$$\Delta V = 0.3988 - 0.0615s - 0.1937p + 0.056s^2 + 0.0308p^2 \quad (48)$$

Yağsız ve yağlı durumlarda aşınma deneyine tabi tutulan SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından elde edilen sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin

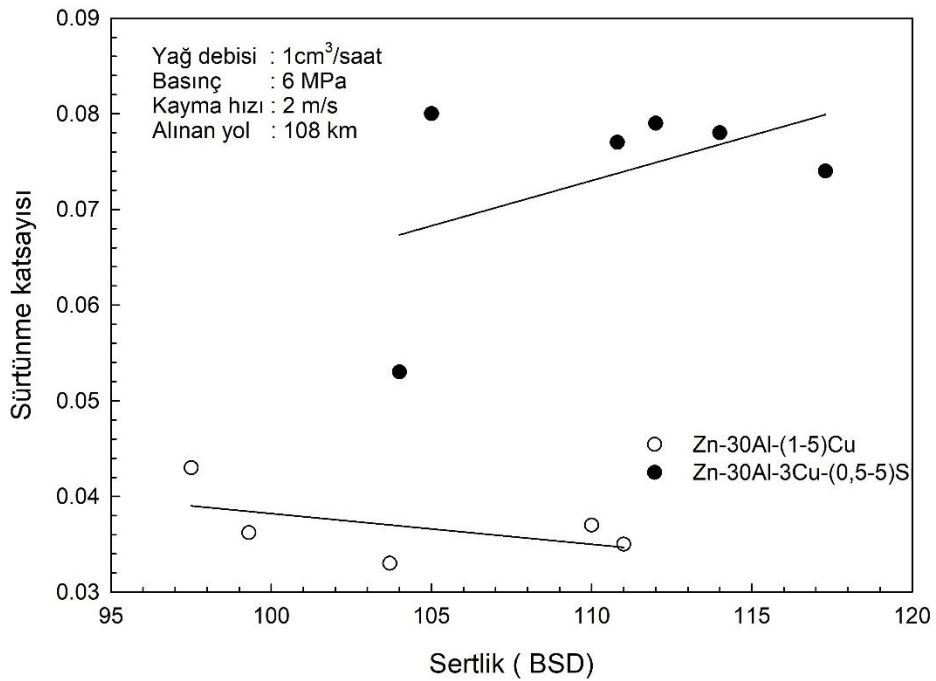
üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu ve dörtlü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının söz konusu değerlerinden çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum alaşımların içyapıları, sertlik ve mukavemet değerleri ve aşınma davranışına göre açıklanabilir. Çinko esaslı alaşımların kaymayı kolaylaştıran yumuşak fazlar ile yük taşıma görevi nispeten sert fazlardan oluşan ideal bir içyapıya sahip oldukları bilinmektedir. Ayrıca bu alaşımların yüzeylerinde sürtünme nedeniyle oluşan çinko ve alüminyum oksit filmleri de kaymayı kolaylaştırıp aşınma direncini artırmaktadır. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarında etkin aşınma mekanizmasının abrazyon olduğu, bu durumun da deney esnasında yüzeyden kopan sert ve gevrek δ fazının numune yüzeyini kazımasından kaynaklandığı söylenebilir. Basınç ve kayma hızının artması abrasiv etkiyi arttıracığından bunun sonucunda sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerlerinin artmasına yol açmaktadır. Diğer taraftan üçlü ve dörtlü alaşımların SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmüştür, Tablo 7. Bütün bu nedenlerden dolayı bronzların çinko esaslı alaşımlara göre daha yüksek sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri sergilemeleri beklenir.

4.4. Alaşımların Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Korelasyonu

Yağsız ve yağlı durumlarda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 179-180'de verilmiştir. Bu grafikler üçlü alaşımların sürtünme katsayılarının sertlikle fazla değişmediğini, dörtlü alaşımların sürtünme katsayılarının ise önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Bu durum alaşımların içyapılarındaki sert ve gevrek ϵ fazı ve silisyum parçacıklarının dağılımı ile açıklanabilir. Şöyle ki, üçlü alaşımlardaki ϵ fazı genelde dendritlerarası bölgelerde yer alırken, dörtlü alaşımların içyapısındaki silisyum parçacıkları farklı bölgelerde kümelenerek düzensiz bir dağılım sergilemektedir. Bunun sonucunda nispeten homojen bir içyapıya sahip üçlü alaşımlarda sertlik değeri arttıkça sürtünme katsayısı çok az bir miktar azalmaktadır. Dörtlü alaşımlarda belirli yerlerde kümelenen silisyum parçacıkları ortalama sertliği artırmakta, ancak kaymayı zorlaştırarak sürtünme katsayısının artmasına yol açmaktadır.

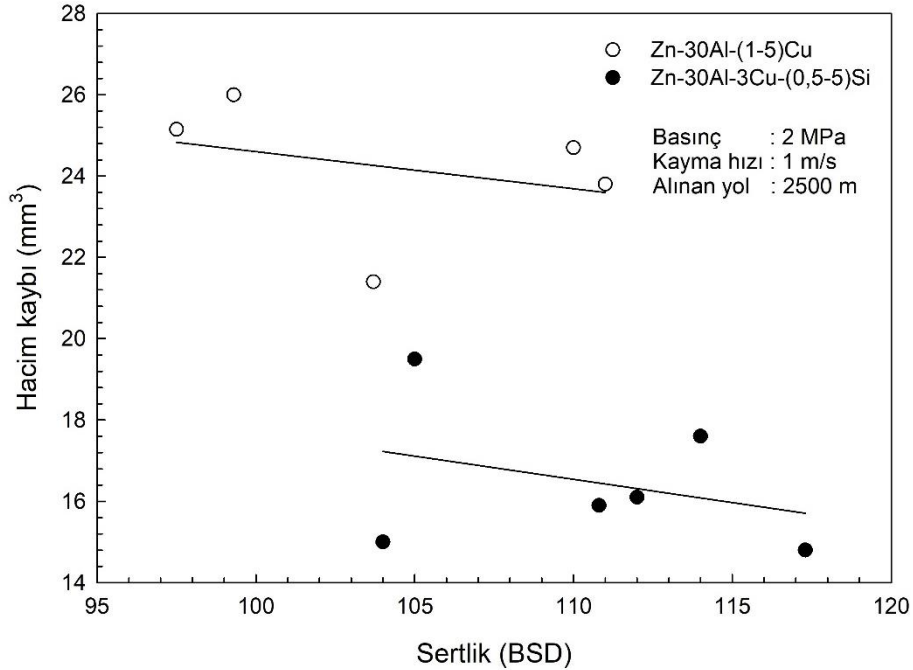


Şekil 179. Yağsız durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler

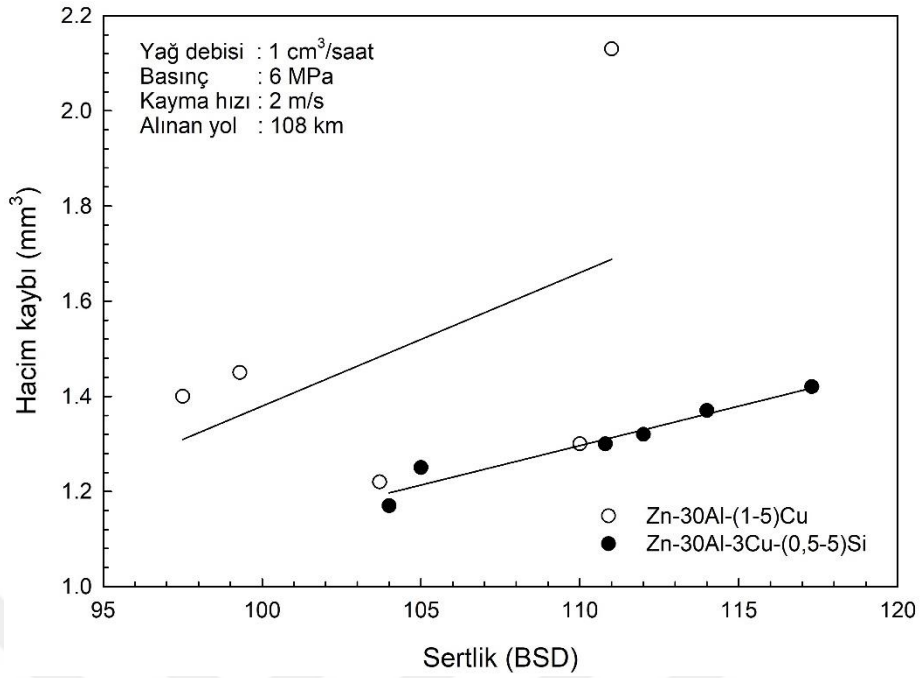


Şekil 180. Yağlı durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler

Yağsız durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının hacim kaybı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 181-182’de verilmiştir. Alaşımların hacim kaybı değerlerinin yağsız çalışma durumunda artan sertlik ile azaldığı, yağlı çalışma durumunda ise arttığı görüldü. Aşınma ile meydana gelen hacim kaybı, yüzeylerin sürtünmesinden kaynaklandığı için sürtünme kuvveti ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı azaldıkça hacim kaybının da azalması beklenir. Üçlü alaşımların sürtünme katsayılarının artan sertlikle birlikte azaldığı görüldü, Şekil 179. Buna göre üçlü alaşımlarda, sertlik arttıkça hacim kaybının azalması beklenir. Üçlü alaşımların çoğunun [Zn-30Al-(1-4)Cu] yağlı durumda da benzer bir aşınma davranışı sergiledikleri görüldü. Ancak Zn-30Al-5Cu alaşımının çok yüksek bir hacim kaybı değeri sergilemesi grafik üzerindeki doğrusal korelasyonun tersine çevrilmesine yol açmıştır, Şekil 182. Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan dördü alaşımların hacim kaybı değerlerinin artan sertlik ile artması bu alaşımların içyapısındaki silisyum parçacıklarının şekline, dağılım biçimine ve gevreklik etkisine dayandırılarak açıklanabilir. Yapı içerisinde belirli yerlerde toplanan sert, gevrek ve keskin köşeli silisyum parçacıkları alaşımın gevrekleşmesinin yanı sıra sürtünmenin artmasına yol açmaktadır [96]. Her iki etkinin de deney sırasında silisyum parçacıklarının numune yüzeyinden koparak hacim kaybının artmasına neden olduğu söylenebilir.

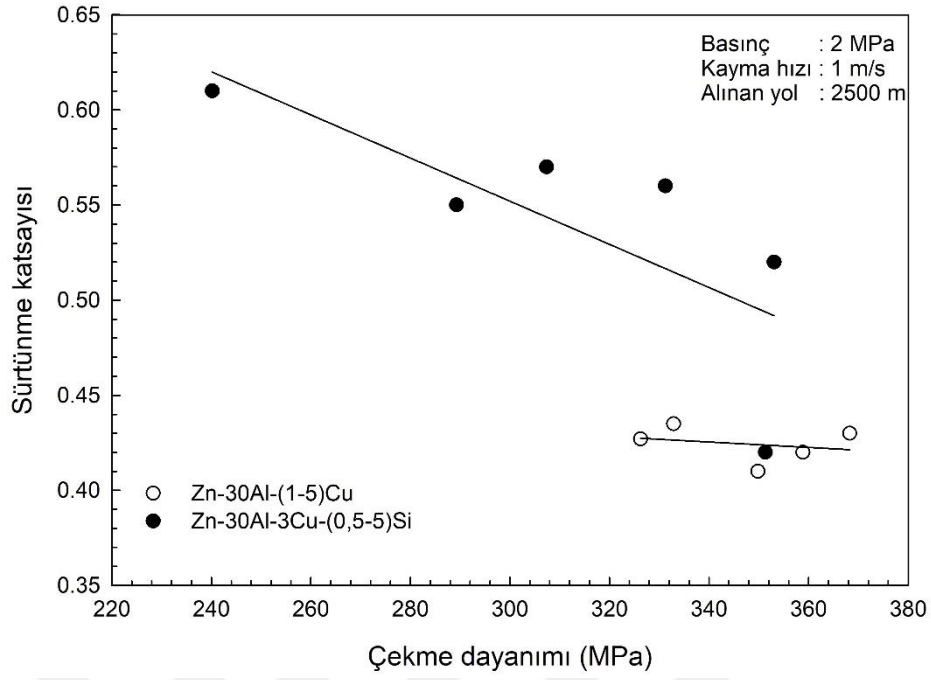


Şekil 181. Yağsız durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarında aşınma ile meydana gelen hacim kaybı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler

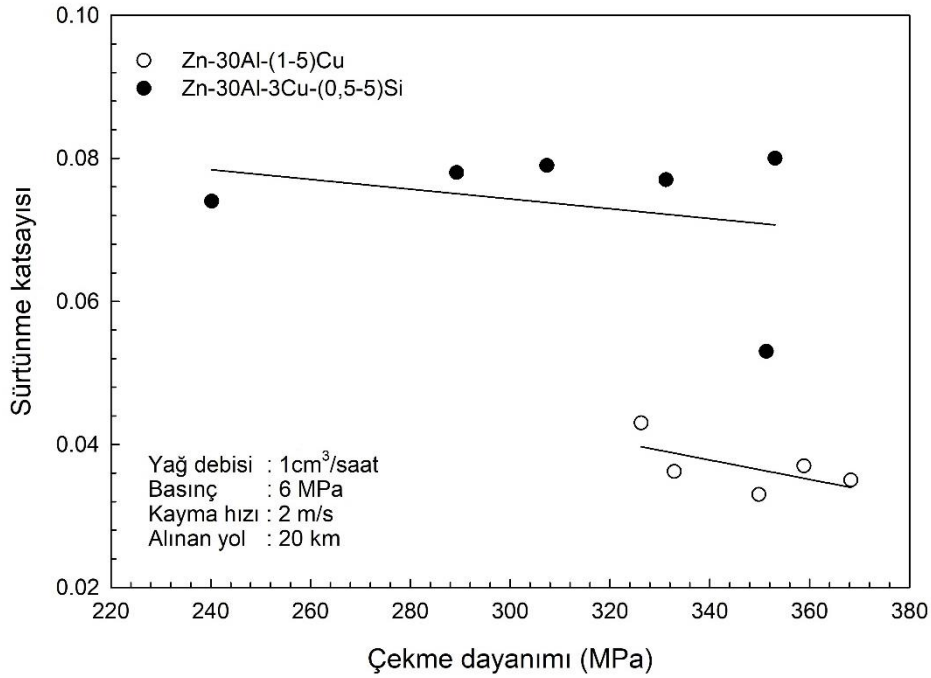


Şekil 182. Yağlı durumda deneye tabi tutulan Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarında aşınma ile meydana gelen hacim kaybı değerlerinin sertliğe göre değişimlerini gösteren grafikler

Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sürtünme katsayısı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 183-184'de verilmiştir. Bu grafiklere bakıldığında söz konusu alaşımların sürtünme katsayılarının hem yağlı hem de yağsız durumda artan çekme dayanımıyla azaldığı görülmektedir. Bu durum adezyon teorisine dayandırılarak açıklanabilir. Adezyon teorisine göre sürtünme katsayısı aşınan malzemelerin akma veya çekme dayanımı ile ters orantılıdır [97]. Başka bir deyişle aşınan malzemelerin akma veya çekme dayanımları arttıkça sürtünme katsayıları azalmaktadır. Bu nedenle söz konusu alaşımların çekme dayanımı arttıkça sürtünme katsayılarının azalması beklenir.

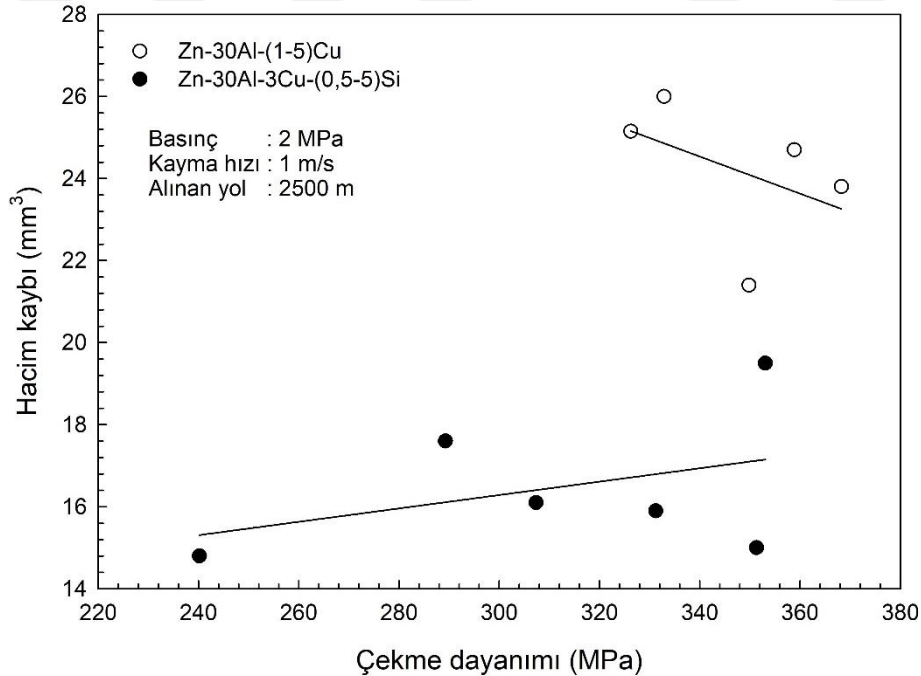


Şekil 183. Yağsız durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayılarının çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler

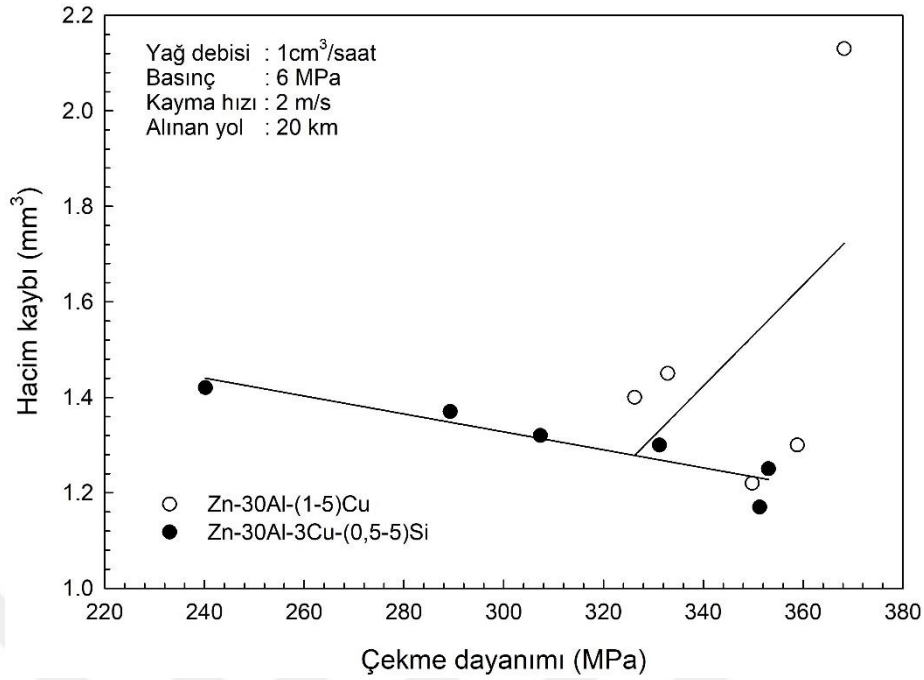


Şekil 184. Yağlı durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler

Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının hacim kaybı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 185-186'da verilmiştir. Yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan üçlü alaşımların hacim kaybı değerlerinin artan çekme dayanımı ile azalması, adezyon teorisinden yararlanılarak açıklanabilir. Adezyon teorisine göre akma dayanımı ve buna bağlı olarak çekme dayanımı arttıkça sürtünme katsayısı azalmaktadır [97]. Sürtünme katsayısının azalması sürtünme kuvvetinin azalmasından kaynaklanır. Aşınma ile meydana gelen hacim kaybı yüzeylerin sürtünmesinden kaynaklandığı için sürtünme kuvvetinin azalması hacim kaybının azalmasına yol açar. Yağsız durumda deneye tabi tutulan dördü alaşımların hacim kaybı değerleri ise artan çekme dayanımı ile artmaktadır. Bu durum daha önceden belirtildiği gibi silisyum parçacıklarının bu alaşımların yapısal, mekanik ve aşınma davranışları üzerindeki etkilerinden kaynaklanmaktadır [37,47,65,78]. Yağlı durumda deneye tabi tutulan dördü alaşımların hacim kaybı değerlerinin artan çekme dayanımı ile azalması ise, rodaj dönemindeki sürtünme katsayısının azalması ve çalışma sırasında oluşan yağ filminin metal-metal temasını azaltıp kaymayı kolaylaştırmasından kaynaklanmaktadır [37,92,93].



Şekil 185. Yağsız durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler



Şekil 186. Yağlı durumda aşınma deneyi gerçekleştirilen Zn-30Al-(0-5)Cu ve Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarından elde edilen hacim kaybı değerlerinin çekme dayanımına göre değişimlerini gösteren grafikler

4.5. Aşınma Numunelerinin Yüzey ve Yüzey Altı Bölgeler ile Aşınma Parçacıklarının İncelenmesinden Elde Edilen Bulguların Tartışılması

Yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan üçlü ve dördü Zn-30Al esaslı alaşımların aşınma yüzeylerinde sıvanmış bölgeler ile çiziklerin oluştuğu görüldü, Şekil 95-98 ve Şekil 103-106. Söz konusu alaşımların bakır ve silisyum oranı arttıkça sıvanmış bölgelerin azalıp çiziklerin genişlediği görüldü. Bu durum alaşımların içyapılarında bulunan sert ve gevrek ϵ fazına ve silisyum parçacıklarına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, bakır oranı arttıkça ϵ fazının hacimsel oranı artmakta, dördü alaşımlarda ise silisyum oranı arttıkça silisyum parçacıklarının hem sayısı hem de boyutları artmaktadır. Deney sırasında aşınan yüzeylerden kopan bu parçacıklar abrasif etki yaparak çiziklerin sayı ve genişliğinin artmasına neden olmaktadır. Basınç ve kayma hızının artmasıyla da sıvama tabakalarının kalınlığı artmakta ve aşınma izleri daha belirgin hale gelmektedir. Bu durum yukarıda sözü edilen abrasif etkinin yanı sıra basınç ve kayma hızının artmasıyla birlikte hacim kaybının artmasına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, basınç ve kayma hızı arttıkça aşınan malzeme miktarı artmaktadır [78,93]. Aşınan malzeme miktarının artması da yüzeye sıvanan

malzeme miktarının artmasına yol açmaktadır. Bu durum hem sıvama tabakası kalınlığının hem de yüzeydeki çizik sayısının artmasına neden olmaktadır.

SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinde ise çiziklerle birlikte pullanma ve soyulma şeklinde aşınma belirtilerine rastlanıldı, Şekil 99-102 ve Şekil 107-110. Basınç ve kayma hızı arttıkça çiziklerin derinliği artmakta ve pullanma ve soyulma ile meydana gelen aşınma belirtileri belirgin hale gelmektedir. Aşınma yüzeylerindeki çiziklerin artması bronzların çinko esaslı alaşımlara göre sert parçaları içine alma özelliğinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Pullanma ve soyulma belirtilerinin artması ise basınç ve kayma hızı arttıkça plastik deformasyon oranının artması nedeniyle yüzeyden kayma yönünde kopan ince parça veya tabaka şeklindeki malzeme miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinde derin çiziklerin yanı sıra sıvama belirtilerine de rastlandı. Bu durum bronzların aşınmasında abrazyonun yanı sıra adezyonun da önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Yağlı durumda deneye tabi tutulan üçlü ve dördü Zn-30Al esaslı alaşımlar ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri basınç ve kayma hızı arttıkça yüzeydeki sıvanmış bölgelerin daha belirgin hale geldiklerini göstermektedir, Şekil 111-118. Özellikle kayma hızının artması durumunda sıvama tabakası kalınlığının belirgin bir biçimde arttığı görülmektedir. Artan basınç ile aşınma izlerinin belirgin hale gelmesi, rodaj döneminde yüzeyden aşınma nedeniyle kopan malzeme miktarının artması ve bu malzemenin daha geniş bir yüzey alanına yayılarak sıvanmasından kaynaklanabilir. Kayma hızının artmasıyla sıvama tabakası kalınlığının artması da benzer şekilde rodaj devresinde aşınan malzeme miktarı ile yüzeye sıvanan malzeme miktarının artmasından kaynaklanmış olabilir. Yağ debisinin artması aşınma kaybının azalmasına yol açmakta, ancak yüksek yağ debisi değerlerinde yağda çalkalanma ve buna bağlı olarak yağ filminde kararsızlık meydana gelmekte ve bu durum aşınma izlerinin daha belirgin hale gelmesine yol açmaktadır.

Yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarına ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitleri üzerinde yapılan incelemelerde aşınma yüzeylerinin altında farklı mikroyapılara sahip tabaka ve bölgelerin yer aldığı gözlemlendi, Şekil 143-146 ve Şekil 151-154. Bu tabaka ve bölgelerin yüzeyden içeriye doğru ince taneli sıvama tabakası, yönlenme çizgileri içeren bölge ve herhangi bir yapısal dönüşüme uğramamış veya orijinal yapıya sahip bölge şeklinde sıralandıkları görüldü. Aşınma numunelerinden elde edilen mikrosertlik profilleri ince taneli sıvama

tabakasının, yönlenme çizgilerine sahip yüzey altı bölgesi ile orijinal alaşımdan çok daha sert olduğunu gösterdi, Şekil 159-162. İnce taneli sıvama tabakasının yüksek sertliğe sahip olması, deney esnasında yüzeyden kopan ve geri transfer yoluyla tekrar yüzeye yapışan aşınma parçacıklarının basınç ve sıcaklığın etkisiyle oksitlenmeleri ve deformasyon sertleşmesine maruz kalmalarından kaynaklanmaktadır [20,47,96,98-100]. Yönlenme çizgilerine sahip bölgenin sertliğinin düşük olması ise aşırı plastik deformasyona maruz kalan bu bölgenin sıcaklığın da etkisiyle yeniden kristalleşmesinden kaynaklanmış olabilir [20,47,96,98-100]. Bu tabakada görülen yönlenmelerin ise deney esnasında dönen diskin numunenin yüzeyine uyguladığı teğetsel kuvvet yüzünden meydana geldiği söylenebilir. Söz konusu tabaka ve bölgelerin kalınlığının artan basınç ve kayma hızıyla arttığı görüldü, Şekil 95-98 ve Şekil 103-106. Bu durum basınç ve kayma hızı arttıkça sıcaklık, plastik deformasyon oranı ve hacim kaybının artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yüzeyde oluşan sıvama tabakasının sertliğinin artan basınç ve kayma hızı ile arttığı gözlemlendi, Şekil 159-166. Bu durum yüzey tabakasında meydana gelen oksitlenme hızı ve deformasyon oranına göre açıklanabilir. Şöyle ki, basınç ve kayma hızı arttıkça numune yüzeyinin sıcaklığı ve numunede meydana gelen deformasyon oranı artmaktadır. Yüzey sıcaklığının artması oksitlenme hızının artmasına, deformasyon miktarının artması da deformasyon sertleşmesi etkisinin artmasına yol açmaktadır. Oksitlenme hızı ve deformasyon sertleşmesi etkisinin artan basınç ve kayma hızı ile artması nedeniyle yüzeyde oluşan sıvama tabakasının sertliği artmaktadır.

SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan numunelerinin kayma doğrultusuna paralel kesitleri üzerinde yapılan incelemelerde yüzeylerinin altında yönlenme çizgileri görüldü, Şekil 148-151 ve Şekil 155-158. Söz konusu yönlenme çizgileri basınç ve sürtünme kuvvetinin etkisi ile numune yüzeyinde meydana gelen plastik akış veya deformasyondan kaynaklanmaktadır [101,102].

Yağlı durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al esaslı üçlü ve dördü alaşımlar ile bronzlara ait numunelerin kayma doğrultusuna paralel kesitleri üzerinde yapılan incelemelerde yüzey altında herhangi bir yapısal değişimin meydana gelmediği görüldü, Şekil 167-170. Bu durum, aşınma numunelerinin yüzeylerinde oluşan basınç, kayma gerilmesi ve sıcaklığın alaşımlarda belirgin bir yapısal değişime yol açabilecek seviyeye ulaşmadıklarını göstermektedir.

Yağsız durumda farklı basınç ve kayma hızlarında aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarına ait numunelerden elde edilen aşınma

parçacıklarının farklı şekil ve büyüklüklere sahip oldukları görüldü, Şekil 171-178. Basıncın bu parçacıkların şekil ve boyutları üzerindeki etkisi tam olarak belirlenemezken, kayma hızı arttıkça parçacık büyüklüğünde az da olsa bir azalma meydana geldiği görüldü. Bu durum, kayma hızının artmasıyla numunelerden kopan büyük boyutlu aşınma parçacıklarının merkezkaç kuvvetinin etkisiyle diskin dışına doğru savrulmalarından kaynaklanmış olabilir. Ancak, bu hususların açıklığa kavuşturulabilmesi için bu aşımelerde oluşan aşınma parçacıklarının şekil ve büyüklüğü ile deney parametreleri arasındaki ilişkiler başka bir çalışmada daha ayrıntılı bir şekilde incelenebilir.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda çıkarılan özgün sonuçlar aşağıda bir sıra dâhilinde verilmiştir:

1. Zn-30Al alaşımının içyapısı çinkoca zengin η ve β fazları ile birlikte β fazının ötektoid dönüşüm ürünü olan $\alpha + \eta$ fazlarından oluşmaktadır.
2. Zn-30Al alaşımına bakır katılarak elde edilen üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının içyapıları ikili alaşımın içyapısıyla benzerlik göstermekte, ancak % 2'den daha yüksek oranlarda bakır içeren alaşımların içyapılarında ϵ (CuZn_4) fazı oluşmakta ve bu fazın boyut hacimsel oranı artan bakır oranı ile artmaktadır.
3. Zn-30Al-3Cu alaşımına silisyum eklenerek elde edilen dördü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımların içyapılarında β , α , η ve ϵ fazlarının yanı sıra silisyum parçacıkları yer almaktadır. Bu parçacıklar, % 3'ten daha düşük oranlarda silisyum içeren alaşımlarda homojen bir dağılım sergilemekte, bu değerden daha yüksek oranlarda silisyum içeren alaşımlarda ise irileşerek belirli bölgelerde kümeleşmektedir.
4. Üçlü Zn-30Al-(1-5)Cu alaşımlarının sertlik, çekme ve basma dayanımı değerleri artan bakır oranı ile artmakta; kopma uzaması, darbe direnci ve yoğunluk değerleri ise azalmaktadır. Bu alaşımların kalite indeksi değerleri % 1 bakır oranında en yüksek seviyeye ulaşmakta, bakır oranının % 3 değerinin üzerine çıkması durumunda ise azalmaktadır.
5. Silisyum oranı arttıkça dördü Zn-30Al-3Cu-(0,5-5)Si alaşımlarının sertliği artmakta; kopma uzaması, darbe direnci ve kalite indeksi değerleri azalmakta; çekme ve basma dayanımları ise % 1 Si oranından sonra hızlı bir şekilde azalmaktadır.
6. Yağsız durumda deneye tabi tutulan üçlü ve dördü alaşımların sürtünme katsayıları alınan yol ile azalan bir hızla artarak kararlı bir duruma erişmekte, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ise sürekli artmaktadır.
7. Yağlı çalışma durumunda üçlü ve dördü alaşımların sürtünme katsayıları artan kayma yolu ile hızlı bir şekilde azalarak, çalışma sıcaklığı ise artarak 20 km'lik yol sonunda sabit değerlere ulaşmaktadırlar. Hacim kaybı ise artan yol ile sürekli olarak artmaktadır.

8. Yağlı ve yağsız durumlarda deneye tabi tutulan üçlü ve dörtlü alaşımların sürtünme katsayıları artan basınç ile azalmakta, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri ise artmaktadır.
9. Yağlı ve yağsız çalışma durumlarında üçlü ve dörtlü alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri artan kayma hızı ile artmaktadır.
10. Üçlü alaşımların sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri artan bakır oranıyla azalıp % 3 Cu oranında en düşük seviyeye ulaştıktan sonra artmaktadır. Dörtlü alaşımların söz konusu değerleri ise % 0,5 Si oranında en düşük seviyeden geçtikten sonra artan silisyum oranı ile artmaktadır.
11. Üçlü alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma direncini Zn-30Al-3Cu alaşımı, dörtlüler içerisinde en yüksek aşınma direncini ise Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımı sergilemektedir. Deneye tabi tutulan Zn-30Al esaslı alaşımların hepsi SAE 65 ve SAE 660 bronzlarından daha yüksek aşınma direnci sergilemektedir.
12. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının sürtünme katsayısı, çalışma sıcaklığı ve hacim kaybı değerleri artan yağ debisi ile azalmakta, yağ debisinin 2,5 cm³/saat değerinin üzerine çıkması durumunda ise artmaktadır.
13. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarından en düşük sürtünme katsayısı yüksek basınç ve düşük kayma hızında, en düşük sıcaklık ve hacim kaybı ise düşük basınç ve kayma hızında elde edilmektedir.
14. Zn-30Al esaslı üçlü ve dörtlü alaşımların sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı değerleri kimyasal bileşim (Cu veya Si oranı) ve basınç veya kayma hızına göre Tartışma Bölümünde verilen 1-36 numaralı ikinci dereceden denklemler ile belirlenebilir.
15. Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımların sürtünme katsayısı, sıcaklık ve hacim kaybı değerleri ile basınç ve kayma hızı arasındaki ilişkiler, Tartışma Bölümünde verilen 37-48 numaralı ikinci dereceden denklemlerle ifade edilebilir.
16. Yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al esaslı üçlü ve dörtlü alaşımların aşınma yüzeylerinde sıvanmış bölgeler ile çizikler oluşmaktadır. Bu alaşımlarda bakır ve silisyum oranı arttıkça sıvanmış bölgeler azalmakta ve çizikler genişlemektedir. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinde ise çiziklerle birlikte pullanma ve soyulma meydana gelmektedir. Basınç ve kayma hızı arttıkça çiziklerin derinliği artmakta, pullanma ve soyulma bölgeleri daha belirgin hale gelmektedir.

17. Yağlı durumda deneye tabi tutulan üçlü ve dörtlü Zn-30Al esaslı alaşımlar ile SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınma yüzeylerinde sıvanmış bölgeler oluşmakta ve basınç ve kayma hızı arttıkça bu bölgeler genişleyerek daha belirgin hale gelmektedir.
18. Yağsız durumda aşınma deneyine tabi tutulan Zn-30Al-3Cu ve Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarının aşınma yüzeylerinin altında farklı mikroyapılara sahip tabaka ve bölgeler oluşmaktadır. Bunlar, ince taneli sıvama tabakası ve yönlenme çizgileri içeren bölge olarak kendilerini göstermektedir. Sıvama tabakasının kalınlık ve mikrosertlik değeri artan basınç ve kayma hızı ile birlikte artmaktadır.
19. Zn-30Al esaslı alaşımların aşınmasında adezyon baskın bir mekanizma olmakla birlikte abrazyon da önemli bir rol oynamaktadır. SAE 65 ve SAE 660 bronzlarının aşınmasında ise baskın olan abrazyon mekanizmasının yanı sıra adezyon da etkili olmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalara ek olarak araştırılmasında yarar görülen konular aşağıda bir sıra halinde verilmiştir:

1. Mg, Mn ve Ni gibi element katkılarının üçlü Zn-30Al-Cu ve dördü Zn-30Al-3Cu-Si alaşımlarının yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkileri araştırılarak yatak malzemeleri için en uygun kimyasal bileşim oranları belirlenebilir.
2. Farklı ısı işlemlerin Zn-30Al esaslı üçlü ve dördü alaşımların yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelenerek üstün mukavemet ve aşınma direnci elde etmek için gerekli ısı işlem koşulları belirlenebilir.
3. Zn-30Al esaslı üçlü ve dördü alaşımların yorulma ve sürünme davranışları ile korozyon özellikleri incelenerek bu alaşımların seçim ve kullanımına yönelik veriler elde edilebilir.
4. Üçlü Zn-30Al-3Cu ve dördü Zn-30Al-3Cu-0,5Si alaşımlarından kaymalı yatak imal edip bunların statik ve dinamik yük altındaki tribolojik davranışları araştırılarak en uygun kullanım koşulları belirlenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Savaşkan, T., The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearings Alloys, PhD Thesis, University of Aston Birmingham, 1980.
2. Goodwin, F.E., Ponikvar, A.L., Engineering Properties of Zinc Alloys, International Lead Zinc Research Organization, Third Edition, USA, January 1989.
3. Gervais, E., Barnhurst, R.J. ve Loong, C.A., An Analysis of Selected Properties of ZA , Alloys, Journal of Metals, 37, 11 (1985) 43-47.
4. Skenazi, A.F., Pelerin, J., Coutouradis, D., Magnus, B ve Meeus, M., Some Recent Developments in the Improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys, Metallwissenschaft und Technik, 37, 9 (1983) 898-902.
5. Gervais, E., Levert, H., Bess, M., The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys, American Foundrymen's Society Transaction, 88 (1980) 183-194.
6. Delneuve, p., Tribological Behaviour of Zn-Al Alloys (ZA27) Compared with Bronze When Used as a Bearing Material with High Load and very Low Speed, Wear, 105 (1985) 283-292.
7. Altorfer, K., Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings, Metal Progress, 122, 6 (1982) 29-31.
8. Wakefield, E.C., Copper-Aluminium-Zinc Alloy Excels in tough Conditions, Design Engineering, (1973) 1-4.
9. Comparat, D.P., Das, S. ve Rajput, V., Effect of Zinc Concentration and Experimental Parameters on High Stress Abrasive Wear Behaviour of Al-Zn Alloys: A Factorial Design Approach, Materials Science and Engineering A, 406 (2005) 24-33.
10. Calayag, T. ve Ferres, D., High-Performance, High-Aluminium Zinc Alloys for Low-Speed Bearings and Bushings, SAE Annual Conference, Paper No 820643, (1983) 224192251.
11. Risdon, T.J., Barnhurst, R.J. ve Mihalczuk, W.M., Comparative Wear Rate Evaluation of Zinc Aluminium (ZA) and Bronze Alloys through Block on Rin Testing and Field Applications, SAE Annual Conference, paper no 860064, (1986) 400-405.
12. Calayag, T.S., The Practicality of Using Zinc-Aluminium Alloys for Friction-Type Bearings, 25th Annual Conference of Metallurgists, Aug 1986, Toronto, Ontario, 305-313.
13. Mihaichuk, W., Zinc-Alloy Bearing Challenge the Bronzes, Machine Design, 53, 28 (1981) 133-137.
14. Voest Alpine, Alzen 305, Alzen 501, White Bronze, 1976.
15. Lee, P.P., Savaşkan, T. ve Laufer, E., Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys, Wear, 117 (1987) 79-89.
16. Prasad, B.K., Effects of Silicon Addition and Test Parameters on Sliding Wear Characteristics of Zinc-Based Alloy Containing 37,5% Aluminium, Materials Transactions, JIM., 38, 8 (1997) 701-706.

17. Savaşkan, T. ve Alemdağ, Y., Effects of Pressure and Sliding Speed on the Friction and Wear Properties of Al-40Zn-3Cu-2Si Alloy: A Comparative Study with SAE 65 Bronze, Materials Science and Engineering A, 496 (2008) 517-523.
18. Prasad, B.K., Slidin Wear Response of a Zinc-based Alloy and its Composite and Comparison with a ray Cast Iron: Influence of External Lubrication and Microstructural Features, Materials Science and Engineering A, 392 (2005) 427-439.
19. Lyon, R., The Properties and Applications of ZA Alloys, The British Foundryman, August/September 1986, 344-349.
20. Gang, H. Ve Ma, J., Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearing Alloy, Wear, 169 (1993) 201-207.
21. Savaşkan, T. ve Murphy, S., Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al Based Alloys, Wear, 116 (1987) 221-224.
22. Zhu, Y., Yan, B. ve Huang, W., Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35), Journal of Materials Science and Technology, 11 (1995) 109-113.
23. Pürçek, G., Savaşkan, T., Küçükömeroğlu, T. ve Murphy, S., Dry Sliding Friction and Wear Properties of Zinc-Based Alloys, Wear, 252, (2002) 894-901.
24. Murphy, S., The Structure of the T' Phase in the System Al-Cu-Zn, Metal Science, 9 (1975) 163-168.
25. Murphy, S., Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System, Zeitschrift Für Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
26. Zhu, Y.H., Savaşkan. T. ve Murphy, S., Phase Transformations in Quench-Aged Zn-Al-Si Alloys, Mat. Res. Soc. Proc., 21 (1984) 835-840
27. Zhu, Y.H., Murphy, S. ve Yeung, C., Early Stages of Phase Transformations in Quenched Zinc- Aluminium Based Alloys, Journal of Materials Processin Technology, 94 (1999) 78-84.
28. Alemdağ, Y. ve Savaşkan, T., Mechanical and Tribological Properties of Al-40Zn-3Cu Alloys, Tribology International, 42 (2009) 176-182.
29. Köster, W., ve Moeller, K., On the Synthesis and Constitution of Zinc-Copper-Aluminium Alloys. II. The Correlation of CuAl with the Ternary Crystalline Phase, Z. Metallkd., 33 (1941) 284-288.
30. Köster, W., On the Synthesis and Constitution of Alloys of Brass. III. Review of the Equilibrium in Copper Aluminium Zinc System, Z. Metallkd., 33 (1941) 289-296.
31. Savaşkan, T. ve Azaklı, Z., An Investiation of Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Comparison with SAE 65 Bearin Bronze, Wear 264 (2008) 920-928.
32. Gross, D.K., Zinc Alloys: Specification and Processing, Society of Automotive Engineers, 871952, (1988) 1069-1075.
33. Durman, M. ve Murphy, S., Precipitation of Metastabil ϵ -Phase in a Hypereutectic Zinc-Aluminium Alloys Containing Copper, Acta Metal. Matter., 39, 10 (1991) 2235-2242.

34. Ma, T., Chen, D.Q., Li, S.C. ve Wan, H.M., Effect of Mn on Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-Al Alloys, Louyan Institute of Technology, Louyan, People's Republic of China, 1990.
35. Prasad, B.K., Microstructure, Mechanical Properties and Slidin Wear Characteristics of Zn-Based Alloys: Effects of PArtially Substitutin Cu by Si, Z. Metallkd. 88 (1997) 929-933.
36. Barnhust, R.J., Zinc and Zinc Alloys Metal andbook, 10th Edition, 2, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1991.
37. Savaşkan, T. be Bican, O., Effects of Silicon Content on the Microstructural Features and Sliding Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si Alloys, Materials Science and Enineering A, 404 (2005) 259-269.
38. Savaşkan, T., Hekimoğlu, A.P. ve Pürçek, G., Effect of Copper Content on the Mechanical and Sliding Wear Properties of Monotectoid Based Zinc-Aluminium-Copper Alloys, Tribology International, 37 (2004) 45-50.
39. Savaşkan, T., Pürçek, G. Ve Hekimoğlu, AP., Effect of Copper Content on the Mechanical and Tribological Properties og ZnAl27-based Alloys, Tribology Letters, 15 (2003) 257-263.
40. Azaklı, Z. Ve Savaşkan, T., An Examination of Frictional and Sliding Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Case of Oil Cut Off, Tribology International, 41 (2008) 9-16.
41. Savaşkan, T., Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi, 8. Baskı, İstanbul, 2017.
42. Türk, A., Durman, M ve Kayalı, E.S. The Effect of Manganase on the Microstructure and Mechanical Properties og Zinc-Aluminium Based ZA-8 Alloy, Material Science, 42 (2007) 8298-8305.
43. Choudhury, P. Ve Das, S., Effect of Nickel Aluminides on Triboloical Behaviour of Zn-Al Alloy, Material Science and Technology, 19 (2003) 535-537.
44. Savaşkan, T. ve Alemdağ, Y., Effect of Nickel Additions on the Mechanical and Slidin Wear Prperties of Al-40Zn-3Cu Alloy, Wear, 268 (2010) 565-570.
45. Savaşkan, T. ve Alemdağ, Y., Effects of Pressure and Sliding Speed on the Friction and Wear Properties of Al-40Zn-3Cu-2Si Alloy: A Comparative Study with SAE 65 Bronze, Materials Science and Engineering A, 496 (2008) 517-523.
46. Alemdağ, Y. ve Savaşkan, T., Effects of Silicon Content on the Mechanical Properties and Lubricated Wear Behaviour of Al-40Zn-3Cu-(0-5)Si Alloys, Tribology Letters, 29 (2008) 221-227.
47. Savaşkan, T. ve Bican, O., Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-(0-5)Si Alloys in the As-Cast and Heat Treated Conditions, Triboloy Letters, 40 (2012) 327-336.
48. Presnyakov, A.A., Gorban, Y.A. ve Chrevyakova, V.V., The Aluminum-Zinc Phase Diagram, Russian Journal of Physical Chemistry, 35 (1961) 632-633.
49. Douglass, D.L., Spinodal Decomposition in Al/Zn Alloys, Journal of Materials Science, 4 (1969) 130-136.

50. Satyanarayana, K.G. ve Hirano, K., Metastable Solvus Curves and Structural Changes in Al-Zn Alloys, Transactions of the Japan Institute of Metals, 18 (1977) 403-411.
51. Hanson, D. ve Gayler, M.L.V., A Further Study of the Alloys of Aluminium and Zinc, Journal of the Institute of Metals, 27 (1922) 267-294.
52. Fuller, M.L. ve Wilcox, R.L., Phase Changes during Aging of Zinc-Alloy Die Castings, II-Changes in the Solid Solution of Aluminum in Zinc and their Relation to Dimensional Changes, Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 122 (1936) 231-243.
53. Ellwood, E.C., The Solid Solution of Zinc in Aluminum, Journal of the Institute of Metals, 80 (1951) 217-224.
54. Ellwood, E.C., An X-Ray Study of the Constitution of Aluminum-Zinc Alloys of High Purity Above 275 °C, with a Description of a New High-Temperature X-Ray Camera, Journal of the Institute of Metals, 66 (1940) 87-96..
55. Mey, S.A., Reevaluation of the Al-Zn System, Zeitschrift Für Metallkunde, 84 (1993) 451-455.
56. An Mey, S. ve Effenberg, G., Thermodynamic Evaluation of the Aluminum-Zinc System, Zeitschrift Für Metallkunde, 77 (1986) 449-453.
57. Murray, J.L., Al-Zn (Aluminum-Zinc), Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd Edition, Ed. T.B. Massalski, 1 (1990) 239-241.
58. Kuznetsov, G.M., Barsukov, A.D. ve Krivosheeva, G.B., Calculation of Phase Equilibria of the Al-Zn System, Russian Metallurgy, 5 (1986) 195-198.
59. Okamoto, H., Comment on Al-Zn (Aluminum-Zinc), Journal of Phase Equilibria, 15 (1994) 125-126.
60. Okamoto, H., Al-Zn (Aluminum-Zinc), Journal of Phase Equilibria, 16 (1995) 281-282.
61. Zhu, Y.H., General Rule of Phase Decomposition in Zn-Al Based Alloys (II)-On Effects of External Stresses on Phase Transformation-, Material Transactions, 45 (2004) 3083-3097.
62. Savaşkan, T. ve Murphy, S., Decomposition of Zn-Al Alloys on Quench-Aging, Materials Science and Technology, 6 (1990) 695-703.
63. Zhu, Y., Phase Equilibria in Zn-Al-Cu-Si System at 285°C, Chinese Journal of Materials Science and Technology, 5 (1989) 113-118.
64. Zhu, Y. ve Murphy, S., A General Rule of Decomposition Reaction in Supersaturated Zn-Al Based Alloys, Chinese Journal of Materials Science and Technology, 2 (1986) 105-116.
65. Savaşkan, T. ve Aydiner, A., Effect of Silicon Content on the Mechanical and Tribological Properties Monotectoid-Based Zinc-Aluminum-Silicon Alloys, Wear, 257 (2004) 377-388.
66. Seah, K.W.H., Sharma, S.C. ve Giris, B.M., Mechanical Properties of As-cast and Heat-treated ZA27/graphite particulate Composites, Applied Science and Manufacturing, 28 (1997) 251-256.

67. Funderberger, J.J., Philippe, M.J., Wagner, F. ve Esling, J., Modelling and Prediction of Mechanical Properties for Materials with Hexagonal Symmetry, Acta Materialia, 45 (1997) 4041-4055.
68. Panday, J.P. ve Prasad, B.K., Dry Sliding Wear Behaviour of Zinc Based Alloy Against Different Counterface Materials, Zeitschrift Für Metallkunde, 88 (1997) 739-743.
69. Torabian, H., Pathak, J.P. ve Tiwari, S.N., Wear Characteristics of Al-Si Alloys, Wear, 172 (1994) 49-58.
70. Marczak, R.J. ve Ciach, R., Tribological Properties of Concentrated Al-Zn Alloys, Proc. 1st Europe Tribology Congress, 1973, London, 223-227.
71. Douglass, D.L ve Barbee, W., Spinodal Decomposition in Al/Zn Alloys, Journal of Materials Science, 4 (1969) 138-151.
72. Carpenter, G.J.C. ve Garwood, R.D., The Ageing of a Quenched Aluminum-22,5% Zinc Alloy, Metal Science Journal, 1 (1967) 202-211.
73. Savaşkan, T. ve Turhal, M.Ş., Relationships Between Cooling Rate, Copper Content and Mechanical Properties of Monotectoid Based Zn-Al-Cu Alloys, Materials Characterization, 51 (2003) 259-276.
74. Savaşkan, T., Turhal, M.Ş. ve Murphy, S., Effect of Cooling Rate on Structure and Mechanical Properties of Monotectoid Zinc-Aluminum Alloys, Materials Science and Technology, 19 (2003) 67-73
75. Prasad, B.K., Microstructure and Tensile Property Characterization of a Nickel-Containing Zinc Based Alloy; Effect of Heat Treatment and Test Conditions, Materials Science and Engineering A, 277 (2000) 95-101.
76. Prasad, B.K., Effects of Partially Substituting Copper by Silicon on the Physical, Mechanical and Wear Properties of a Zn-37,5%Al-Based Alloy, Materials Characterization, 44 (2000) 301-308.
77. Costa, E.M., Costa, C.E., Vecchis, F.D., Rick, C., Scherer, M., Santos, C.A. ve Dedavid, V.A., Study of the Influence of Copper and magnesium Additionsa on the Microstructure Formation of Zn-Al Hypoeutectic Alloys, Journal of Alloys and Compounds, 488 (2009) 89-99.
78. Hekimoğlu, A.P., Bakır ve/veya Silisyum İçeren Zn-15Al Esaslı Alaşımların Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013.
79. Prasad, B.K., Influence of Heat Treatment Parameters on the Lubricated Sliding Wear Behavior of a Zinc Based Alloy, Wear, 257 (2004) 1137-1144.
80. Prasad, B.K., Patwardhan, A.K. ve Yagneswaran, A.H., Tensile Properties of Some Zn-27,5 wt %Al Alloys as Influenced by Heat Treatment and Test Conditions, Journal of Materials Science Letters, 16 (1997) 1890-1893.
81. Jovanovic, M.T, Bobic, I., Djuric, B., Grohovac, N. ve Ilic, N., Microstructural and Sliding Wear Behaviour of a Heat-Treated Zinc-Based Alloy, Tribology Letters, 25 (2007) 173-184.
82. Kubel, E.J., Expanding Horizons for ZA Alloys, Metal Progress, 7 (1987) 51-57.

83. Belk, J.A., Production of Superplastic Zinc-Aluminum Alloys, Metals Technology, 261 (1976) 161-166
84. Savaşkan, T., Torul, O. ve Çuvalcı, H., Çinko-Alüminyum Alaşımlarının İç yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 5. Ulusal Metalurji Kongresi, Kasım 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı II: 794-798.
85. Aydın, M. ve Savaşkan, T., Fatigue Properties of Zinc-Aluminium Alloys in 3.5 % NaCl and 1 % HCl Solutions, International Journal of Fatigue, 26 (2004) 103-110.
86. Savaşkan, T., Aydın, M. ve Odabaşoğlu, H.A., Fatigue Behaviour of Zn-Al Casting Alloys, Materials Science and Technology, 17 (2001) 682-685.
87. Savaşkan, T. ve Murphy, S., Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, Zeitschrift Für Metallkunde, 74, (1983) 76-82.
88. Murphy, S., Savaşkan, T. ve Hill, J., The Creep Kinetics of Zinc-Aluminium Alloys, Canadian Metallurgical Quarterly, 25 (1986) 145-150.
89. Türk, A., Durman, M. ve Kayalı, E.S., Effect of Copper on the creep behavior of gravity-cast zinc-aluminium-based ZA-8 Alloy, Zeitschrift Für Metallkunde, 89 (1998) 351-355.
90. Savaşkan, T., Bican, O. ve Alemdağ, Y., Developing Aluminium-Zinc Based a New Alloy for Tribological Applications, Journal of Materials Science, 44 (2009) 1969-1976.
91. Savaşkan, T. and Hekimoğlu, A.P., "Microstructure and mechanical properties of Zn-15Al-based ternary and quaternary alloys," Materials Science and Engineering A, (2014) 52-57.
92. Hutchings, I.M., Tribology,: Friction and Wear of Engineering Materials, Edward Arnold Publishers Ltd., Great Britain, 1992.
93. Bican, O., Bakır ve Silisyum İçeren Al-25Zn Esaslı Alaşımların Dökülmüş ve Isıl İşlem Görmüş Durumlardaki Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
94. Gulbransen, E.A., The Kinetics of Oxide Film Formation, on Metals and Alloys, Journal of the Electrochemical Society, 91 (1947) 573-604.
95. Bican, O. ve Savaşkan, T., Influence of Test Conditions on the Lubricated Friction and Wear Behaviour of Al-25Zn-3Cu Alloy, Tribology Letters, 37 (2010) 175-182.
96. Jain, L., Laufer, E.E. ve Masounave, J., Wear in Zn-Al-Si Alloys, Wear, 165 (1993)
97. Halling, J., Principles of Tribology, Macmillan Education Ltd., Great Britain, 1986
98. Şahin, Y. ve Murphy, S., The Effect of Sliding Speed and Microstructure on the Dry Wear Properties of Metal Matrix Composites, Wear, 214 (1998) 98-106.
99. Rodriguez, J., Poza, P., Garrido, M.A. ve Rico, A., Dry Sliding Wear Behaviour of Aluminium-Lithium Alloys Reinforced with SiC Particles, Wear, 262 (2007) 292-300.
100. Iwai, Y., Hou, W., Honda, T. ve Yoneda, H., Wear Behaviour of High Tensile Strength Aluminium Alloy Under Dry and Lubricated Conditions, Wear, 196 (1996) 46-53.
101. Prasad, B.K., Patwardhan, A.K. ve Yegneswaran, A.H., Wear Characteristics of a Zinc-Based Alloy Compared with a Conventional Bearing Bronze under Mixed Lubrication

Conditions: Effects of Material and Test Parameters, Canadian Metallurgical Quarterly, 40 (2001) 193-210.

102. Prasad, B.K., Patwardhan, A.K. ve Yegneswaran, A.H., Characterization of the Wear Response of a Modified Zinc-Based Alloy with a Conventional Zinc-Based Alloy and a Bearing Bronze at a High Sliding Speed, Metallurgical and Materials Transactions A, 27 (1996) 3513-3523.



ÖZGEÇMİŞ

Hasan Onur TAN 1986 yılında İstanbul'da doğdu. 2004 yılında Burak Bora Anadolu Lisesi'ni bitirdi. Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Makina Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 50/d kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayarak aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve bu eğitimini 2013 yılında tamamladı. 2014 yılında Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) kapsamında Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen daha bu görevini sürdürmekte olan Hasan Onur TAN'ın yüksek lisans tezinden başka uluslararası hakemli dergilerde yayımlanmış üç adet bilimsel makale ve iki adet de uluslararası bildiri olmak üzere toplam 5 adet bilimsel çalışması bulunmaktadır ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.