



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SOĞUK DÖVME İŞLEMİNDE İŞ PARÇASI
YÜZEY İŞLEMLERİ VE KAPLAMA
TÜRÜNÜN ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mesut AFŞEÖREN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mesut AFŞEÖREN tarafından hazırlanan “Soğuk Dövme İşleminde İş Parçası Yüzey İşlemleri ve Kaplama Türünün Şekillendirilebilirliğe Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 23/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet CAN
(Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK
(Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf YILMAZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 221110060 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mesut AFŞEÖREN

Tarih: 23.01.2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

SOĞUK DÖVME İŞLEMİNDE İŞ PARÇASI YÜZEY İŞLEMLERİ VE KAPLAMA TÜRÜNÜN ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mesut AFŞEÖREN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU

2025, 165 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU

Prof. Dr. Ahmet CAN

Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

Doç. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf YILMAZ

Sürtünme, deformasyon esnasındaki malzeme akışını, iş parçası üzerindeki gerilme ve gerinim dağılımını, şekillendirme yükünü ve bunların neticesinde takım ve kalıp ömrünü doğrudan etkilediği için metal şekil verme operasyonlarında büyük önem arz etmektedir. Çalışmada otomotiv akslarında kullanılan aks lalelerinin soğuk dövme öncesi yapılan yüzey işlemleri, kaplamalar ve yağlayıcıların sürtünmeyle birlikte şekillendirilebilirliğe etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda soğuk dövme işlemlerinde kullanılan yağlayıcıların ve kaplamaların prosese olan etkileri ile öncesinde yapılan kumlama işleminin etkileri incelenmiştir. Aks lalesinin soğuk dövme operasyonunda sürtünmenin artması ile iş parçası yüzey kalitesi bozulmakta ve kılcal çatlaklar görülmektedir. Bu da ürün emniyeti açısından risk teşkil etmektedir. Çalışmada kalıp ve iş parçası yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi etkileyen yüzey işlemleri, kaplamalar ve yağlayıcıların sürtünme katsayısına etkileri deneysel olarak incelenmiş ve bu süreç için en uygun yüzey işlemi, kaplama, yağlama koşulları araştırılmıştır. Kaplamaların ve yağlayıcıların Kolomb sürtünme katsayıları ölçülmüş, aşınma derinlikleri ve genişlikleri kıyaslanmıştır. Kaplama yapılan numunelerin SEM ve EDS analizleri yapılarak kaplamayı oluşturan elementlerin yüzeydeki dağılımları ve kütle oranları incelenmiştir. Simufact Forming yazılımı kullanılarak 6 farklı kayma sürtünme katsayısı ve 8 farklı ekstrüzyon oranı ile simülasyonlar yapıp kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. DCET testlerinde ileri ve geri ekstrüzyon oranları hesaplanarak kaplama ve yağlayıcıların kalibrasyon eğrisi içerisindeki konumları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre testler bu kez otomotiv aks lalesi üzerinde denenmiştir. İlk etapta sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak farklı kayma sürtünme katsayısında aks lalesine ait simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise ürünün soğuk dövme işlemi gerçekleştirilerek simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sabun kaplama olmadan yapılan kaplamalarda 0,6 civarında olan sürtünme katsayısının, sabun ile yapılan kaplamalar neticesinde 0,18 değerine kadar düştüğü belirlenmiştir. Yeni nesil yağlayıcılar ile sürtünme katsayısı 0,12 değerine kadar azalmıştır. Simülasyon sonuçlarından “m” kayma sürtünme değeri 0.02 ile 0.025 arasında elde edilirken DCET testinde “m” değeri 0.022 elde edilmiş, böylece simülasyon sonuçları, deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Ayrıca deneysel sonuçlardan çıkan sürtünme katsayısı değeri ile aks lalesinin soğuk dövülmesinden elde edilen sonuçların birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aks Lalesi, Aşınma Derinliği ve Genişliği, DCET Testi, EDS, Kolomb Sürtünme Katsayısı, Kayma Sürtünme Katsayısı, SEM, Soğuk Dövme, Sonlu Elemanlar Analizi, Sürtünme

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WORKPIECE SURFACE TREATMENTS AND COATING TYPE ON FORMABILITY IN COLD FORGING PROCESS

Mesut AFŞEÖREN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU

2025, 165 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU

Prof. Dr. Ahmet CAN

Prof. Dr. İlhan ASİLTÜRK

Assoc. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ

Asst. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Friction is of great importance in metal forming operations as it directly affects the material flow during deformation, the stress and strain distribution on the workpiece, the forming load and as a result, the tool and die life. In the study, the effects of surface treatments, coatings and lubricants applied before cold forging of axle tulips used in automotive axles on formability together with friction were investigated. In this context, the effects of lubricants and coatings used in cold forging processes on the process and the effects of the sandblasting process performed before were investigated. With the increase in friction in the cold forging operation of the axle tulip, the surface quality of the workpiece deteriorates, and hairline cracks are observed. This poses a risk in terms of product safety. In the study, the effects of surface treatments, coatings and lubricants affecting the friction between the mold and workpiece surfaces on the friction coefficient were investigated experimentally and the most suitable surface treatment, coating and lubrication conditions for this process were investigated. The Columbian friction coefficients of coatings and lubricants were measured, and wear depths and widths were compared. SEM and EDS analyses of the coated samples were performed to examine the distribution of the elements forming the coating on the surface and their mass ratios. Simufact Forming software was used to create simulations with 6 different shear friction coefficients and 8 different extrusion ratios and to create calibration curves. In DCET tests, forward and reverse extrusion ratios were calculated and the positions of the coating and lubricants within the calibration curve were determined. According to the results obtained from the experimental studies, the tests were tested on the automotive axle tulip this time. In the first stage, simulations of the axle tulip were performed at different shear friction coefficients using finite element software. In the second stage, the cold forging process of the product was performed and compared with the simulation results. According to the results obtained, it was determined that the friction coefficient, which was around 0.6 in coatings made without soap coating, decreased to 0.18 because of coatings made with soap. The friction coefficient decreased to 0.12 with new generation lubricants. While the shear friction value "m" was obtained between 0.02 and 0.025 from the simulation results, the "m" value was obtained as 0.022 in the DCET test, thus the simulation results were confirmed with the experimental results. In addition, it was seen that the shear friction value obtained from the experimental results and the results obtained from the cold forging of the axle tulip agreed with each other.

Keywords: Axle Tulip, Bidirectional Extrusion Test, Columb Coefficient of Friction, Cold Forging, Eds, Finite Element Analysis, Friction, Shear Coefficient of Friction, Sem, Wear Depth and Width

ÖNSÖZ

Bu çalışma halihazırda çalışmakta olduğum kurumda önemli olduğunu düşündüğüm ihtiyacın bir ürünüdür. Soğuk dövme süreçlerinde kullanılan kaplama, yağların ve öncesinde yapılan yüzey işlemlerinin sürtünmeye olan etkileri irdelenmiştir. Kalıp ömürlerini ve nihai iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünme, soğuk dövme süreçlerinde üzerinde yoğun çalışmalar ve araştırmalar gerektiren bir alandır. Araştırmalarda soğuk dövme öncesi kullanılan kaplama ve yağların kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısını düşürmesinin yanında işlem sonrası oluşacak olan atıkların çevreye ve insan sağlığına duyarlı olması gerekmektedir. Çalışmanın temel motiflerinden biri soğuk dövme süreçlerinde çevreye ve insan sağlığına duyarlı düşük sürtünme katsayısını verecek olacak olan kaplama veya yağlayıcı seçimidir. Çalışmada geleneksel kaplama yöntemleri, yeni nesil çevreye ve insan sağlığına duyarlı yağlayıcıların performansları irdelenmiştir. Kaplama ve yağlayıcıların bir arada değerlendirilmesi, öncesinde yapılan kumlama gibi yüzey hazırlama işlemleri ve çıkan sonuçların otomotiv parçası üzerinde denenmesi bilime pozitif katkı sağlamıştır.

Çalışma ayrıca, çalıştığım kuruma soğuk dövme işlemlerinde yağlayıcı, kaplama ve yüzey işlemleri noktasında kılavuz kaynak olmuştur. Çalışmadan sonra da geliştirilen kaplama ve yağların performans değerlendirme yol haritası çalışma ile belirlenmiştir.

Tez çalışmam boyunca desteğini hissettiğim tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU' na, bilgisi ve tecrübesiyle yol gösteren ikinci tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM' a, tez izleme komitesinde çalışmalarımı gözlemleyen, sabırla dinleyen ve kıymetli görüş ve önerilerini esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet CAN' a ve Doç. Dr. Mevlüt Türköz hocalarıma, çalışmamın her safhasında bütün imkanları ile seferber olan Anka Kalıp ve Üretim San. A.Ş. ailesine, son olarak manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve beni sürekli destekleyen sevgili eşime ve oğullarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Mesut AFŞEÖREN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvi
EKLER LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Metallerin Soğuk Dövme İşlemi ve Kalıp Sistemi	4
2.2. Metallerin Ilık ve Sıcak Şekillendirme İşlemlerinde Yağlama.....	7
2.3. Metallerin Soğuk Şekillendirme İşlemlerinde Sürtünme ve Yağlama	8
2.4. Metal Şekil Vermede Kullanılan Yağlayıcıların Değerlendirilmesi.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Kaplama İşlemlerinin Yapılması	28
3.2. Sürtünme ve Aşınma Testi.....	33
3.3. Mekanik Testler	34
3.4. Mikroyapı İncelemesi ve Sertlik Ölçümü	35
3.5. Çift Yönlü Ekstrüzyon Testi (DCET).....	35
3.6. 2D Sonlu Elemanlar Simülasyonu	37
3.7. Otomotiv Aks Lalesi 3D Sonlu Elemanlar Simülasyonu	40
3.8. Otomotiv Aks Lalesi Soğuk Dövme Kalıp Denemesi	43
3.9. SEM-EDS Görüntüleme	47
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
4.1. Sürtünme ve Aşınma Test Sonuçları	48
4.1.1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	48
4.1.2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	52
4.1.3. Mangan fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları	56
4.1.4. KFP10 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	59
4.1.5. KFP95 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	60
4.1.6. KFP96 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları.....	61
4.2. Mikroyapı ve Sertlik Tarama Sonuçları.....	66
4.3. Çekme Testi Sonuçları.....	67

4.4. 2D FEM Simülasyon Sonuçları	69
4.5. Çift Yönlü Ekstrüzyon Test Sonuçları	71
4.6. Otomotiv Aks Lalesi 3D Simülasyon Sonuçları	83
4.7. Otomotiv Aks Lalesi Soğuk Dövme Sonuçları	84
4.8. SEM-EDS Sonuçları	87
4.8.1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları	87
4.8.2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları	100
4.8.3. Mangan fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları	113
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	120
5.1 Sonuçlar	120
5.2 Öneriler	122
KAYNAKLAR	124
EKLER	128

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

HV: Vickers olarak sertlik tayin birimi

PH: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir.

KHz: Frekans ölçü birimi

KW: Güç ölçü birimi

$\mu\text{s}/\text{cm}^2$: Suyun iletkenlik birimi

τ : Kayma gerilmesi, birimi N/mm^2 , MPa

σ : Malzemenin akma gerilmesidir. Birimi N/mm^2 , MPa

m: Kayma sürtünme katsayısı

k: Kayma dayanımı

μm : Ölçü birimi, mm'nin 1/1000'i

σ_n : Normal gerilme, birimi N/mm^2 , MPa

MoS_2 : Molibden Sülfür

M2: Tungsten ve molibden içeren yüksek hız çeliği

μ : Kolomb sürtünme katsayısı

Ra: Yüzey profilindeki yükseklik farklarının mutlak değerlerinin ortalama olarak hesaplanmasını temsil eder.

Kısaltmalar

DCET: Çift yönlü ekstrüzyon testi (Double cup extrusion test)

Ech26: Eksen Kimya firmasına ait Echozinc26 ince çinko fosfat

Ech10A: Eksen Kimya firmasına ait Echozinc10A kalın çinko fosfat

FEM: Sonlu elemanlar metodu

Grit: Zımpara kâğıdındaki kum büyüklüğünü ifade eden terim.

H_{alt} : Alt kap derinliği

$H_{üst}$: Üst kap derinliği

H1: Üst kap derinliği

H2: Alt kap derinliği

H1/H2: Üst kap/Alt kap derinliği oranı

KFP10: Su ile karışmayan Bechem firmasına ait soğuk dövme yağı

KFP95: Su ile karışmayan Bechem firmasına ait soğuk dövme yağı

KFP96: Su ile karışmayan Bechem firmasına ait soğuk dövme yağı

S0: Yüzey üzerinde kumlama yapılmayan durum

S170: Yüzey üzerinde S170 granül büyüklüğüne sahip çelik bilye boyutu

S230: Yüzey üzerinde S230 granül büyüklüğüne sahip çelik bilye boyutu

S330: Yüzey üzerinde S330 granül büyüklüğüne sahip çelik bilye boyutu

S460: Yüzey üzerinde S460 granül büyüklüğüne sahip çelik bilye boyutu

Sic: Silisyum karbür

Std: Standart sapma

WC: Wolfram karbür

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Geri ekstrüzyon erkek kalıp form şekilleri (Lange ve Pöhlandt, 1985).....	5
Şekil 2. 2. Erkek kalıp tasarımı (Lange ve Pöhlandt, 1985).....	6
Şekil 2. 3. Silindirik bir iş parçasına şekil verme işleminin yapılması, (a) sürtünmesiz durum, (b) sürtünmeli durum (Altan ve ark., 2004)	8
Şekil 2. 4. Çeşitli yağlama mekanizmalarının başlangıcını gösteren Stribeck eğrisi (Schey, 1983)	9
Şekil 2. 5. Yüksek normal basınçlarda sürtünme (Altan ve ark., 2004).....	10
Şekil 2. 6. Deformasyon şekline göre yağlayıcı seçimi (Bay, 1994).....	14
Şekil 2. 7. Çinko fosfat kaplama ve yağlayıcı sistemi (Bay, 1994)	14
Şekil 2. 8. Fosfat kaplama kristal yapı (a) iğne kristal yapı, (b) blok kristal yapı (Bay, 1994).....	16
Şekil 2. 9. Halka sıkıştırma testi, (a) düşük sürtünme durumunda, (b) yüksek sürtünme durumunda	24
Şekil 2. 10. Halka testi kalibrasyon eğrileri, OD: ID: kalınlık oranı. (a) 6:3:2. (b) 6:3:1. (c) 6:3:0.5 (Altan ve ark., 2004)	24
Şekil 2. 11. Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) (Altan ve ark., 2004).....	25
Şekil 2. 12. Deneysel çalışmadan elde edilen m 0.065 kayma sürtünmesinin FEM simülasyonu sonucu oluşturulan DCET kalibrasyon eğrilerinde gösterilmesi (Ngaile ve Saiki, 1999).....	26
Şekil 3. 1. a) Tavlanan Numuneler b) Kontinü Fırın	30
Şekil 3. 2. a) Üniversal torna tezgâhı ve b) Altlık teknik resmi	30
Şekil 3. 3. (a) Üniversal Freze Tezgâhı, (b) Yüzey Pürüzlülük Ölçümü, (c) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Metodu.....	31
Şekil 3. 4. Kaplama banyoları	32
Şekil 3. 5. Kaplama Yapılan Numuneler	33
Şekil 3. 6. a) UTS marka sürtünme ve aşınma test cihazı, b) Sürtünme ve aşınma testi görüntüsü, c) Nanomap LS stylus profilometre	34
Şekil 3. 7. a) Tavlanmış numuneler, b) Çekme test çubuğu geometri ve ölçüsü	34
Şekil 3. 8. a) DCET testi için tasarlanan soğuk dövme kalıbı, b) Soğuk dövme için iş parçası numunesi.....	35
Şekil 3. 9. Alt ve üst erkek kalıp teknik resmi.....	36
Şekil 3. 10. Simülasyon öncesi ve sonrası çift yönlü ekstrüzyon (DCET) testinin kesit görünümü	38
Şekil 3. 11. Sürtünme faktörüne göre $H_{üst}$ ve H_{alt} yükseklik oranı ilişkisi	39
Şekil 3. 12. Otomotiv aks lalesi 3D sonlu elemanlar simülasyonu için oluşturulan kalıp geometrisi.....	40
Şekil 3. 13. Simufact forming proses tanımlama arayüz ekranı	41
Şekil 3. 14. Simufact yazılım ekranında kalıp geometrilerinin görünüşü ve yerleşimi..	41
Şekil 3. 15. Simufact simülasyon giriş ekranı	42
Şekil 3. 16 İş parçası 1/6 mesh modeli	43
Şekil 3. 17. Otomotiv aks lalesinin ılık dövme operasyon adımları.....	44
Şekil 3. 18. Soğuk dövme öncesi iş parçası boy ölçüm metodu.....	45
Şekil 3. 19. Soğuk dövme öncesi iş parçası yüzey pürüzlülük ölçüm noktaları ve doğrultuları.....	46
Şekil 3. 20. ZEIS EVO LS 10 Taramalı Elektron Mikroskobu	47

Şekil 4. 1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	48
Şekil 4. 2. Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	49
Şekil 4. 3. Echozinc26 çinko fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları.....	50
Şekil 4. 4. Echozinc26 çinko fosfat kaplama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değerleri	51
Şekil 4. 5. Echozinc10A çinko fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	53
Şekil 4. 6. Echozinc10A çinko fosfat +sabun kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, a) Kumlama yapılmayan durumda, b) S230 kumlama yapıldığı durumda, c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	53
Şekil 4. 7. Echozinc10A çinko fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları.....	54
Şekil 4. 8. Echozinc10A kaplama yüzey pürüzlülük değerleri.....	55
Şekil 4. 9. Mangan fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	57
Şekil 4. 10. Mangan fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları	57
Şekil 4. 11. Mangan fosfat kaplama yüzey pürüzlülük değerleri	58
Şekil 4. 12. KFP10 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	59
Şekil 4. 13. KFP 10 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları.....	60
Şekil 4. 14. KFP95 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, a) Kumlama yapılmayan durumda, b) S230 kumlama yapıldığı durumda, c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	60
Şekil 4. 15. KFP 95 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları.....	61
Şekil 4. 16. KFP96 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.	62
Şekil 4. 17. KFP 96 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları.....	63
Şekil 4. 18. Soğuk dövme numunelerinin mikroyapı görüntüsü ve tane büyüklüğü grafiği	66
Şekil 4. 19. DIN CK45 çeliğin tavlama sonrası yüzeyden çekirdeğe sertlik tarama grafiği	67
Şekil 4. 20. Tavlanmış Numunelerin Çekme Testi Grafiği	67
Şekil 4. 21. Gerçek gerilme-Birim şekil değiştirme değerlerinin logaritma grafiği.....	69
Şekil 4. 22. 2 boyutlu sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre % strok – $H_{üst}/H_{alt}$ oranı kalibrasyon eğri grafiği.....	70
Şekil 4. 23. Çift yönlü ekstrüzyon (DCET) strok-kuvvet 2D Fem Sonuçları	71

Şekil 4. 24. Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görünüşleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında	72
Şekil 4. 25. Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplanmış numunelerin DCET sonrası boyuna kesit görünüşleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında	72
Şekil 4. 26. KFP10 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görünüşleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında	73
Şekil 4. 27. KFP95 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görünüşleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında	73
Şekil 4. 28. KFP96 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET sonrası boyuna kesit görünüşleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında.....	74
Şekil 4. 29. DCET testinden çıkan numunelerin $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiğindeki konumları	75
Şekil 4. 30. KFP 10 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	75
Şekil 4. 31. KFP 95 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	76
Şekil 4. 32. KFP 96 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	77
Şekil 4. 33. KFP 10-KFP95-KFP96 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	78
Şekil 4. 34. Echozinc10A kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği	79
Şekil 4. 35. Echozinc26 kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği	80
Şekil 4. 36. Echozinc26 ve Echozinc10A kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	81
Şekil 4. 37. Echozinc10A kaplama, KFP10 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği.....	82
Şekil 4. 38. Otomotiv aks lalesi 3D sonlu elemanlar simülasyon sonuçları.....	83
Şekil 4. 39. Otomotiv aks lalesinin soğuk dövme işlemindeki kalıp sistemi, kalıp hareket yönü ve ekstrüzyon doğrultuları	84

Şekil 4. 40. Otomotiv aks lalesinin soğuk dövme sonrası resimleri.....	85
Şekil 4. 41. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 10000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	87
Şekil 4. 42. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	88
Şekil 4. 43. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	88
Şekil 4. 44. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	89
Şekil 4. 45. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	89
Şekil 4. 46. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası	90
Şekil 4. 47. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi	91
Şekil 4. 48. S230 Kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası.....	92
Şekil 4. 49. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi ...	93
Şekil 4. 50. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası	93
Şekil 4. 51. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi ...	94
Şekil 4. 52. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi	96
Şekil 4. 53. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası.....	96
Şekil 4. 54. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	97
Şekil 4. 55. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	98
Şekil 4. 56. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	99
Şekil 4. 57. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	100
Şekil 4. 58. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 10000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	100
Şekil 4. 59. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	101
Şekil 4. 60. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	101
Şekil 4. 61. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	102
Şekil 4. 62. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV).....	102
Şekil 4. 63. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	104
Şekil 4. 64. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	104
Şekil 4. 65. S230 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	105
Şekil 4. 66. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	106

Şekil 4. 67. S460 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	107
Şekil 4. 68. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	107
Şekil 4. 69. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	109
Şekil 4. 70. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	109
Şekil 4. 71. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	110
Şekil 4. 72. S230 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	111
Şekil 4. 73. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası	112
Şekil 4. 74. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi.....	112
Şekil 4. 75. Mangan Fosfat kaplama 10000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)	113
Şekil 4. 76. Mangan Fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)	113
Şekil 4. 77. Mangan Fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)	113
Şekil 4. 78. Mangan Fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)	114
Şekil 4. 79. Mangan Fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)	114
Şekil 4. 80. Kumlama yapılmamış mangan fosfat EDS yüzey haritası.....	115
Şekil 4. 81. Kumlama yapılmamış mangan fosfat EDS analizi.....	116
Şekil 4. 82. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS yüzey haritası	117
Şekil 4. 83. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS analizi	117
Şekil 4. 84. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS yüzey haritası	118
Şekil 4. 85. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS analizi	119

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Fosfatlama işleminde hızlandırıcıların karakteristikleri (Bay, 1994).....	16
Çizelge 3. 1. Sürtünme ve aşınma testi için kaplama ve yüzey hazırlama tablosu	28
Çizelge 3. 2. Sürtünme ve aşınma testi için soğuk dövme yağı uygulama ve yüzey hazırlama tablosu	29
Çizelge 3. 3. Kullanılan çeliğin kimyasal kompozisyonu	29
Çizelge 3. 4. Tavlama sıcaklık ve süre parametreleri	30
Çizelge 3. 5. Frezeleme işlem parametreleri	31
Çizelge 3. 6. Yüzey Pürüzlülük Ortalamaları ve Standart Sapmalar.....	31
Çizelge 3. 7. Kaplama banyoları kurulum reçeteleri	32
Çizelge 3. 8. DCET için hazırlanan test numunelerinin test öncesi yüzey pürüzlülük ölçüm tablosu	36
Çizelge 3. 9. Soğuk dövme pres özellikleri	37
Çizelge 3. 10 DCET tablosu	37
Çizelge 3. 11. DCET sonlu elemanlar simülasyonu giriş verileri	38
Çizelge 3. 12 Kayma sürtünme kalibrasyon grafiği için simülasyon kombinasyon tablosu	39
Çizelge 3. 13. 3D sonlu elemanlar simülasyon girdi tablosu	42
Çizelge 3. 14. Dövme presi teknik özellikleri	43
Çizelge 3. 15. Kontinü fırın tavlama parametreleri	44
Çizelge 3. 16. L1, L2 ve L3 değerleri tablosu	45
Çizelge 3. 17. Soğuk dövme öncesi iş parçası yüzey pürüzlülük ölçüm ortalamaları ve standart sapmaları	46
Çizelge 3. 18. Soğuk dövme işleminde kullanılan presin teknik özellikleri	46
Çizelge 4. 1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu.....	52
Çizelge 4. 2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu.....	56
Çizelge 4. 3. Mangan fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu	58
Çizelge 4. 4. Kaplama ve yağlayıcıların aşınma genişliği, derinliği ve Kolomb sürtünme katsayısına göre en düşükten en yükseğe sıralama tablosu	64
Çizelge 4. 5. Kayma sürtünme kalibrasyon grafiği için simülasyon kombinasyon tablosu	70
Çizelge 4. 6. Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) 15 mm strokta farklı sürtünme katsayılarına (m) karşılık gelen kalıp yükleri	71
Çizelge 4. 7. KFP10 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri.....	76
Çizelge 4. 8. KFP95 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri.....	77
Çizelge 4. 9. KFP96 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri.....	78
Çizelge 4. 10. KFP10, KFP95 ve KFP96 soğuk dövme yağlarının%30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri	79
Çizelge 4. 11. Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri.....	80
Çizelge 4. 12. Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri.....	81

Çizelge 4. 13. Echozinc10A ve Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri	82
Çizelge 4. 14. KFP10 soğuk dövme yapı ve Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri	83
Çizelge 4. 15. Soğuk dövme sonrası otomotiv aks lalesi yüzey pürüzlülük ölçümü	85
Çizelge 4. 16. Soğuk dövme sonrası otomotiv parçasının ölçüm sonuçları	86
Çizelge 4. 17. Kaplama ile soğuk dövme yağının parça birim maliyet açısından kıyaslanması.....	87
Çizelge 4. 18. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu	91
Çizelge 4. 19. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu	92
Çizelge 4. 20. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu	94
Çizelge 4. 21. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu.....	97
Çizelge 4. 22. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu	97
Çizelge 4. 23. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu	98
Çizelge 4. 24. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu.....	103
Çizelge 4. 25. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu ...	105
Çizelge 4. 26. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu ...	106
Çizelge 4. 27. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu	108
Çizelge 4. 28. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu	110
Çizelge 4. 29. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu	111
Çizelge 4. 30. Kumlama yapılmamış mangan fosfat element tablosu.....	114
Çizelge 4. 31. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat element tablosu	116
Çizelge 4. 32. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat element tablosu	117

EKLER LİSTESİ

EK- 1 Echoil EM 64 Teknik Bilgi Sayfası.....	128
EK- 2 Rustech 18 Teknik Bilgi Sayfası	129
EK- 3 Activech Z15 Teknik Bilgi Sayfası	130
EK- 4 Echozinc26 Teknik Bilgi Sayfası	131
EK- 5 Echozinc10A/10E Teknik Bilgi Sayfası.....	132
EK- 6 Echlube 11 Teknik Bilgi Sayfası	134
EK- 7 Activech M 35 Teknik Bilgi Sayfası	135
EK- 8 Echpos MN 28 Daldırma Mangan Fosfat Teknik Bilgi Sayfası.....	136
EK- 9 Beruform KFP 10 Teknik Bilgi Sayfası	138
EK- 10 Beruform KFP 95 Teknik Bilgi Sayfası	140
EK- 11 Beruform KFP 96 Teknik Bilgi Sayfası	142
EK- 12 SAE J444' E Göre Çelik Granül Kum Büyüklükleri.....	143
EK- 13 Alt Dişi Zımba Teknik Resmi.....	144
EK- 14 Üst Erkek Zımba Teknik Resmi	145
EK- 15 Soğuk Dövme Kalıbı Teknik Resmi.....	146
EK- 16 Dişi Kalıp Zarf-Dişi Kalıp Teknik Resmi	147
EK- 17 Alt Dişi Kalıp Zarfı-Alt Dişi Kalıp Teknik Resmi	148
EK- 18 Üst Erkek Zımba Tutucu Teknik Resmi	149
EK- 19 Üst Erkek Zımba Dayama-2 Teknik Resmi.....	150
EK- 20 Üst Erkek Zımba Zarf.....	151
EK- 21 Üst Erkek Zımba Dayama Teknik Resmi	152
EK- 22 Laboratuvar Ölçekli Kaplama Banyoları Satın alma Şartnamesi	153
EK- 23 Kumlama yapılmayan Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	154
EK- 24 S230 Kumlama Yapılmış Durumda Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	154
EK- 25 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc26 Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği...	155
EK- 26 Kumlama Yapılmamış Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	155
EK- 27 S230 Kumlama Yapılmış Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	156
EK- 28 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc26 +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	156
EK- 29 Kumlama Yapılmamış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	157
EK- 30 S230 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	157
EK- 31 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	158
EK- 32 Kumlama Yapılmamış Echozinc10A Çinko Fosfat +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	158
EK- 33 S230 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat+Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	159
EK- 34 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat+Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	159

EK- 35 Kumlama Yapılmamış Mangan Fosfat Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	160
EK- 36 S230 Kumlama Yapılmış Mangan Fosfat Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği	160
EK- 37 S460 Kumlama Yapılmış Mangan Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	161
EK- 38 Kumlama Yapılmamış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	161
EK- 39 S230 Kumlama Yapılmış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	162
EK- 40 S460 Kumlama Yapılmış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	162
EK- 41 Kumlama Yapılmamış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	163
EK- 42 S230 Kumlama Yapılmış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	163
EK- 43 S460 Kumlama Yapılmış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	164
EK- 44 Kumlama Yapılmamış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	164
EK- 45 S230 Kumlama Yapılmış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	165
EK- 46 S460 Kumlama Yapılmış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	165

1. GİRİŞ

Ölçü, yüzey hassasiyeti ve malzemede mukavemet artışının elde edilebilmesi, soğuk dövme sıcak dövme karşısında avantajlı kılmaktadır. Seri üretim hızlılığı ve bazı parçalarda nihai son ölçüye ulaşılması ve tekrardan ilave bir işlem gerektirmemesi ile bu şekillendirme metodu tercih edilir. Ancak yüksek tonajlı pres ihtiyacı ve kalıp ömürlerinin düşük olması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar ile sürtünmeyi azaltacak olan yağlayıcılar ve kaplamalar geliştirilerek parça şekillendirme tonajlarının düşmesi sağlanırken kalıp ömürlerinde de buna paralel olarak artış sağlanır.

Soğuk dövme sürecinde kalıp ve iş parçası arasındaki yağlama filmi büyük önem taşımaktadır. Kalıp ve iş parçası arayüzündeki sürtünmenin artması ile şekillendirme kuvvetleri artmaktadır. Şekillendirme kuvvetinin artması ile nihai parçanın soğuk dövme işleminden sonraki yüzey kalitesi de değişmektedir. Bir diğer husus ise bu parça ile çalışan diğer parçaların da birbiriyle uyumu bozulmakta ve nihai ürün ömrünü kısa sürede tamamlamaktadır. Zincirin ilk halkası olan bu dövme işleminde bu sürecin başarısızlıkla sonuçlanmasının ardından gelen birçok işlemi de etkilemektedir. Bununla birlikte iş parçalarında şekillendirme zorluğundan kaynaklı kılcal çatlaklar görülmektedir. Bu çalışmada kalıp ve iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeyi etkileyen iş parçası yüzey işlemleri, kaplamalar ve yağlayıcıların sürtünmeye olan etkileri deneysel olarak incelenmiş ve bu süreç için en uygun yüzey işlemi, kaplama ve yağlama koşulları araştırılmıştır. Çalışmaya konu olan, araçların aktarma organlarından birini oluşturan ve aks lalesi diye adlandırılan otomotiv parçasını Türkiye’de tek bir üretici üretmektedir. Bu ürüne ait “Know-How”, yurt dışında bu ürünü üreten rakip firmaların ticari sırrı olup kesinlikle ikinci bir firma ile paylaşılmamaktadır. Yurt dışından ülkemize ithal edilen bu ürünün ülkemizde üretilmesiyle, bu ürünün ithalatı büyük oranda azaltılmıştır. Soğuk dövme öncesi, iş parçasının yüzey kaplama işlemi geleneksel yöntem olan çinko fosfat ve sabun kaplama ile yapılmaktadır. Bu kaplama işleminin de kendi içerisinde birçok dezavantajı bulunmaktadır. İlki insan ve çevre sağlığına olan olumsuz etkisi, ikinci husus ise kaplama sonrası yüzeyde kalan çinko kristallerinin ısı işlem etkisi ile yüzeyden çekirdeğe difüze olarak çatlak oluşturma riskini arttırmasıdır. Bu prosesin yerine çevreye ve insan sağlığına duyarlı yeni nesil soğuk dövme yağlarını tercih etmek mecburi olmuştur. Bu konu ile alakalı Alman Bechem firmasının Türkiye’deki aracı firmaları ile alternatif yağlama üzerine yapılan çalışmalar neticesinde Türkiye’deki yetkililerinin bu alanda yetkin olmadığı görülmüştür. Türkiye dışında Avrupa da yeni nesil soğuk dövme

yağlarını kullanan rakip firmalar olmasına rağmen bu bilgi ticari bir sır olup kimseyle paylaşılmamaktadır. Bu “Know-How” bilgisinin konu ile alakalı yapılacak ARGE faaliyetleri ile başarılabileceği gerçeği ortaya çıkmıştır. Konu ile alakalı olarak ARGE sonucu çıkacak olan parça, proses ve kalite iyileştirmesi ile OEM tedarikçisi olma yönünde bir adım daha atılmış olacaktır. Bu çalışma ile soğuk dövme çalışmalarında, yağlayıcı seçimi ve öncesinde yapılacak yüzey hazırlama noktasında bir yol gösterecek olup rakip firmalar ile rekabet edebilme, kaliteli ve iyi yüzey hassasiyetine sahip ürünler üretme fırsatını vermiş olacaktır

Çalışmada eski nesil kaplama ve yeni nesil yağlayıcıların sürtünme ve aşınma performansları deneysel olarak test edilmiştir. Ayrıca kaplama öncesi iş parçasına uygulanan kumlama işlemindeki kum büyüklüklerinin sürtünmeye ve aşınmaya olan etkisi de test edilmiştir. Geleneksel kaplamaların ve yeni nesil yağlayıcıların tek bir çalışmada irdelenmesi, kaplama öncesi yapılan kumlama işleminin etkilerinin incelenecek olması soğuk dövme alanında çalışan diğer üretici firmalara da yağlayıcı seçiminde kılavuzluk etmiş ve literatüre de bu noktada katkı sağlamıştır. Ayrıca dişli sistemlerinde kayganlık sağlayan mangan fosfat işleminin de sürtünme ve aşınma testi açısından değerlendirmesi yapılmıştır. Kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmenin iyileştirilmesi ile kalıp ömürlerinde de artış sağlanmıştır.

Bu tezde, 2. Bölümde soğuk dövme öncesi yapılan yüzey işlemleri, geleneksel kaplamalar, yeni nesil yağlayıcılar, kaplamaların ve yağlayıcıların performans testleri ile alakalı literatür taraması yapılmıştır.

3. Bölümde ise kaplama altlıkları üretilmiş, sürtünme ve aşınma testleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında kullanmak için DCET testlerinde kullanılan Ck45 malzemenin çekme testleri yapılarak malzemeye ait simülasyon giriş verileri elde edilmiştir. Aks lalesinin farklı kayma sürtünme katsayısı değerleri ile sonlu elemanlar yazılımında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Aks lalesinin soğuk dövme işlemleri yapılarak deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

4. Bölümde eski nesil kaplama ve yeni nesil yağlayıcılar ile yapılan sürtünme ve aşınma testi sonrası Kolomb sürtünme katsayıları, aşınma genişlikleri ve derinlikleri ölçülmüştür. DCET testi için tavlama işlemi yapılan test numunelerinin mikroyapıları incelenmiş ve mikro sertlik taraması yapılmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre malzemenin K ve n değerleri hesaplanarak sonlu elemanlar simülasyonuna malzeme veri girişi sağlanmıştır. Sonlu elemanlar simülasyonu yapılarak kayma sürtünme katsayısı kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Çinko ve mangan fosfat kaplanan numunelerin

Sem-Eds analizleri yapılarak farklı yüzey durumunda kaplamaların yüzeydeki tutunmaları, element analizleri ve element yüzdeleri hesaplanmıştır.

5. Bölümde ise elde edilen bulgular ışığında kaplama ve yağlama işlemi öncesi yapılan yüzey işlemlerinin sürtünme ve aşınmaya olan etkileri tartışılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Metallerin Soğuk Dövme İşlemi ve Kalıp Sistemi

Soğuk dövme işlemi oda sıcaklığında malzemelerin şekillendirilmesi işlemidir. Soğuk dövme işlemi genellikle geometrik olarak küçük parçalara uygulanmaktadır. Soğuk dövme işlemi sonrası çapak oluşmaz. Soğuk dövme işlemi ile yüksek miktarda ekonomik olarak parça üretilir. Soğuk dövme işlemi ile boyutsal ölçü hassasiyeti, yüksek üretim adetleri, malzemeden ve işçilikten tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca ham malzemeye nazaran yüksek çekme gerilmesi ve dayanımda iyileşme sağlanmaktadır (Altan ve ark., 2004).

Oda sıcaklığında süneklik gösteren tüm metaller soğuk dövülebilir. Bu grup öncelikle çeliklerden ve alüminyum alaşımlarından oluşur. Ancak, bakır, çinko, kalay, titanyum, beril ve nikel alaşımları da özel uygulamalar için soğuk dövülebilmektedir (Mangukia, 2005). Aşağıdaki çelik gruplarına soğuk dövme işlemi yapılabilmektedir (Altan ve ark., 2004).

Sertleştirilebilen çelikler: alaşımsız: 1010, 1015; alaşımlı: 5115, 5120, 3115; Isıl işlem uygulanabilen: alaşımsız: 1020, 1035, 1045; alaşımlı: 5140, 4130, 4140, 8620; Paslanmaz çelik: perlitik: 410, 430, 431; östenitik: 302, 304, 316, 321

Paslanmaz çelikler genellikle kolayca dövülemez. Özellikle, östenitik veya östenitik-ferritik çeliklerin (çok sertleşen) soğuk dövülmesi yüksek kuvvetler ve kalıp basınçları gerektirir. Ayrıca, bu malzemelerin yağlanması da zordur.

Soğuk dövmeye uygun alüminyum alaşımlarına örnekler şunlardır (Altan ve ark., 2004):

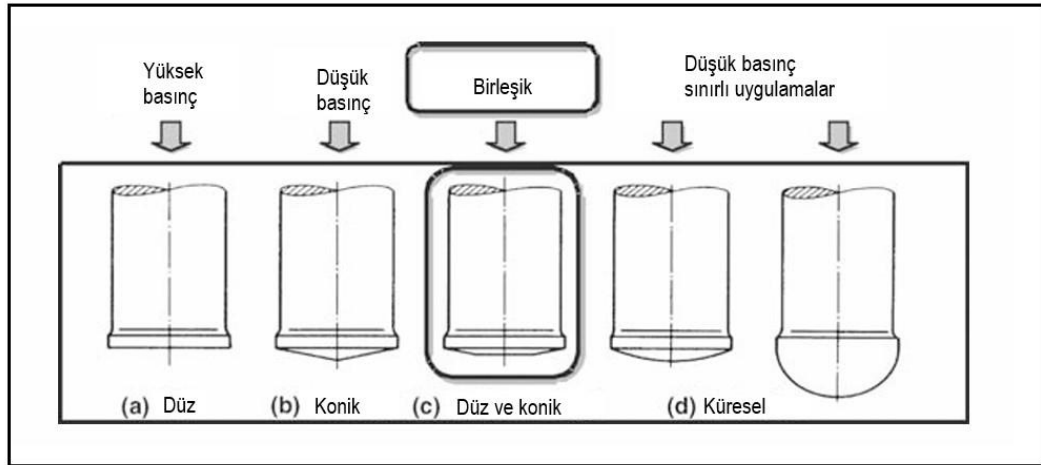
- Saf veya alüminyum alaşımları: 1285, 1070, 1050 ve 1100
- Sertleştirilemeyen alüminyum alaşımları: 3003, 5152 ve 5052
- Sertleştirilebilir alüminyum alaşımları: 6063, 6053, 6066, 2017, 2024 ve 7075

Çinko fosfat kaplama tabakasına yapışan stearate esaslı sabunlar çeliğin oda sıcaklığında dövülmesi öncesi iş parçası yüzeyine uygulanır. MoS₂ ve grafit gibi katı yağlayıcılar şekillendirme basınçlarının yüksek olduğu dövme uygulamalarında kullanılmaktadır (Doehring, 1972).

Dönüşüm kaplamaları olmadan uygulanan yağlayıcılar yağ, gres veya alkali stearate'tır (özellikle çinko stearate). En yaygın dönüşüm kaplamaları kalsiyum alümina ve alüminyum florür kaplamalarıdır. Her iki durumda da dönüşüm kaplaması bir

yağlayıcıyla, genellikle çinko stearate ile birleştirilir. Dönüşüm kaplaması uygulanırken yüzeylerin tamamen temiz olması esastır. Bu, kaplamadan önce yüzeyin dikkatlice yağdan arındırılması ve asitle temizlenmesi gerekir (Bay, 1994, 1997).

İleri ve geri ekstrüzyon işlemlerinde erkek kalıplar Şekil 2.1’de olduğu gibi tasarlanmaktadır. Erkek kalıba gelen basınç yükü ile kalıp malzemesinin bu yükü karşılayabileceği kıyaslanmalıdır. Erkek kalıbın temas halindeki geometrik formu sürtünme kuvveti ve malzeme akışı üzerinde önemli etkiye sahiptir (Altan ve ark., 2004).



Şekil 2. 1. Geri ekstrüzyon erkek kalıp form şekilleri (Lange ve Pöhlandt, 1985)

Erkek kalıplarda aşırı yükten kaynaklanan bükülmeye karşı dikkatli olunması gerekir, keskin geçişlerden kaçınılmalı ve geçişler yuvarlatılarak parlatılması gerekmektedir. Şekil 2.2’de düz ve konik erkek kalıp tasarım geometrisine ait bir kılavuz bulunmaktadır. Burada,

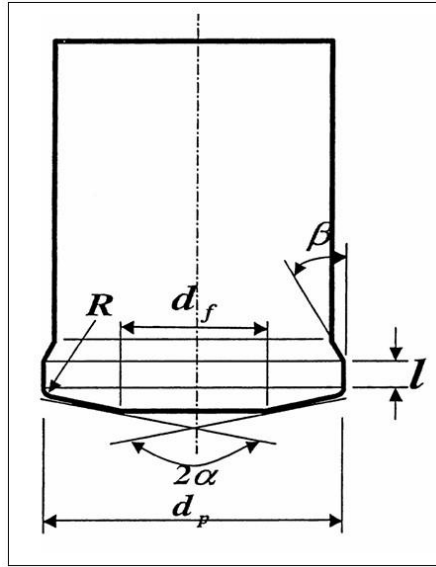
$$d_f = d_p - [2R + (0,2 - 0,3)d_p] \quad (2.1)$$

$$\text{Konik açısı: } 2\alpha = 160^\circ - 170^\circ \quad (2.2)$$

$$l = 0,3 - 0,7x\sqrt{d_p} \quad (2.3)$$

$$R = 0,05 - 0,1 \times d_p \quad (2.4)$$

$$\beta = 4^\circ - 5^\circ \quad (2.5)$$



Şekil 2. 2. Erkek kalıp tasarımı (Lange ve Pöhlandt, 1985)

Ekstrüzyon kalıplarında kalıp gerilimleri yüksek olduğu için dişi kalıplar genelde bir gerilim halkalarının (zarf) içerisine alınır. Deformasyon esnasında gelen gerilimleri karşılamak amacıyla bu gerilim halkalarına verilmesi gereken ısıtma işlemi önem arz etmektedir. Genelde gerilimin 2068 MPa ve üstünde olduğu durumlarda gerilim halkaları kullanılmaktadır. Bu sayede kalıp ömürlerinde 2 ile 10 kat arasında bir iyileşme sağlanır. (Groenbaek ve Nielsen, 1997).

Hassas soğuk dövme işlemlerinde iş parçası malzemesi, kalıp malzemesi, ısıtma işlemi, imalat yöntemi, finiş işlemi ve yağlama büyük önem arz etmektedir. Kaplama da fosfat kristalleri yüzeye düzgün, uygun kalınlıkta ve homojen bir şekilde yapışmalıdır. Soğuk dövme için seçilen kaplama ve yağlayıcı ihtiyacı karşılayabilmelidir. Kalıp malzemeleri çatlak barındırmamalı, kükürt ve gazdan arındırılmalıdır (Lange, 1992).

Metallerin soğuk dövülmesinde malzeme ve kalıp sistemi önem arz etmektedir. Orta karbonlu 40Cr ıslah çeliğinin ıslah ve meneviş sonrası yapılan soğuk dövme işleminde, ekstrüzyon yükünü arttıran ana faktörün ilk başta ekstrüzyon oranı olduğu, bunu sırası ile ekstrüzyon kalıp açısı, sertlik ve yağlayıcı takip etmektedir. Yağlayıcı olarak seçilen fosfat ve sabun kaplamanın deformasyon yüküne etkisi kayda değer bir şekilde olmadığı görülmüştür. Fosfat ve sabun kaplamanın orta karbonlu çeliklerin soğuk dövülmesinde tercih edilmesi, gösterdiği performanstan ötürüdür. Islah edilmiş malzemenin mikro yapı incelemesinde herhangi bir çatlak ve malzeme lif akışında herhangi bir çift taraflı pik (double pick) davranışına rastlanmamıştır (Hu ve ark., 2009).

2.2. Metallerin Ilık ve Sıcak Şekillendirme İşlemlerinde Yağlama

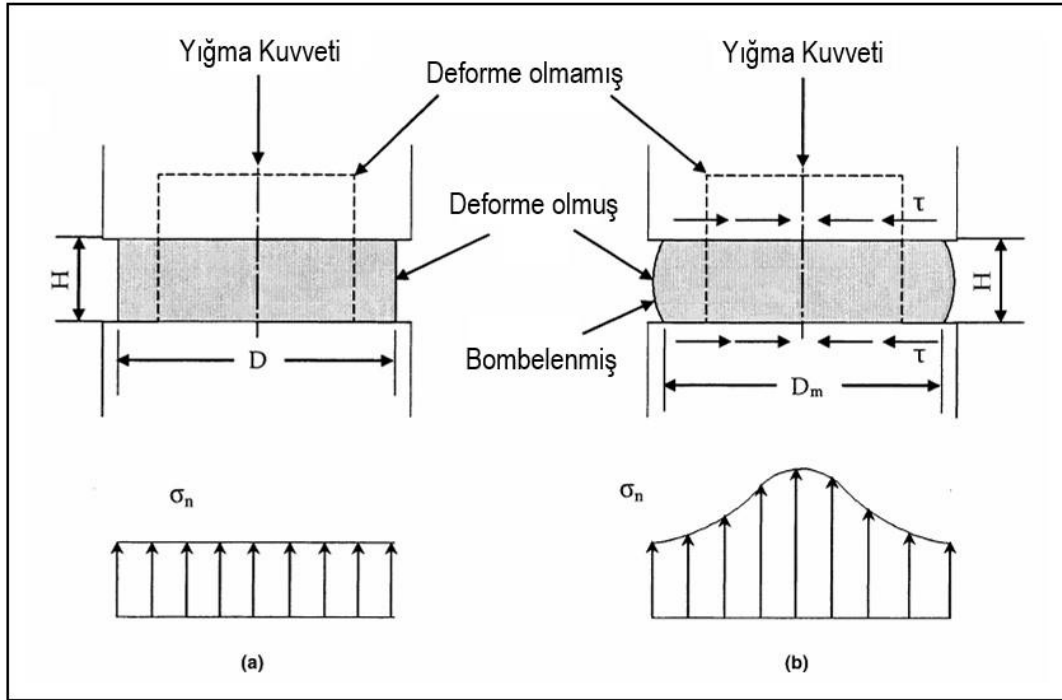
Sıcak, ılık ve soğuk şekillendirme işlemlerinde, yağlama koşullarındaki temel fark proses esnasında oluşan sıcaklıktır. Kalıp sıcaklıkları, yüksek kalıp gerilimleri ile birleştiğinde kalıplarda aşınma ve plastik deformasyon meydana gelir (Saiki, 1997). Bunun için seçilecek olan yağlama sistemi, kalıp ömrünü ve parça yüzey kalitesini artırıp, kalıp ve iş parçası arasındaki kayma gerilmesini en aza indirmelidir. Yağlamanın en kısa sürede, uygun mesafe ve açıda yapılması gerekmektedir. Sıcak ve ılık dövmede organik bazlı yağlayıcılar, sabunlar ve mineral yağlar yandığı için uygun değildir. Bu proseste yağlayıcı seçimi sınırlıdır (Schey, 1983). Sıcak ve ılık dövme de en yaygın dört çeşit yağlama sistemi kullanılmaktadır. Bunlar, MoS_2 , grafit, sentetik yağlar ve cam esaslı yağlardır. MoS_2 ve grafit katı yağlayıcıdır. Bu iki ürün su bazlı, yani su ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Kalıp sıcaklığının maksimum 400°C olduğu durumlarda sonuç vermektedir. Su ile karıştırılan grafit kalıba püskürtüldüğü zaman su kalıbı soğutarak kalıbın sıcaklıktan dolayı aşınmasını engeller. Bunun yanında grafitli çözeltinin içindeki su buharlaştıktan sonra grafit kalıp yüzeyine yapışarak, kalıbın yüzeyinde bariyer oluşturur ve aşırı ısınmasını engeller. Bununla beraber kalıp ve iş parçası arayüzeyindeki kayma sürtünme gerilmesini düşürür (Schey, 1983).

Yağlayıcıların kalıplara değil de iş parçasına püskürtülmesinde bazı kısıtlamalar mevcuttur. Alüminyumun ve magnezyumun daha düşük sıcaklıklarda dövülmesinde grafit esaslı ve mineral yağlar kullanılmaktadır (Schey, 1983).

Çeliklerde, indüksiyon ısıtmadan önce iş parçasına çok hızlı bir şekilde uygulanan grafit bazlı kaplamalar kullanmak mümkündür. Cam esaslı yağlayıcılar, havacılık uygulamalarında, titanyum, nikel ve tungsten alaşımlarının sıcak dövülmesinde yağlayıcı ve koruyucu kaplama olarak kullanılır. Cam esaslı yağlayıcı kullanımında iş parçası ya sulu bir bulamaçtan geçirilir veya önceden ısıtılmış iş parçasına cam tozu uygulanır. Cam daha sonra viskoz bir sıvıya dönüşmektedir (Schey, 1983). Kalıplar iş parçasından çok daha düşük sıcaklıklarda olduğundan, camsı katman film boyunca keskin bir sıcaklık gradyanı oluşturur ve bu da yağlama için hayati önem taşıyan keskin bir viskozite gradyanı (iş parçasının yakınında erimiş cam ve kalıpların yakınında katı cam) üretir.

2.3. Metallerin Soğuk Şekillendirme İşlemlerinde Sürtünme ve Yağlama

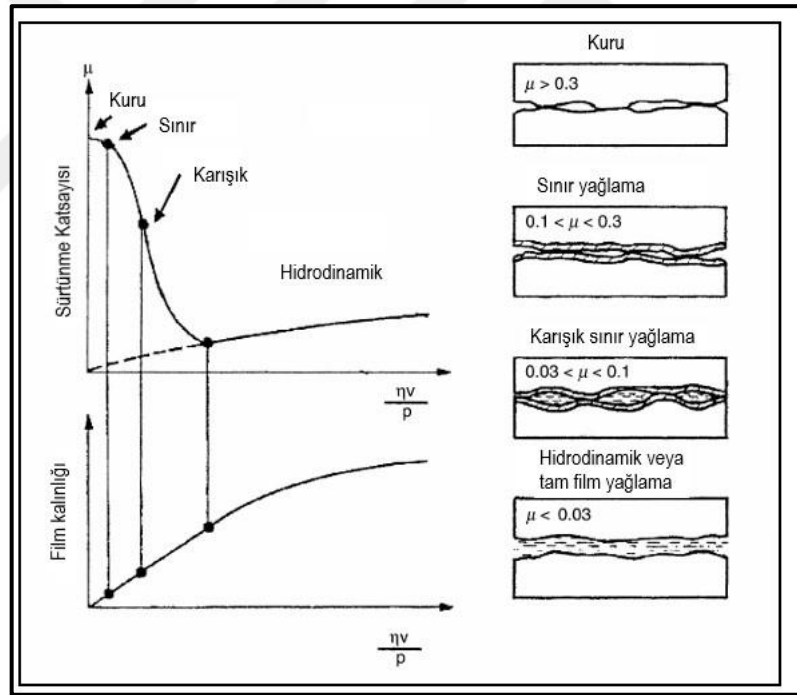
Metal şekil verme işlemlerinde kalıp ve iş parçası arasında oluşan sürtünme, kalıp içerisindeki metal akışını, iş parçası üzerinde oluşabilecek yüzey ve iç kusurlarını, kalıp üzerindeki gerilmeleri ve ihtiyaç duyulan yük ve enerji gereksinimlerini büyük ölçüde etkiler. Şekil 2.3 (a)'da sürtünmesiz durumda, iş parçası düzgün bir şekilde deforme olur ve ortaya çıkan normal gerilme σ_n çap boyunca sabit olur. Şekil 2.3 (b)' de gerçek koşullarda kayma sürtünme gerilmesi τ , meydana gelir. Deformasyon düzgün gerçekleşmez ve iş parçası dışarıya doğru bombe halini alır. Sonuç olarak σ_n , dış çaptan parçanın merkezine doğru artar ve toplam şekillendirme kuvveti sürtünmesiz duruma göre daha büyük olur (Altan ve ark., 2004).



Şekil 2. 3. Silindirik bir iş parçasına şekil verme işleminin yapılması, (a) sürtünmesiz durum, (b) sürtülmeli durum (Altan ve ark., 2004)

Metal şekil verme işlemlerinde kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünme koşullarını tanımlamak için dört tip yağlama koşulu mevcuttur (Altan, 1970; Schey, 1983). Şekil 2.4'te çeşitli yağlama mekanizmalarının başlangıcını gösteren Stribeck eğrisi gösterilmektedir. Bu egride η : viskoziteyi, v : sürtünme hızını ve p : normal basıncı ifade etmektedir. Kuru sürtünme durumunda kalıp ve iş parçası arasında herhangi bir yağlayıcı yoktur ve sadece arayüzde oksit tabakaları mevcuttur. Bu tabaka ayırıcı katman olarak rol

oynamaktadır. Bu tarz kuru sürtünme durumunda kuvvetler çok fazladır. Sıcak haddeleme ve alüminyum ekstrüzyon gibi bazı proseslerde görülmektedir. Sınır yağlama durumunda yağlayıcı metal yüzeyine fiziksel olarak emilir veya kimyasal olarak yapışır. Bu yağlama durumunda metal-metal arayüzünde ince bir film tabakası görülür. Bu tarz yağlama koşulunda da kuru sürtünme de olduğu gibi sürtünme kuvvetleri yüksektir. Tam film yağlama da kalıp ve iş parçası arasında katı yağlayıcı veya kaplama mevcuttur. Bu durumda da sürtünme koşulları yağlayıcının kayma gerilmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hidrodinamik yağlamada kalıp ve iş parçası arasında akışkan bir yağlayıcı tabaka bulunmaktadır. Sürtünme koşulları, bu akışkan tabakanın viskozitesi ile kalıp ve iş parçası arasındaki bağıl hıza göre değişmektedir. Viskozite arayüzde oluşan sıcaklık arttıkça düşmektedir. Buna rağmen yüksek hızlı şekillendirme işlemlerinde, örneğin şerit haddeleme ve boru çekme operasyonlarında, hız rejimlerinin kararlı olduğu durumlarda kalıp ve iş parçası arasındaki arayüz sıcaklığı relatif olarak düşüktür.



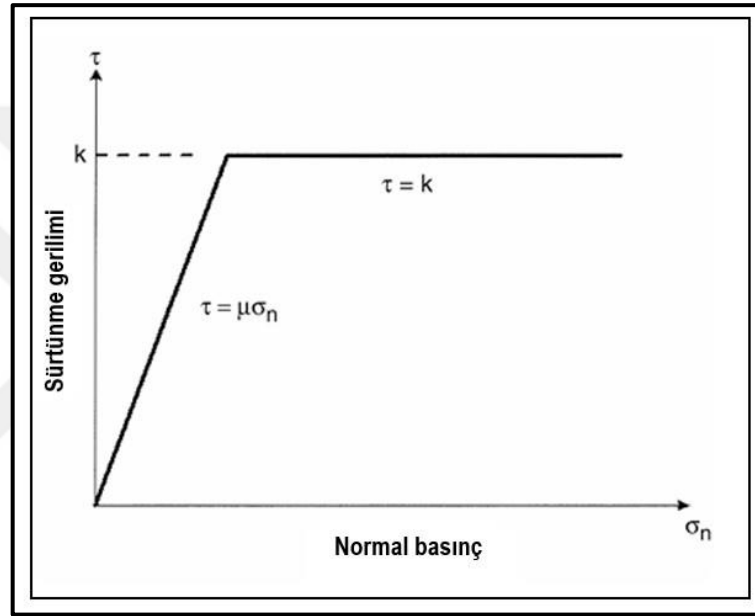
Şekil 2. 4. Çeşitli yağlama mekanizmalarının başlangıcını gösteren Stribeck eğrisi (Schey, 1983)

Karışık sınır yağlama metal şekil verme işlemlerinde en çok görülen yağlama şekillerinden bir tanesidir. Bu tarz yağlama durumunda basınçlar yüksek olup sürtünme hızları düşüktür. Metal-metal yüzeylerindeki çıkıntılar birbiri ile temas ederken metal üzerindeki girintilere dolan sıvı yağlayıcılar metal yüzeyi tarafından emilebilir veya kimyasal olarak yüzeye yapışabilirler. Bu ceplere dolan yağlayıcı akışkanlar, metalin uç

noktalarının deformasyonu esnasında meydana gelen normal basıncı karşılamaktadır (Altan ve ark., 2004).

Kalıp ve iş parçası arasındaki arayüz sürtünmesini ifadesi Denklem 2.6 ve Şekil 2.5'te açıklanmıştır. Kolomb sürtünmesi, μ , arayüzdeki sürtünme katsayısını ifade eder. τ , kayma gerilmesi ve σ_n , normal basıncı ifade etmektedir. Denklem 2.6'da bu eşitlik gösterilmektedir.

$$\tau = \sigma_n \mu \quad (2.6)$$



Şekil 2.5. Yüksek normal basınçlarda sürtünme (Altan ve ark., 2004)

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, Kolomb kuralındaki lineer ilişki bütün normal gerilmelerde geçerli değildir. Şöyle ki kayma gerilmesi τ , malzemenin kayma dayanımı olan k 'yi geçemez ve böylece ikinci sürtünme kuralı olan arayüz kayma sürtünmesi kuralı geçerli olur (Schey, 1983).

Arayüz kayma sürtünmesinde, sürtünme faktörü f veya kayma faktörü m , arayüzdeki sürtünmeyi belirtmek için kullanılır. Denklem 2.7'ye göre sürtünme kayma gerilmesi τ , malzemenin akma gerilmesi $\bar{\sigma}$, sürtünme faktörü f veya kayma faktörü m 'e bağlıdır. Sürtünmenin olmadığı durumlarda $m=0$, arayüzde yapışma sürtünmesi olduğu durumda $m=1$ olur (Schey, 1983)

$$\tau = f \bar{\sigma} = \frac{m}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} = mk \quad (2.7)$$

Denklem 2.7, normal gerilimlerin yüksek olduğu dövme işleminde kayma sürtünme gerilimini temsil eder ve sürtünmeyi değerlendirmede, gerilim ve yük hesaplamaları yapmada avantajlar sunar (Altan, 1970; Schey, 1983; Buschhausen ve ark., 1992).

Çeşitli şekil verme operasyonlarında kayma sürtünme değeri m değişiklik göstermektedir. Çeliklerin, alüminyum alaşımlarının, bakırın geleneksel fosfat-sabun kaplamalarının ve yağlarının kullanıldığı soğuk dövme işleminde m değeri 0.05-0.15 arasında değişkenlik göstermektedir. Grafit esaslı su karışımlı soğutma ve yağlama sıvılarının kullanıldığı, çeliğin, bakırın ve alüminyum alaşımlarının sıcak dövülme operasyonlarında kayma sürtünme katsayısı m , 0,2-0,4 arasında değişkenlik göstermektedir. Titanyum ve yüksek sıcaklık alaşımlarının cam esaslı yağlayıcı kullanılarak sıcak dövülmesinde m değeri 0,1-0,3 arasında değişkenlik göstermektedir. Yağlayıcının bulunmadığı, sıcak haddeleme ve alüminyum ekstrüzyon işlemlerinde m değeri 0.7-1.0 arasında değişkenlik göstermektedir (Altan, 1970).

Takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi etkileyen diğer faktörler şunlardır. Takım ve iş parçası malzeme özellikleri, kalıp geometrisi, kalıp ve iş parçası şekil verme öncesi yüzey durumları ve sıcak dövme operasyonlarında parça üzerinde oluşan tufaldır. Eğer bu tufal yumuşak ise kalıp ve iş parçası arasında yağlayıcı rolü görür, eğer sert ve kırılğan ise kalıp ve iş parçası arasında abrasif aşınmaya sebep olur (Altan ve ark., 2004).

Soğuk dövme takımlarına uygulanan ezerek şekil verme ve parlatma işlemlerinde, parlatılmış yüzeyin yüzey topografyası, ezerek şekil verilen yüzeye nazaran daha pürüzsüz bir yüzey oluşturulduğu ve yapılan DCET testleri sonucu kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmenin, pürüzlü olan durumdan daha düşük çıktığı görülmüştür (Andreas ve Merklein, 2014).

Soğuk dövmede iş parçası yüzey durumunun tribolojik olarak sürtünmeye etkisi incelendi. Yüzey pürüzlülük modeli sıkıştırma ve sürtünme testinden (CST, compression and sliding test) alınan verilerle parametrik bir şekilde ifade edilmiştir. İş parçası ile takım arasındaki yüzey pürüzlülüğünü tanımlamak için profilin üç boyutlu kök ortalamasının karesinin sapması (S_q) esas alarak tanımlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne ait yapılan simülasyonun yüzey genişlemesi ve temas gerilimi ile uyumlu olduğu görüldü. Test prosedürlerinin yüksek temas basıncı ve düşük yüzey genişlemesinde geliştirilmesi gerektiği kanaatine varıldı. Çalışmalarında ekstrüzyon esnasında oluşan mikro çatlakların, hidrostatik basıncın ve yağlamanın etkisi değerlendirilememiştir (Stahlmann ve ark., 2012).

Soğuk dövmede kullanılmak üzere çift katmanlı bir kaplama önerildi. Ana metale yakın olan kısım iyi bir yapışma sağlayıp bunun üzerindeki tabaka ise iş parçası ve kalıp arasında düşük sürtünmeyi sağlamıştır. Yağlayıcının değerlendirilmesi için, sıkıştırma testi, ileri çubuk ekstrüzyon-geri kap ekstrüzyon, ileri konik kap ekstrüzyon-geri düz kap ekstrüzyon testleri uygulanmıştır. Metal yüzeyine yakın olan kısımda ana malzemesi yüksek polimer, molibden disülfid ve grafit olan kaplamalar kullanılmıştır. İnorganik tuzlar ve sıvı yüksek polimerler bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bal mumu ve sabun yağlayıcı element olarak kullanılmıştır. Testlerde tavlanmış krom ve molibden içeren JIS SCM420 çelik kullanıldı. %50 redüksiyonu oranı sağlanarak sıkıştırma testi uygulandı. Deform 2D kullanılarak kayma sürtünme faktörü “m” kalibrasyon eğrileri oluşturuldu. Kaplama kalınlığı alt katman 14 µm, üst katman ise 6 µm kalınlıkta kaplanıp hazırlanmıştır. Geleneksel kaplama olan çinko fosfat +sabun prosesi kıyaslama amacı ile kullanılmıştır. En düşük m değeri çinko fosfat + sabun kaplamada elde edilmiştir. En yüksek m değeri; tek katmanlı MoS₂+grafit+balmumu+ metalik sabun +inorganik tuz +sıvı yüksek polimer ve MoS₂+grafit+inorganik tuz +sıvı yüksek polimer kaplamada görüldü. Çift katmanlı polimer kaplama, molibden sülfür +grafit ve tek katmanlı polimer kaplama aynı kayma sürtünme katsayısı “m” değerini sağlamıştır ve değer olarak geleneksel çinko fosfat +sabundan biraz yüksektir. İleri ve geri ekstrüzyon testleri için de Deform 2D kullanılarak kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Bu test yüksek basınçta ve uzun sürtünme uzunluklarında yapıldığından, yağlayıcıların değerlendirilmesinde iyi sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır. 19 mm ileri ve geri ekstrüzyon konik testinde en düşük sürtünme değeri, tek katmanlı MoS₂+grafit kaplamada görülürken, konik ekstrüzyon testinde en düşük sürtünme değeri çift katmanlı yüksek polimer kaplamada görülmüştür (Sagisaka ve ark., 2012).

Sertleştirilmiş alüminyumun JIS A6061-T6 ileri dış ekstrüzyonunda, katı yağlayıcı ve alüminyum florit içeren çift katmanlı kaplamanın sürtünme performansı değerlendirilmiştir. Sulu kumlama ile yüzey hazırlanmış ve bu metot düşük sürtünme ve yapışmaya karşı direnç sağlamıştır. Deform 3D yazılımı kullanılarak kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. 11 µm alt tabaka ve üzerine 3 µm kaplama yapılmıştır. Çift katmanlı kaplamanın, alüminyum florid kaplamaya nazaran sürtünme performansının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Sagisaka ve ark., 2013).

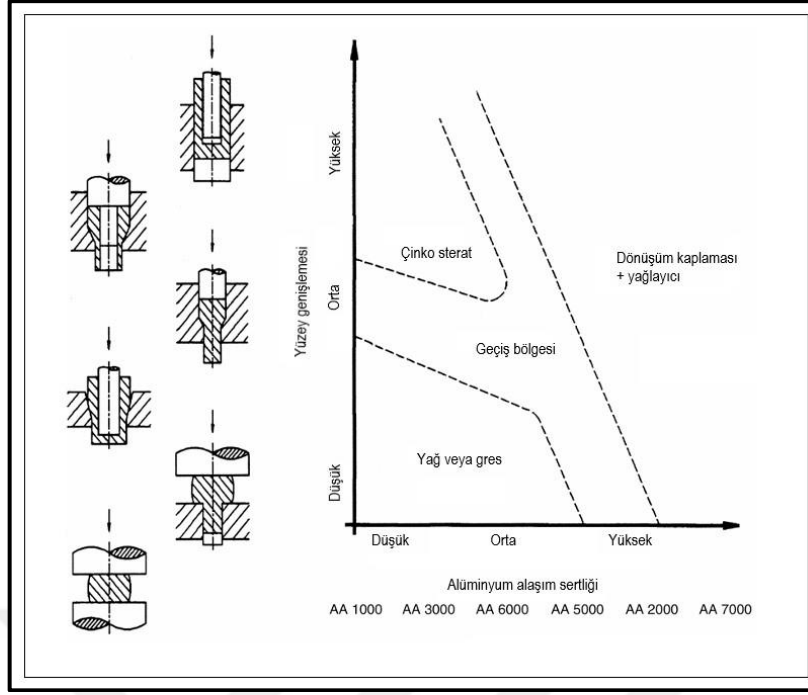
Kuru kaplamanın (dry-in-place coating) tribolojik performansını değerlendirmek için birtakım testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden bazıları, geri ekstrüzyon, yığma testi (spike forging) ve çift yönlü ekstrüzyon (DCET) testleridir. Kaplamalar çeşitli

bal mumu ve özel şekillendirme yağlarının çeşitli kombinasyonlarında yağlayıcılar ile yağlanarak testlere tabi tutulmuştur. DCET, geri ekstrüzyon ve yığma testinde (spike forging), kaplama üzerine yapılan yağlamanın sürtünmeyi düşürdüğü gözlenmiştir. Hiç kaplama ve yağlama yapılmayan geri ekstrüzyon ve yığma testinde, (spike forging) sürtünme katsayısı “m” nin 0,7 seviyelerine çıktığı, kaplama üzerine tatbik edilen şekil verme yağı ile “m” değerinin 0.03 aralığında kaldığı gözlemlendi. Çift yönlü ekstrüzyon testinde de (DCET) benzer bir durum gerçekleşmiş olup kaplama üzerine yapılan şekil verme yağı ile “m” değerinin 0.02 seviyelerinde olduğu görüldü. Ayrıca test doğrulaması için otomotiv parçasına ait soğuk dövme neticesinde gerçekleşen yükseklik ölçümleri ve FEM analizindeki veriler karşılaştırılarak gerçek durumdaki sürtünmenin kıyaslaması yapılmıştır (Kim ve ark., 2020).

Soğuk dövmede kullanılan yağlayıcıların performansının değerlendirilmesinde kullanılan DCET testlerinin yerine bilye penetrasyon testi ile yapılan yağlayıcı performans testlerinde, bilye penetrasyon testinin yağlayıcıların performansının değerlendirilmesinde hızlı ve kolay bir metot olduğu görülmüştür. Bilye penetrasyon test sonuçlarının, geri ekstrüzyon test sonuçları ile uyum içinde olduğu görüldü (Ohmori ve ark., 1992).

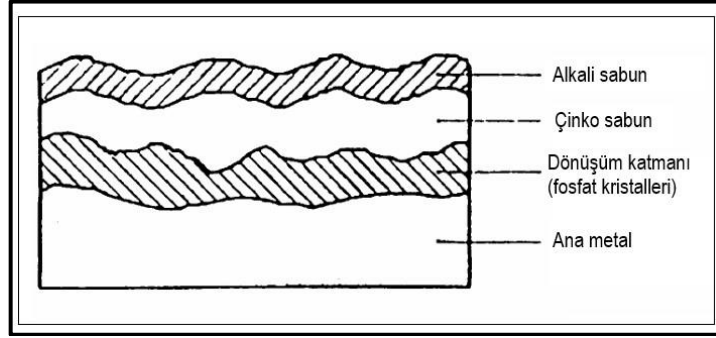
Çevre ve insan sağlığı bakımından kimyasal fosfatlama yerine geliştirilen elektro fosfatlama, kimyasal fosfatlamanın olumsuz etkilerini indirmiştir. Tek banyolu ve çift banyolu yağlama sistemleri ile kaplama yüzeyine inorganik bir tuz ve bir mumdan oluşturulan çift katmanlı tabaka, fosfat kaplama ve sabun kaplamanın yerini almada çok etkili olmuştur (Bay, 2013).

Soğuk dövme işlemlerinde kullanılacak olan yağlayıcın seçiminde, arayüz basıncı, yüzey genleşmesi ve deforme olacak olan parçanın sertliği önemlidir. Yığma, geri ekstrüzyon veya ileri ekstrüzyon durumlarında aynı yağlayıcı kullanmak, aynı performansı vermeyebilir. Farklı malzemeler için, örneğin çelik, alüminyum ve titanyum için farklı yağlayıcı kullanımı gerekebilir (Schey, 1983). Şekil 2.6’da alüminyum alaşımlarında deformasyon şekline göre yağlayıcı seçim grafiği gösterilmektedir (Bay, 1994).



Şekil 2. 6. Deformasyon şekline göre yağlayıcı seçimi (Bay, 1994).

Birçok soğuk dövme operasyonlarında soğuk dövme öncesi Şekil 2.7'de gösterildiği gibi çinko fosfat kaplama ve yağlayıcı olarak sabun kullanılmaktadır.

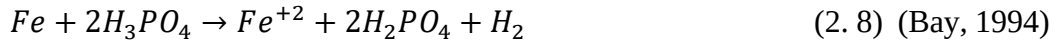


Şekil 2. 7. Çinko fosfat kaplama ve yağlayıcı sistemi (Bay, 1994)

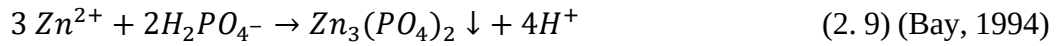
Çinko fosfat kaplama işlemlerinde ilk olarak iş parçası, yüzeyindeki yağ ve cürufan arındırıldıktan sonra çinko fosfat banyosuna batırılır. Yüzeyin temizleme işlemi kimyasal veya mekanik olarak yapılabilir. En çok tercih edilen yöntem mekanik olarak temizleme yöntemi olan kumlama işlemidir. Kumlama işlemi ile fosfat ve sabun için uygun bir ortam oluşturulur. Etkin bir yapışmanın sağlanması için yüzeyin yağdan arındırılması gerekir. Arındırma işlemi için sodyum veya kalsiyum alkali su ile karışabilen alkali kostik soda, soda, silikat, fosfat ve borat banyolarında yağdan arındırma işlemi yapılır. Banyo sıcaklığı yaklaşık 50C°'dir. Sonrasında 40C°-60C° sıcaklığındaki

banyo da sülfirik asit ile dağlama işlemi yapılır. Asit banyosundan sonra durulama banyosuna ve fosfat öncesi aktivasyon banyosuna alınır (Bay, 1994).

Fosfatlama banyosunun ana bileşenleri çinko, fosfat ve nitrattır. Fosfat banyosunun PH seviyesi 2 civarındadır ve asidik bir ortam mevcuttur. Kimyasal reaksiyon ile yüzeyde 5-20 µm fosfat tabakası oluşur. Çözeltinin fosfat banyosuna ilk temasında yüzey asidik bir saldırıya uğrar ve Fe^{+2} oksidasyona uğrayarak H^{+} iyonları H_2 hidrojen gazına indirgenir. Bu asidik reaksiyon aşağıda denklem 2.8 ile ifade edilir (Bay, 1994).



Demir yüzeyden ayrılır ve metal yüzeyinde çinko fosfat birikmeye başlar. Başlangıçta $H^{+/-}$ iyonları kullanıldığından, çözeltinin metal yüzeyine yakın dengesinde, çözeltide bulunan birincil çinko fosfat, çözünmeyen üçüncül çinko fosfata ve serbest fosforik aside dönüşmesi şeklinde değişir. Üçüncül çinko fosfat çözeltiden fosfat olarak çöker ve metalik yüzeyinde kristal bir tortu olarak görünür. Bu kimyasal reaksiyon denklem 2.9 ile ifade edilir (Bay, 1994).

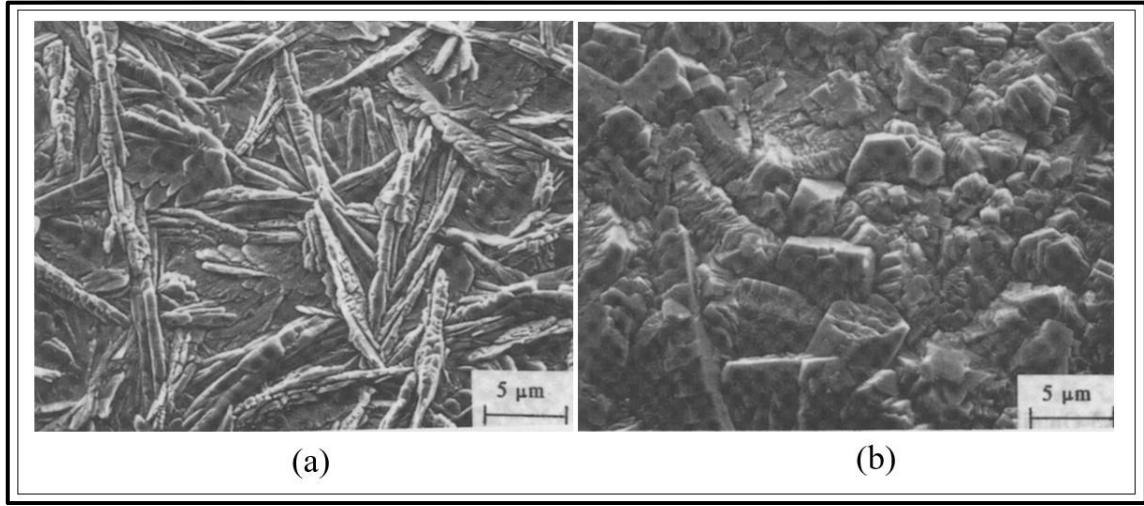


Faz sınırında Fe^{+2} iyonları bulunduğundan çinko demir fosfat kristalleri de birikir. Fosfat banyoları hızlandırıcı görevi gören oksidan adı verilen katkı maddeleri içerir. Bu maddeler, ilk reaksiyon sırasında oluşan çözünmüş Fe^{+2} iyonlarını tamamen Fe^{+3} 'e dönüştürür. Fe^{+3} Fosfat çözeltide çözünmediği için çamur şeklinde çöker. Nitrat zayıf bir oksidandır. Oksidan olarak yalnızca nitrat kullanılırsa, Fe^{+2} çok yavaş oksitlenir. Bu tür banyolarda Fe^{+2} konsantrasyonu, malzemenin artan verimiyle birlikte yükselir ve çamur oluşumu da buna bağlı olarak düşüktür. Çamur çok kompakt ve hacmi küçüktür. Oksitleyici etki, hızlandırıcı olarak sodyum nitrit veya sodyum klorat eklenerek artırılabilir. Bu nedenle nitrit veya kloratla hızlandırılmış fosfatlama işlemlerinin çamur hacmi genellikle daha yüksektir. Oksidanlar ayrıca kaplama oluşumunu da etkiler, yani seçilen oksidana bağlı olarak farklı ağırlık ve morfolojide kaplamalar üretilir. Bu oksidanlar Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Bay, 1994).

Çizelge 2. 1. Fosfatlama işleminde hızlandırıcıların karakteristikleri (Bay, 1994)

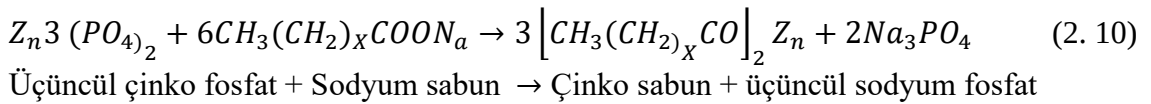
	Nitrat (NO_3^-) Toplu işlem	Nitrat/Klorat (ClO_3^-) Toplu işlem	Nitrat/Klorat sürekli operasyon
Kaplama ağırlığı	15-30 g/m^2	6-20 g/m^2	5-10 g/m^2
Kaplama kalınlığı	7-20 μm	3-12 μm	2-5 μm
İşlem süresi	10-15 dk	5-15 dk	15-45 sn
İşlem sıcaklığı	45-95 C°	40-80 C°	70-85 C°

Fosfatlama banyosundaki yüksek banyo konsantrasyonları daha kalın fosfat kaplamalarıyla sonuçlanır. Daldırma süresini değiştirerek kaplama kalınlığının değiştirilmesi mümkün değildir. Fosfat tabakasına ait çeşitli kristal yapılar Şekil 2.8’de görülmektedir. Uygulamada, kristalliğin soğuk dövme işlemi açısından önemli olabileceği bulunmuştur (Bay, 1994).



Şekil 2. 8. Fosfat kaplama kristal yapı (a) iğne kristal yapı, (b) blok kristal yapı (Bay, 1994)

Fosfatlama işleminden sonra ürünler alkali sabun banyosuna daldırılır. Bu sabunun ana bileşeni sodyum stearate’ dir. Çinko fosfat kaplama, sodyum sabunu ile reaksiyona girer ve reaksiyon denklem 2.10’daki şekilde gerçekleşir (Altan, 1970; Bay, 1994).



Çinko fosfat tabakasının bir kısmı sodyum stearate ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen çinko sabununa dönüşür ve çinko fosfat kaplamasına sıkıca tutunur (Bay, 1994).

Fosfat ve sabun tabakası (yağlayıcı) kalınlığını, banyonun durumu, proses sıcaklığı ve aktivatörlerin çeşidi etkiler. Kalın bir fosfat ve sabun (yağlayıcı) tabakası elde etmek için normalden daha uzun sürelerde kaplama banyolarında tutmak gerekir. Fakat bunu yaparken parçanın nihai ölçü toleranslarının dışına çıkmasını engellemek gerekir (Bay, 1994; Lazzarotto ve ark., 1999).

Bu kaplama işlemi soğuk dövme işleminde başarılı olmasına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Üreticiler bu yağlayıcılar için farklı alternatif yağlama sistemi tasarlamaya çalışmaktadırlar (Gariety ve Ngaile, 2005). Bu sistemin dezavantajları şunlardır,

İlk satın alma, fosfat hattı, sabun hattı kurulumu ve bakım maliyetleri yüksektir. Çinko fosfat tabakasını yüzeyden kaldırmak zor ve pahalıdır. Çinko fosfat hattı zaman alan bir prosestir. Banyoların sıcak olmasından dolayı enerji maliyeti yüksektir. Soğuk dövme sonrası çıkan fosfat artıkları ve banyolarda oluşan kimyasal toksit atıklar insan ve çevre sağlığını etkilemektedir. Çinko fosfat tabaka iş parçası üzerindeki korozyonu arttırabilir ve ısıtma işlemi boyunca yüzeyden içeriye difüze olarak kırılabilirliği arttırabilir (Schmoeckel ve Rupp, 1997). % 5'den fazla Cr elementi içeren paslanmaz çeliklerde fosfatlama işlemi yapılamaz ve fosfat kaplama yerine oksalat kaplama yapılmalıdır (Schey, 1983).

Çinko fosfat banyolarında çinko fosfatın dönüşümü olan çinko stearate düşük sürtünme gerilimine sahiptir. Stearate (sabun) oluşma kalınlığı sürenin karekökü ile artmaktadır. Uzun sabunlama süreleri, stearate bağının fosfat bağından daha zayıf olması sebebi ile stearate dönüşümü biraz zayıftır. 200 C° üzerindeki sıcaklıklarda stearate tabakası ayrıştığı için sürtünme performansında güçlü düşüşler meydana gelmektedir (Hivart ve ark., 1992).

Magnezyum fosfat kaplamanın geleneksel çinko fosfat kaplama ile olan tribolojik farklılıklarının karşılaştırılması için bir dizi testler yapılmıştır. Kaplamalar iki durumda da yapılıp, sürtünme ve aşınma testleri (pin on disk) yapılmıştır. Fosfat kaplamaların yağsız ve yağlamalı durumdaki özellikleri, kaplama üzerine yağlayıcı emme özellikleri de ağırlık tayini ile test edilmiştir. Kaplamaların yapışma dayanım testleri de yapılmıştır. Fosfat tabakanın yağlayıcı tutma kabiliyeti aşınma direncini direkt olarak etkilediği öne sürüldü. Bunun için farklı banyo sıcaklığında, farklı kristal yapıya sahip magnezyum fosfatında bu kapsamda tribolojik özellikleri değerlendirildi. Sıcaklık arttıkça magnezyum kristallerinin büyüdüğü gözlemlendi. Kaplama kalınlığı ölçümlerinden 60 C° ve 80 C° sıcaklıklarda fosfat kalınlığının pek değişmediği görüldü. Ayrıca banyo PH'ı

arttikça magnezyum kristallerinin de büyüdüğü görüldü. Sem görüntülemelerde magnezyum fosfat ve çinko fosfat kaplama, aynı fosfatlama sürelerinde kalınlıkları karşılaştırıldığında sırası ile 40 µm ve 20 µm olarak ölçülmüştür. Magnezyum fosfat kaplama çinko fosfat kaplamadan daha kalın bir kaplama olarak öne çıkmıştır. Sürtünme ve aşınma testinde ham halde, çinko fosfatlı ve magnezyum fosfatlı durumda test öncesi ve sonrası ağırlık ölçümlerinden aşınma değerlerine de bakılmıştır. Çinko fosfat ve magnezyum fosfatın birbirine yakın sonuçları verdiği, aşınma değerlerinin ham halinden daha yüksek çıktığı gözlemlendi. Çinko fosfat kaplamanın yapışma dayanımının magnezyum fosfattan daha iyi olduğu ölçümlerle doğrulandı. Çinko fosfat için 10.42 MPa ölçülürken magnezyum fosfat için bu değer 8.64 MPa ölçüldü. Magnezyum fosfat ve çinko fosfat kaplamada yağlayıcı olarak kullanılan sabunun, aşınma testinde sürekli yağlanması durumunda, en düşük sürtünme katsayısı μ : 0.09 ile çinko fosfat kaplamada görülürken magnezyum fosfat kaplamada μ : 0.12 değeri ölçülmüştür. Sabun, banyo ile kaplandığı zaman ham altlıkların zayıf Van der Waals bağlarından ötürü yüzeye tam bağlanmıyor ve test esnasında bu tabaka kalkabiliyor. Magnezyum fosfatta sürekli yağlamaya nazaran ön kaplama işleminde, test esnasında sürtünme katsayısı çok düşüktür fakat testin ilerleyen kısmında sürtünme katsayısının sürekli yağlama koşuluna göre arttığı görülmüştür. Çinko fosfat kaplamada da aynı durum geçerli olup sürekli yağlamaya göre ön kaplama yapılarak yapılan testte elde edilen sürtünme katsayısı yüksek çıkmıştır. Yağlayıcı hapsedme kapasitesi magnezyum fosfatta, çinko fosfata göre daha yüksektir. Bu durum çinko fosfat ve magnezyum fosfat kristallerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Çinko fosfat kristallerin iğnemsiz ve düz bir kristal yapıya sahip olduğu, magnezyum fosfatın ise kolonlu bir kristal yapıya sahip olduğu belirtildi. Magnezyum fosfat kristallerinde daha gözenekli ve boş alanlar mevcut olduğu için yağlayıcı tutma kapasitesi çinko fosfata kıyasla daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Saffarzade ve ark., 2020).

Çift yönlü sıkıştırma testi ile yağlayıcı performanslarını değerlendirmek mümkündür. Test sisteminde hem düşük hem de yüksek yükler altında yağlayıcı performansı değerlendirilir. Ölçme sistemi sabit bir halka ve döner bir halka arasına yerleştirilen iş parçası malzemesinden oluşur. Ölçme sisteminde tork ve yer değiştirmeler sürekli ölçülerek kaydedilir. Glissopal, çinko stearate ve sabun fosfatlama ile yapılan sürtünme performansının değerlendirilmesinde Glissopal çinko stearate 'a kıyasla sürtünme performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Çinko fosfat sabununun bozulmaya karşı direncinin diğer kaplamalara nazaran daha iyi olduğu görülmüştür (Hansen ve Bay, 1986).

Ck15, X2CrNiMo1812 paslanmaz çelik, Ti 99.9 saf titanyum ve TiAl3V8Cr6Mo4Zr4 alaşımlı titanyum üzerinde FBE (İleri çubuk ekstrüzyonu), FTE (İleri boru ekstrüzyonu), BCE (geri kap ekstrüzyonu) ve başak dövme (spike forging) testleri uygulanarak malzemelerin sürtünme katsayıları değerlendirilmiştir. Çelik malzeme için çinko stearate ve yağlayıcı olarak sabun kullanılmıştır. Paslanmaz çelik ve diğer titanyum alaşımları için çinko stearate ve sabun kaplama uygun olmadığı için farklı kaplamalar önerilmiştir. Diğer bu malzemeler için Cu püskürtme (sputtering) ve Fe (demir) iyon kaplama (ion plating) yapılmıştır. Bakır kaplama da 6-8 µm kaplama kalınlığı, demir iyon kaplama da ise 20-25 µm kaplama kalınlığına ulaşılmıştır. Bakır kaplanmış numunelerde yağlayıcı olarak molibden sülfür (MoS_2) kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre kalıp ve iş parçası arayüzündeki normal basıncın artması ile sürtünme katsayısında düşüşün olduğu gözlenmiştir (Wagener ve Wolf, 1994).

Ck15 test parçasına çeşitli kaplama ve yağlayıcılar ile halka testi (ring test), sıkıştırma testi (compression test) ve boru ekstrüzyon testi uygulanmıştır. Kalıp ve iş parçası arasına çeşitli varyasyonlarda yağlama koşulları uygulanmıştır. Bunlar, kuru ortam, odun talaşı, sülfür ve fosfor içeren sıvı yağlayıcı, sülfür, fosfor, klorin içeren sıvı yağlayıcı, çinko fosfat ve sabun, molibden disülfür içeren kuru tip yağlayıcı ve sıvı yağlayıcıların odun talaşı ile karışımından oluşan katı yağlayıcılar. Halka ve sıkıştırma test sonuçlarına göre çinko fosfat ve sabun kaplanmış sistemin diğer tüm yağlayıcı sistemlere nazaran daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Buna rağmen sıvı yağlayıcıların odun talaşı ile karıştırılarak uygulanmasında yağlayıcı performansı, çinko fosfat ve sabun kaplamaya nazaran daha iyi sonuçlar vermiştir. Boru ekstrüzyon testi işleminde arayüz sürtünmesinin şekillendirme yükü ve stroğuna olan etkisi görülmedi. Yağlayıcı çeşitliliğinin etkisi hissedilmemiştir (Abdul, 1987).

2.4. Metal Şekil Vermede Kullanılan Yağlayıcıların Değerlendirilmesi

Metal şekillendirme işlemlerinde yağlayıcı maliyetleri, hammaddedeki ekipman ve işçilik maliyetlerine kıyasla oldukça azdır. Ancak üretim kalıplarının erken aşınmasına, üretimin durmasına, parça kalitesinin bozulmasına ve ıskartaya çıkarılmasına etkisinden dolayı metal şekil verme işlemlerinde yağlayıcının önemi büyüktür (Shen ve ark., 1992). Dövme işlemlerinde kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi değerlendirmek için en yaygın iki test kullanılmaktadır. Bunlardan ilki halka sıkıştırma testi (RCET), diğeri ise ileri ve geri ekstrüzyon testidir (DCET) (Schey, 1983). Halka

sıkıştırma testleri (RCET), deformasyon esnasında yüzey genişemesinin % 100 olduğu, orta düzey dövme uygulamalarını en iyi şekilde simüle ederken, çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET), yüzey genişemesinin ve arayüz basıncının sırası ile % 500 ve 2000 MPa üzerinde olduğu şiddetli dövme uygulamalarında en iyi şekilde temsil eder (Altan ve ark., 2004). Sıcak şekillendirme işlemlerinde, kayma sürtünme katsayısı “m” belirlenirken, yağlayıcıya ek olarak kalıp soğutma ve kalıp sıcaklığının etkileri dikkate alınmalıdır. Test işlemlerinde, kalıp ve iş parçası sıcaklıkları, temas süresi, yüzey genişemeleri, metal ile kalıplar arasındaki bağıl hız gerçeği ile gerçek durum ile birebir aynı olmalıdır (Altan ve ark., 2004).

Bir dizi sürtünme testi önerilmiştir. İlk olarak halka sıkıştırma testi bir dövme işleminin sürtünme katsayısını ölçen ilk yöntemdi. Bununla birlikte, normal gerilim ve yüzey genişemesinin temas düzeyine bağlı olarak halka sıkıştırma testi (RCET), karmaşık dövme koşullarını çok iyi simüle edememiştir (Kunogi, 1956; Male, 1964).

Birleştirilmiş ileri ve geri ekstrüzyon testinde kalıp geometrilerinin ve sürtünmenin ileri ve geri ekstrüzyon uzunluklarında meydana getirdiği değişim sonlu elemanlar (FEM) analizinde incelendiğinde, arayüzde sürtünmenin artması ile ileri ekstrüzyon oranının azalıp geri ekstrüzyon oranının arttığı görülmüştür. Kalıp konik açısının artması ile şekillendirme yükünün azaldığı görülmüştür. Saha testleri 100 tonluk 2mm/s hıza sahip hidrolik preslerde gerçekleştirilmiştir. Testlerde çinko fosfat ve sabun yağlayıcı, molibden disülfür (MoS_2) sprej, politetrafloroetilen (PTFE) sprej yağlayıcı, yüksek viskoziteli ve düşük viskoziteli yağlar kullanıldı. Test sonrası ileri ve geri ekstrüzyon oranları ölçüldü. Test sonuçlarına göre ileri ekstrüzyonun arttığı, geri ekstrüzyonun ileri ekstrüzyona kıyasla az olduğu ve FEM simülasyonları ile uyum içerisinde olduğu görüldü. Yağlama faktörünün sürtünme üzerinde etkisi incelendiğinde en düşük sürtünme durumu yüksek viskoziteye sahip yağda, bunu sırası ile düşük viskoziteli yağ, PTFE sprej, fosfat sabunu, MoS_2 sprej ve kuru sürtünme durumu takip etmiştir (Hu, Yin ve Zhao, 2017).

Geleneksel çinko fosfat ve sabun kaplamada özellikle fosfat banyolarında oluşan çamur ağır metaller içerdiğinden uzaklaştırılması ve hatta yüksek sıcaklık fırınlarında yakılması gerekmektedir. Kaplama da çinko fosfat kristallerinin oluşturduğu yağlama ceplerini oluşturmak için çift alaşımlı elektro kimyasal çökertme ile yeni yağlama cepleri oluşturmak amaçlandı. Çökertme yapılan bu metallerden bir tanesi kazıma yapılarak yağ cepleri oluşturulmuştur. 5 μm kalınlığında çinko ve kalay yüzey üzerinde kaplanmıştır. Hidroklorik asit (HCL) ile çinko tabakası yüzey üzerinden uzaklaştırılmış ve geriye kalay

kaplanmış tabaka kalmıştır. Çinkonun uzaklaştırılması ile yüzeyde gözenekli bir yapı oluşturulmuştur. Halka testleri (RCET) ve çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) testleri ile yağlayıcının performansı test edilmiştir. Dört farklı yağlayıcı kullanıldı. İlkinde gözenekli yapı MODX pasta veya mineral yağ ile yağlandı. Diğer testlerde yağlayıcılar kaplamasız denendi. Halka testinde Kolomb sürtünme modeli uygulandı ve Deform FEM yazılımı kullanılarak sürtünme kalibrasyon eğrileri oluşturuldu. Halka testinden çıkan sonuçlara göre kaplama üzerine yapılan MODX pastanın sürtünme katsayısı μ : 0.04 hesaplandı. Kaplama yapılmayan, sadece MODX veya mineral yağ ile yapılan testlerde μ : 0.05-0.07 olarak hesaplandı. Kaplamaya göre çok ciddi oranda bir fark olmadığı görüldü. Gümüş malzeme üzerinde yapılan DCET testlerinden sonra elde edilen sonuçlara göre testler çelik malzeme üzerinde de gerçekleştirildi. Çelik üzerindeki denemelerde farklı yağlayıcılar ve kaplamalar denendi. Geleneksel fosfat kaplama ve sabun, yeni kaplama üzerine sabun, yağ, MODX, mineral yağdan oluşan kombinasyonlarda denemeler gerçekleştirildi. DCET testlerinden sonra kap içlerinde oluşan batma izleri incelendiğinde kaplama yapılmayan durumda sadece MODX ve mineral yağ kullanıldığı durumda izlerin arttığı, yeni kaplama üzerine mineral yağ, MODX, sabun ve geleneksel çinko fosfat üzerine yapılan sabun kaplamalarda bu batma izlerinin olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca batma testi için yüksek redüksiyon oranı içeren tek yönlü ekstrüzyon testi yapılmıştır. Bu testte yeni Sn üzerine yapılan MODX molykote kaplama da kalıp çiziklerinin arttığı bunu sırası ile kaplama üzerine mineral yağ, fosfat-sabun kaplama ve kaplama üzerine sabun kaplama takip etmiştir (Arentoft ve ark., 2009).

RCT sisteminde ölçüm sisteminden kaynaklanan dezavantajın önüne geçebilmek için iç çıkıntı ile halka sıkıştırma testi (RCT-IB) önerilmiştir. İç halka sürtünmeye karşı duyarlıdır. Konkav profile sahip olmayan iç halka rahatlıkla ölçülebilecek durumdadır. RCT ve RCT-IB kalibrasyon eğrilerinin bütün sürtünme koşulları ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar verdiği görüldü. İç halkanın artan sürtünme ile kalınlaştığı FEM analizi ile de doğrulandı. Artan sürtünme ile halkanın dış kısmında meydana gelen bombenin de arttığı görüldü. Sürtünme testlerinde kullanılan yağlama koşullarında yapılan değerlendirmede en iyi sürtünme performansı mineral yağ ile yapılan testte görülmüş, bunu sırası ile fosfat-sabun, MoS₂ ve kuru ortam takip etmiştir (Hu, Yin, Zhao, ve ark., 2017).

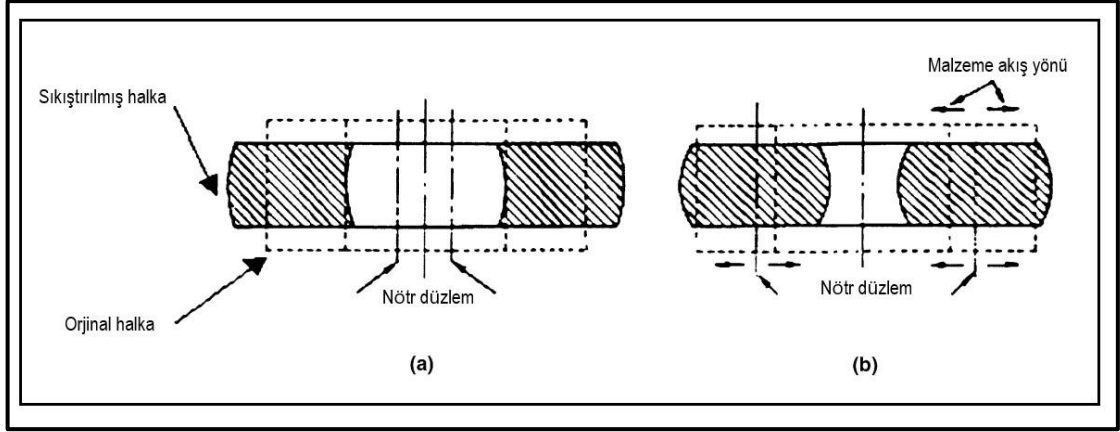
İş parçası ve kalıp arayüzündeki sıcaklığın sürtünme performansına olan etkisinin incelenmesi için bir çalışma yapıldı. Sıcak test için kalıpların ısıtılması için test düzeneği kuruldu. Oda sıcaklığında, 150 C°, 200 C° ve 250 ° sıcaklıklarda testler yapıldı.

Çalışmanın amacından biri de soğuk dövme işlemlerinde sıklıkla kullanılan çinko fosfat bazlı kaplamaların yerini alabilecek farklı yağlayıcıların araştırılması. İncelenen altı adet yağlayıcıdan sodyum ve kalsiyum bazlı sabunun geleneksel çinko fosfat ve sabun kaplama ile aynı performansı verdiği görüldü. Çubuk çekme test düzeneğinde kalıplara ait farklı yüzey profilleri oluşturulmuştur. Kalıpları ısıtma için rezistanslar kalıp içerisine yerleştirilmiş, strain gage'in bu sıcaklıktan etkilenmemesi için su ceketleri oluşturularak 25C° de sabit kalmaları sağlanmıştır. Termal termokupllar ile kalıp arayüz sıcaklığı devamlı ölçülmüştür. Sonlu elemanlar yönetimi ile oluşturulan üç farklı kalıp yüzey profilinin yüzey genişleme (surface expansion) ölçümleri kıyaslanmıştır. Düz yüzeylerde yüzey genişlemesi %25'lerde iken bu oran değişik profil geometrilerinde %220 ve %410'ları bulmuştur. Üç farklı gerinim sertleşmesi değerinde de yüzey genişleme oranları incelendiğinde gerinim sertleşme katsayısı n değeri arttıkça yüzey genişlemesi değerinde her üç kalıp profilinde düşüş gözlenmiştir. Gerinim sertleştirme değerinin değişmesi, malzeme özelliğinin değişmesi ve dolayısı ile tribolojik özelliklerin değişmesi demektir. Altı farklı yağlayıcı kombinasyonların değerlendirmesi yapılmıştır. Bunlar sıra ile geleneksel çinko fosfat-sabun (1. Banyo), kalsiyum ve sodyum sabunu (2. Banyo), kalsiyum oranı arttırılmış sodyum sabunu (3. Banyo), kalsiyum +sodyum +klorin +florin (4. Banyo), fosfat +fosfat metal tuzu (5. Banyo), fosfat +fosfat metal tuzu +polimer (6. Banyo). Düz geometrik formlu kalıplarda yapılan çubuk çekme operasyonunda sürtünme katsayısı 1. banyoda μ : 0.10, 2. Banyoda μ : 0.11, 3. banyoda μ : 0.12, 4. banyoda μ : 0.13 ölçülmüştür. Aynı banyolardan çıkan ürünler geometrik formlu kalıplarla test edildiğinde sürtünme katsayıları sırası ile 0.10,0.12,0.14,0.40 ölçülmüştür. 4. Banyodan çıkan test numunesinin farklı yüzey geometrisine sahip kalıp ile basıldığında yüzey sürtünme katsayısındaki artışın gözlenmesi yağlayıcıların etkinliğinin farklı şartlar altında değerlendirme açısından bir gelişme olmuştur. Dördüncü banyodaki yağlayıcının diğerlerine nazaran etkinliğinin az olduğu kanaatine varıldı. Sıcak testler için banyo 1, banyo 5 ve banyo 6'dan çıkan ürünler test edildi. Geleneksel çinko fosfat ve sabun (1.banyo) ile kaplanan numuneler 150 C°, 200 C° ve 250 ° sıcaklıklarda test edildiğinde sürtünme katsayılarının sıcaklıkla düştüğü ve sırası ile μ : 0.06, μ : 0.05 ve μ : 0.04 ölçülmüştür. Bu kaplama da sıcaklığın artması ile yağlayıcılığın arttığı gözlenmiştir. 5. banyodan çıkan test numunesi için aynı değerlendirmeyi yapılmamıştır. Oda sıcaklığında μ : 0.22 ölçülürken, 150 C° kalıp sıcaklığında μ : 0.20, 200 C° kalıp sıcaklığında μ : 0.30 ölçülmüştür. Bu yağlayıcıda sıcaklığın yağlamaya olan etkisinden söz edemeyiz. 6. banyoda arayüz sıcaklığının artması ile yağlayıcılığın azaldığı görülmektedir. 150 C° ve

200 C° deki denemelerde numunenin bozulduğu ve testlerin devam edemediği görüldü. Isıtılmamış durumda μ : 0.30 iken ısıtılmış durumda ortalama μ : 0.5 seviyesine yükselmiştir. 6. banyodaki başarısızlığın nedeni çözeltiye eklenen polimerin yanmasından kaynaklandığı öne sürüldü (Ngaile ve ark., 2007).

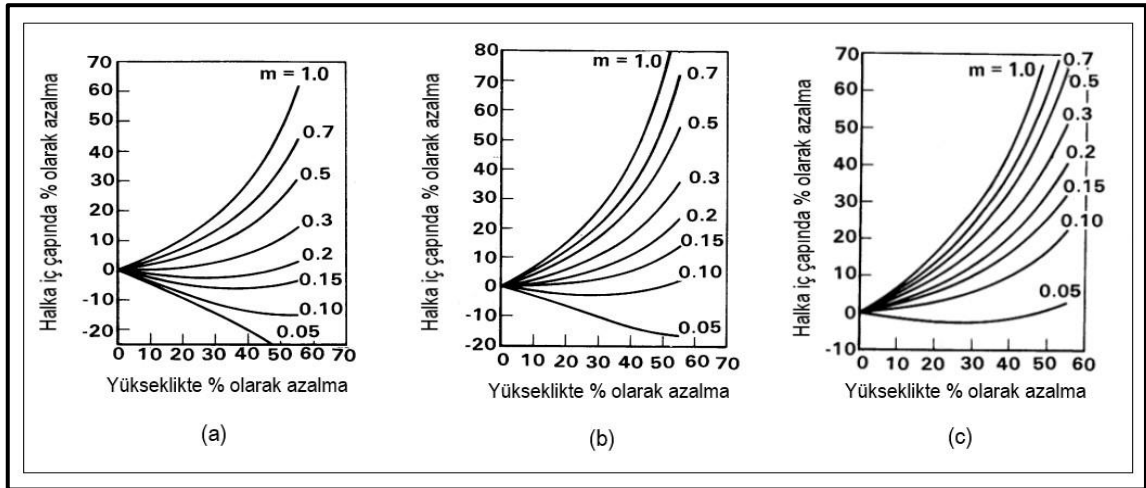
Alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik üzerinde bir dizi yağlama testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre sürtünmenin normal basınç ve kalıp iş parçası arayüzünde oluşan sıcaklığa bağlı olarak matematiksel bir model elde edildi. Alüminyum malzemeler alümina dönüşüm kaplaması ile kaplanmış, alkali sabun veya molibden disülfür (MoS_2) ile yağlanmıştır. Çelik numuneler çinko fosfat ile kaplanıp alkali sabun ile yağlanmıştır. Paslanmaz çelik ise elektro kimyasal fosfatlama ile kaplanıp alkali sabun ile yağlanmıştır. Çift yönlü sıkıştırma testleri uygulanmıştır. Sıkıştırma testlerinde kullanılan erkek kalıp, strain gage yardımı ile tork ve yük değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Yük erkek kalıp tarafından uygulanacağı için erkek kalıp AISI M2 malzemeden üretilmiş, 65 HRC sertlik verilmiş 3 μm seviyesinde parlatma işlemine tabi tutulmuştur. 25 C°, 110 C° ve 190 C° sıcaklıklarda testler gerçekleştirilmiştir. Halka sıkıştırma testlerinde normal basınçtan gelen gerilimin ve arayüzde oluşan sıcaklığın sürtünmeye etkisinin daha çok olduğu gözlenmiştir. Halka sıkıştırma testi ile kıyaslamak için çubuk ekstrüzyon testi uygulanmıştır. Ekstrüzyon yükü ve deplasman sürekli ölçülmüştür. 0.3, 0.4 ve 0.5 ekstrüzyon oranlarında testler gerçekleştirilmiştir. Paslanmaz çelik üzerine yapılan çinko fosfat ve sabun kaplamada ekstrüzyon oranı arttıkça deformasyon yükünün arttığı, bir noktada pik yaptığı ve sonrasında sabit bir açı ile düşüş gösterdiği görülmüştür. Ekstrüzyon testi ve halka sıkıştırma testinin sürtünme gerilimi, normal basınç grafiğinde karşılaştırmalı olarak incelendiğinde uyum gösterdiği gözlenmiştir (Bay ve ark., 2011).

Kayma sürtünme katsayısı “m” genellikle halka testi (RCET) kullanılarak ölçülür (Male ve Depierre, 1970; Douglas ve Altan, 1975). Halka testinde (RCET) düz halka şeklindeki malzeme belirli bir strokta sıkıştırılır. Şekil 2.9’da halkanın iç ve dış çapındaki değişim, kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Sürtünmenin sıfır olduğu durumda, radyal uzamaya doğru orantılı olarak her bir eleman radyal uzama yapar ve deforme olur. Sürtünme az olduğu durumda halkanın iç çapı artar, fazla olduğu durumda iç çapı azalır. İç çaptaki değişime göre sürtünme değerlendirilir (Altan ve ark., 2004).



Şekil 2. 9. Halka sıkıştırma testi, (a) düşük sürtünme durumunda, (b) yüksek sürtünme durumunda

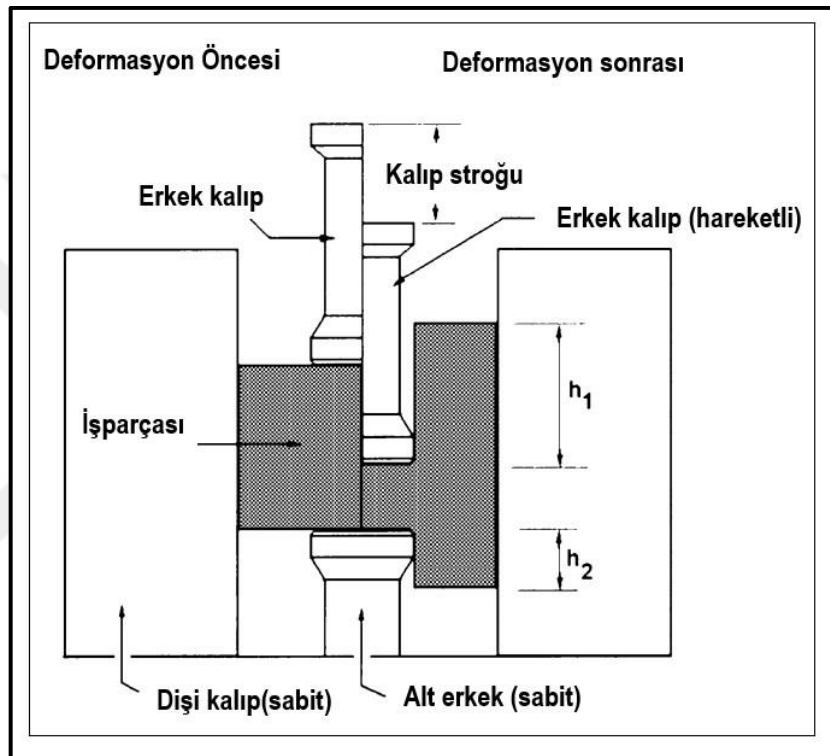
RCET testinin soğuk dövme koşullarında değerlendirilmesinde halkayı deforme etmek için gerekli kuvvetin ve akış geriliminin bilinmesine gerek yoktur. Sürtünme faktörü m 'nin belirlenmesinde halkanın iç çapı önceden oluşturulan tahmini değerler ile karşılaştırılarak bulunur. Tahmini değerlerin oluşturulmasında sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılmaktadır. Şekil 2.10'da OD: ID kalınlık oranları 6:3:2, 6:3:1 ve 6:3:0.5'e göre kalibrasyon eğrileri çizilmiştir. Bu kalibrasyon eğrileri evrensel olup malzeme üzerindeki değişikliklerin eğriler üzerindeki etkisi çok azdır. Yükseklikte azalma ve iç çapta daralma verileri kesiştiği yerde sürtünme kayma faktörü m bulunur (Altan ve ark., 2004).



Şekil 2. 10. Halka testi kalibrasyon eğrileri, OD: ID: kalınlık oranı. (a) 6:3:2. (b) 6:3:1. (c) 6:3:0.5 (Altan ve ark., 2004)

Sıcak dövme işlemlerinde soğuk dövme işlemlerine nazaran evrensel bir kalibrasyon eğrisi kullanılmaz. Kalibrasyon eğrisi için iş parçası malzemesi, kalıp sıcaklıkları ve kalıp hızları önem taşımaktadır (Lee ve Altan, 1972).

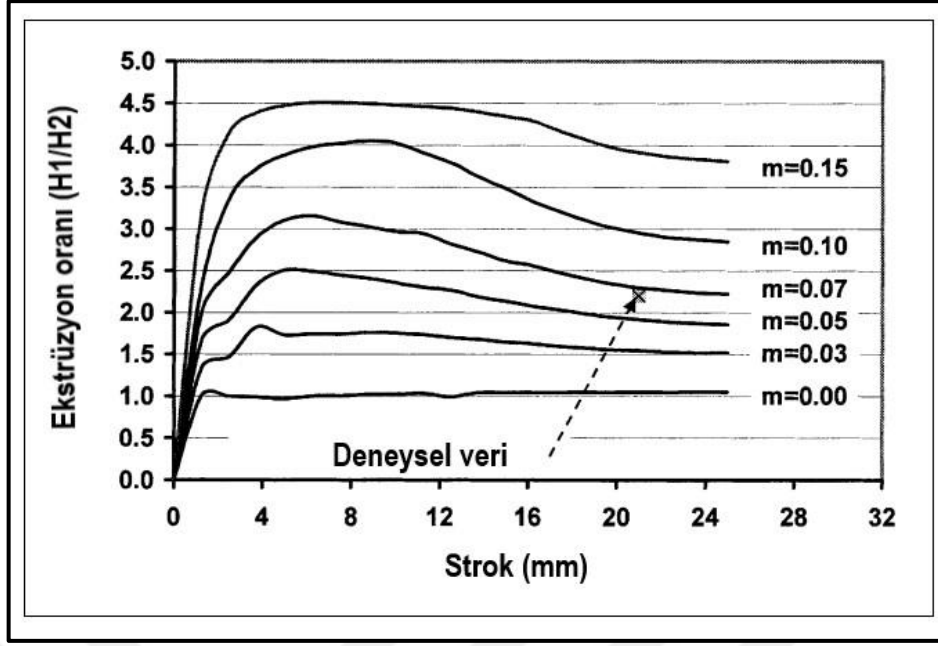
Kayma sürtünme katsayısı “m”, ileri ve geri ekstrüzyon testi (DCET) kullanılarak ölçülür. Şekil 2.11’de çift yönlü ekstrüzyon testi gösterilmektedir. H1/H2 oranı iş parçası ve kalıp arayüzündeki sürtünmeye bağlıdır (Buschhausen ve ark., 1992; Forcellese ve ark., 1994).



Şekil 2. 11. Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) (Altan ve ark., 2004)

H1/H2 oranı arttıkça kayma sürtünme katsayısı m’nin arttığı bulunmuştur. Kayma sürtünme katsayısı m: 0 olduğu durumda H1/H2 oranı 1’e eşit olacaktır. Şekil 2.11’de alt erkek kalıp ve dişi kalıp pres kalıp sisteminde sabittir ve üst erkek kalıp hareketlidir. Sürtünmenin fazla olduğu durumlarda, ileri ekstrüzyon değeri H2, geri ekstrüzyon değeri H1’den mesafe olarak azdır.

Kayma sürtünme katsayısı m’nin büyüklüğünü elde etmek için FEM simülasyonlarından faydalanılır. Şekil 2.12’de FEM simülasyonları sonucu oluşturulan kalibrasyon eğri grafiği gösterilmektedir. Deneysel çalışmadan gelen, strok ve H1/H2 oranının kesiştiği yerde kayma sürtünme katsayısı m: 0.065 değeri grafikte işaretlenmiştir.



Şekil 2. 12. Deneysel çalışmadan elde edilen m 0.065 kayma sürtünmesinin FEM simülasyonu sonucu oluşturulan DCET kalibrasyon eğrilerinde gösterilmesi (Ngaile ve Saiki, 1999)

DCET testi iş parçası malzemesine, çapına ve erkek kalıp ölçüsüne bağlıdır. Bu testte evrensel bir kalibrasyon eğrisi yoktur. Farklı malzemeler için farklı kalibrasyon eğrileri oluşturulmalıdır (Altan ve ark., 2004).

Çift yönlü ekstrüzyon sisteminde; ileri ekstrüzyon (FRE, forward rod extrusion) ve geri ekstrüzyon (BCE, backward can extrusion) testi ile malzeme akışının kontrol edilmesi için bir çalışma yapıldı. Testlerde üç farklı malzeme kullanıldı. Bunlar CK15 (Düşük karbon çeliği), AlMgSi1 (Alüminyum alaşımı), Fcu (elektrolitik bakır). Ck15 düşük karbonlu çelik için fosfat kaplama üzerine sabun kaplama ve MoS₂ olmak üzere iki farklı kombinasyonda yağlama yapılmıştır. Alüminyum alaşım üzerine alümina dönüşüm kaplaması ve üzerine iki farklı kombinasyonda sabun ve MoS₂ yağlama yapılmıştır. Bakır üzerine sadece sabun kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplamalardan sonra sürtünme katsayılarının tespiti için halka testi (ring test) uygulanmıştır. Farklı sürtünme katsayısı değerleri “ m ” simülasyon girdisi olarak kullanılıp Deform 2D FEM yazılımı ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Farklı konik açısı, farklı sürtünme değeri “ m ”, farklı sertleşme üssü “ n ” ile yapılan simülasyon çalışmasında sürtünmenin artması ile ileri ekstrüzyonun azalıp geri ekstrüzyonun arttığı görülmüştür. Konik açısı arttıkça ileri ekstrüzyonun artıp geri ekstrüzyon değerinin azaldığı görülmüştür. Pekleşme üssü “ n ” değeri de arttıkça geri ekstrüzyon değerinin arttığı görülmüştür. Düşük stroklarda Ck15 malzemenin fosfat +sabun ve fosfat +MoS₂ kaplamada birbirine yakın sürtünme

değerleri verdiği görülürken, strok arttıkça MoS₂ kaplı durumda sürtünme katsayısının sabun kaplamaya nazaran düşük çıktığı görüldü. Alüminyum malzemede de Ck15 malzemedeki durumun tersine düşük ve yüksek strok oranlarında sabun kaplı alümina kaplamanın sürtünme katsayısı düşük çıkmıştır. Bakır numunede ise stroğun artması ile beraber sürtünmenin arttığı görülmüştür (Kuzman ve ark., 1996).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kaplama İşlemlerinin Yapılması

Kaplama işlemlerinde kaplama olarak Echozinc26 çinko fosfat, Echozinc10A çinko fosfat ve mangan fosfat kullanılmıştır. Yağlayıcı olarak sabun (stearate) kullanılmıştır. Kaplama öncesi, yüzey pürüzlülüğünün kaplamaya etkini incelemek için altlıklar iki farklı büyüklükte çelik bilye ile kumlanmıştır. Çelik granül firmasına ait S230 ve S460 çelik granül numarasına sahip çelik bilyeler kullanılmıştır. Kaplama altlıkları kumlama yapılmayan, S230 kumlama yapılan ve S460 kumlama olmak üzere üç farklı şekilde hazırlanmıştır. Çizelge 3.1’de kaplama işlemi için uygulanan deney planı gösterilmiştir. Yağlayıcı olarak kullanılan sabun (stearate) etkisini değerlendirmek için parçalar sabunlu ve sabunsuz olarak hazırlanmıştır. Sadece mangan fosfat kaplamada sabun kaplama kullanılmamıştır. Kaplama olarak 15 farklı kombinasyon oluşturulmuş ve her bir kombinasyondan 3 tekrar yapılmıştır.

Çizelge 3. 1. Sürtünme ve aşınma testi için kaplama ve yüzey hazırlama tablosu

Test numarası	Yüzey hazırlama			Kaplama tipleri			
	Kaplama öncesi kumlama			Ech26 çinko fosfat kaplama	Ech10A çinko fosfat kaplama	Mangan fosfat kaplama	Sabun kaplama
	Kumlama yok	Kumlama S230	Kumlama S460				
1	X			X			
2		X		X			
3			X	X			
4	X			X			X
5		X		X			X
6			X	X			X
7	X				X		
8		X			X		
9			X		X		
10	X				X		X
11		X			X		X
12			X		X		X
13	X					X	
14		X				X	
15			X			X	

Kaplama işlemlerinin dışında soğuk dövme yağlarının performansları da değerlendirilmiştir. Bechem firmasına ait KFP10, KFP 95 ve KFP 96 soğuk dövme

yağlayıcıları kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de soğuk dövme yağlarının denenmesi için planlanan deney planı gösterilmiştir. Kaplama işlemlerinde olduğu gibi yağlama öncesi yüzeyler üç farklı yüzey durumu ile hazırlanmıştır. Kumlamasız, S230 kumlama ve S460 kumlama olarak üç farklı şekilde hazırlanmıştır. Soğuk dövme yağ denemesi için 9 farklı kombinasyon oluşturulmuş ve her bir kombinasyondan kaplamada olduğu gibi üç tekrar yapılmıştır.

Çizelge 3. 2. Sürtünme ve aşınma testi için soğuk dövme yağı uygulama ve yüzey hazırlama tablosu

Test numarası	Yüzey Hazırlama			Yeni Nesil Soğuk Dövme Yağı		
	Kaplama öncesi kumlama			KFP10	KFP95	KFP96
	Kumlama Yok	Kumlama S230	Kumlama S460			
16	X			X		
17		X		X		
18			X	X		
19	X				X	
20		X			X	
21			X		X	
22	X					X
23		X				X
24			X			X

Kaplama ve yağlama denemelerinde Çizelge 3.3.’de kimyasal kompozisyonu ölçüm değerleri bulunan DIN Ck45 çelik malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 3. 3. Kullanılan çeliğin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	Kimyasal kompozisyon (wt. %)				
	C	Si	Mn	P	S
DIN Ck45	0.46	0.20	0.63	0.011	0.024

Şekil 3.1 (a) ‘da Ø 38 mm çubuktan 300 mm boyda kesilen malzemeler Şekil 3.1 (b)’de gösterilen kontinü fırında Çizelge 3.4’te belirtilen ısı işlem reçetesine göre tavlama işlemine tabi tutulmuştur.



(a)

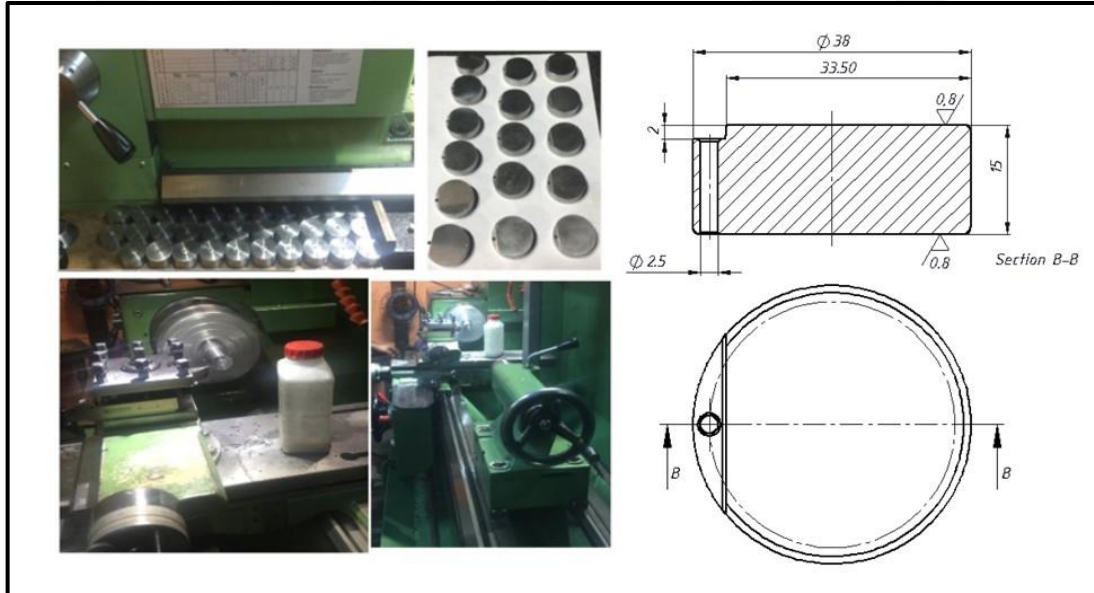
(b)

Şekil 3. 1. a) Tavlanan Numuneler b) Kontinü Fırın

Çizelge 3. 4. Tavlama sıcaklık ve süre parametreleri

Sıcaklık bölgesi-1	Sıcaklık bölgesi-2	Sıcaklık bölgesi-3	Sıcaklık bölgesi-4	Fırın Hızı
780 C°	750 C°	680 C°	550 C°	0.04 m/ dk

Tavlanan malzemelerin yüzeylerinin ısıtım işlemi cürufundan arındırılması için yüzeyler kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kumlanan numuneler daha sonra Şekil 3.2 (a)'daki üniversal torna tezgahında, Şekil 3.2 (b)'deki teknik resme göre işlenmiştir.

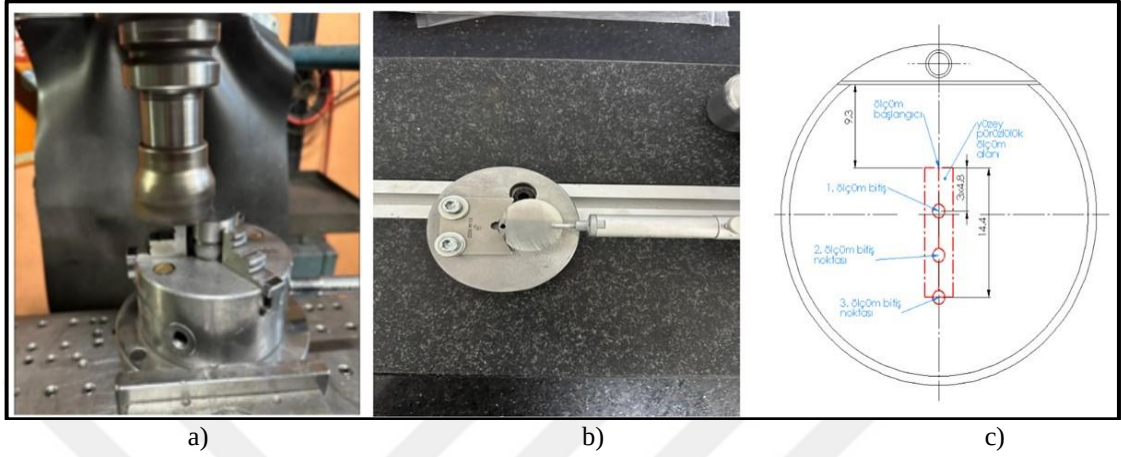


Şekil 3. 2. a) Üniversal torna tezgâhı ve b) Altlık teknik resmi

Altlıkların ölçüm ve kaplama yapılacak üst yüzeyleri Çizelge 3.5'te ki işleme parametrelerine göre Şekil 3.3 (a)'daki üniversal freze tezgahında alın frezeleme işlemi yapılmıştır.

Çizelge 3. 5. Frezeleme işlem parametreleri

Devir	İlerleme	Talaş derinliği
1250 rpm	250 mm/dk	0.1 mm



Şekil 3. 3. (a) Üniversal Freze Tezgâhı, (b) Yüzey Pürüzlülük Ölçümü, (c) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Metodu

Yüzey frezeleme işleminden sonra altlıkların yüzey pürüzlülük ölçümleri, Şekil 3.3 (b)' deki Mitutoyo SJ401 cihazında Şekil 3.3 (c)'ye göre üç farklı yerden ölçülmüştür (ISO 4288, 1996). İşlenen 72 adet numunenin üç farklı yerinden alınan toplamda 216 adet yüzey pürüzlülük ölçümünde ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0.78 Ra, standart sapması ise 0.05 hesaplanmıştır. 72 adet numunenin 24 adedi S230, 24 adedi de S460 kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kumlama işlemlerinden sonra S230 kumlama yapılan test numunelerinin ölçüm yüzeylerinde yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2.54 Ra, standart sapması ise 0.48 hesaplanmıştır. S460 kumlama yapılan yüzeyde ise ortalama yüzey pürüzlülük değeri 15.21 Ra, standart sapması ise 2.31 Ra hesaplanmıştır. Çizelge 3.6.'da kumlama yapılmayan, S230 kumlama yapılan ve S460 kumlama yapılan numunelerden yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları gösterilmektedir.

Çizelge 3. 6. Yüzey Pürüzlülük Ortalamaları ve Standart Sapmalar

Kumlama yok		S230 Kumlama		S460 kumlama	
Ortalama Ra	Standart Sapma	Ortalama Ra	Standart Sapma	Ortalama Ra	Standart Sapma
0.78	0.05	2.54	0.48	15.21	2.31

Kumlama ve yüzey pürüzlülük ölçümlerinden sonra kaplama işlemlerine başlanmıştır. Kplama işlemleri Şekil 3.4'te Konya Teknik Üniversitesi Bap Koordinatörlüğü tarafından desteklenen kaplama banyolarında gerçekleştirilmiştir. Kplama işlemlerinde kullanılan banyolar 8 adet bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla, yağ alma, durulama, asit, durulama, aktivasyon, fosfat, pasivasyon ve sabun banyolarıdır. Banyo kurulumları Çizelge 3.7.'de belirtilen reçeteye göre yapılmıştır. Banyoların homojen karıştırılması için banyo içerisinde hava nozulları kullanılmıştır. Banyolarda iletkenliği 5µs/cm² olan su kullanılmıştır. Banyo sıcaklıkları ve pH değerleri kaplama süresince dijital sıcaklık ölçer ve turnusol kâğıdı ile sürekli ölçülmüştür. Kplama yapılan numuneler Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Kplama işlemlerinden sonra Mitutoyo SJ401 cihazında kaplama sonrası yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (ISO 4288, 1996).

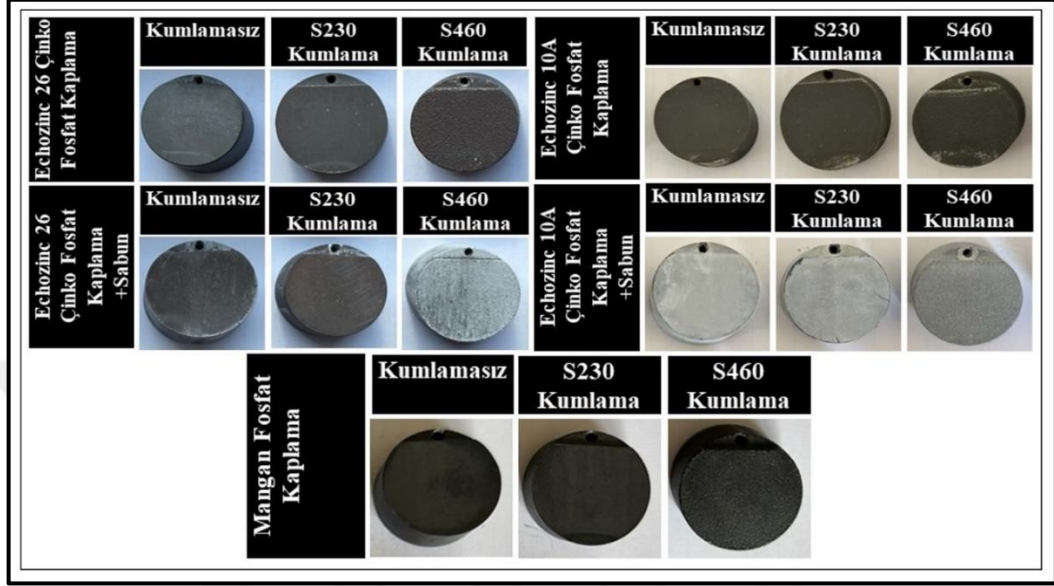


Şekil 3. 4. Kplama banyoları

Çizelge 3. 7. Kplama banyoları kurulum reçeteleri

Yağ alma			Ech26 çinko fosfat		
Karışım %	Sıc. (C°)	Süre(dk)	Karışım %	Sıc. (C°)	Süre(dk)
5	70-90	5	6	60-70	5
Aktivasyon			Ech10A çinko fosfat		
Karışım %	Sıc. (C°)	Süre(dk)	Karışım %	Sıc. (C°)	Süre (dk)
0.2	20-40	1	20	70-80	5
Sabun			Asit		
Karışım %	Sıc. (C°)	Süre(dk)	Karışım %	Sıc. (C°)	Süre(dk)
4	70-80	5	10	20-30	10

Pasivasyon			Mangan fosfat		
Karışım %	Sıc. (C°)	Süre (dk)	Karışım %	Sıc. (C°)	Süre (dk)
1	50-90	2	20	70-80	5
Mangan fosfat aktivasyon					
Karışım %	Sıc.(C°)	Süre (dk)			
0.2	20-40	1			



Şekil 3. 5. Kaplama Yapılan Numuneler

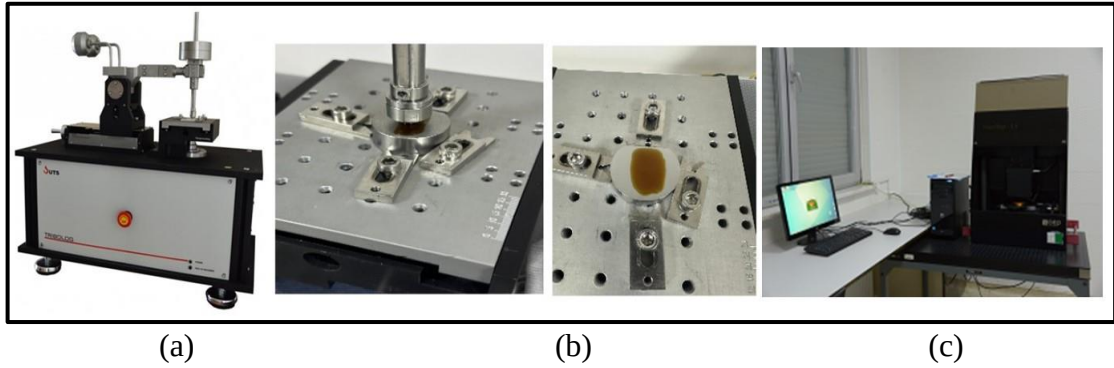
3.2. Sürtünme ve Aşınma Testi

Sürtünme ve aşınma testleri, Şekil 3.6 (a)' da gösterilen ve ASTM G133'e (Doğrusal Olarak İleri Geri Hareket Eden Düz Kayan Aşınma için Standart Test Yöntemi) göre ileri geri hareket eden bilye-disk modu olan bir UTS Tribolog tribometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Astm, 2016). Aşınma testleri için, yük koluna 6 mm çapında WC (volfram karbür) bilyesi Şekil 3.6 (b)' de gösterildiği şekilde numuneye dik şekilde bağlanmıştır.

Çizelge 3.2.'deki deney planında belirtilen Bechem KFP 10, KFP 95 ve KFP 96 yeni nesil soğuk dövme yağları sürtünme ve aşınma test cihazında test esnasında aşındırıcı WC bilye ile iş parçası arasına şırınga ile uygulanarak testler gerçekleştirilmiştir.

Testler, %70 bağıl nem oranına sahip bir laboratuvar atmosferinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Frekans, deplasman uzunluğu, kayma hızı, yük ve kayma mesafesi sırasıyla 5 Hz, 10 mm, 100 mm/s, 50N ve 10 m'dir. Testler sırasında, bilye ile test numunesi arasındaki sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı sürekli olarak

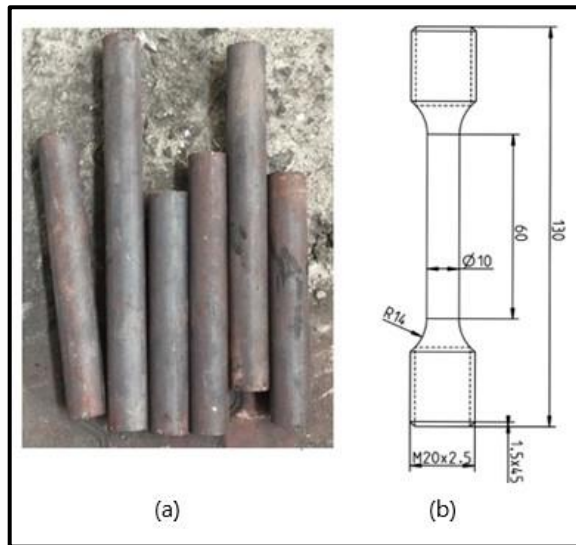
kaydedilmiştir. Aşınma kraterlerinin kesit alanı, Şekil 3.6 (c)' de (Xie ve ark., 2009) gösterilen bir Nanomap LS stylus profilometresi ile incelenmiştir.



Şekil 3. 6. a) UTS marka sürtünme ve aşınma test cihazı, b) Sürtünme ve aşınma testi görüntüsü, c) Nanomap LS stylus profilometer

3.3. Mekanik Testler

Tavlanmış numunelerin mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiştir. Çekme testleri, ISO 6892–1: 2016 standardına (Metalik malzemeler Çekme testi Bölüm 1: Oda sıcaklığında test yöntemi) (TC ve others, 2009) göre 10^{-4} s^{-1} gerinim hızında 600 kN Dartec üniversal test ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli çekmede % 0,2 dayanım gerilimi, akma gerilimi olarak kabul edilmiştir. Çekme testi numuneleri, Şekil 3.7 (a)' da gösterildiği gibi tavlanmış numunelerden işlenmiştir. Şekil 3.7 (b)' de çekme testi numunesinin ölçüleri gösterilmiştir.



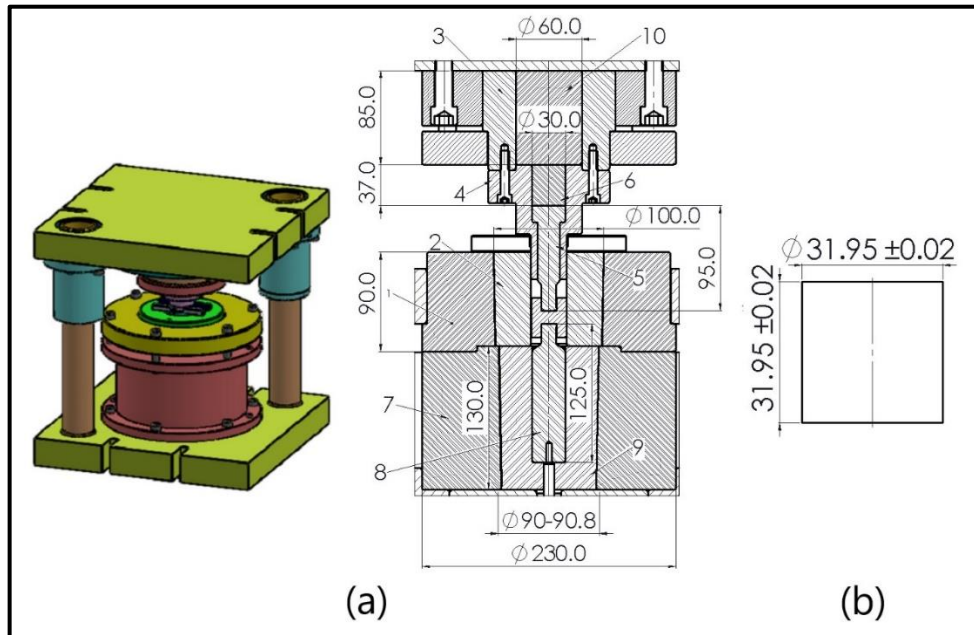
Şekil 3. 7. a) Tavlanmış numuneler, b) Çekme test çubuğu geometri ve ölçüsü

3.4. Mikroyapı İncelemesi ve Sertlik Ölçümü

Tavlanmış numunelerin mikroyapı incelemesi için Olympus GX41 ters metal optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı incelemesi için numune eksenine radyal yönde parçalar kesilmiştir. SiC kağıtları (1200 grite kadar) ile taşlanıp ve daha sonra 1 µm alümina çözeltisi ile mekanik olarak parlatılmıştır. Son olarak numuneler %3 Nital çözeltisi ile aşındırılmıştır. Numunelerin tane boyutu numaraları ASTM E112'ye (Ortalama Tane Boyutunu Belirlemek İçin Standart Test Yöntemleri) (ASTM ve others, 2004) göre 100Xbüyütmede Olympus Stream Görüntü analiz yazılımı ile hesaplanmıştır. Sertlik ölçüsü için Bulut Microbul 1000-DN ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzeyden çekirdeğe 1 mm aralıklarla HV sertlik ölçümleri yapılmıştır.

3.5. Çift Yönlü Ekstrüzyon Testi (DCET)

Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) için Şekil 3.8 (a)' da görülen bir kalıp tasarlanmıştır. Soğuk dövme için Çizelge 3.3'te kimyasal kompozisyonu belirtilen DIN Ck45 malzeme kullanılmıştır. Ø 38 mm çapta, 300 mm boylarda testerelerde kesilen çubuk malzemeler Şekil 3.1 (b)' de gösterilen kontinü fırında Çizelge 3.4'te belirtilen ısı işlem şartnamesine göre tavlanmıştır. Kontinü fırından çıkan parçalar kumlama işleminin ardından Şekil 3.8 (b)' deki teknik resme göre universal torna tezgâhında işlenmiştir.



Şekil 3. 8. a) DCET testi için tasarlanan soğuk dövme kalıbı, b) Soğuk dövme için iş parçası numunesi

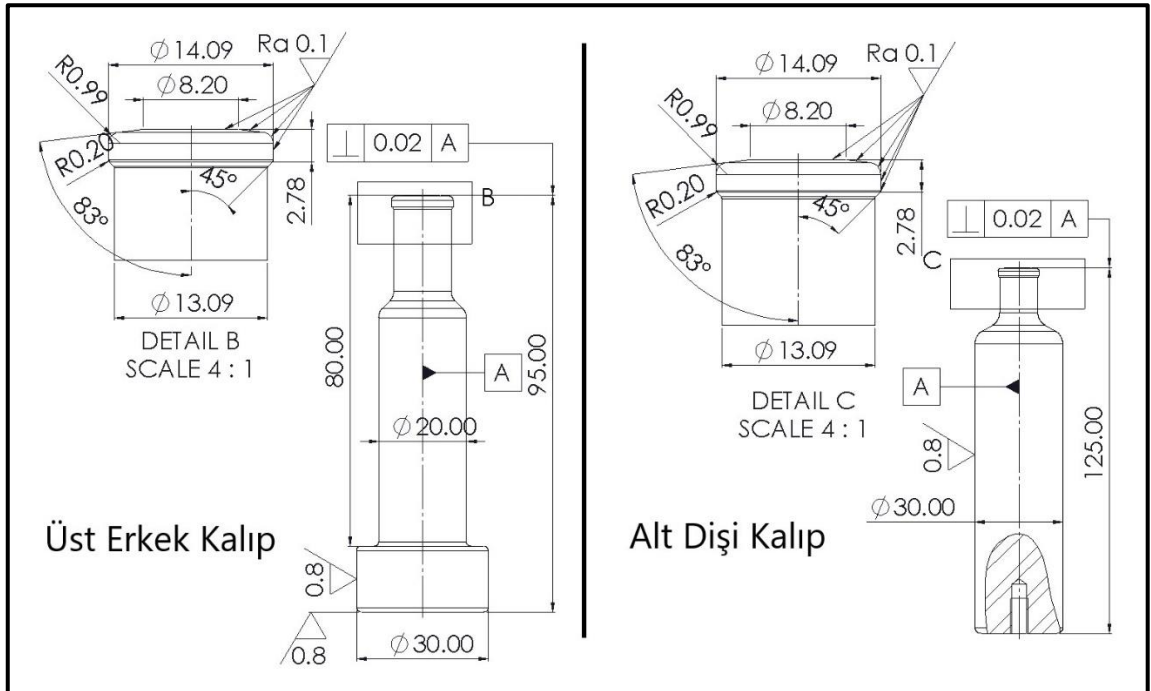
Toplamda 90 adet parça işlenmiştir. Çap ve alın yüzeylerinden yapılan yüzey pürüzlülük ölçüm ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 3.8’de gösterilmiştir. Çizelge 3.8’e göre kumlama yapılmayan test numunelerinde ortalama Ra 0.998 μm , S170 kumlama yapıldığı durumda Ra 3.559 μm ve son olarak S330 kumlanmış durumda da Ra 7.022 μm ölçülmüştür.

Çizelge 3. 8. DCET için hazırlanan test numunelerinin test öncesi yüzey pürüzlülük ölçüm tablosu

	S0	S170	S330
Ortalama Ra	0.998	3,559	7.022
Standart Sapma	0.171	0.311	0.495

Dişi ve erkek kalıplarda DIN 1.2379 malzeme kullanılmıştır. Kaba işlemenin ardından ısıl işleme gönderilmiş ve 58-62 HRC sertlik verilmiştir.

Dişi kalıbın zarf (sıkma halkası) malzemesi olarak DIN Ck45 malzeme kullanılmıştır. Kaba işlemenin ardından ıslah işlemi yapılarak 35-40 HRC sertlik verilmiştir. Zarf ile dişi kalıp arasına çapta yaklaşık olarak 0.5-0.7 mm sıkılık verilmiştir. Isıl işlemden gelen ve zarfa geçirilen dişi ve erkek kalıplar parlatma işlemine tabi tutulup parlatma sonrası Ra değerlerinin 0.1 μm aralığında olması sağlanmıştır.



Şekil 3. 9. Alt ve üst erkek kalıp teknik resmi

Şekil 3.9’da üst ve alt erkek kalıp teknik resimleri gösterilmektedir. Üst erkek kalıp hidrolik presin hareket eden üst tablasına montaj edilip hareketli olacaktır. Alt erkek kalıp ise hareketsiz olup alt kalıba bağlanacaktır. Kalıp sistemi 250 ton kapasiteye sahip hidrolik prese bağlanıp soğuk dövme işlemleri yapılmıştır. Kullanılan hidrolik presin teknik özellikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3. 9. Soğuk dövme pres özellikleri

Pres tipi	Hız	Deplasman
250 ton hidrolik pres	5 mm/s	500 mm

DCET testleri için Çizelge 3.10’da verilen kaplamalar ve soğuk dövme yağları kullanılmıştır. Kaplamalarda ve yağlarda S0, S170 ve S330 kumlama yapılmış numuneler kullanılmıştır. Her bir test için üç tekrar yapılmıştır. Toplamda 90 adet DCET testi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 10 DCET tablosu

Kaplama ve yağlama koşulları							
		S0		S170		S330	
		Deplasman % 24	Deplasman % 40	Deplasman % 24	Deplasman % 40	Deplasman % 24	Deplasman % 40
1	Ech26 çinko fosfat + sabun	X	X	X	X	X	X
2	Ech10A çinko fosfat + sabun	X	X	X	X	X	X
3	Bechem KFP10	X	X	X	X	X	X
4	Bechem KFP95	X	X	X	X	X	X
5	Bechem KFP96	X	X	X	X	X	X

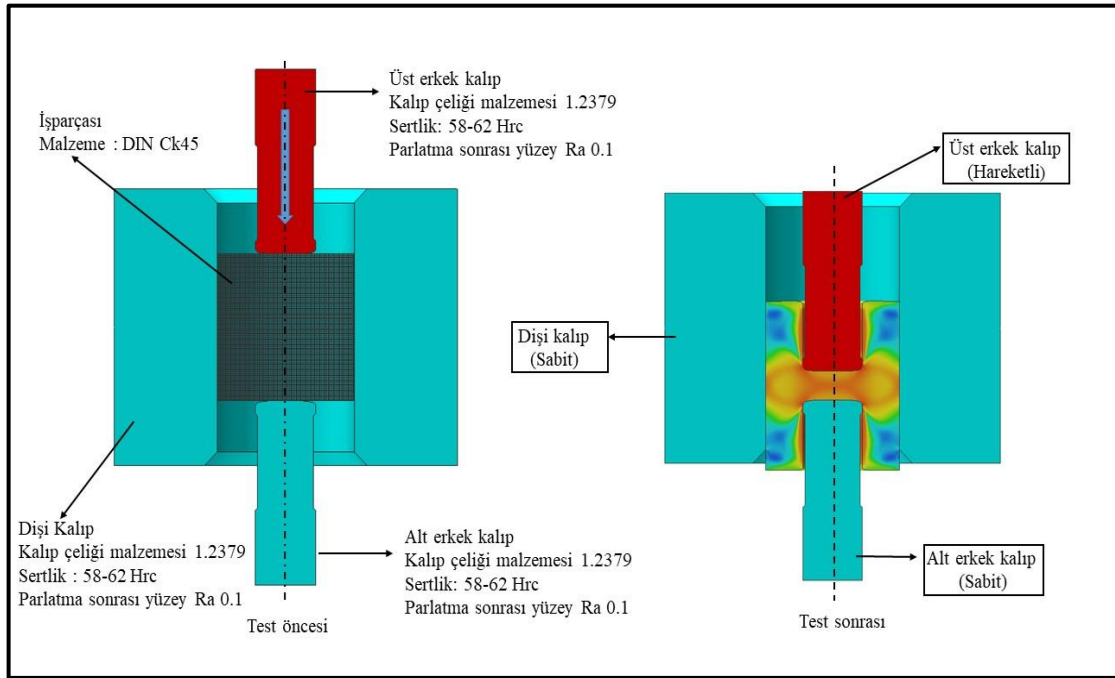
3.6. 2D Sonlu Elemanlar Simülasyonu

DCET testinde sürtünme faktörü kalibrasyon eğrilerini oluşturabilmek için Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan Simufact forming sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda hesaplama süresini kısaltmak için 2D axisymmetric simülasyon tipi kullanılmıştır. Simülasyon girdisi olarak Çizelge 3.11’deki değerler veri girişi olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3. 11. DCET sonlu elemanlar simülasyonu giriş verileri

Girişler	Değerleri
İş parçasının çapı ve boyu	Ø 31,95 mm çapında – 31,95 mm boyunda
Kayma sürtünme m faktörü aralığı	0'dan 0,2'ye kadar
İş parçası ve kalıp sıcaklıkları	25 C°
Dayanım sabiti, K	843 MPa
Sertleşme üssü katsayısı, n	0.212
Eleman tipi ve sayısı	Dörtlü eleman 10, 5618 adet
Deplasman yüzdesi	%10'dan %80'e kadar
Pres tipi ve hızı	Hidrolik pres, 5 mm/sn

Şekil 3.10'da simülasyon öncesi ve sonrası DCET testinin kesit görüntüsü gösterilmektedir. Alt erkek kalıp ve dişi kalıp simülasyonda sabit kalıp olup üst erkek kalıp hareketlidir. Farklı deplasman ve sürtünme faktörü değerlerinde toplamda 48 farklı simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu kombinasyon tablosu Çizelge 3.12'de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarından üst kap derinliği ve alt kap derinlikleri ölçülerek her deplasman ve sürtünme faktörü değeri için $H_{üst}/H_{alt}$ değeri hesaplanmıştır. Bu değerler Excel grafiğinde yatay eksen üst erkek kalıp deplasmanı, dikey eksen $H_{üst}/H_{alt}$ değeri olacak şekilde sürtünme kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 3.11'de sürtünme faktörü m'ye göre $H_{üst}/H_{alt}$ değerleri ve iş parçasındaki üst ve alt kap yüksekliğine göre oluşan şekil gösterilmektedir.

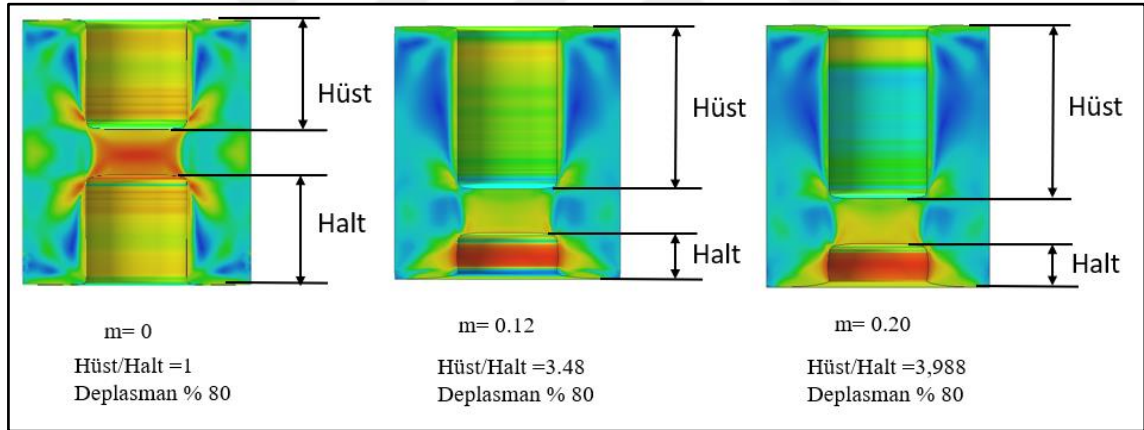


Şekil 3. 10. Simülasyon öncesi ve sonrası çift yönlü ekstrüzyon (DCET) testinin kesit görünümü

Çizelge 3. 12 Kayma sürtünme kalibrasyon grafiği için simülasyon kombinasyon tablosu

	strok % 10	strok % 20	strok % 30	strok % 40	strok % 50	strok % 60	strok % 70	strok % 80
m 0	1	2	3	4	5	6	7	8
m 0.04	9	10	11	12	13	14	15	16
m 0.08	17	18	19	20	21	22	23	24
m 0.12	25	26	27	28	29	30	31	32
m 0.16	33	34	35	36	37	38	39	40
m 0.20	41	42	43	44	45	46	47	48

“m” değerinin 0 olduğu durumda Hüst/Halt değeri birbirine eşit olup 1 olmakta, “m” değerinin yükselmesi ile beraber Hüst/Halt değeri 1 den büyük çıkmaktadır. “m” değerinin büyük çıkması, yani sürtünmenin artması ile beraber iş parçasının geri ekstrüzyonu ileri ekstrüzyona göre fazla olmaktadır. İleri ekstrüzyon üst erkek kalıbın hareketiyle aynı yönde olan malzeme akışı, geri ekstrüzyon ise üst erkek kalıbın hareketine ters yöndeki malzeme akışını ifade etmektedir.



Şekil 3. 11. Sürtünme faktörüne göre Hüst ve Halt yükseklik oranı ilişkisi

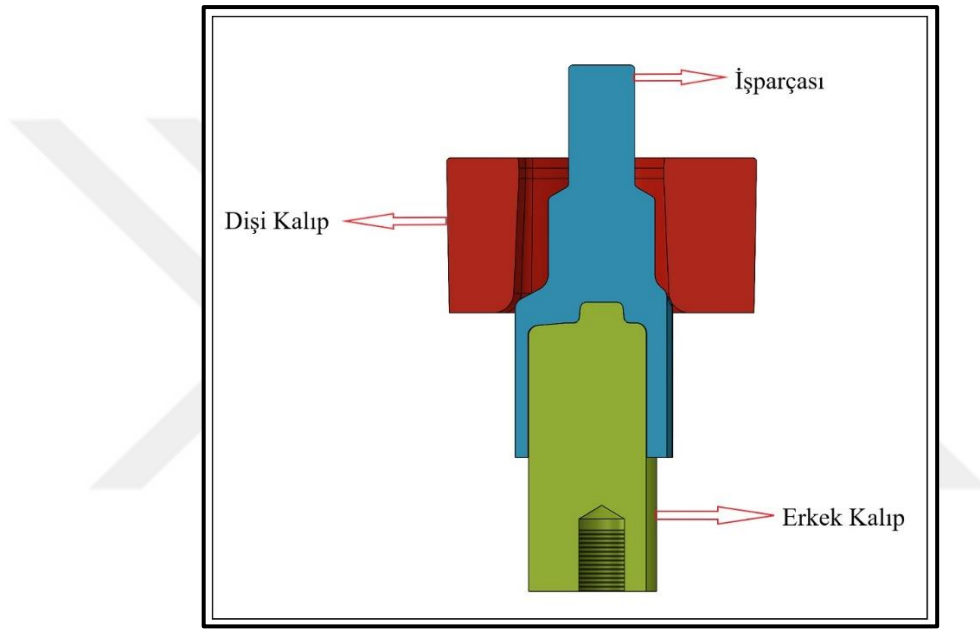
Kalıp ve malzeme arayüzündeki sürtünme koşulları sürtünme faktörü (m) olarak ifade edilir. 0 ile 1 arasında değişen sürtünme faktörü Denklem 3.1’e göre tanımlanır: (Altan ve ark., 2004).

$$\tau = mk = m\sigma/\sqrt{3} \quad (3.1)$$

Burada τ kayma gerilmesi, k: kayma dayanımı ve σ iş parçasının akma gerilmesidir.

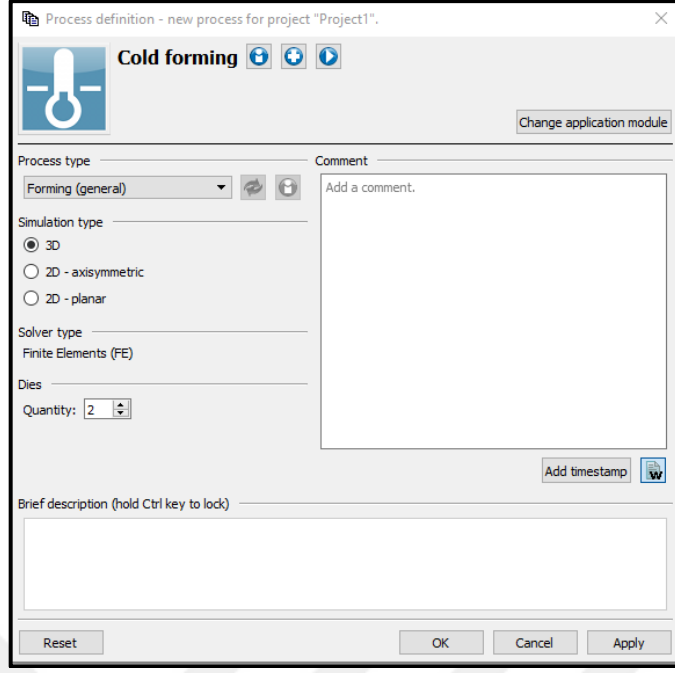
3.7. Otomotiv Aks Lalesi 3D Sonlu Elemanlar Simülasyonu

Çalışmada, otomotiv akslarında kullanılan iç aks lalesinin soğuk dövme operasyonunda kullanılan çinko fosfat kaplamaların ve yeni nesil soğuk dövme yağlarının şekillendirilebilirliğe etkisi amaçlanmıştır. Bu bölümde test numunelerinin dışında aks lalerinin soğuk dövme operasyonu, Simufact forming yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Şekil 3.12’de Simufact sonlu elemanlar yazılımı için oluşturulan kalıp geometrileri gösterilmektedir.



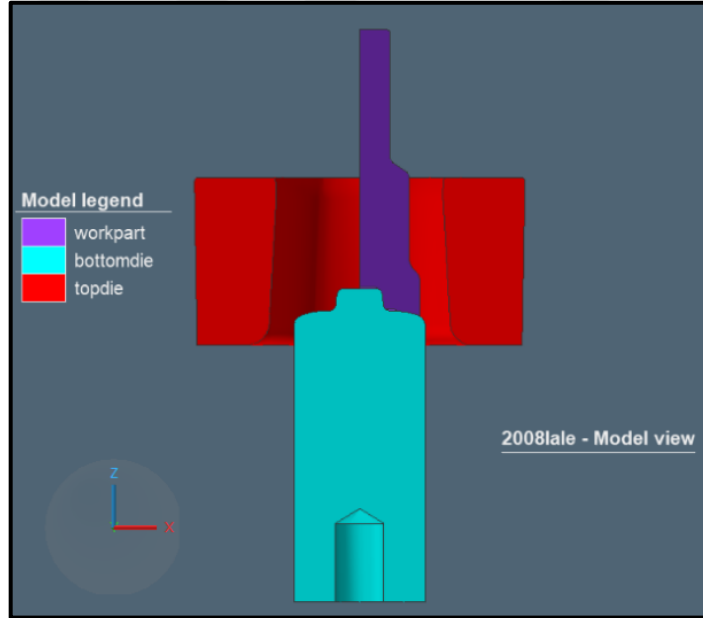
Şekil 3. 12. Otomotiv aks lalesi 3D sonlu elemanlar simülasyonu için oluşturulan kalıp geometrisi

Erkek kalıp ve iş parçası sabit olup dişi kalıp hareketlidir. Simufact forming proses tanımlama ekranından uygulama olarak soğuk dövme, süreç tipi olarak şekillendirme (forming-general) seçeneği seçilir. Simülasyon tipi 3D, çözücü tipi (FE), kalıp adedi ise 2 seçilmiştir. Şekil 3.13’te Simufact forming yazılımı proses tanımlama arayüz ekranı gösterilmiştir.



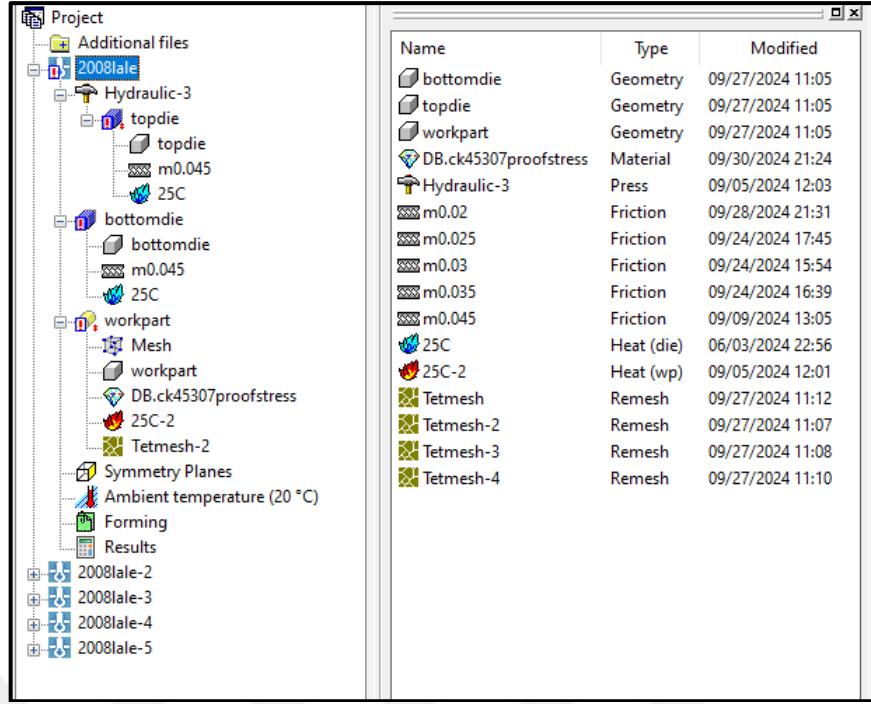
Şekil 3. 13. Simufact forming proses tanımlama arayüz ekranı

Dişi kalıp, erkek kalıp ve iş parçası yazılıma eklendiğinde model ekranı Şekil 3.14'te görüldüğü gibi olacaktır.



Şekil 3. 14. Simufact yazılım ekranında kalıp geometrilerinin görünüşü ve yerleşimi

Kalıp ve iş parçası sıcaklığı ortam sıcaklığında yani 25 C° kabul edilmiştir. Dişi ve erkek kalıp rijit kabul edilip iş parçası şekil alabilir seçilmiştir.



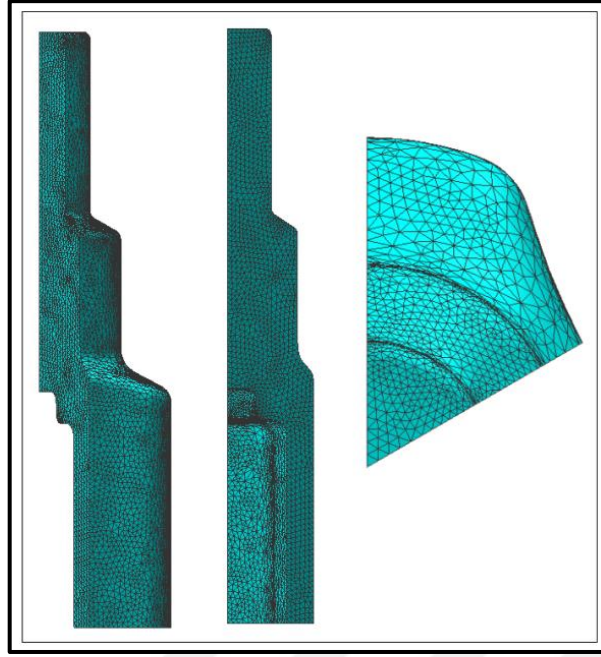
Şekil 3. 15. Simufact simülasyon giriş ekranı

Şekil 3.15'te Simufact yazılımı için yapılan giriş ekranını göstermektedir. Simülasyonlarda beş farklı kayma sürtünme değeri girişi yapılmıştır. Pres olarak hidrolik pres seçilmiştir. Malzeme olarak DIN Ck45 seçilmiş, malzeme verisi olarak çekme testi sonuçlarından elde edilen malzeme dayanım sabiti K ve pekleşme üssü n değeri simülasyon girdisi olarak kullanılmıştır. Çizelge 3.13'te 3D simülasyon için giriş tablosu gösterilmektedir.

Çizelge 3. 13. 3D sonlu elemanlar simülasyon girdi tablosu

Pres tipi ve hızı	Kayma sürtünme katsayısı (m)	Kalıp sıcaklıkları	Parça sıcaklığı	Eleman boyutu	Eleman tipi ve sayısı	Deplasman
Hidrolik pres, 5 mm/sn	0.02-0.025-0.03-0.035-0.045	25 C°	25 C°	1.7 mm	Tet mesh, 56951 eleman	155 mm

Simülasyon hesaplamalarını hızlandırmak için 1/6 simetrik model kullanılmıştır. Şekil 3.16'da simülasyonlarda kullanılan 1/6 simetrik parça modeli ve sonlu elemanlar yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. 16 İş parçası 1/6 mesh modeli

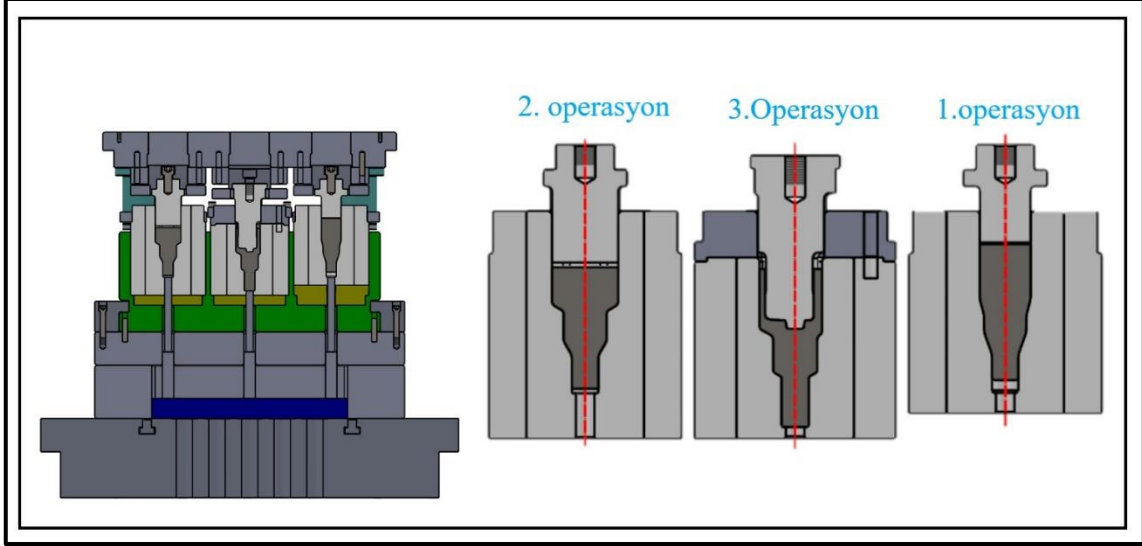
3.8. Otomotiv Aks Lalesi Soğuk Dövme Kalıp Denemesi

Otomotiv aks lalesinin soğuk dövme işleminde şu aşamalar izlenmiştir. İlk olarak testerede kesim ölçüsüne getirilen Ø 55 mm DIN Ck45 çelik malzeme Inductotherm marka 300 kW güçte 4khz düşük frekans ısıtma ocağında, 900-950 C° sıcaklığa ısıtılmıştır. Isıtmadan sonra üç gözlü şekillendirme kalıbında dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birinci ve ikinci operasyonda malzemenin ileri ekstrüzyon işlemi yapılmıştır. Üçüncü operasyonda ise birleşik ileri ve geri ekstrüzyon işlemleri uygulanmıştır. Şekil 3.17’de ılık dövme işleminin yapıldığı kalıp sistemi ve aşamaları gösterilmektedir. Dövme işleminde operasyonlar arasında kalıbı soğutmak ve sürtünme katsayısını düşürmek için Condat firmasına ait Condaforge305 marka su ile karışabilen grafit esaslı yağ kullanılmıştır. Grafit su karışım oranı %2-4 arasında tutulmuştur. Dövme işlemlerinde kullanılan presin teknik özellikleri Çizelge 3.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. 14. Dövme presi teknik özellikleri

Model	Tonaj	Strok	Ara Açıklık	Tabla ölçüsü
Liebergeld Colombo	630 ton	400 mm	1275 mm	800x1000 mm

Pres yapı olarak krank sistemine sahiptir ve krank ile hareketli koç arasında oynar mafsallı makaslar mevcuttur. Pres CNC kontrollü olup 0.1 mm hassasiyette deplasman kontrolü yapabilmektedir.



Şekil 3. 17. Otomotiv aks lalesinin ılık dövme operasyon adımları

Son operasyondan sonra (üçüncü göz) hiç bekletilmeden transfer bantları ile sürekli fırına tavlama için gönderilmiştir. Sürekli fırın 4 sıcaklık bölgesi ve çıkışında çift fanı olan soğutma bölgesinden oluşmaktadır. 300 kW ısıtma kapasitesine sahip olup elektrik rezistanslıdır. Bu ürün için oluşturulan fırın reçetesi Çizelge 3.15'te gösterilmektedir.

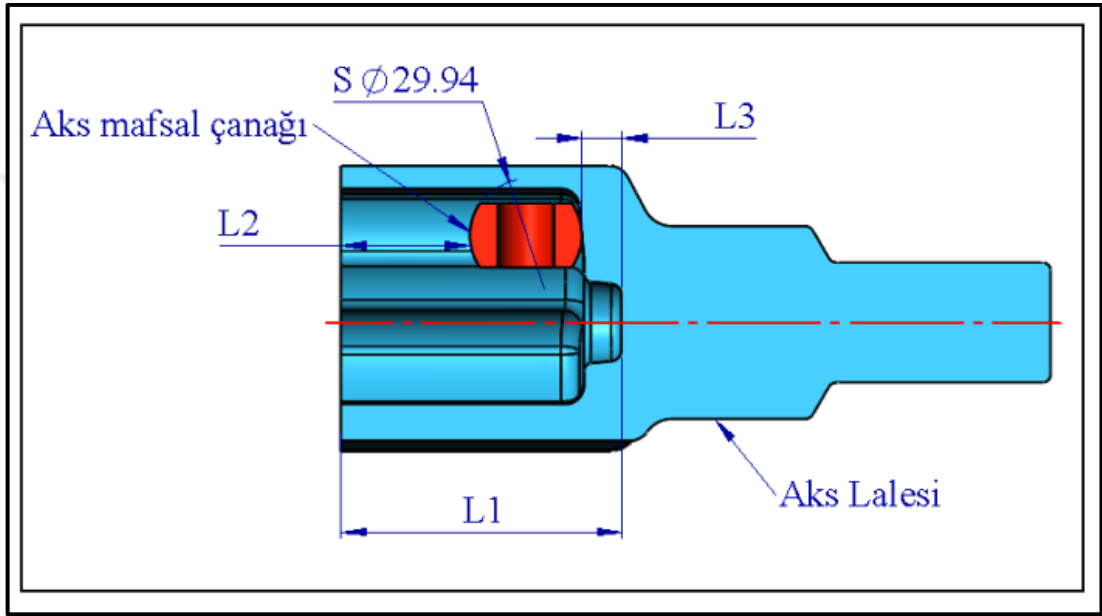
Çizelge 3. 15. Sürekli fırın tavlama parametreleri

1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	Fırın Süresi
780 C°	750 C°	680 C°	550 C°	0.04 m/ dk

Fırın çıkışında malzeme kasasına dökülen ürünlerin sıcaklıkları yaklaşık 400-450 C° aralığındadır. Ürünler soğuduktan sonra S330 kalite çelik granül kum ile kumlama işlemleri yapılmıştır.

Soğuk dövme işleminden önce kumlama sonrası iş parçası içinde kalabilecek çelik kum taneciklerinin giderilmesi için sıcak su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Soğuk dövme sonrası boyda oluşacak uzama farklarını karşılaştırmak için iş parçalarının soğuk dövme işlemi öncesi boylarının ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.18’de soğuk dövme öncesi yapılan boy ölçümüne dair ölçüm metodu gösterilmektedir. L2 mesafesinin ölçümü için ölçümlerde aks lalesi içerisinde çalışan aks mafsalsal çanağından faydalanılmıştır. L3 mesafesi mafsalsal çanağının teğet olarak oturduğu yüzeyden göbek derinliğine olan mesafeyi ifade etmektedir. L3’nin elde edilmesi için L1 ölçümünden 29.94 mm mafsalsal çanağının ölçümü ve çanak üzerinden parça alınma mesafesi L2 çıkarılarak elde edilmiştir. Toplamda 10 adet parça soğuk dövme için hazırlanmıştır. Hazırlanan bu parçaların L1, L2 ve L3 boyları ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 3. 18. Soğuk dövme öncesi iş parçası boy ölçüm metodu

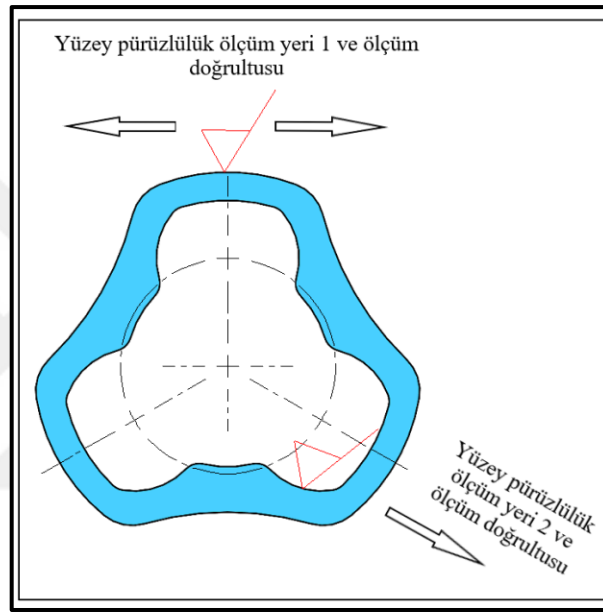
Çizelge 3.16’da L1 ve L2 ölçüm sonuçlarının ortalamaları ve standart sapmaları gösterilmektedir. L3 değeri ise L1 ve L2’den ölçülen sonuçlardan elde edilmiştir.

Çizelge 3. 16. L1, L2 ve L3 değerleri tablosu

L1		L2		L3	
Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
75.08	0.015	34,86	0.015	10,28	0.015

Ölçüm işleminden sonra iş parçası dış yüzeyinden ve mafsalsal çanağı yerinden dövme doğrultusuna dik yönde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19’da soğuk dövme öncesi iş parçasının yüzey pürüzlülük ölçüm yerleri ve doğrultuları gösterilmiştir. İfade edildiği gibi ölçümler dövme operasyonundaki deformasyon yönüne dik doğrultularda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Mitutoyo SJ401 yüzey pürüzlülük ölçüm

cihazında ISO 4288 standardına göre gerçekleştirilmiştir (ISO 4288, 1996). Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarının ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 3.17’de gösterilmiştir. Çizelge 3.17’e göre soğuk dövme öncesi iş parçasının 1 numaralı yüzey pürüzlülük değeri ortalaması 7.342 Ra, standart sapması ise 1.757 Ra ölçülmüştür. İş parçasının 2 numaralı yerinin ölçümünde ortalama Ra 5.732, standart sapması 1.945 Ra ölçülmüştür. Ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra iş parçaları soğuk dövme işlemine tabi tutulmuştur. Soğuk dövme işleminde kullanılan presin teknik özellikleri Çizelge 3.18’de belirtilmiştir.



Şekil 3. 19. Soğuk dövme öncesi iş parçası yüzey pürüzlülük ölçüm noktaları ve doğrultuları

Çizelge 3. 17. Soğuk dövme öncesi iş parçası yüzey pürüzlülük ölçüm ortalamaları ve standart sapmaları

1 numaralı ölçüm bölgesi		2 numaralı ölçüm bölgesi	
Ortalama Ra	Standart sapma	Ortalama Ra	Standart sapma
7.342	1.757	5.732	1.945

Çizelge 3. 18. Soğuk dövme işleminde kullanılan presin teknik özellikleri

Pres tipi	Pres Tonajı	Pres Hızı
Hidrolik pres	Maksimum 250 ton	Ortalama 5 mm/sn

İş parçalarının soğuk dövme işleminde yağlayıcı olarak Bechem firmasına ait KFP10 soğuk dövme yağı kullanılmıştır. Yağ bir kaba alınarak iş parçaları bu kabın içerisine daldırılarak yüzeylerinin yağlanması sağlanmış ve dövme öncesi kısa bir süre üzerindeki fazla yağın süzülmesi için bir süzgecin üzerinde bekletilmiştir.

3.9. SEM-EDS Görüntüleme

Çinko fosfat ve mangan fosfat kaplanan numunelerinin SEM (Taramalı elektron mikroskobu) incelemesi, Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji ve Uygulama Merkezi bünyesinde bulunan ZEISS EVO LS10 cihazında gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan cihaz Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 20. ZEIS EVO LS 10 Taramalı Elektron Mikroskobu

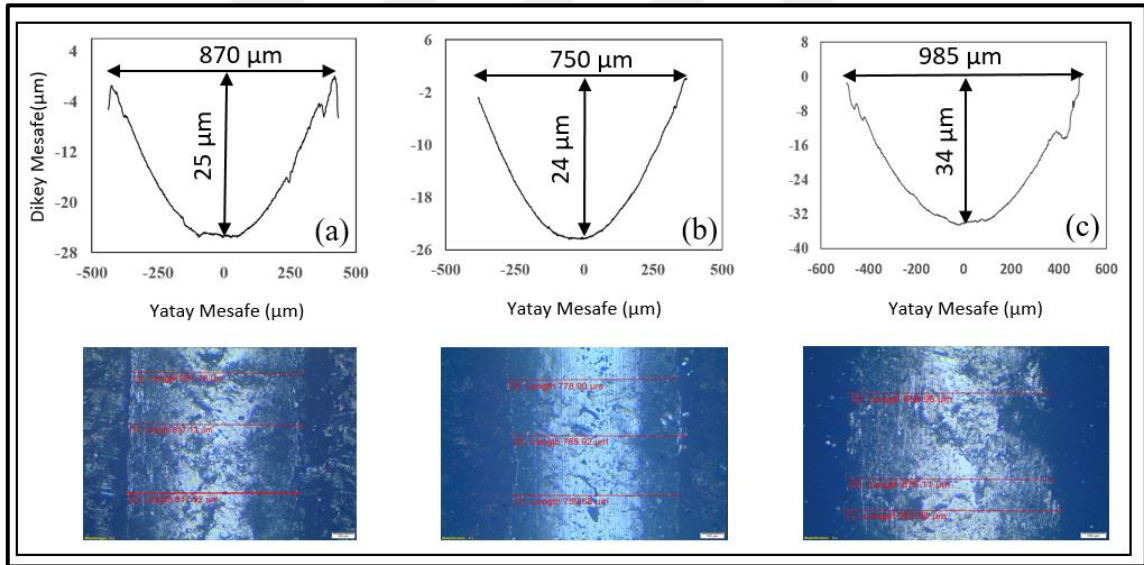
SEM cihazı ile numune yüzeyi üzerindeki detaylar (pürüzlülük, çatlaklar, gözenekler) nanometre ölçeğinde incelenebilmektedir. Ayrıca yüzeyin topografik yapısı hakkında da bilgi edinilebilmektedir. Bunun dışında yüzeydeki elementler EDS ile tespit edilmekte ve bu elementlerin yüzeydeki dağılımı, elementlerin haritalanması ve yüzde kütle oranları belirlenmektedir. 15 farklı kaplama ürününe ait SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Sürtünme ve Aşınma Test Sonuçları

4.1.1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları

Echozinc26 çinko fosfat kaplanan numunelerin sürtünme ve aşınma testi sonrası Nanomap LS stylus profilometer cihazında yapılan aşınma derinliği ve genişliği grafikleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 870 μm , aşınma derinliği ise 25 μm ölçülmüştür. S230 kumlama yapılan test numunesinde aşınma genişliği 750 μm , aşınma derinliği ise 24 μm ölçülmüştür. S460 kumlama yapılan test numunesinde aşınma genişliği 985 μm , aşınma derinliği ise 34 μm ölçülmüştür. Aşınma genişliği ve derinliği en düşük çıkan, Şekil 4.1 (b)’ de gösterilen S230 kumlama yapılmış kaplamadır.

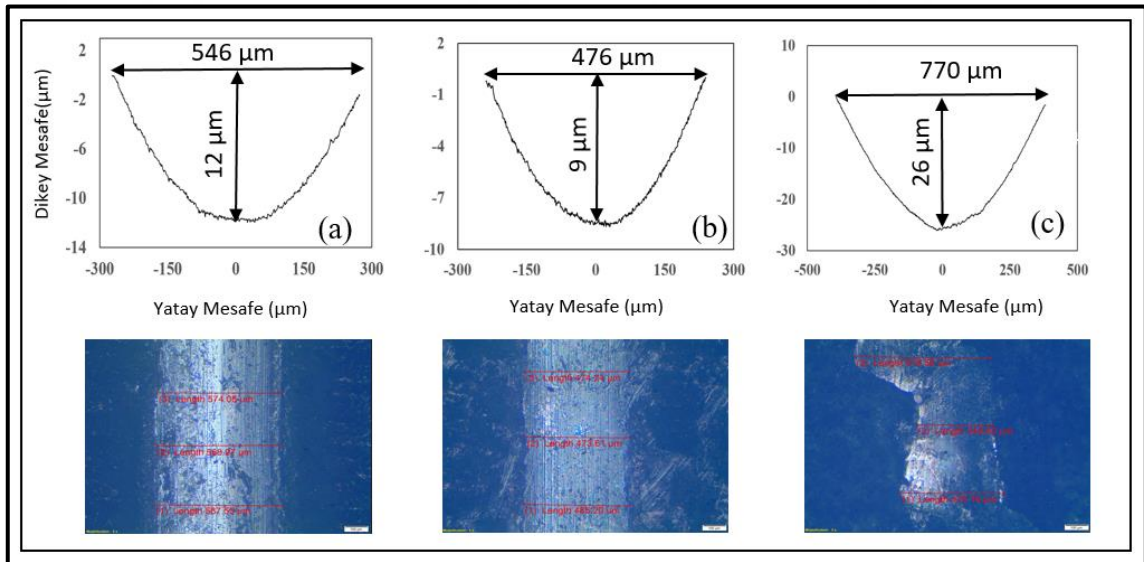


Şekil 4. 1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Aşınma derinliği ve genişliğinin en fazla çıktığı durum ise Şekil 4.1 (c)’de gösterilen S460 kumlama yapılan kaplamada görülmüştür. Aşınma genişliği ve derinliği birbirine yakın iki parametredir fakat her zaman birbiriyle doğru orantılı değildir. Genelde aşınma derinliği arttıkça aşınma genişliği de artar. Yüksek yüzey basıncında aşınma derinliği artabilir fakat genişlik sınırlı kalabilir. Düşük yüzey basınçlarında aşınma derinliği düşüktür ve daha geniş bir alana yayılır. Aşındırılan malzemenin özelliklerine

göre sert malzemelerin aşınma genişlikleri ve derinlikleri düşüktür. Yumuşak malzemelerde ise aşınma izi daha geniş ve derindir. Aşınma derinliği ve genişliği arasında $D = W^2/4R$ ilişkisi mevcuttur. Burada D, aşınma derinliğini, W, aşınma genişliğini ve R, temas eden yüzeyin yarıçapını ifade etmektedir.

Şekil 4.2’de Echozinc26 çinko fosfat üzerine sabun kaplanmış durumdaki test numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 546 μm , aşınma derinliği ise 12 μm ölçülmüştür. S230 kumlama yapılan test numunesinde aşınma genişliği 476 μm , aşınma derinliği ise 9 μm ölçülmüştür. S460 kumlama yapılan test numunesinde aşınma genişliği 770 μm , aşınma derinliği ise 26 μm ölçülmüştür.

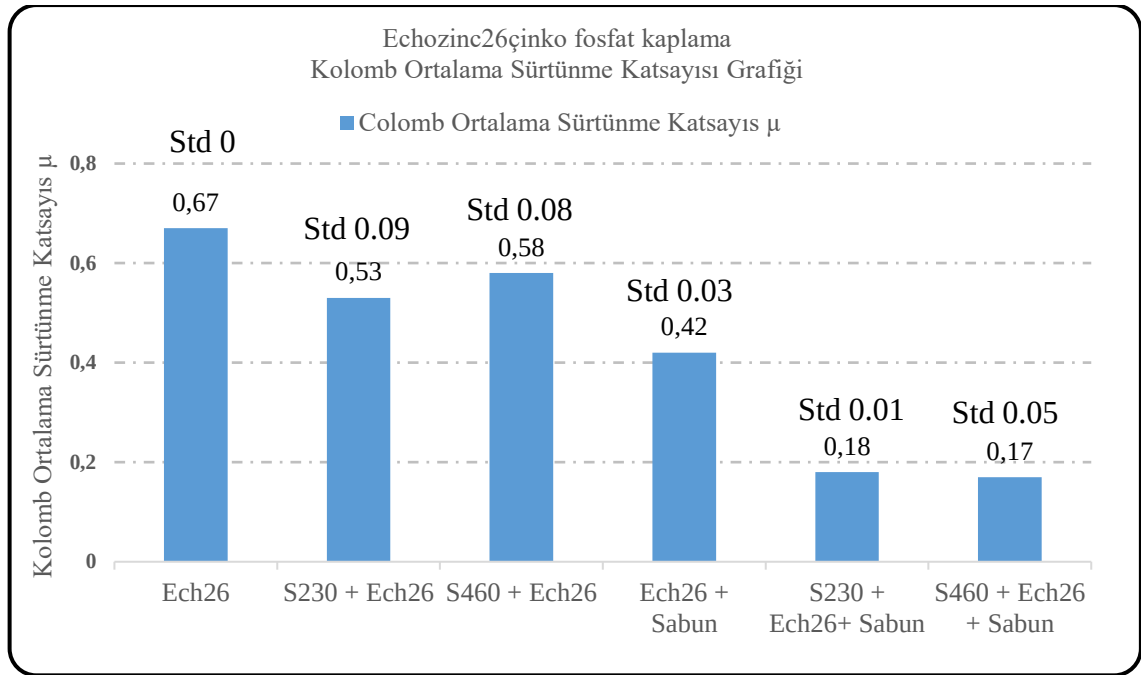


Şekil 4. 2. Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Echozinc26 çinko fosfat üzerine yapılan sabun kaplamanın, sabun kaplanmayan duruma göre aşınma derinliği ve genişliği bakımından etkisi görülmüştür. Aşınma genişlikleri ve derinliklerinde düşüşler görülmüştür. Örneğin Şekil 4.1 (a) ve Şekil 4.2 (a) incelendiğinde her iki durumda da kumlama yapılmayan yüzeye, Şekil 4.1 (a)’da sadece Echozinc26 çinko fosfat kaplama yapılmış ve diğerinde, Şekil 4.2 (a)’da ise Echozinc26 çinko fosfat kaplama üzerine sabun kaplama işlemi yapılmıştır. Şekil 4.1 (a)’da sabun kaplanmayan test numunesinde aşınma genişliği 870 μm ölçülürken, Şekil 4.2 (a)’da aşınma genişliği 546 μm ölçülmüştür. Benzer şekilde aşınma derinlikleri sırasıyla 25 μm ve 12 μm ölçülmüştür. Çinko fosfat üzerine kaplanan sabunun aşınma derinliğini ve

genişliğini düşürdüğü gözlenmiştir. Sabunlu ve sabunsuz yapılan Echozinc26 kaplamalarda en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülmüştür.

Şekil 4.3'te Echozinc26 çinko fosfat kaplamalara ait Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm değerleri gösterilmektedir. Sabun kaplama yapılmayan durumda en yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.67 değeri hiç kumlama yapılmayan kaplamada görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.53 değeri ile S230 kumlama yapılan kaplamada görülmüştür.



Şekil 4. 3. Echozinc26 çinko fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

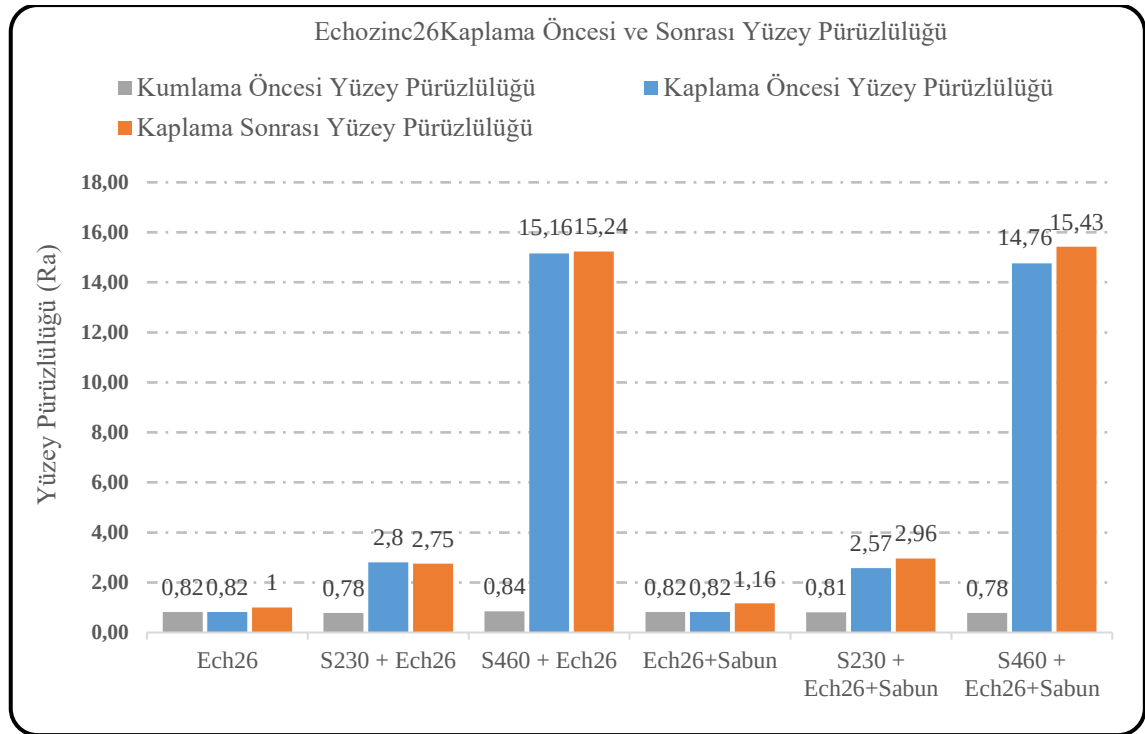
Sürtünme katsayısı ortalamaları ve standart sapmalar incelendiğinde sabun kaplanmayan test numunelerinde hiç kumlama yapılmayan kaplamanın ortalama sürtünme katsayısı değeri kumlama yapılanlara nazaran yüksek çıkmıştır.

S230 ve S460 kumlama yapılan Echozinc26 çinko fosfat kaplamalarda ise ortalama sürtünme katsayısı değerleri ve standart sapmalar göz önüne alındığında bu iki kaplama arasında kumlama faktörünün Kolomb sürtünme katsayısına bir etkisinin olduğundan söz edemeyiz.

Çinko fosfat üzerine sabun kaplama Şekil 4.3'te incelendiğinde sürtünme katsayısına yağlayıcının etkisinin olduğu görülmüştür. Kumlama yapılmayan durumda μ 0.42 değeri ile en yüksek sürtünme katsayısı ölçülürken, μ 0.17 ile en düşük sürtünme

katsayısı S460 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülmüştür. S230 ve S460 kumlama yapıldığı durumdaki sürtünme katsayıları birbirine yakın çıkmıştır. S230 ve S460 kumlama farkının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi burada görülmemiştir. Fakat hiç kumlama yapılmayan kaplama ile karşılaştırıldığında kumlamanın etkisi gözlenmiştir.

Kaplama sonrası test numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Buradaki amaç kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin araştırılmasıdır. Şekil 4.4'te Echozinc26 çinko fosfat kaplamaya ait yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4. 4. Echozinc26 çinko fosfat kaplama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değerleri

Echozinc26 çinko fosfat kaplamada kaplama öncesi ölçülen Ra 0.82 μm yüzey pürüzlülük değeri, kaplamadan sonra Ra 1 μm olmuştur. Çizelge 4.1'ye göre Echozinc26 kaplamanın yüzey pürüzlülük ölçümlerinin standart sapma değerleri göz önüne alındığında yapılan çinko fosfat kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olmadığı görülmüştür. Tablodaki standart sapmalar referans alınıp diğer kaplama kombinasyonları buna göre yorumlanmıştır.

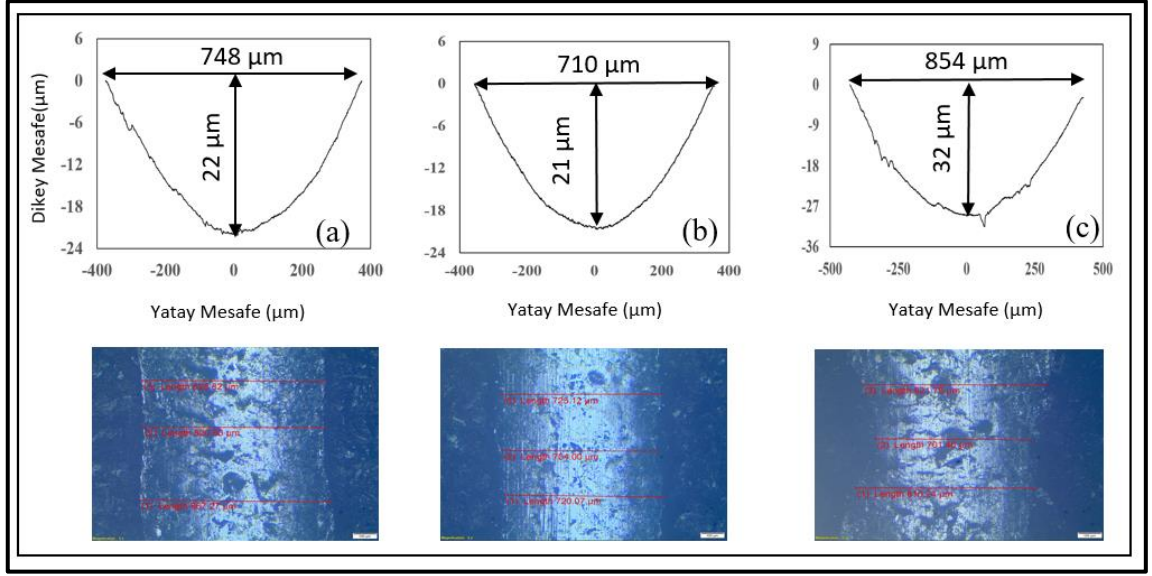
Çizelge 4. 1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu

Kaplama Türü	Frezeleme sonrası		Kumlama Sonrası		Kaplama Sonrası	
	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma
Ech26	0.82	0.068	-	-	1	0.17
S230 + Ech26	0.78	0.03	2.8	0.37	2.75	0.21
S460 + Ech26	0.84	0.05	15.16	0.41	15.24	1.34
Ech26+Sabun	0.82	0.05	-	-	1.16	0.17
S230 + Ech26+Sabun	0.81	0.02	2.57	0.74	2.96	0.89
S460 + Ech26+Sabun	0.78	0.03	14.76	3.44	15.43	2.78

S230 kumlama sonrası yüzey pürüzlülük değeri Ra 2.8 μm iken kaplama sonrası Ra 2.75 μm ölçülmüştür. S460 kumlama sonrası Ra 15.16 μm ölçülürken kaplama sonrası Ra 15.24 μm ölçülmüştür. Benzer şekilde sabun kaplama yapılan test numunelerinde, kumlama sonrası ve kaplama sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne dolaylı etkisinin olmadığı görülmüştür.

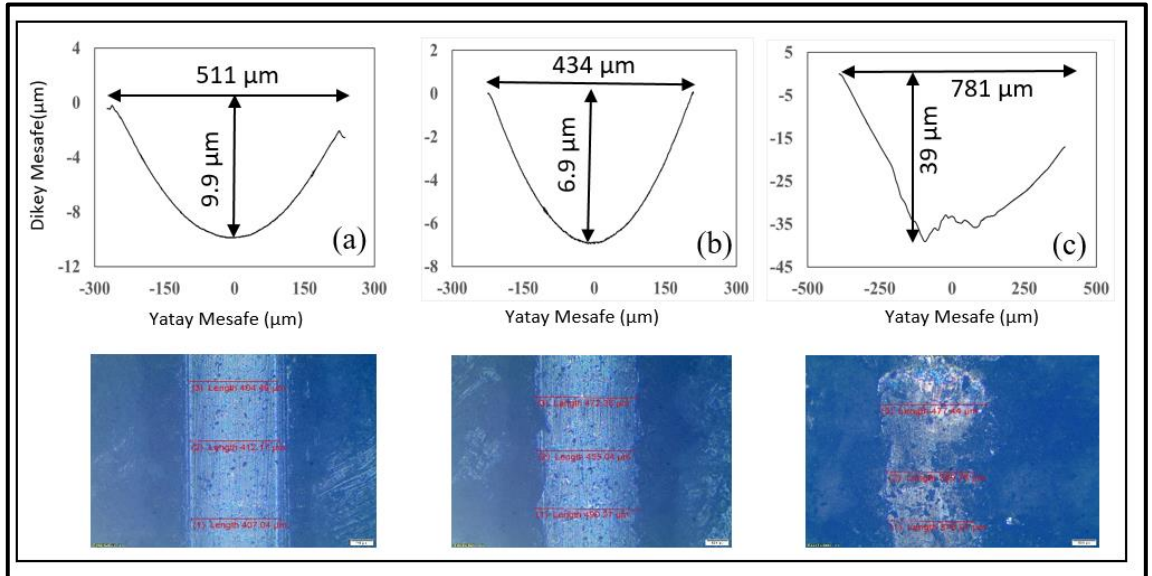
4.1.2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları

Şekil 4.5'te Echozinc10A çinko fosfat kaplanmış test numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Şekil 4.5 (a)'da kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 748 μm , aşınma derinliği ise 22 μm ölçülmüştür. Şekil 4.5 (b)'de, S230 kumlama yapılan durumda aşınma genişliği 710 μm , aşınma derinliği ise 21 μm ölçülmüştür. Şekil 4.5 (c)'de S460 kumlama yapılan durumda aşınma genişliği 854 μm , aşınma derinliği ise 32 μm ölçülmüştür. Echozinc10A kaplama da en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılmış test numunelerinde ölçülmüştür. Aynı durum Echozinc26 çinko fosfat kaplanmış testlerde de görülmüştü. Echozinc10A çinko fosfat kaplamada en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülürken en yüksek aşınma genişliği ve derinliği değerleri S460 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülmüştür.



Şekil 4. 5. Echozinc10A çinko fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

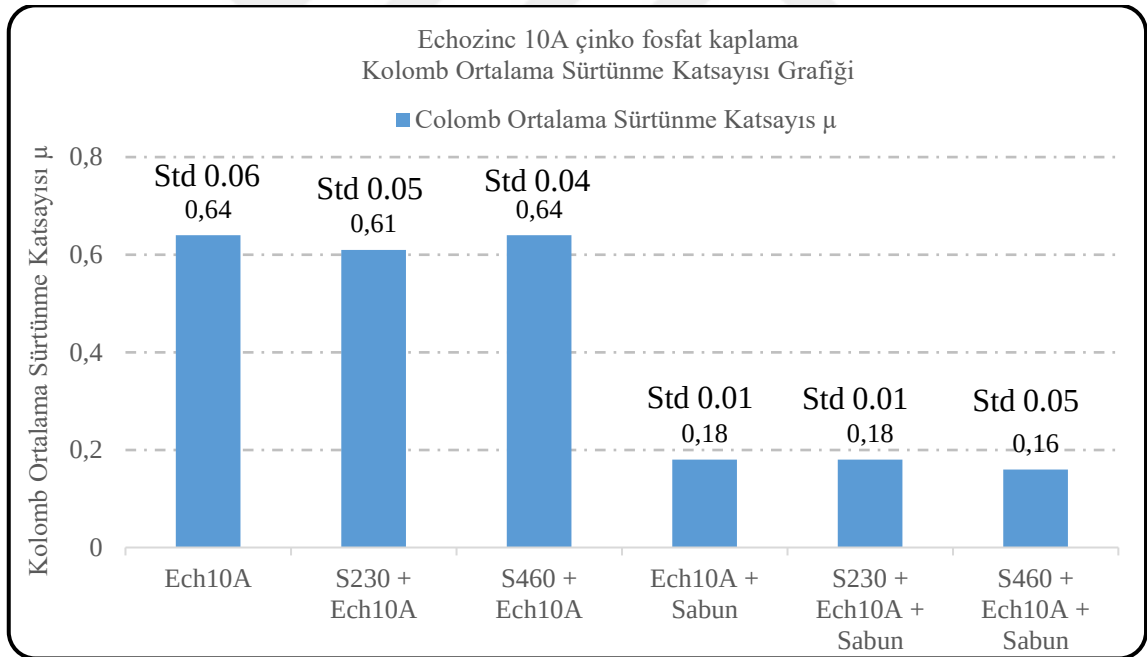
Şekil 4.6’da Echozinc10A çinko fosfat üzerine sabun kaplanmış test numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Şekil 4.6 (a)’da kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 511 μm , aşınma derinliği ise 9.9 μm ölçülmüştür.



Şekil 4. 6. Echozinc10A çinko fosfat +sabun kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, a) Kumlama yapılmayan durumda, b) S230 kumlama yapıldığı durumda, c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Şekil 4.6 (b)'de S230 kumlama yapılan durumda aşınma genişliği 434 μm , aşınma derinliği ise 6.9 μm ölçülmüştür. Şekil 4.6 (c)'de S460 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 781 μm , aşınma derinliği ise 39 μm ölçülmüştür. Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplamada en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılmış test numunelerinde ölçülmüştür. Aynı durum Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplanmış testlerde de görülmüştü. Echozinc10A çinko fosfat kaplamada en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülürken en yüksek aşınma genişliği ve derinliği S460 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülmüştür.

Şekil 4.7'de Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları grafiği gösterilmektedir. Sabun kaplama yapılmayan durumda, en yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.64 değeri hiç kumlama yapılmayan ve S460 kumlama yapılan kaplamada görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.61 değeri ile S230 kumlama yapılan kaplamada görülmüştür.



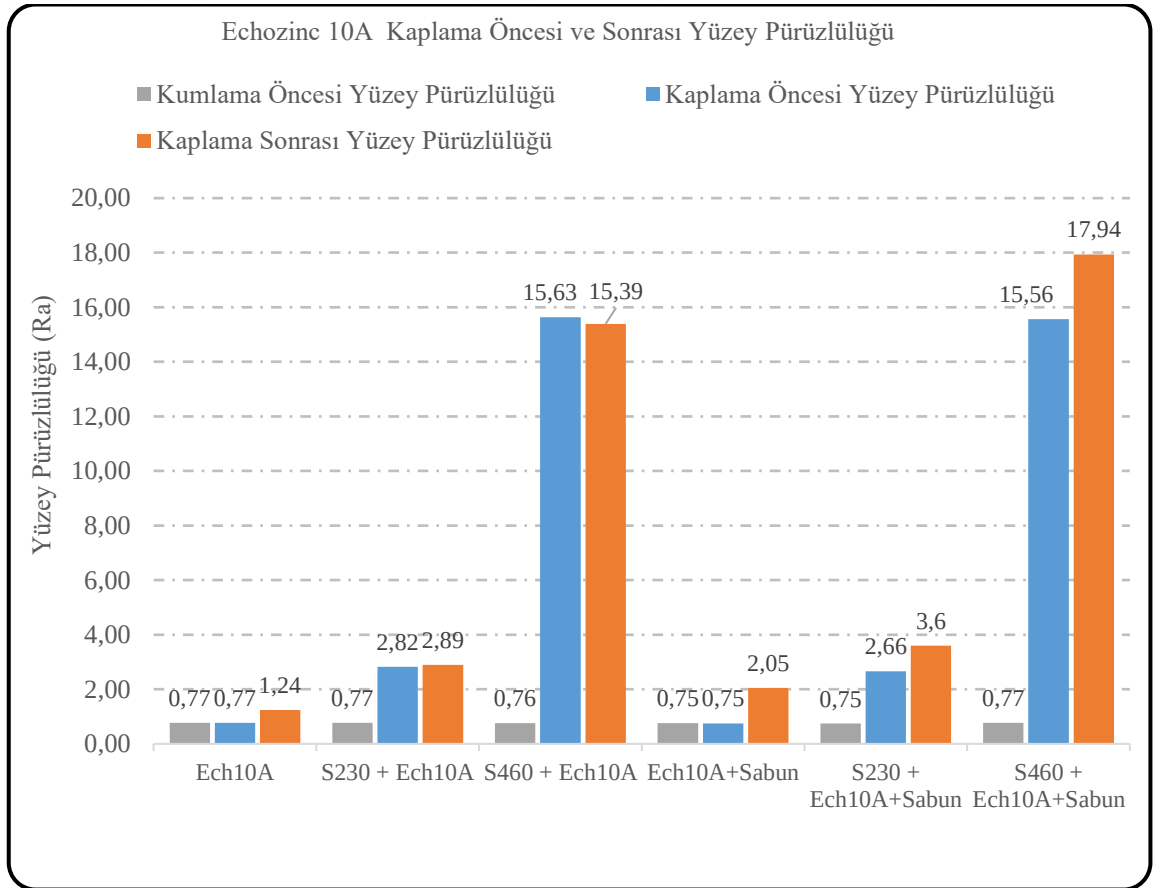
Şekil 4. 7. Echozinc10A çinko fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

Sürtünme katsayısı ortalamaları ve standart sapmalar incelendiğinde sabun kaplanmayan test numunelerinde kumlamanın sürtünme katsayısına etkisinin olduğu görülmemiştir.

Şekil 4.7'e göre sabun kaplama yapılmış durumdaki Echozinc10A kaplamaların sürtünme katsayısı değerleri sabun kaplanmamış duruma göre oldukça düşük çıkmıştır.

Hiç kumlama yapılmayan durumda μ 0.18, S230 kumlama yapılmış durumda μ 0.18 ve S460 kumlama yapılmış durumda μ 0.16 sürtünme katsayısı değerleri ölçülmüştür. Ortalama değerler ve standart sapma değerleri göz önüne alındığında sabun kaplanmış durumda Echozinc10A kaplamalara kumlama faktörünün bir etkisi olmamıştır.

Şekil 4.8’de Echozinc10A çinko fosfat kaplamaların yüzey pürüzlülük ölçüm sonuç grafiği gösterilmektedir. Echozinc10A kaplamada kaplama öncesi Ra 0.77 μ m yüzey pürüzlülük değeri kaplamadan sonra Ra 1.24 μ m ölçülmüştür. Çizelge 4.2’de Echozinc10A kaplamaların yüzey pürüzlülük ölçümlerinin standart sapma değeri göz önüne alındığında yapılan Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne dolaylı etkisi olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü kaplamadan sonra artmıştır.



Şekil 4. 8. Echozinc10A kaplama yüzey pürüzlülük değerleri

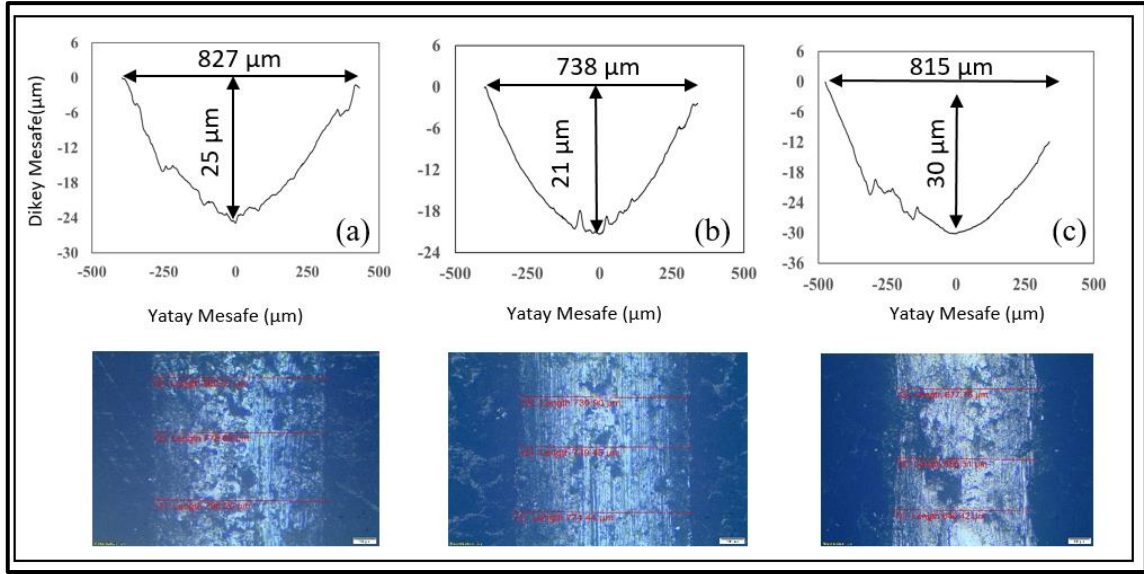
Çizelge 4. 2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu

Kaplama Türü	Kumlama Öncesi		Kumlama Sonrası		Kaplama Sonrası	
	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma
EchoZinc10A	0.77	0.03			1.24	0.14
S230 + EchoZinc10A	0.77	0.04	2.82	0.95	2.89	0.53
S460 + EchoZinc10A	0.76	0.03	15.63	4.08	15.39	2.44
EchoZinc10A+Sabun	0.75	0.06			2.05	0.25
S230 + EchoZinc10A+Sabun	0.75	0.05	2.66	0.23	3.6	0.53
S460 + EchoZinc10A+Sabun	0.77	0.08	15.56	2.08	17.94	2.11

S230 kumlama yapılan Echozinc10A çinko fosfat kaplama, kumlama sonrası yüzey pürüzlülük değeri Ra 2.82 μm iken kaplama sonrası Ra 2.89 μm ölçülmüştür. S460 kumlama sonrası Ra 15.63 μm ölçülürken kaplama sonrası Ra 15.39 μm ölçülmüştür. Benzer şekilde sabun kaplama yapılan test numunelerinde kumlama sonrası ve kaplama sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, kumlama yapılmayan Echozinc10A+sabun kaplanan ve S230 kumlama yapıp Echozinc10A+sabun kaplanan test numunelerinde kaplama sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Kumlama yapılmayan Echozinc10A+sabun kaplamada kaplama öncesi Ra 0.75 μm yüzey pürüzlülük değeri ölçülürken kaplama sonrası Ra 2.05 μm ölçülmüştür. S230 kumlama yapıp Echozinc10A+sabun kaplanan test numunesinde kumlama sonrası Ra 2.66 μm iken kaplama sonrası Ra 3.6 μm ölçülmüştür.

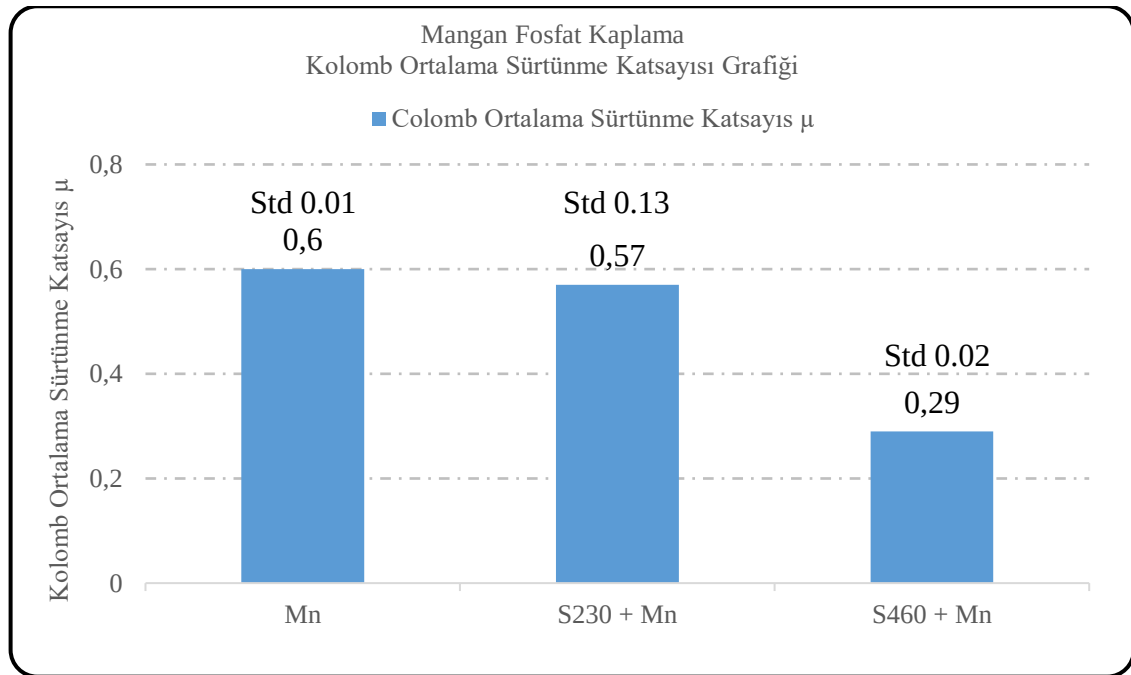
4.1.3. Mangan fosfat kaplama sürtünme ve aşınma test sonuçları

Şekil 4.9'da Mangan fosfat kaplanmış test numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Şekil 4.9 (a)'da kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 827 μm , aşınma derinliği ise 25 μm ölçülmüştür. Şekil 4.9 (b)'de S230 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 738 μm , aşınma derinliği ise 21 μm ölçülmüştür. Şekil 4.9 (c)'de S460 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 815 μm , aşınma derinliği ise 30 μm ölçülmüştür. Mangan fosfat kaplamada en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılmış test numunelerinde ölçülmüştür. En yüksek aşınma genişliği ve derinliği değerleri kumlama yapılmayan test numunelerinde ölçülmüştür.



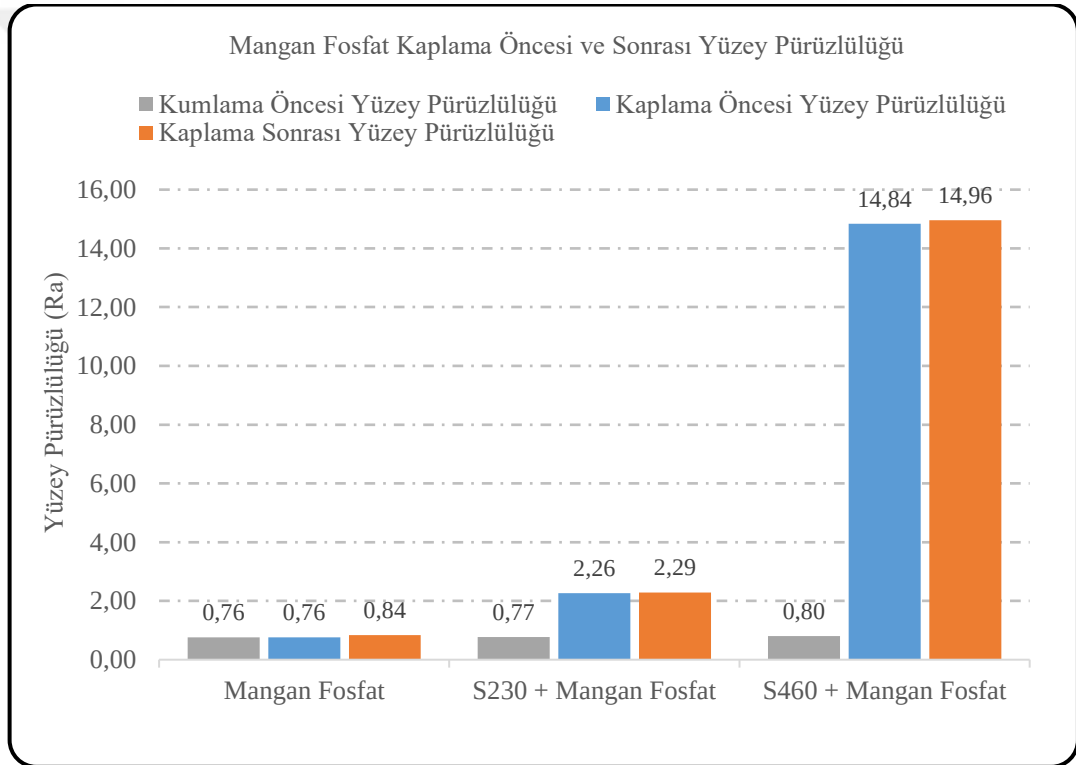
Şekil 4. 9. Mangan fosfat kaplama aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Şekil 4.10’da mangan fosfat kaplamanın Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm değerleri gösterilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.60 değeri hiç kumlama yapılmayan kaplamada görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.29 değeri ile S460 kumlama yapılan kaplamada görülmüştür. Sürtünme katsayısı ortalamaları ve standart sapmalar incelendiğinde S460 kumlama yapılan kaplamada kumlamanın sürtünme katsayısına etkisi görülmüştür.



Şekil 4. 10. Mangan fosfat kaplama Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

Şekil 4.11’de mangan fosfat kaplamanın yüzey pürüzlülük ölçüm grafiği gösterilmektedir. Mangan fosfat kaplamada kaplama öncesi Ra 0.76 μm yüzey pürüzlülük değeri kaplamadan sonra Ra 0.84 μm olmuştur. Çizelge 4.3’de mangan fosfat kaplanmanın yüzey pürüzlülük ölçümlerinin standart sapma değeri göz önüne alındığında yapılan mangan fosfat kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi görülmemiştir. S230 ve S460 kumlama yapıp mangan fosfat kaplanan test numunelerinin yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kaplamanın yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmemiştir. S230 kumlama yapılan durumda kaplama öncesi yüzey pürüzlülük Ra 2.26 μm iken kaplama sonrası Ra 2.29 μm ölçülmüştür. S460 kumlama yapılan durumda kaplama öncesi yüzey pürüzlülük Ra 14.84 μm iken kaplama sonrası Ra 14.96 μm ölçülmüştür.



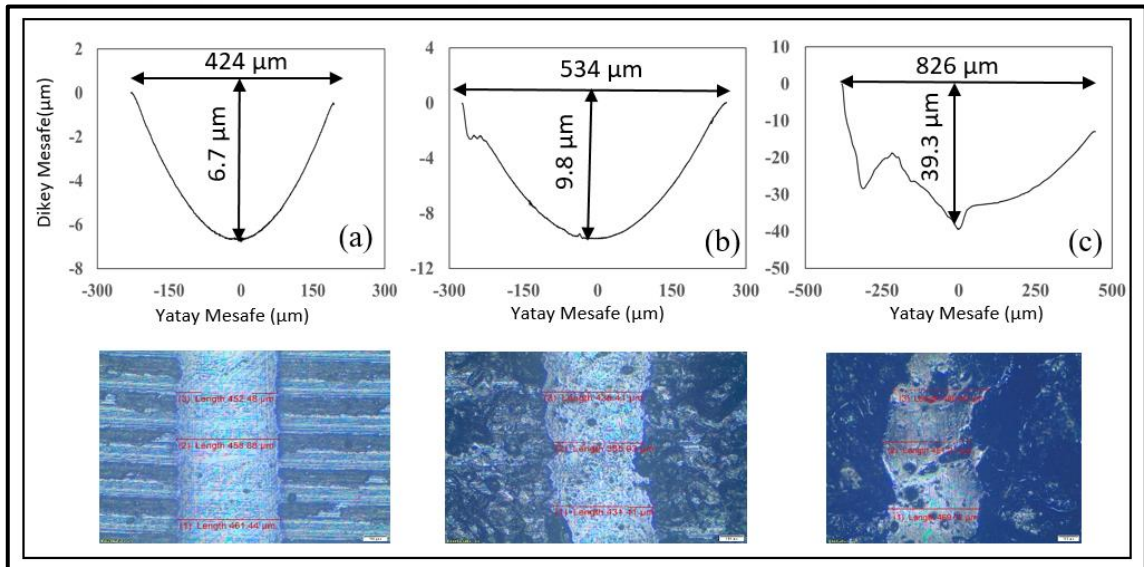
Şekil 4. 11. Mangan fosfat kaplama yüzey pürüzlülük değerleri

Çizelge 4. 3. Mangan fosfat kaplama yüzey pürüzlülük ölçümleri ortalama ve standart sapma değerleri tablosu

Kaplama Türü	Kumlama Öncesi		Kumlama Sonrası		Kaplama Sonrası	
	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma	Ra (Ortalama)	St. Sapma
Mn Fosfat	0.76	0.07			0.84	0.07
S230 + Mn Fosfat	0.77	0.06	2.26	0.33	2.29	0.15
S460 + Mn Fosfat	0.80	0.04	14.84	2.61	14.96	1.38

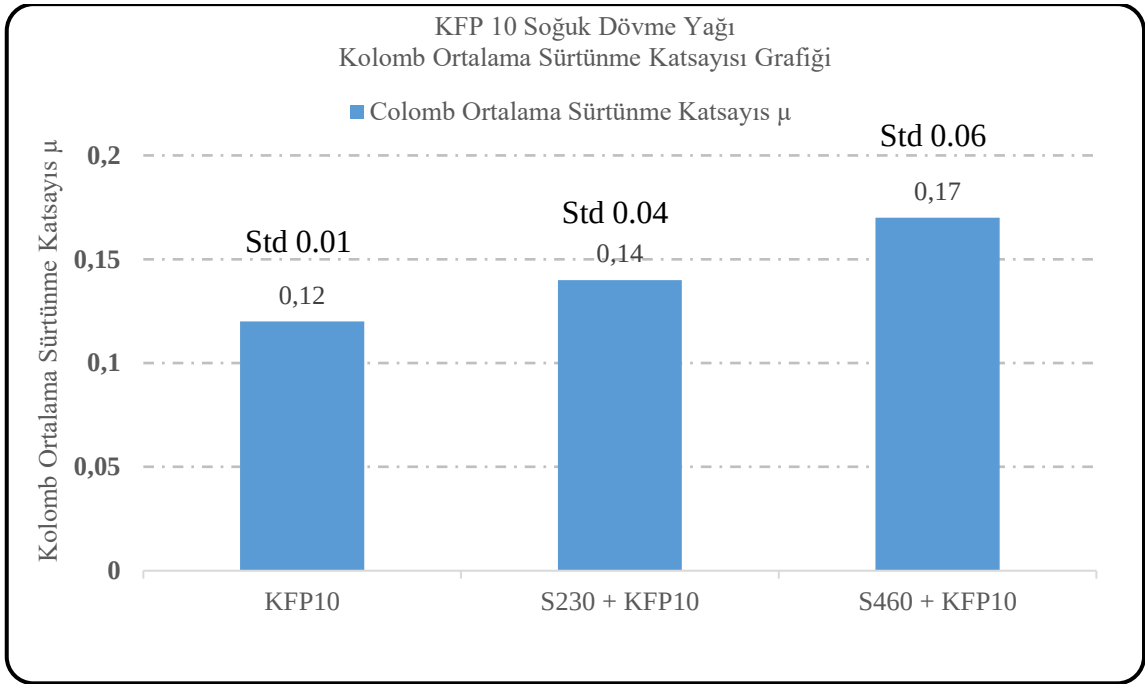
4.1.4. KFP10 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları

Şekil 4.12’de KFP10 soğuk dövme yağı ile yapılan testlere ait numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Şekil 4.12 (a)’da kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği $424\ \mu\text{m}$, aşınma derinliği ise $6.7\ \mu\text{m}$ ölçülmüştür. Şekil 4.12 (b)’de S230 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği $534\ \mu\text{m}$, aşınma derinliği ise $9.8\ \mu\text{m}$ ölçülmüştür. Şekil 4.12 (c)’de S460 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği $826\ \mu\text{m}$, aşınma derinliği ise $39.3\ \mu\text{m}$ ölçülmüştür. En düşük aşınma genişliği ve derinliği kumlama yapılmayan durumda ölçülürken en yüksek aşınma genişliği ve derinliği S460 kumlama yapılan test numunelerinde ölçülmüştür.



Şekil 4. 12. KFP10 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

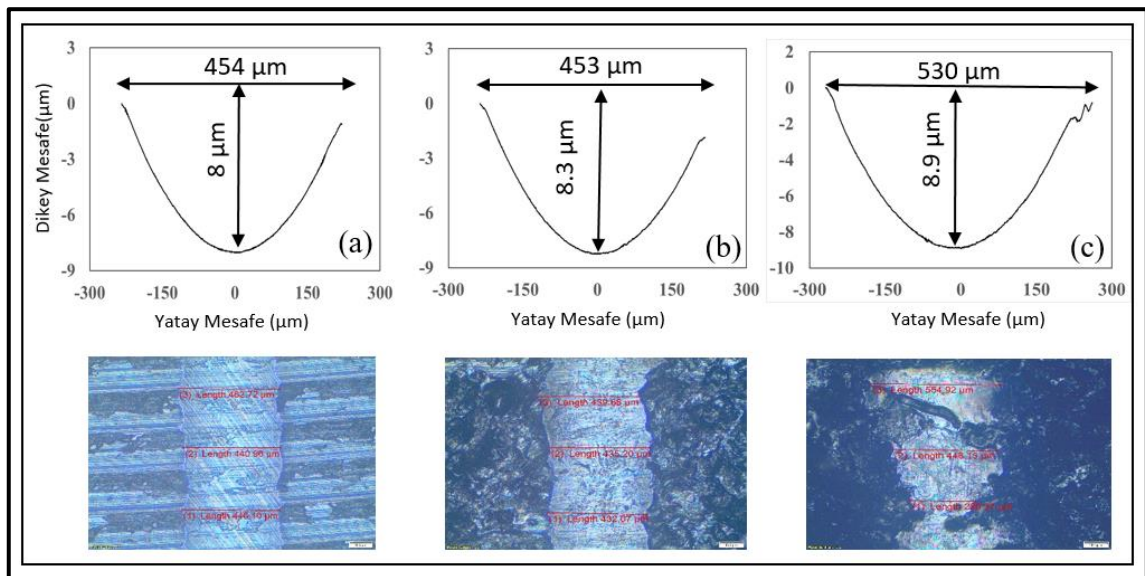
Şekil 4.13’ de KFP10 soğuk dövme yağı ile yapılan sürtünme testinde ölçülen ortalama Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm değerleri gösterilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.17 değeri S460 kumlama yapılan test numunesinde görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.12 değeri ile hiç kumlama yapılmayan test numunesinde görülmüştür. Sürtünme katsayısı ortalamaları ve standart sapmalar incelendiğinde kumlamanın sürtünme katsayısına olan etkisi görülmemiştir.



Şekil 4. 13. KFP 10 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

4.1.5. KFP95 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları

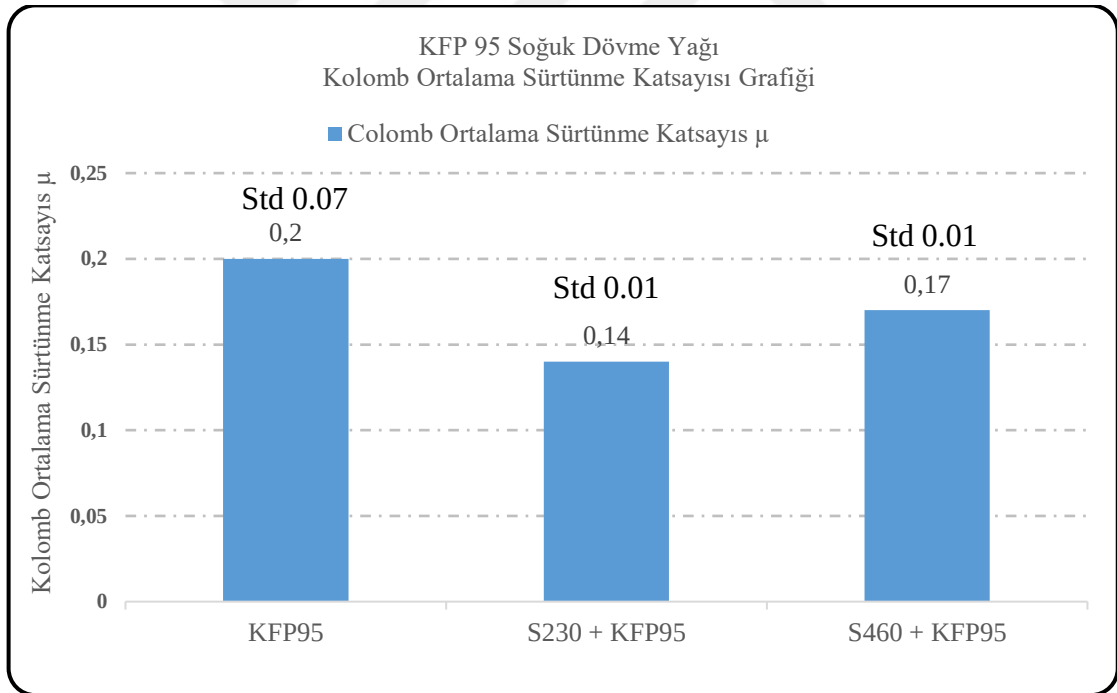
Şekil 4.14'te KFP95 soğuk dövme yağı ile yapılan testlere ait numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4. 14. KFP95 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, a) Kumlama yapılmayan durumda, b) S230 kumlama yapıldığı durumda, c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Şekil 4.14 (a)'da kumlama yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 454 μm , aşınma derinliği ise 8 μm ölçülmüştür. Şekil 4.14 (b)'de S230 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 453 μm , aşınma derinliği ise 8,3 μm ölçülmüştür. Şekil 4.14 (c)'de S460 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 530 μm , aşınma derinliği ise 8,9 μm ölçülmüştür. Aşınma derinlikleri her üç durumda da yaklaşık aynıdır. Aşınma genişlikleri kumlama yapılmayan durumda ve S230 kumlama yapılmış durumda birbirine çok yakındır. En yüksek aşınma genişliği S460 kumlama yapılmış durumda elde edilmiştir.

Şekil 4.15'te KFP95 soğuk dövme yağı ile yapılan sürtünme testinde ölçülen ortalama Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm değerleri gösterilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.2 değeri hiç kumlama yapılmayan test numunesinde görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.14 değeri ile S230 kumlama yapılan test numunesinde görülmüştür. Sürtünme katsayısı ortalamaları ve standart sapmalar incelendiğinde kumlamanın sürtünme katsayısına olan etkisi görülmemiştir.

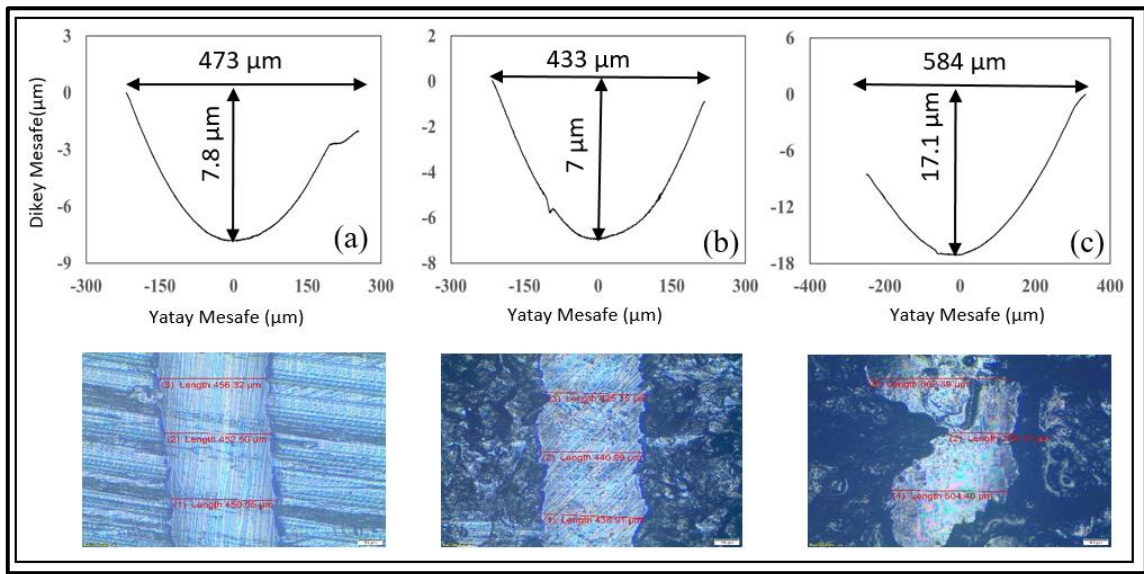


Şekil 4. 15. KFP 95 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

4.1.6. KFP96 soğuk dövme yağı sürtünme ve aşınma test sonuçları

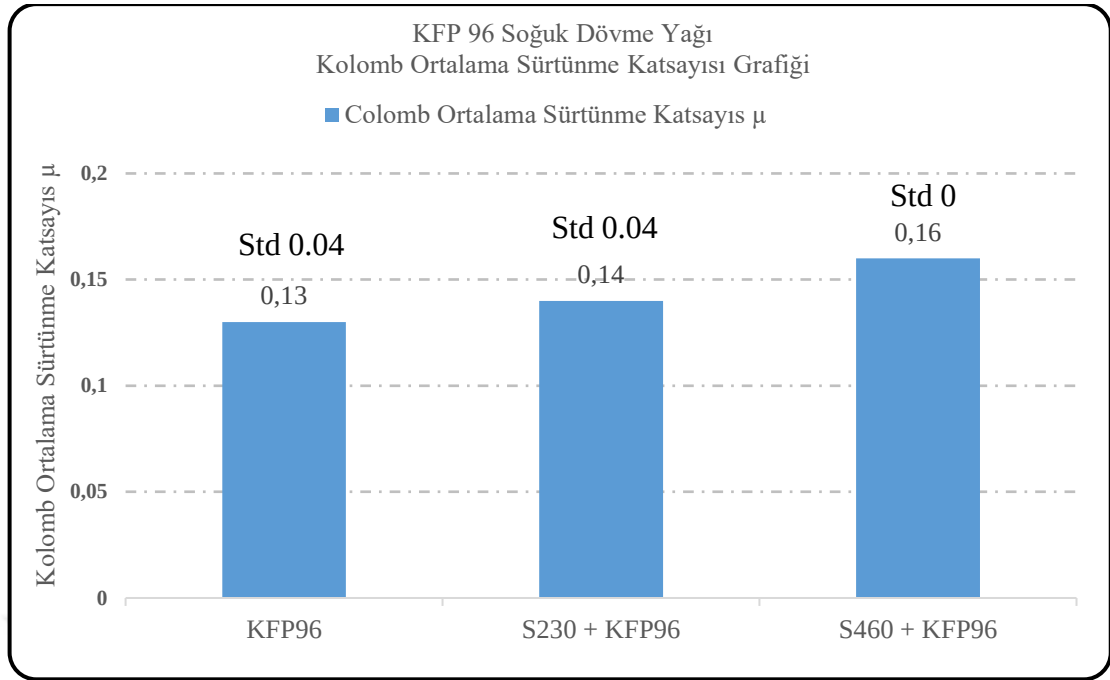
Şekil 4.16'da KFP96 soğuk dövme yağı ile yapılan testlere ait numunelerinin aşınma derinliği ve genişliği grafikleri gösterilmektedir. Şekil 4.16 (a)'da kumlama

yapılmayan test numunesinde aşınma genişliği 473 μm , aşınma derinliği ise 7.8 μm ölçülmüştür. Şekil 4.16 (b)'de S230 kumlama yapıldığı durumda aşınma genişliği 433 μm , aşınma derinliği ise 7 μm ölçülmüştür. Şekil 4.16 (c)'de S460 kumlama yapılan durumda aşınma genişliği 584 μm , aşınma derinliği ise 17.1 μm ölçülmüştür. En yüksek aşınma genişliği ve derinliği S460 kumlama yapılmış durumda ölçülürken en düşük aşınma genişliği ve derinliği S230 kumlama yapılmış durumda ölçülmüştür. Kumlama yapılmayan ve S230 kumlama yapılan test numunelerinde aşınma derinliği değerleri birbirine çok yakındır fakat aşınma genişliği olarak S230 kumlama yapılan durumda kumlama yapılmayan duruma nazaran daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4. 16. KFP96 soğuk dövme yağı aşınma derinliği ve genişliği ölçüm sonuçları, (a) Kumlama yapılmayan durumda, (b) S230 kumlama yapıldığı durumda, (c) S460 kumlama yapıldığı durumda.

Şekil 4.17'de KFP96 soğuk dövme yağı ile yapılan sürtünme testinde ölçülen ortalama Kolomb sürtünme katsayısı ölçüm değerleri gösterilmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı, μ 0.16 değeri ile S460 kumlama yapılan test numunesinde görülürken, en düşük sürtünme katsayısı, μ 0.13 değeri ile hiç kumlama yapılmayan test numunesinde görülmüştür. Standart sapmalar göz önüne alındığında kumlamanın sürtünme katsayısına olan etkisi görülmemiştir.



Şekil 4. 17. KFP 96 Soğuk dövme yağı Kolomb ortalama sürtünme katsayısı ölçüm sonuçları

KFP10, KFP95, KFP96 soğuk dövme yağlarında kaplama yapılmadığı için bu kısımlarda yüzey pürüzlülük karşılaştırması yapılmamıştır.

Kaplamalar ve yağlayıcılar değerlendirilecek olursa, kaplama tarafında S230 kumlama da her üç fosfat kaplamada da en düşük aşınma genişlikleri elde edilmiştir. Çinko fosfat kaplamalar üzerine yapılan sabun (stearat) kaplamaların aşınma genişliğini düşürdüğü görülmüştür. S230 kumlama da görülen aşınma genişliği düşüşü S460 kumlama ile tekrar yükselmiştir. En düşük aşınma genişliği S230 kumlanmış Echozinc10A+Sabun kaplamada görülürken bunu Echozinc26+Sabun kaplama takip etmiştir. Çinko fosfat ve mangan fosfat kaplamalarda aşınma genişlikleri referans alınarak kaplamanın yüzeye en iyi tutunması S230 kumlama durumunda elde edilmiştir. Kaplamanın yüzeye tutulumu yüzey gerilimi ve enerjisi ile alakalı olarak S230 kumlama durumunda sağlanan düşük aşınma genişliği bu yüzeyin geriliminin ve enerjisinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Kaplama performansı için optimum bir yüzey pürüzlülüğü gerekmekte, daha fazla yüzey pürüzlülüğü aşınma genişliğini arttırarak olumsuz neticeler vermektedir.

Yağlayıcılar tarafında kum büyüklüğünün artması ile aşınma genişlikleri artmıştır. Yalnız Kfp96 yağında S230 kumlama durumunda aşınma genişliği düşmüş, S460 kumlama ile tekrar yükselmiştir. Yağlayıcı tarafında kaplamanın aksine en düşük aşınma genişliği kumlama yapılmayan KFP10 yağında elde edilmiştir. Kumlamanın yağlayıcılarda KFP10 ve KFP95 yağında aşınma genişliğinde yükselmeye sebep olurken

KFP96 yağında S230 kumlama ile düşüş sağlamış fakat S460 kumlama ile tekrar yükselmiştir.

Aşınma genişliği olarak en düşükten en yükseğe doğru kaplamaları ve yağlayıcıları sıralayacak olursak aşağıdaki gibi bir tablo karşımıza çıkacaktır.

Çizelge 4. 4. Kaplama ve yağlayıcıların aşınma genişliği, derinliği ve Kolomb sürtünme katsayısına göre en düşükten en yükseğe sıralama tablosu

Sıralama	Yüzey Durumu	Kaplama/Yağlayıcı	Aşınma Genişliği- Aşınma Derinliği	Kolomb Sürtünme Katsayısı
1	S0	KFP10	424 μm - 6.7 μm	0.12 μ
2	S230	KFP96	433 μm –7 μm	0.14 μ
3	S230	KFP95	453 μm - 8.3 μm	0.14 μ
4	S230	Echozinc10A Çinko Fosfat +Sabun	434 μm - 6.9 μm	0.18 μ
5	S230	Echozinc26 Çinko Fosfat +Sabun	476 μm - 9 μm	0.18 μ

Çizelge 4.4.’e göre en iyi performansı kumlama yapılmamış KFP10 yağı ile elde edilirken en son sıralamada Echozinc26 çinko fosfat + sabun kaplama yer almıştır. Özetle yağ tarafında kumlama yapılmayan KFP10 yağı en iyi performansı verirken, kaplama tarafında en iyi sonucu S230 kumlama yapılmış Echozinc10A+Sabun kaplama vermiştir.

Elde edilen sonuçların literatür ile kıyaslaması yapıldığında Andreas ve Merklein (2014) tarafından yapılan çalışmada kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmenin pürüzlü yüzeyde daha düşük olduğunu öne sürmüşlerdir. Çalışmalarında kalıp yüzeyinde iki farklı yüzey pürüzlülüğü oluşturulmuştur. Bu yüzeyi oluştururken ilkinde ezerek bir yüzey topografyası oluşturulurken ikincisinde parlatma ile oluşturulmuştur. Parlatma ile, ezerek şekil vermeye nazaran daha pürüzsüz bir yüzey oluşturmuşlardır. Soğuk dövme yağı ile yaptıkları DCET testleri sonucunda pürüzsüz yüzeye sahip kalıp yüzeyinin kayma sürtünme katsayısı m değerinin pürüzlü yüzeye göre daha düşük çıktığını test etmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da farklı yüzey pürüzlülük değerleri kumlama metodu ile iş parçasına uygulanmış, DCET testi sonucu kum büyüklüğünün artması ve dolaylı olarak parça yüzey pürüzlülüğünün artması ile sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında Andreas ve Merklein (2014) yaptıkları çalışmaya benzer sonuçlar alınmıştır. Tek fark olarak endüstride yaygın olarak kullanılan çelik kumlama ile bu durum incelenmiş ve test edilmiştir. Kumlamanın etkisinin değerlendirilmesi ile çalışmalara bu noktada zenginlik kazandırılmış ve literatüre katkı sağlanmıştır.

Ayrıca bu çalışma ile mevcut literatüre farklı bir bakış açısı sunulmuştur. Aşağıda ilgili literatürlere vurgu yapılarak çalışmamızın bunlardan ayrılan yönlerini ve farklarını açıklayacak olursak şu şekilde olacaktır.

Kim ve ark., (2020) yaptıkları çalışmalarda kaplamaların ve çeşitli yağlayıcıların tribolojik performanslarının değerlendirilmesinde çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET), geri ekstrüzyon testi (BCET) ve yığma testi (spike forging) metodunu kullanmışlardır. Her üç test metodunda da yağlayıcının kayma sürtünme katsayısı m değerini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Şekil verme yağı ile yaptıkları çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) sonucu m : 0.02 kayma sürtünme değeri elde etmişlerdir. Bizim bu çalışmamız ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fark olarak çalışmamızda kumlama ile elde edilen farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip iş parçasının sürtünme performansı değerlendirilerek çalışma daha da zenginleştirilmiş ve kumlamanın sürtünmeye olan etkisi incelenerek literatüre bu noktada pozitif katkı sağlanmıştır.

Hivart ve ark., (1992) yaptıkları çalışmada kaplama kalınlığının, işlem süresinin karekökü ile arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalarına ek olarak bizim çalışmamızda kumlama ile oluşturulan farklı yüzeylerin kaplama kalınlıklarını etkilediği SEM-EDS analizleri ile görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında kumlamanın kaplama kalınlığına olan etkisi çalışmamızda deneysel olarak incelenmiş ve kum büyüklüğünün artması ile kaplama kalınlığının arttığı görülmüştür. Kaplama kalınlığına etkisinden dolayı kumlama metodu, bu alanda yapılan çalışmalara farklı bir bakış açısı getirmiştir.

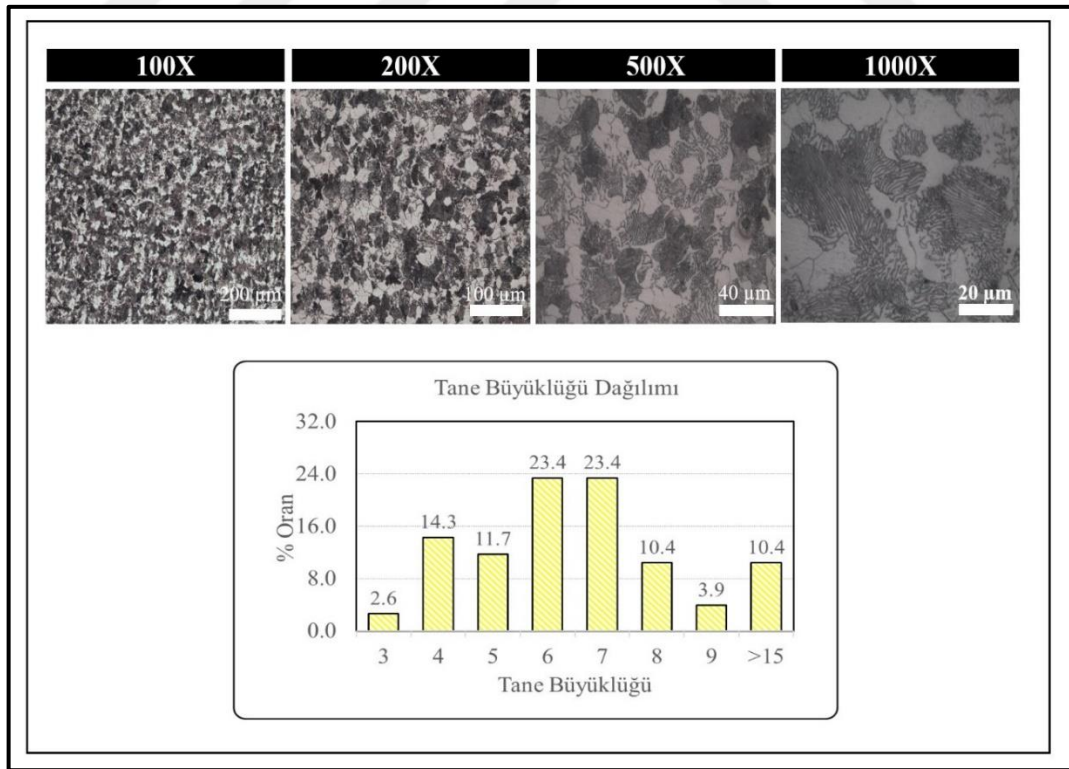
Saffarzade ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada çinko fosfat ve magnezyum fosfat kaplamaların yağlayıcı hapsedme özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Magnezyum fosfat kristallerinin çinko fosfat kristallerine göre daha gözenekli bir yapı sergilemesi ile yağ tutma kapasitesinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Kaplama kalınlığı olarak aynı banyo sürelerinde magnezyum fosfatın daha kalın bir kaplama tabakası oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Kaplama yapışma dayanımı olarak çinko fosfat kaplamanın magnezyum fosfat kaplamaya göre daha iyi performans sergilediğini görmüşlerdir. Yaptığımız çalışmada kumlama metodu ile oluşturulan farklı yüzeylerin kaplama kalınlıklarını etkilediği SEM-EDS analizleri ile görülmüştür. Kumlamanın kaplama kalınlığına olan pozitif etkisi incelenmiş olup çalışmamız literatüre bu noktada katkı sunmuştur.

Arentoft ve ark., (2009) yaptıkları çalışmada ağır metaller içeren fosfat banyolarının bu zararlı etkilerinden kurtulmak için çinko ve kalay kaplama önermişlerdir. HCL asit ile çinko tabakasının yüzeyden uzaklaştırılması ile yağ cepleri oluşturmuşlardır.

Yağlayıcı olarak MODX pasta, mineral yağ ve sabun kullanmışlardır. Asit ile yüzeyden uzaklaştırılan çinkonun oluşturduğu yağ ceplerine yağlayıcı olarak mineral yağ ve MODX pasta uygulamışlardır. Batma derinliği en yüksek kalay üzerine yapılan MODX yağlayıcıda görülürken bunları sırası ile mineral yağ, fosfat-sabun ve kaplama üzerine sabun kaplama takip etmiştir. Çalışmalarında oluşturdukları gözenekli yapı, bizim çalışmamızda kumlama metodu ile oluşturulmuştur. Ulaşılmak istenen amaç aynı fakat metot farklıdır. Kumlama metodu ile yeni bir yaklaşım sunulmuş ve çalışmaların bu noktada zenginleştirilmesi yönünde adım atılmıştır.

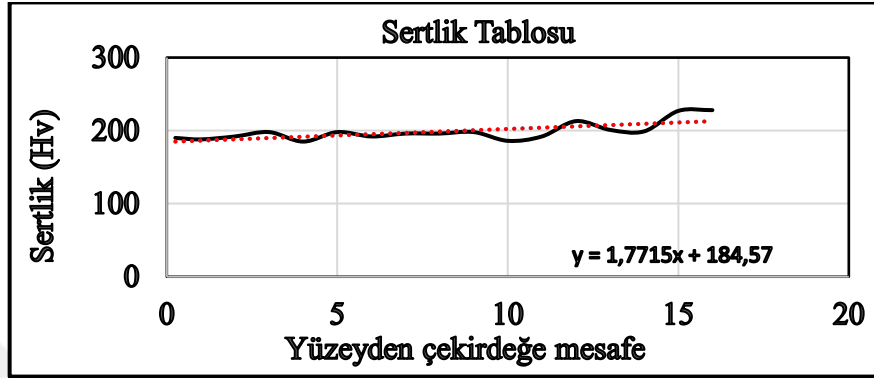
4.2. Mikroyapı ve Sertlik Tarama Sonuçları

Olympus GX41 ters metal mikroskobu ile 100X, 200X, 500X ve 1000X büyütme sonucu elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Tipik bir orta karbonlu çelik mikroyapısına sahiptir. Koyu kısımlar perlit, açık kısımlar Ferrit fazlarını oluşturmaktadır. ASTM E112’e göre Olympus mikroyapı analiz yazılımı ile tane büyüklüğü 5.48 hesaplanmıştır.



Şekil 4. 18. Soğuk dövme numunelerinin mikroyapı görüntüsü ve tane büyüklüğü grafiği

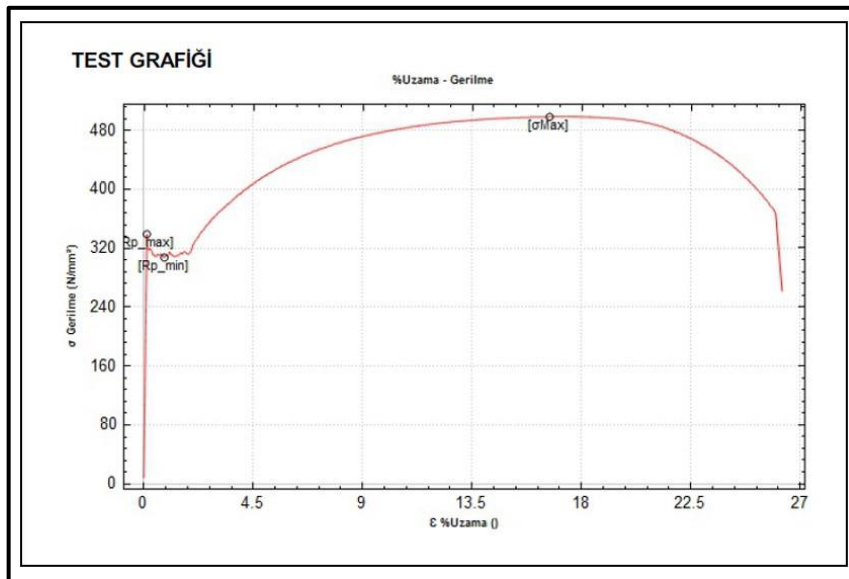
Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) için hazırlanan soğuk dövme numuneleri Çizelge 3.4'teki ısıtma işlem reçetesiyle göre sürekli fırında tavlandı. Tavlama işleminden sonra yüzeyden çekirdeğe 1 mm aralıklarla HV sertlik ölçümleri gerçekleştirildi. Şekil 4.19'daki grafiğe göre yüzeyden çekirdeğe doğru sertliğin arttığı, yüzeyde 190 HV olan sertliğin çekirdekte 228 HV olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 19. DIN CK45 çeliğin tavlama sonrası yüzeyden çekirdeğe sertlik tarama grafiği

4.3. Çekme Testi Sonuçları

Tavlama işleminden sonra DCET testi öncesi, simülasyon yazılımı malzeme girdisi olarak kullanılmak üzere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi Konya Organize Sanayi bölgesinde krank üretimi yapan ve akredite laboratuvara sahip Genmot firmasında yapılmıştır. Şekil 4.20'de çekme testine ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 4. 20. Tavllanmış Numunelerin Çekme Testi Grafiği

Grafiğe göre çekme dayanımı (Rm) 498,33 MPa, Akma dayanımı (Rt 0,2) 307,05 MPa, kopma uzaması %26.08 bulunmuştur. Holloman denklemindeki (Denklem 4.1) mukavemet katsayısı “K” ve deformasyon sertleşme üssü “n” değerinin hesaplanması için her iki tarafın doğal logaritması alındığında Denklem 4.2 elde edilir. Bu ise logaritmik skalada bir doğru denklemini (Denklem 4.3) verir. Çekme testi verileri Microsoft Excel ortamında işlenmiştir. Elastik bölgede aynı olan mühendislik ve gerçek gerilme-gerinme değerleri, plastik deformasyon bölgesinde değişiklik göstermekte ve simülasyon veri girdisi olarak gerçek gerilme-gerinme değerlerine ihtiyacımız vardır. Gerçek gerinme ve gerçek gerilme değerleri için aşağıda gösterilen Denklem 4,4 ve Denklem 4,5’teki formüller kullanılmıştır.

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n \quad (4.1)$$

$$\ln \sigma_g = \ln K + n \ln \varepsilon \quad (4.2)$$

$$y = a + bx \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_{gerçek} = \ln(1 + e) \quad (4.4)$$

$\varepsilon_{gerçek}$: Gerçek Birim Şekil Değiştirme

e: Mühendislik gerinmesi

$$\sigma_{gerçek} = \sigma_m(1 + e) \quad (4.5)$$

$\sigma_{gerçek}$: Gerçek gerilme

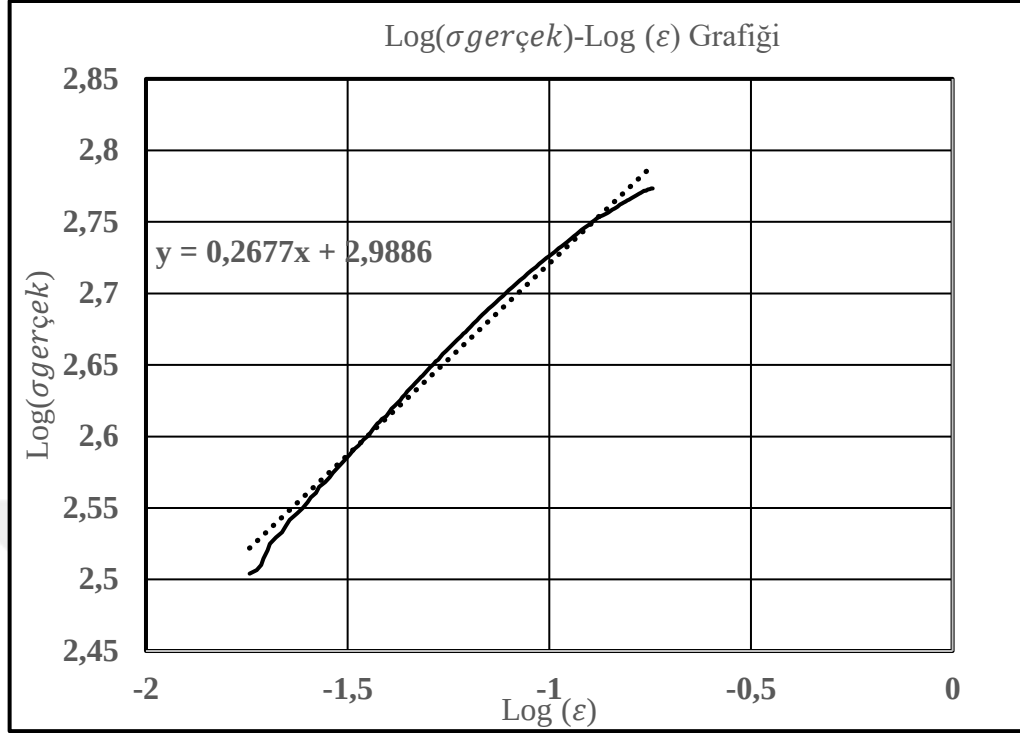
e: Mühendislik gerinmesi

Gerçek gerilme ve gerinme değerlerinin Excel’de hesaplanmasından sonra 0.002 gerinme değerinin başladığı yerden başlayarak sonraki gerilme-gerinme değerlerinin logaritmaları hesaplanmıştır. Şekil 4.21’de logaritmaları hesaplanan gerçek gerilme-gerinme grafiği gösterilmektedir. Logaritmik skaladaki doğru Denklem 4.6 ile aşağıda belirtilmiştir.

$$y = 0.2677x + 2.988 \quad (4.6)$$

Eğrinin eğimi burada 0.2677 hesaplanırken bu değer deformasyon sertleşme üssü “n” değerine eşittir. Mukavemet katsayısı “K” değerinin hesaplanması için 2.988’in ters logaritması alınarak K değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$10^{2.988} = 972.747 \text{ MPa}$$

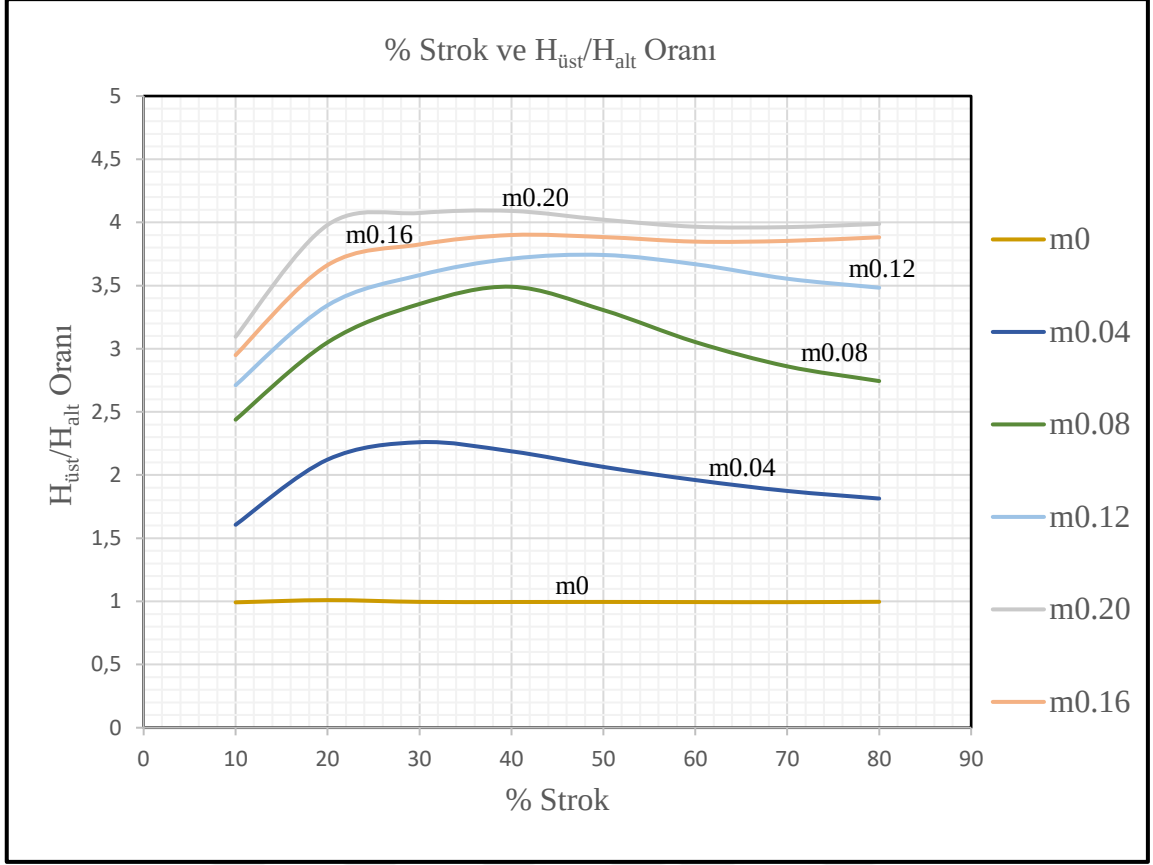


Şekil 4. 21. Gerçek gerilme-Birim şekil değiştirme değerlerinin logaritma grafiği

Sonuç olarak K: 972.747 MPa, n: 0.2677 olarak hesaplanmıştır.

4.4. 2D FEM Simülasyon Sonuçları

2D Fem simülasyon sonuçlarına göre Şekil 4.22'de % stroğa göre kap yükseklik oranı grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre kayma sürtünmesi m: 0 olduğunda kap yükseklik oranı $H_{üst}/H_{alt}$ 1 olmakta ve yatay bir çizgi halinde uzanmaktadır. Kayma sürtünme değeri 0,04 artış yapılarak 0.20'ye kadar 6 farklı kayma sürtünme değeri ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



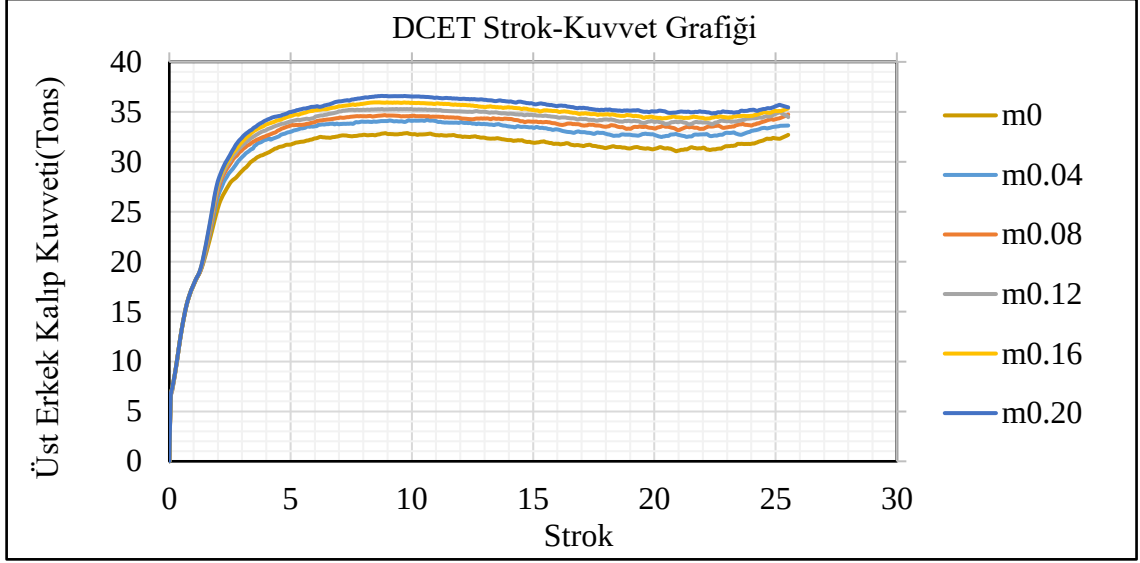
Şekil 4. 22. 2 boyutlu sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre % strok – $H_{üst}/H_{alt}$ oranı kalibrasyon eğri grafiği

Strok değeri ise %10'dan başlanıp 10'arbirim artış yapılarak %80 strok değerine kadar simülasyonlar tekrarlanmıştır. Toplamda 48 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5'te gerçekleştirilen simülasyonların kombinasyon tablosu gösterilmektedir.

Çizelge 4. 5. Kayma sürtünme kalibrasyon grafiği için simülasyon kombinasyon tablosu

	strok % 10	strok % 20	strok % 30	strok % 40	strok % 50	strok % 60	strok % 70	strok % 80
m 0	1	2	3	4	5	6	7	8
m 0.04	9	10	11	12	13	14	15	16
m 0.08	17	18	19	20	21	22	23	24
m 0.12	25	26	27	28	29	30	31	32
m 0.16	33	34	35	36	37	38	39	40
m 0.20	41	42	43	44	45	46	47	48

Şekil 4.23'te simülasyon sonrası strok-yük grafiği gösterilmektedir. Grafiğe göre arayüz sürtünme katsayısı arttıkça kalıp yükünün de arttığı görülmektedir. Bu durum Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 23. Çift yönlü ekstrüzyon (DCET) strok-kuvvet 2D Fem Sonuçları

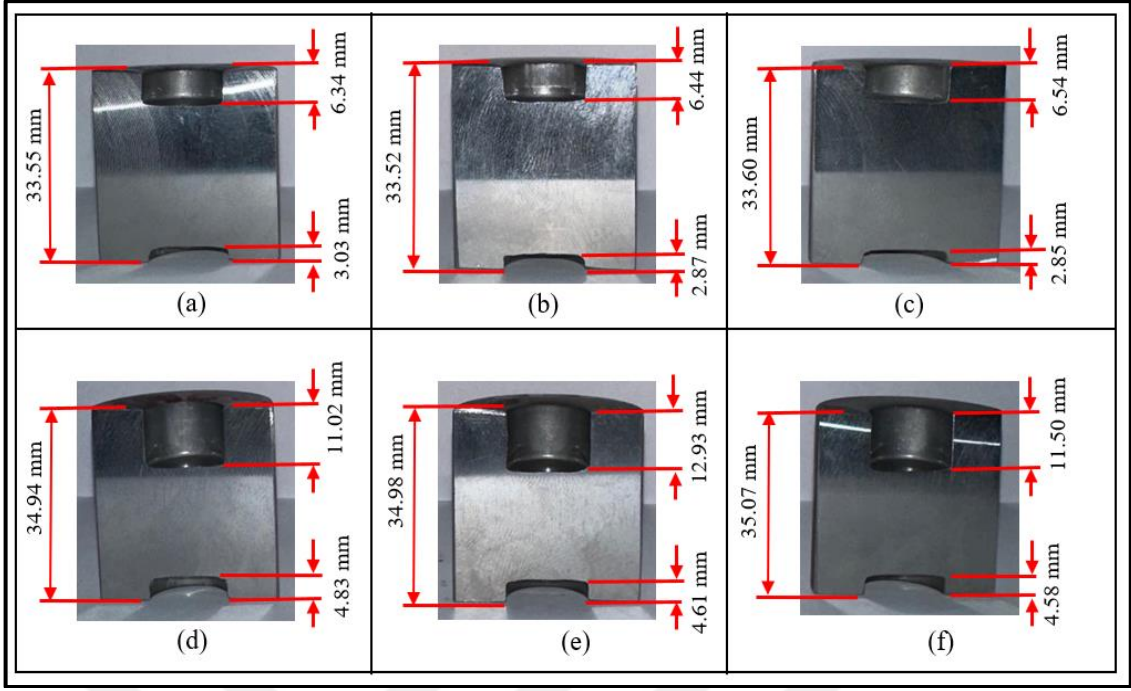
Bütün sürtünme değerlerinde yaklaşık 1.5 mm strok mesafesine kadar kalıp yükünün aynı kaldığı bu noktadan sonra farklı sürtünme değerleri için değiştiği gözlenmiştir. Bu farklılığın ilk etapta iş parçası ile dişi kalıp arasında yaklaşık 0.1 mm boşluk olduğu için simülasyonun ilk 1.5 mm'lik strok kısmında malzeme dişi kalıba dolmakta ve bu noktadan sonra dişi kalıba temas ettiği için kalıp yüklerinin değiştiği yorumlanmıştır. 15 mm strok mesafesinde farklı sürtünme değerleri için 2D Fem simülasyonundan alınan kalıp yükü verileri Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4. 6. Çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) 15 mm strokta farklı sürtünme katsayılarına (m) karşılık gelen kalıp yükleri

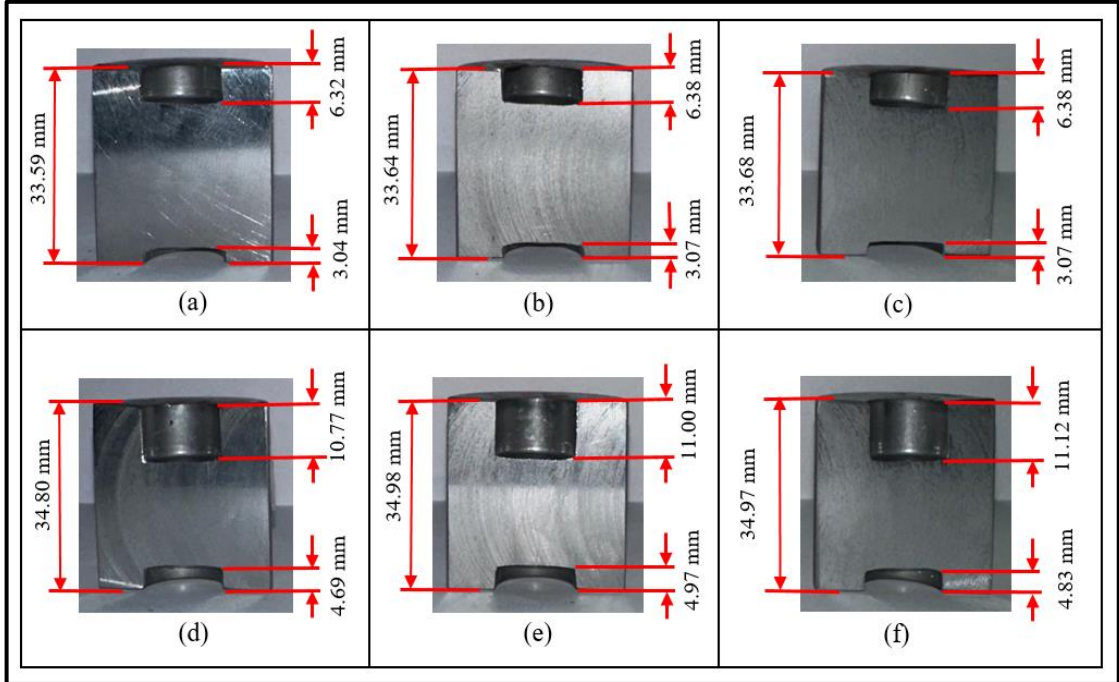
Sürtünme katsayısı (m)	m 0	m 0.04	m 0.08	m 0.12	m 0.16	m 0.20
Kalıp yükü (kN)	312.7	327.3	333.5	339.7	344.8	350.7

4.5. Çift Yönlü Ekstrüzyon Test Sonuçları

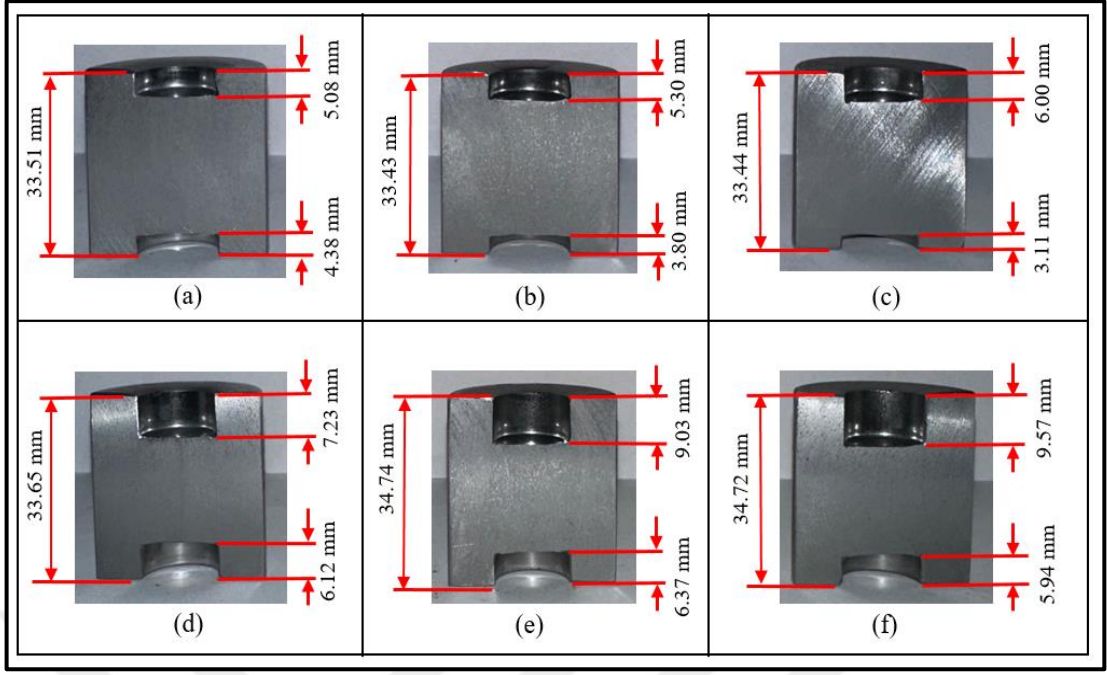
Kayma sürtünme katsayısının tespiti için çift yönlü ekstrüzyon testi (DCET) gerçekleştirilmiştir. Toplamda 90 adet test yapılmıştır. Test sonrası ekstrüzyon numunelerinin boyuna kesitleri, toplam boy, ileri ekstrüzyon ve geri ekstrüzyon oranları Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



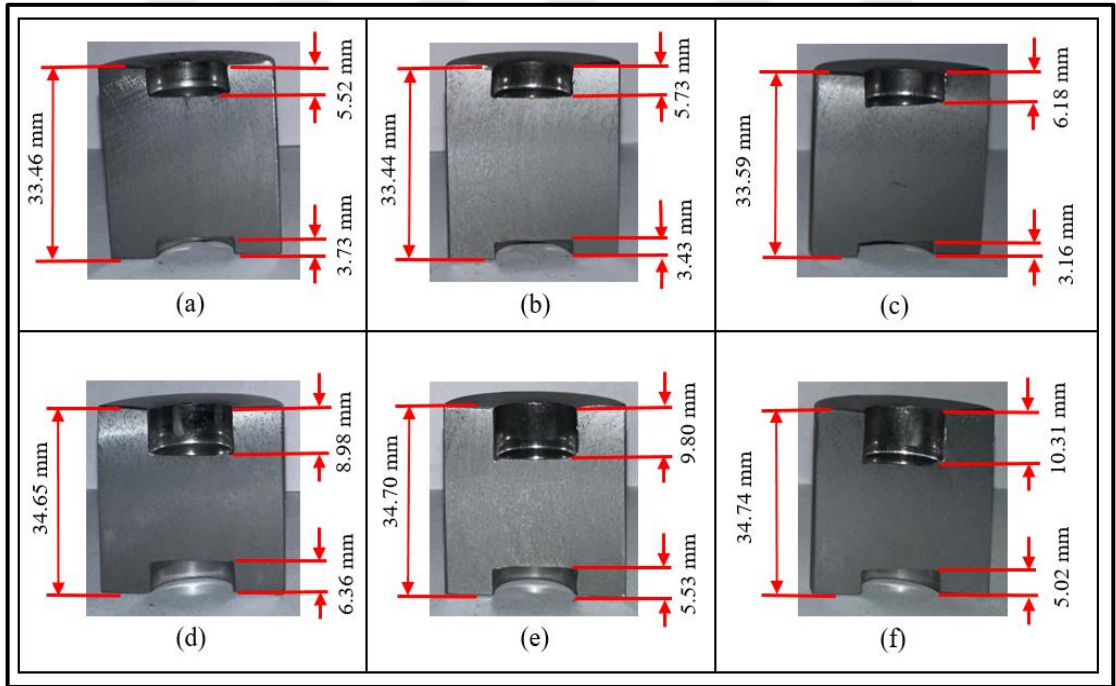
Şekil 4. 24. Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görüntüleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında



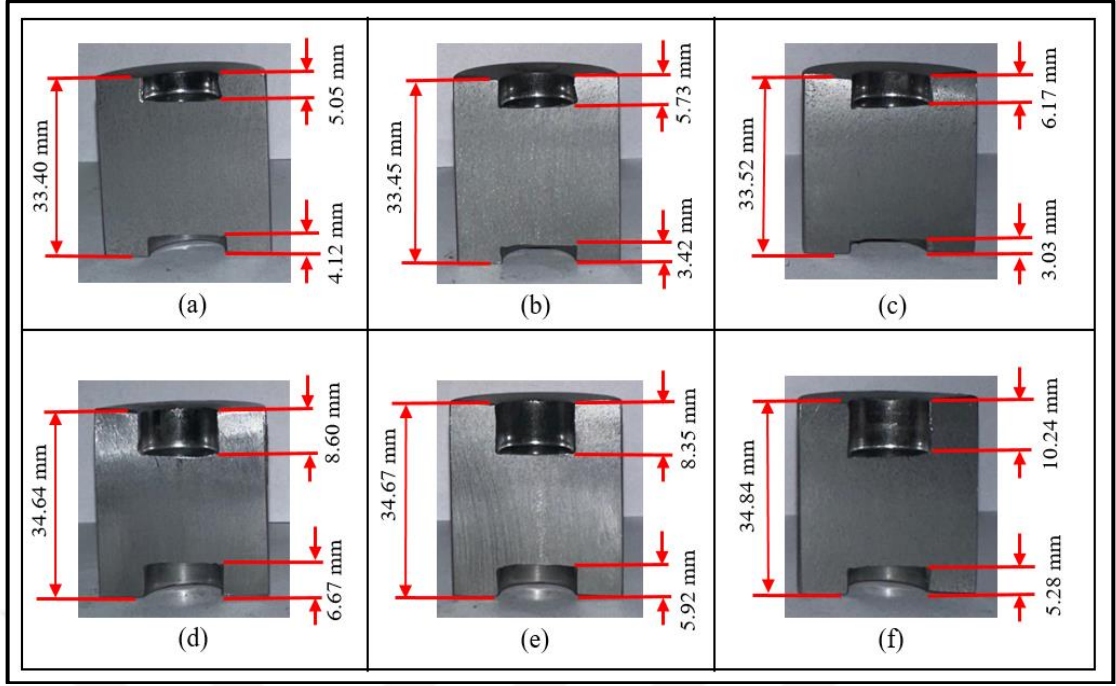
Şekil 4. 25. Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplanmış numunelerin DCET sonrası boyuna kesit görüntüleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında



Şekil 4. 26. KFP10 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görüntüleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında



Şekil 4. 27. KFP95 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET testi sonrası boyuna kesit görüntüleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında

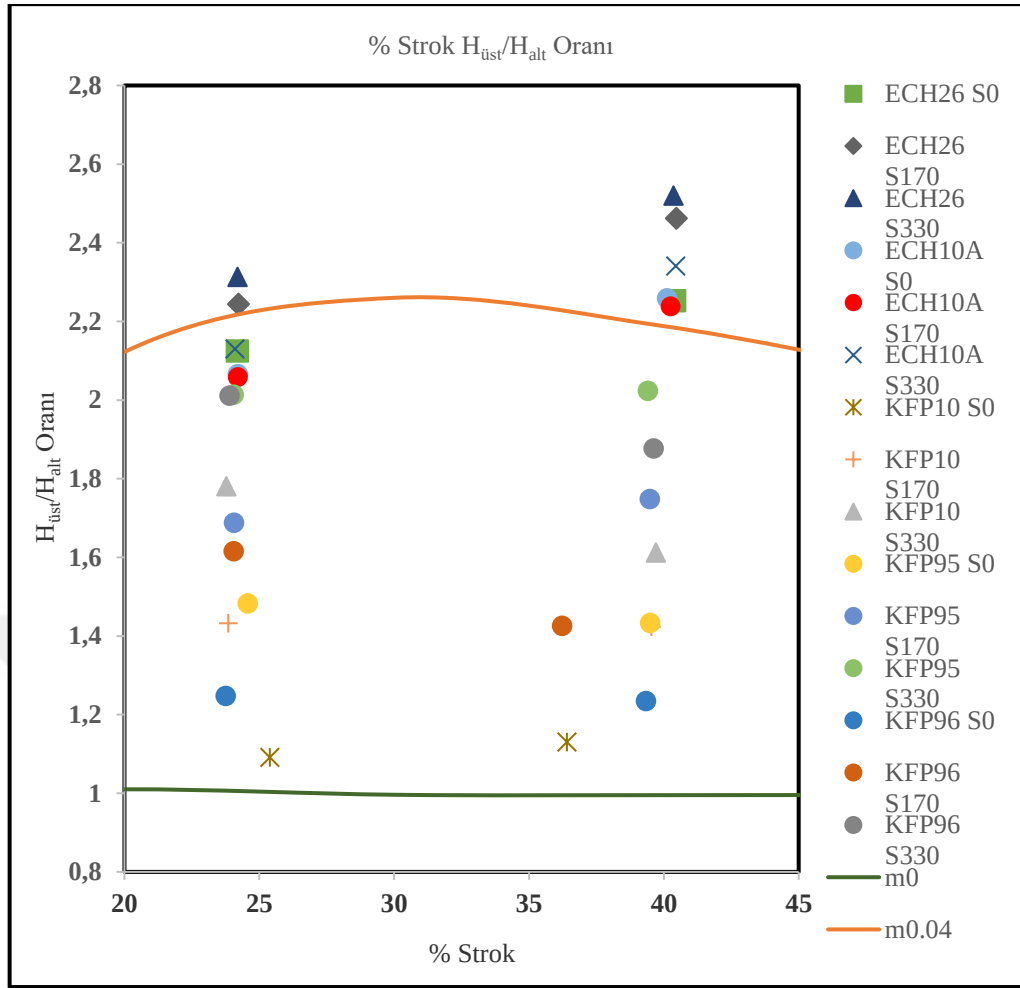


Şekil 4. 28. KFP96 soğuk dövme yağı ile yağlanmış numunelerin DCET sonrası boyuna kesit görüntüleri, a) S0 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, b) S170 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, c) S330 kumlanmış %25 erkek kalıp deplasmanında, d) S0 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, e) S170 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında, f) S330 kumlanmış %40 erkek kalıp deplasmanında

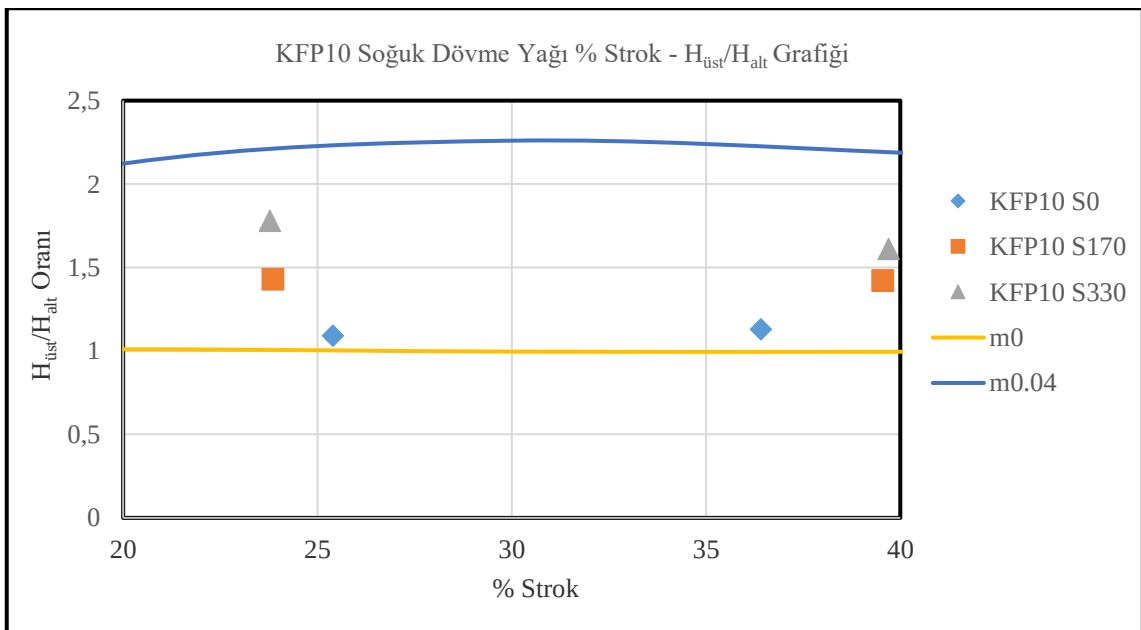
Şekil 4.29’da testlerden çıkan sonuçlar daha önce sonlu elemanlar simülasyonunda elde edilen kalibrasyon eğri grafiğine yerleştirilmiştir. Bütün testler bir arada olduğu için grafiği daha rahat yorumlayabilmek ve anlamak için kaplama ve soğuk dövme yağları önce kendi içlerinde ve daha sonra farklı kaplama ve yağlama kıyaslaması için birbirlerinin arasında değerlendirilmiştir.

Şekil 4.30’da KFP10 soğuk dövme yağının ekstrüzyon test sonuçlarına göre kalibrasyon eğrisindeki yerleşimi gösterilmektedir. Grafiğe göre en küçük “m” kayma sürtünme değeri S0 kumlama yapılmayan durumda görülürken bunu sırasıyla S170 ve S330 kumlama yapılan durumdaki testler takip etmiştir. KFP10 soğuk dövme yağında DCET testinde test öncesi yapılan kumlamanın boyutu, diğer bir ifade ile ekstrüzyon öncesi yüzey pürüzlülüğü arttıkça kayma sürtünme katsayısı değeri m’nin arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.7’de %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde kumlama boyutu arttıkça kayma sürtünme katsayısı m değerinin arttığı görülmüştür. Hiç kumlama yapılmayan durumda kayma sürtünme katsayısı m: 0.003516 iken S170 kumlama durumunda 0.013686, S330 kumlama durumunda ise 0.022741 hesaplanmıştır.



Şekil 4. 29. DCET testinden çıkan numunelerin $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiğindeki konumları

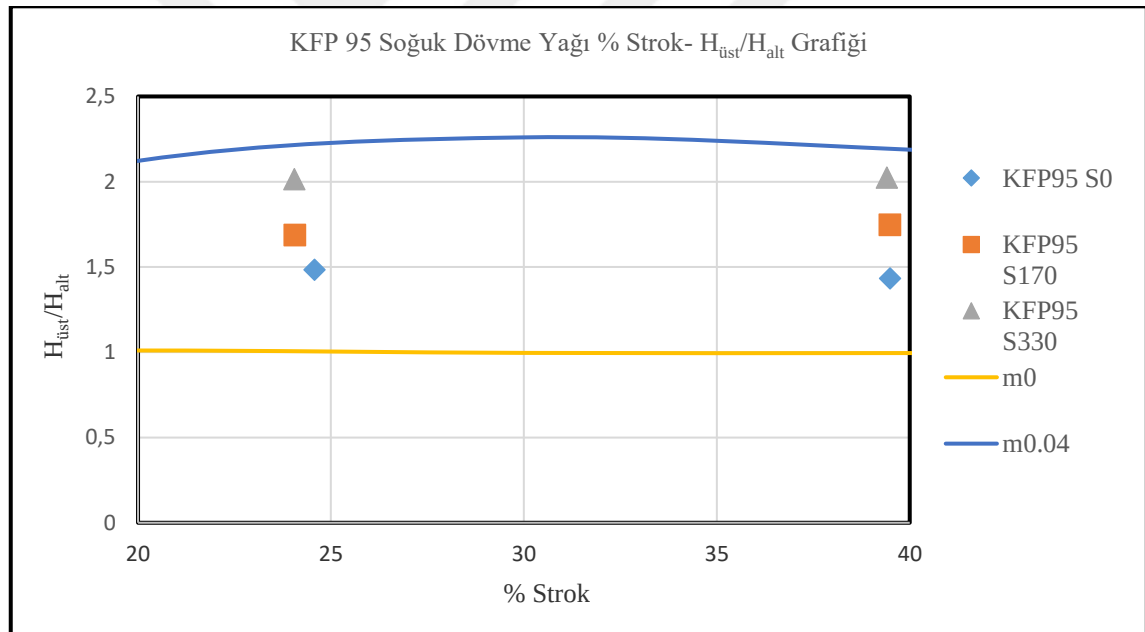


Şekil 4. 30. KFP 10 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4. 7. KFP10 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Soğuk dövme yağı ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
KFP10 S0	0.003516
KFP10 S170	0.013686
KFP10 S330	0.022741

Şekil 4.31’de KFP95 soğuk dövme yağının ekstrüzyon test sonuçlarına göre kalibrasyon eğrisindeki yerleşimi gösterilmektedir. Grafiğe göre en küçük “m” kayma sürtünme değeri S0, kumlama yapılmayan durumda görülürken bunu sırasıyla S170 ve S330 kumlama yapılan durumdaki testler takip etmiştir. KFP95 soğuk dövme yağında DCET testinde test öncesi yapılan kumlamanın boyutu, diğer bir ifade ile ekstrüzyon öncesi yüzey pürüzlülüğü arttıkça kayma sürtünme katsayısı değeri m’nin arttığı gözlenmiştir.



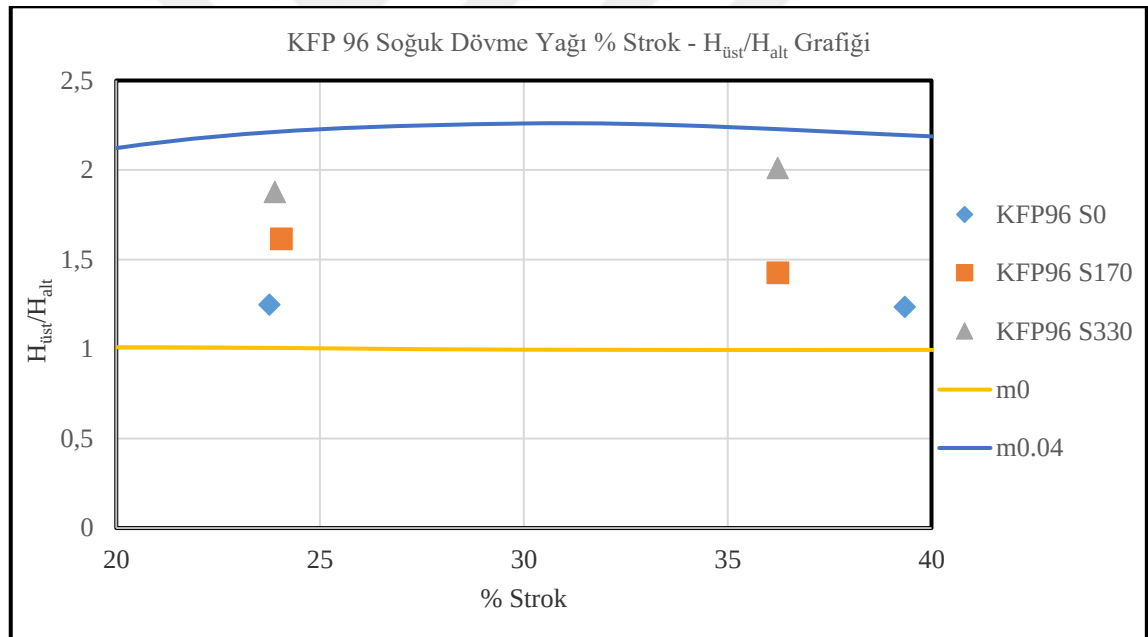
Şekil 4. 31. KFP 95 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4.8’de %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde kumlama boyutu arttıkça kayma sürtünme katsayısı m değerinin arttığı görülmüştür. Hiç kumlama yapılmayan durumda kayma sürtünme katsayısı m: 0.014822 iken S170 kumlama durumunda 0.022625, S330 kumlama durumunda ise 0.032323 hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 8. KFP95 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Soğuk dövme yağı ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
KFP95 S0	0.014822
KFP95 S170	0.022625
KFP95 S330	0.032323

Şekil 4.32’de KFP96 soğuk dövme yağının ekstrüzyon test sonuçlarına göre kalibrasyon eğrisindeki yerleşimi gösterilmektedir. Grafiğe göre en küçük “m” kayma sürtünme değeri S0, kumlama yapılmayan durumda görülürken bunu sırasıyla S170 ve S330 kumlama yapılan durumdaki testler takip etmiştir. KFP96 soğuk dövme yağında DCET testinde test öncesi yapılan kumlamanın boyutu, diğer bir ifade ile ekstrüzyon öncesi yüzey pürüzlülüğü arttıkça kayma sürtünme katsayısı değeri m’nin arttığı gözlenmiştir.



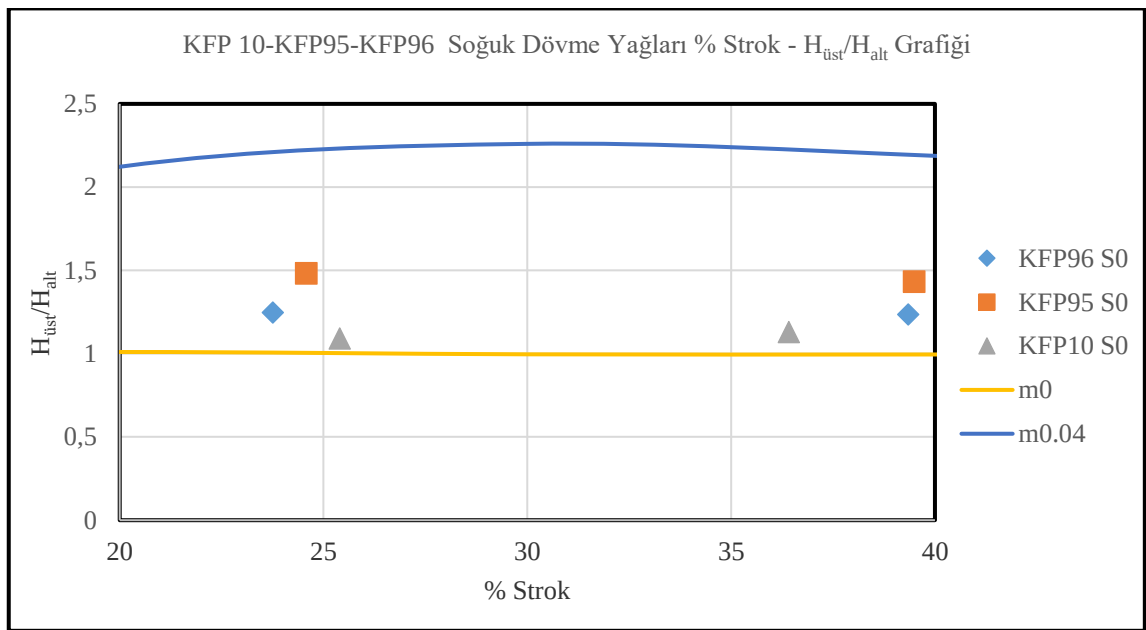
Şekil 4. 32. KFP 96 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4.9’da %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde kumlama boyutu arttıkça kayma sürtünme katsayısı m değerinin arttığı görülmüştür. Hiç kumlama yapılmayan durumda kayma sürtünme katsayısı m: 0.007788 iken S170 kumlama durumunda 0.016668, S330 kumlama durumunda ise 0.030472 hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 9. KFP96 soğuk dövme yağının %30 deplasmana göre farklı kumlama durumuna göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Soğuk dövme yağı ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
KFP96 S0	0.007788
KFP96 S170	0.016668
KFP96 S330	0.030472

KFP10, KFP95 ve KFP96 soğuk dövme yağlarının DCET testinde kendi içlerinde hiç kumlama yapılmadığı durumlarda kayma sürtünme katsayısı (m) değeri düşük çıkmıştı. Şekil 4.33'te ise bu üç soğuk dövme yağı kendi aralarında kıyaslanmıştır.



Şekil 4. 33. KFP 10-KFP95-KFP96 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

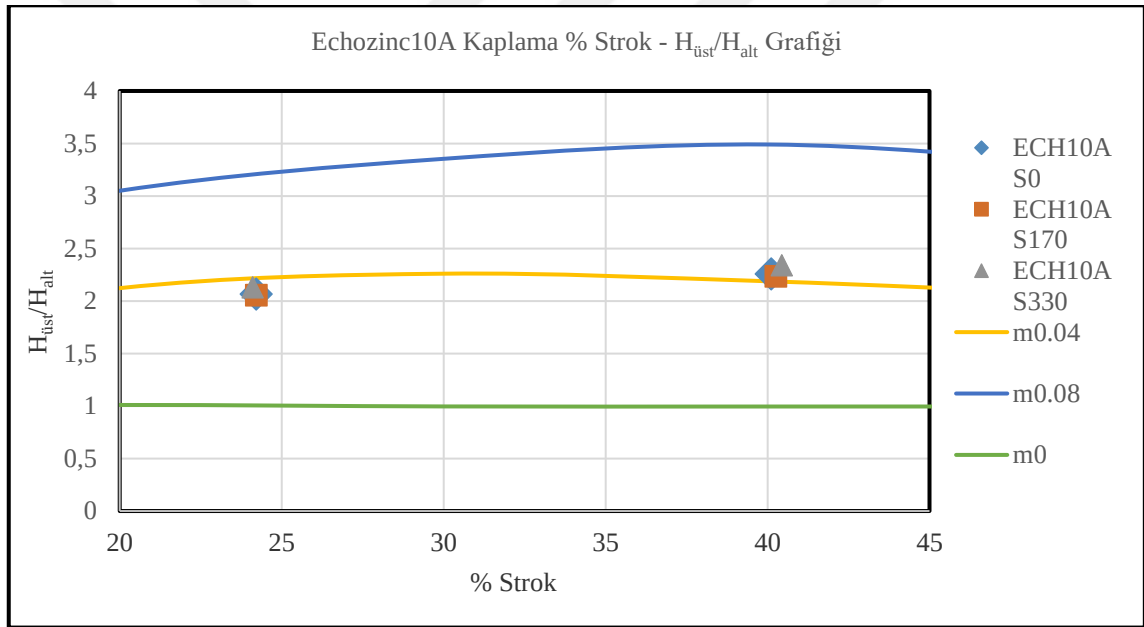
Şekil 4.33'e göre en düşük kayma sürtünme katsayısı değeri "m" KFP10 soğuk dövme yağının kullanıldığı durumda görülürken bunu sırası ile KFP96 ve KFP95 izlemiştir.

Çizelge 4.10'da %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde KFP10 soğuk dövme yağında m: 0,003516, KFP96 yağında m: 0,007788, KFP95 yağında ise m:0,014822 hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 10. KFP10, KFP95 ve KFP96 soğuk dövme yağlarının%30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Soğuk dövme yağı ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
KFP10 S0	0.003516
KFP96 S0	0.007788
KFP95 S0	0.014822

Şekil 4.34’te Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın ekstrüzyon test sonuçlarına göre kalibrasyon eğrisindeki yerleşimi gösterilmektedir. S0, S170 ve S330 kumlama durumunda kayma sürtünme katsayısı (m) değeri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Grafiğe göre en küçük “m” kayma sürtünme değeri S170 kumlama yapılan durumda görülürken bunu sırasıyla S0 ve S330 kumlama yapılan durumdaki testler takip etmiştir.



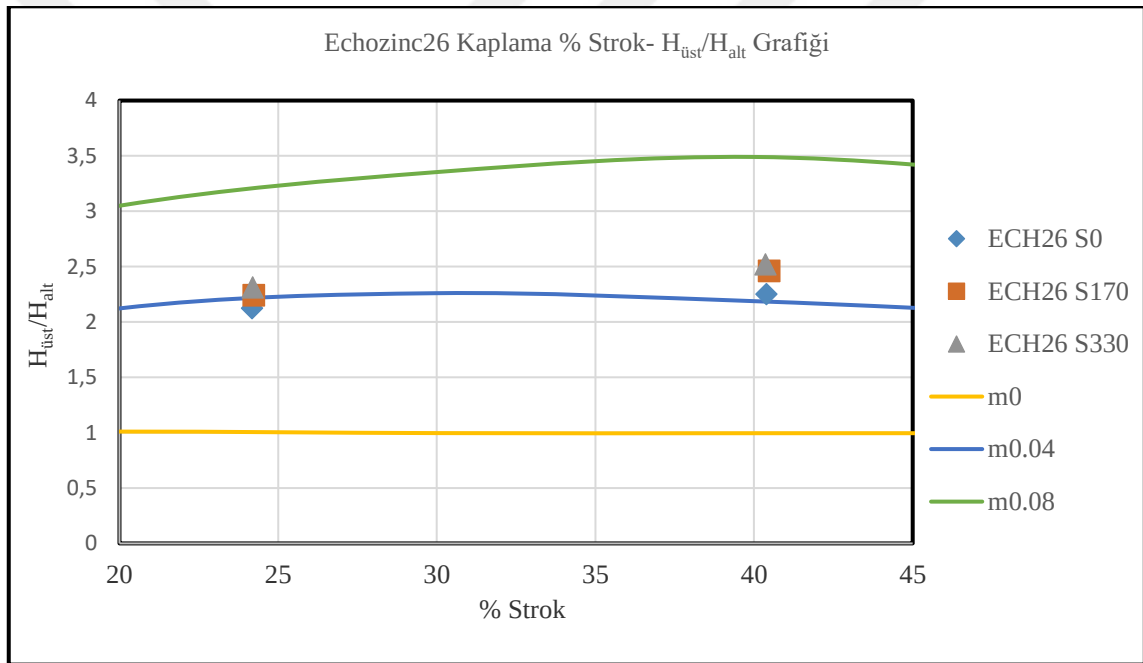
Şekil 4. 34. Echozinc10A kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4.11’de %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde Echozinc10A çinko fosfat kaplamada kumlama yapılmayan durumda m: 0,036062, S170 kumlamada m: 0,035679, S330 kumlamada ise m: 0,038301 hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi en düşük m değeri S170 kumlama yapılan durumda ölçülürken bunu sırası ile S0 hiç kumlama yapılmayan kaplama ve S330 kumlama yapılan kaplama izlemiştir.

Çizelge 4. 11. Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Echozinc10A çinko fosfat kaplama ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
Echozinc10A S0	0.036062
Echozinc10A S170	0.035679
Echozinc10A S330	0.038301

Şekil 4.35'te Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın ekstrüzyon test sonuçlarına göre kalibrasyon eğrisindeki yerleşimi gösterilmektedir. En küçük m değeri S0 hiç kumlama yapılmayan durumda ölçülürken bunu sırası ile S170 kumlama yapılan durumda kaplama ve S330 kumlama yapılan durumdaki kaplama izlemiştir.



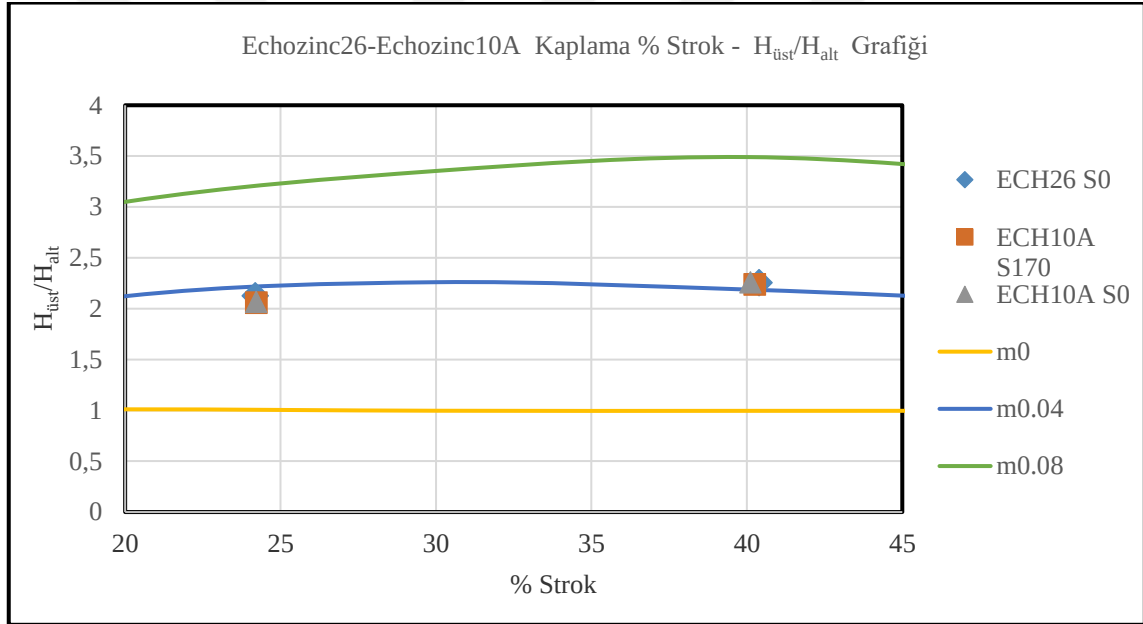
Şekil 4. 35. Echozinc26 kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4.12'de %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde Echozinc26 çinko fosfat kaplamada kumlama yapılmayan durumda m: 0,037176, S170 kumlamada m: 0,042248, S330 kumlamada ise m: 0,044666 hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi en düşük m değeri S0 hiç kumlama yapılmayan durumda ölçülürken bunu sırası ile S170 kumlama yapılan kaplama ve S330 kumlama yapılan kaplama izlemiştir.

Çizelge 4. 12. Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Echozinc26 çinko fosfat kaplama ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
Echozinc26 S0	0.037176
Echozinc26 S170	0.042248
Echozinc26 S330	0.044666

Şekil 4.36’da Echozinc10A ve Echozinc26 çinko fosfat kaplama kendi aralarında değerlendirilmiştir. Grafiğe göre en düşük kayma sürtünme katsayısı değeri “m” S170 kumlama yapılan Echozinc10A çinko fosfat kaplama ölçülürken bunu sırası ile S0 hiç kumlama yapılmayan Echozinc10A çinko fosfat kaplama ve S0 hiç kumlama yapılmayan Echozinc26 çinko fosfat kaplama izlemiştir.



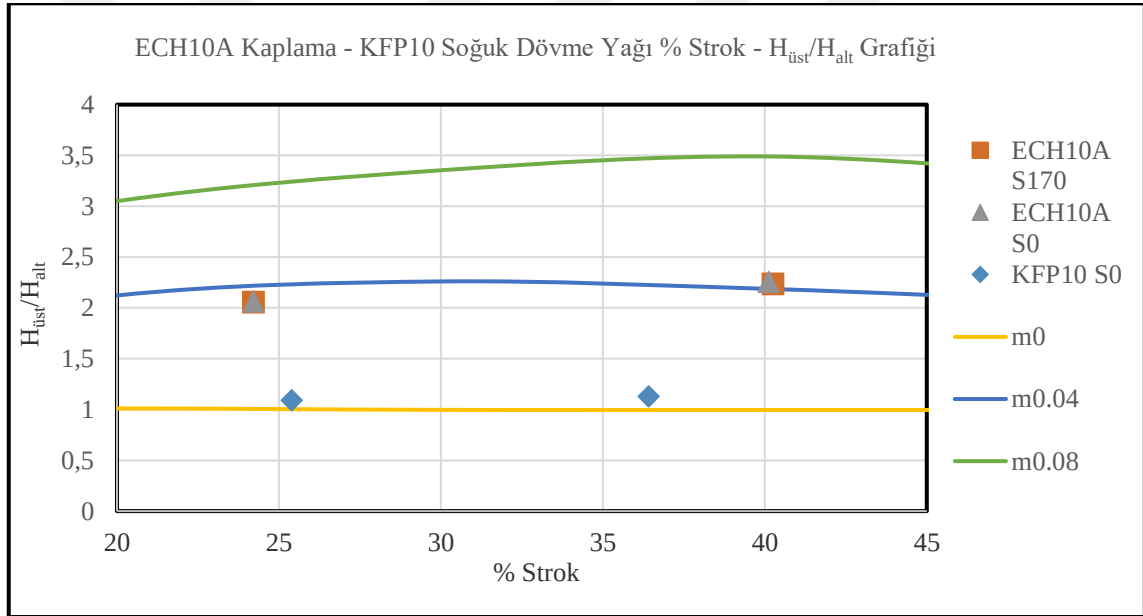
Şekil 4. 36. Echozinc26 ve Echozinc10A kaplama DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

Çizelge 4.13’te %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde Echozinc10A çinko fosfat kaplamada S170 kumlama yapılan durumda m: 0,035679, S0 kumlama yapılmayan Echozinc10A kaplamada m: 0,036062, Echozinc26 çinko fosfat kaplamada ise S0 hiç kumlama yapılmayan durumda m: 0,037176 hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi en düşük m değeri S170 kumlama yapılan Echozinc10A çinko fosfat kaplamada ölçülürken bunu sırası ile S0 kumlama yapılmayan Echozinc10A çinko fosfat kaplama ve S0 kumlama yapılmayan Echozinc26 çinko fosfat kaplama izlemiştir.

Çizelge 4. 13. Echozinc10A ve Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Echozinc10A ve Echozinc26 çinko fosfat kaplama ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
Echozinc10A S170	0.035679
Echozinc10A S0	0.036062
Echozinc26 S0	0.037176

Şekil 4.37’de çinko fosfat kaplamalardan ve soğuk dövme yağlarından DCET testinde en düşük kayma sürtünme katsayısı (m) değerini verenler gösterilmiştir. Grafiğe göre en düşük m değeri S0 kumlama yapılmayan KFP 10 soğuk dövme yağında görülürken bu sırasıyla Echozinc10A S170 kumlama yapılan çinko fosfat kaplama ve S0 kumlama yapılmayan Echozinc10A çinko fosfat kaplama izlemiştir.



Şekil 4. 37. Echozinc10A kaplama, KFP10 soğuk dövme yağı DCET testi $H_{üst}/H_{alt}$ - % strok kalibrasyon eğri grafiği

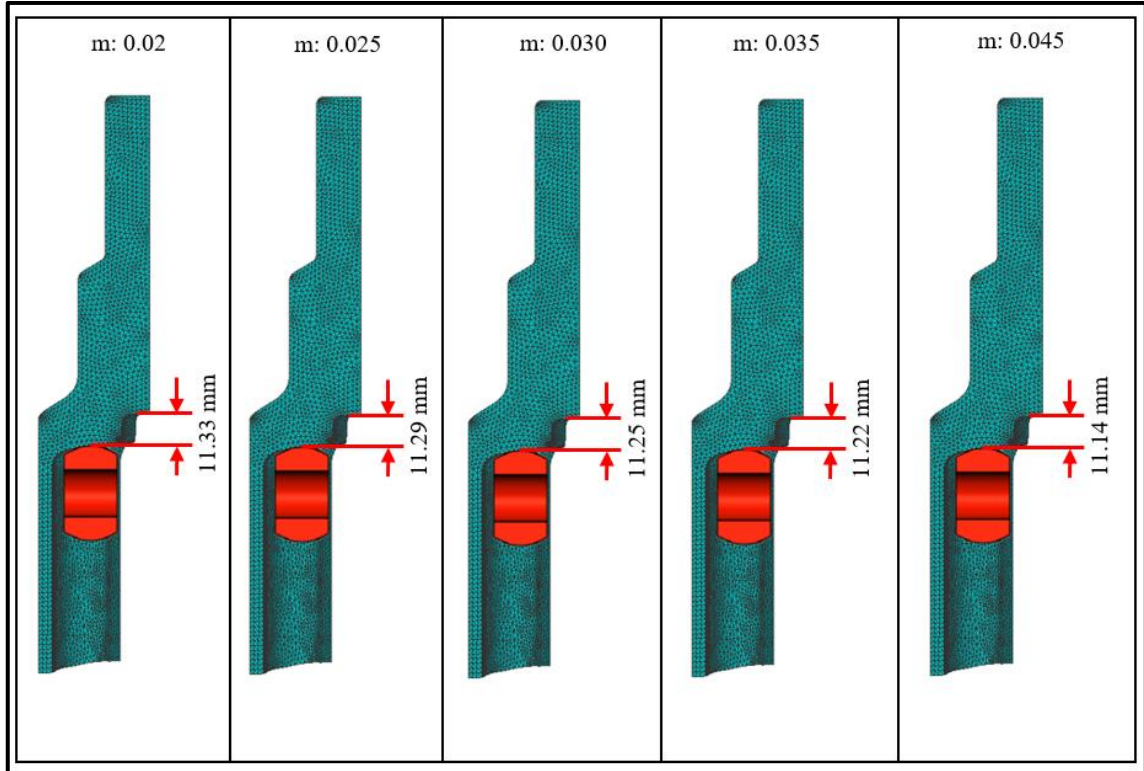
Çizelge 4.14’te %30 deplasmanda kayma sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde KFP10 soğuk dövme yağında S0 kumlama yapılmayan durumda m: 0,003516, S170 kumlama yapılan Echozinc10A kaplamada m: 0,035679, S0 kumlama yapılmayan Echozinc10A çinko fosfat kaplamada m: 0,036062 hesaplanmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi en düşük m değeri S0 kumlama yapılmayan KFP10 soğuk dövme yağında ölçülürken bunu sırası ile S170 kumlama yapılan Echozinc10A çinko fosfat kaplama ve S0 kumlama yapılmayan Echozinc10A çinko fosfat kaplama izlemiştir.

Çizelge 4. 14. KFP10 soğuk dövme yapı ve Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın %30 deplasmana göre kayma sürtünme katsayısı (m) değeri

Echozinc10A çinko fosfat kaplama, KFP10 soğuk dövme yağı ve yüzey kumlama durumu	Kayma sürtünme katsayısı (m)
KFP10 S0	0.003516
Echozinc10A S170	0.035679
Echozinc10A S0	0.036062

4.6. Otomotiv Aks Lalesi 3D Simülasyon Sonuçları

Otomotiv aks lalesinin Simufact yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar 3D simülasyon sonuçları Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

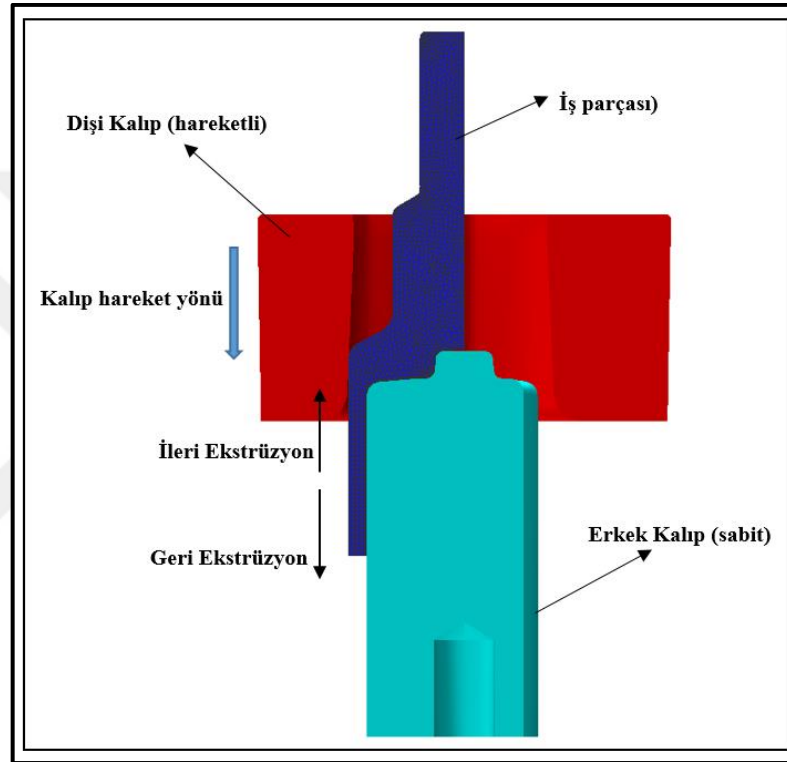


Şekil 4. 38. Otomotiv aks lalesi 3D sonlu elemanlar simülasyon sonuçları

Beş farklı kayma sürtünme katsayısı değerlerine karşılık simülasyon sonuçları incelendiğinde “L3” değerinin (çanağın değdiği alın yüzeyinden göbeğe olan mesafe) sürtünme katsayısı arttıkça ters orantılı olarak düştüğü gözlenmiştir. Soğuk dövme öncesi 10.28 mm olan L3 ölçüsü sürtünmenin 0.02 olduğu durumda 11.33 mm iken 0.045 sürtünmede 11.14 mm gerçekleşmiştir.

Bu durumu şu şekilde de açıklayabiliriz. DCET testinde sürtünme, m: 0 olduğu durumda parçanın ileri ve geri ekstrüzyon oranı eşit çıkmakta ve $H_{üst}/H_{alt}$ değeri 1

olmaktaydı. Halt değeri hareketli kalıbın deformasyon doğrultusundaki uzama değeridir. $H_{üst}$ ise hareketli kalıbın hareketine zıt yönde uzama değeridir. Aynı mantıkla Şekil 4.39'daki kalıp sistemi incelendiğinde sürtünmenin az olduğu durumlarda ileri ekstrüzyon oranı artmakta, fazla olduğu durumlarda ise ileri ekstrüzyon azalıp geri ekstrüzyon oranı artmaktadır. Simülasyon sonuçlarına tekrar dönecek olursak kayma sürtünme değerinin 0.02 olduğu durumda L3 ölçüsü 11.33 mm iken 0.045 sürtünme değerindeki ölçüsü 11.14 mm gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 39. Otomotiv aks lalesinin soğuk dövme işlemindeki kalıp sistemi, kalıp hareket yönü ve ekstrüzyon doğrultuları

4.7. Otomotiv Aks Lalesi Soğuk Dövme Sonuçları

Şekil 4.40'ta otomotiv aks lalesinin soğuk dövme operasyonundan sonraki resimleri görülmektedir.



Şekil 4. 40. Otomotiv aks lalesinin soğuk dövme sonrası resimleri

Soğuk dövme işlemi boyunca dişi ve erkek kalıbın sıcaklıkları lazer kızılötesi termometre ile sürekli ölçülmüştür. Erkek kalıp (sabit kalıp) işlem boyunca ölçülen maksimum sıcaklık 75-80 C°, dişi kalıp (hareketli kalıp) 65-70 C° ölçülmüştür. Soğuk dövme sonrası otomotiv aks lalelerinin dış yüzeylerinden ve iç kanallarından Ra yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür (ISO 4288, 1996). Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 15. Soğuk dövme sonrası otomotiv aks lalesi yüzey pürüzlülük ölçümü

Dış Yüzey (Ra)		İç kanal (Ra)	
Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma
3.37	1.46	2.56	1.21

Çizelge 4.15'e göre iş parçasının dış yüzeyindeki pürüzlülük ortalaması soğuk dövme öncesi 7.34 μm iken soğuk dövme sonrası Ra 3.37 μm 'ye düşmüştür. Aynı şekilde iç kanalda soğuk dövme öncesi Ra 5.73 μm iken 2.56 μm değerine düşmüştür.

Soğuk dövme işlemi boyunca dişi ve erkek kalıpta herhangi bir deformasyon, çatlama ve aşınma durumu olup olmadığı sürekli kontrol edilmiştir. Parti 1500 adetten oluşmakta olup bu parçaların hepsi yeni nesil Bechem KFP 10 soğuk dövme yağı ile soğuk dövme işlemi gerçekleştirilmiştir.

10 adet soğuk dövmeden çıkan iş parçasının ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları aşağıda Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 16. Soğuk dövme sonrası otomotiv parçasının ölçüm sonuçları

Parça Sayısı	L1	S (Çanak çapı)	L2	L3
1	94.24	29.94	53	11.30
2	94.26	29.94	53	11.32
3	94.24	29.94	52.98	11.32
4	94.26	29.94	53.02	11.30
5	94.24	29.94	52.98	11.32
6	94.24	29.94	52.98	11.32
7	94.24	29.94	52.98	11.32
8	94.26	29.94	53	11.32
9	94.24	29.94	52.98	11.32
10	94.24	29.94	52.98	11.32
std sapma	0.010 mm		0.014 mm	0.008 mm
Ortalama	94.25 mm		52.99 mm	11.32 mm

Çizelge 4.16'ya göre L3 değeri ortalaması 11.32 mm ölçülmüştür. KFP 10 yağının S330 kumlama durumundaki DCET testinde kayma sürtünme katsayısı $m: 0,022741$ ölçülmüştür (Çizelge 4.7). Şekil 4.38'de 3D simülasyonlar sonucu $m: 0.02$ kayma sürtünmesi değerinde L3 ölçüsü 11.33 mm, $m: 0.025$ değerinde ise 11.29 mm hesaplandı. Gerçek durumda kalıptan çıkan iş parçası üzerinden alınan ölçümlerde L3 ölçüsünün ortalama 11.32 mm ölçüldüğü ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında “m” değerinin 0.02 ile 0.025 arasında olduğu görüldü. DCET testinde KFP10 soğuk dövme yağında hesaplanan $m: 0.022$ değeri ile uyum sağladığı görülmüştür. 3D simülasyon sonuçları ve soğuk dövme kalıp denemesi arasında da çıkan sonuçların örtüştüğü görülmüştür.

Çizelge 4.17'de kaplama ve soğuk dövme yağı ile şekillendirme işlemi öncesi yapılan yüzey hazırlama işleminin parça başı birim maliyet tablosu gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde bütün maliyet kalemlerinde soğuk dövme yağının kaplamaya göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. İlk yatırım maliyetinin düşük olması soğuk dövme yağını kaplamaya göre avantajlı kılmaktadır. Kaplama tesislerinin amortisman süreleri kullanılan sıcak banyolar ve çeşitli kimyasallardan dolayı kısadır. Kaplama tesislerinde bu süre maksimum 10 yıl olup yağlama hatlarında minimum 15 yıldır. Bakım, enerji ve işçilik maliyetlerinde de yağlama hattı ekonomik hale gelmektedir. Birim maliyetler toplamda kaplama tesislerinde parça başı ₺ 6.28 iken soğuk dövme yağında ₺ 2.35 hesaplanmıştır. Kaplama tesislerine göre %250 oranında avantaj sunan soğuk dövme yağlama hattı vardiya başı üretim adetlerinin yüksek olması ile de öne çıkmaktadır.

Kaplama hattında vardiya başı 1000 adet olan üretim yağlama hatlarında 4000 adete kadar çıkmaktadır. Birim maliyetin dışında soğuk dövme yağlarının çevreye ve insan sağlığına olan duyarlılığı ile tercih sebebi olarak öne çıkmıştır.

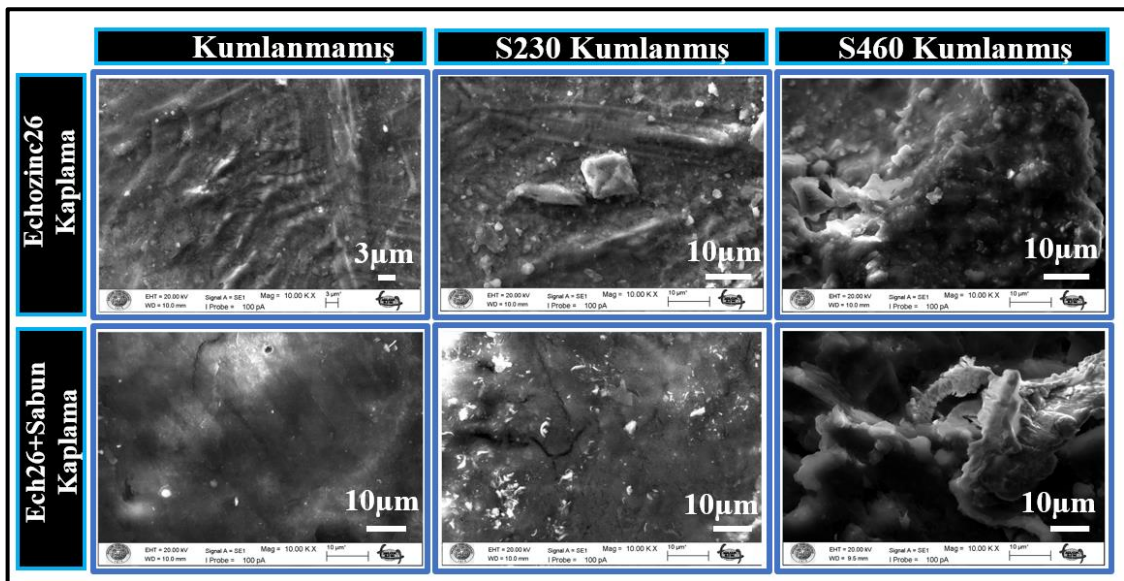
Çizelge 4. 17. Kaplama ile soğuk dövme yağının parça birim maliyet açısından kıyaslanması

Parça başı birim maliyet	Kaplama	Soğuk Dövme Yağı
Kimyasal / Dövme yağı	₺3.35	₺1.79
İşçilik	₺1.82	₺0.47
Yatırım Bedeli	₺1,500,000.00	₺350,000.00
Amortisman Süresi	10 Yıl	15 Yıl
Amortisman	₺0.68	₺0.03
Bakım	₺0.20	₺0.02
Enerji	₺0.23	₺0.04
Toplam	₺6.28	₺2.35

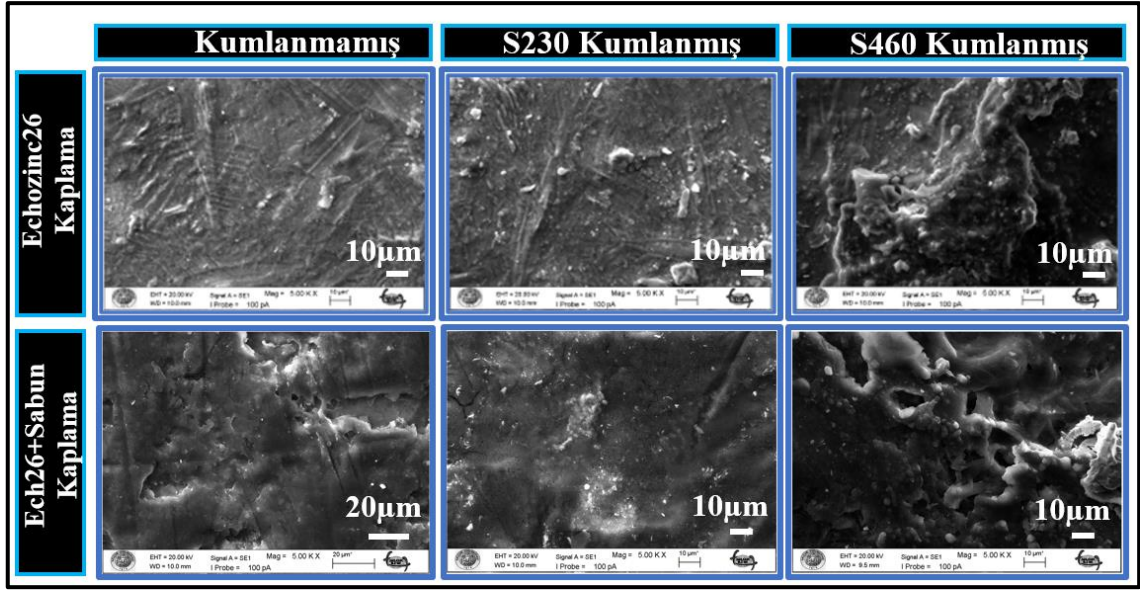
4.8. SEM-EDS Sonuçları

4.8.1. Echozinc26 çinko fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları

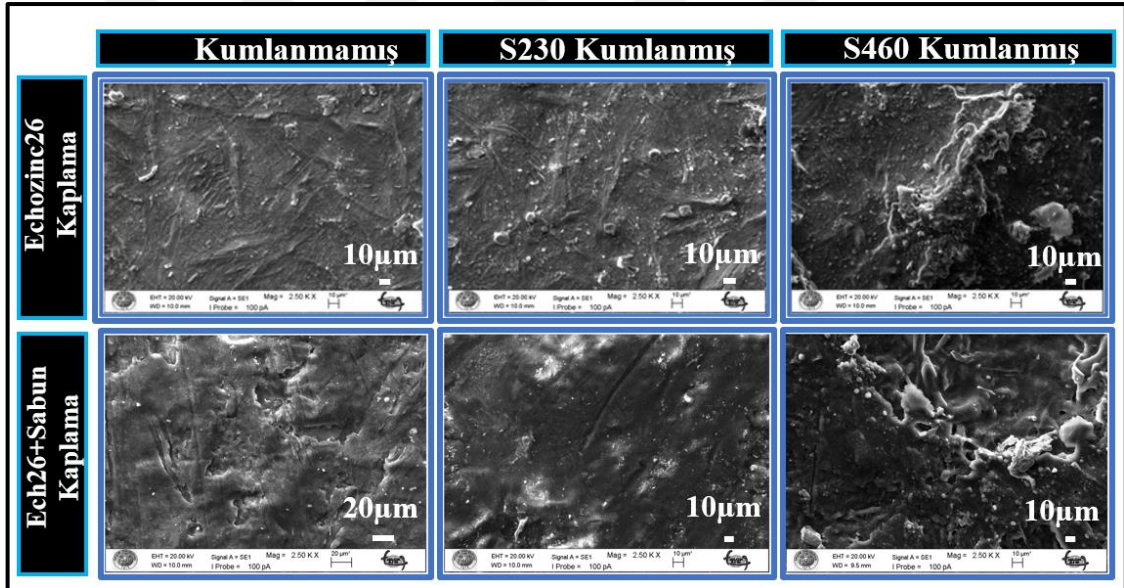
Şekil 4.41 ile Şekil 4.45 arasında Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın 10.000X'den başlamak üzere sırası ile 5000X, 2500X, 1000X ve 500X olmak üzere 5 farklı büyütme ile SEM görüntüleri gösterilmektedir.



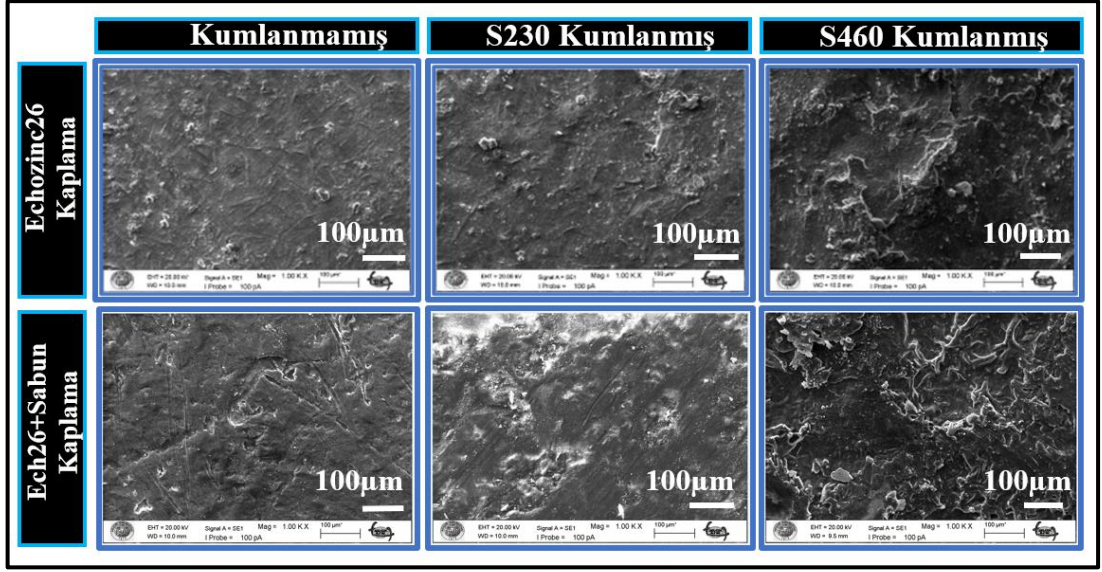
Şekil 4. 41. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 10000X büyümede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



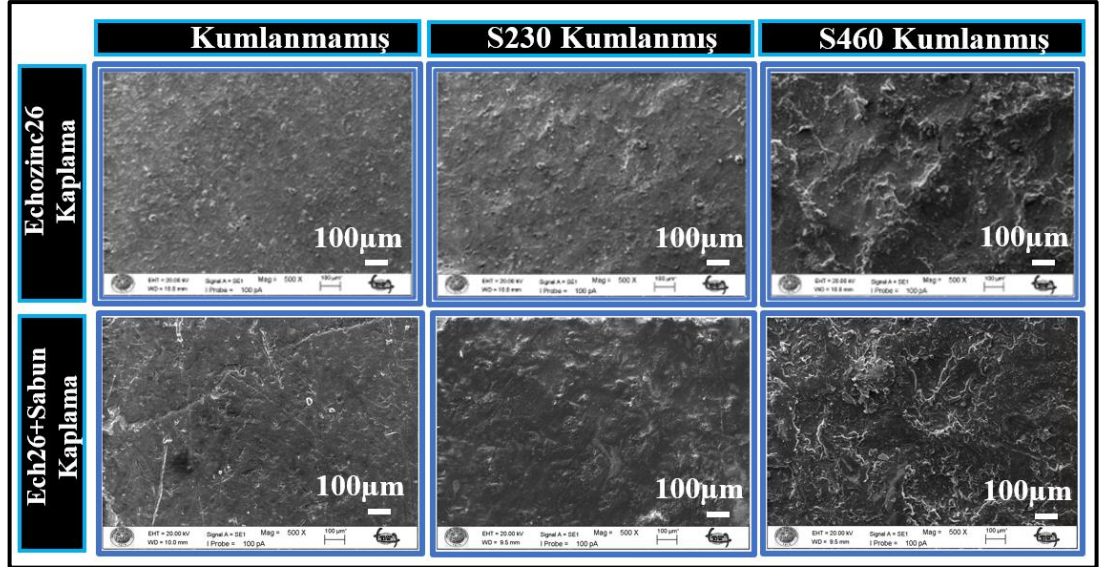
Şekil 4. 42. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 43. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 44. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



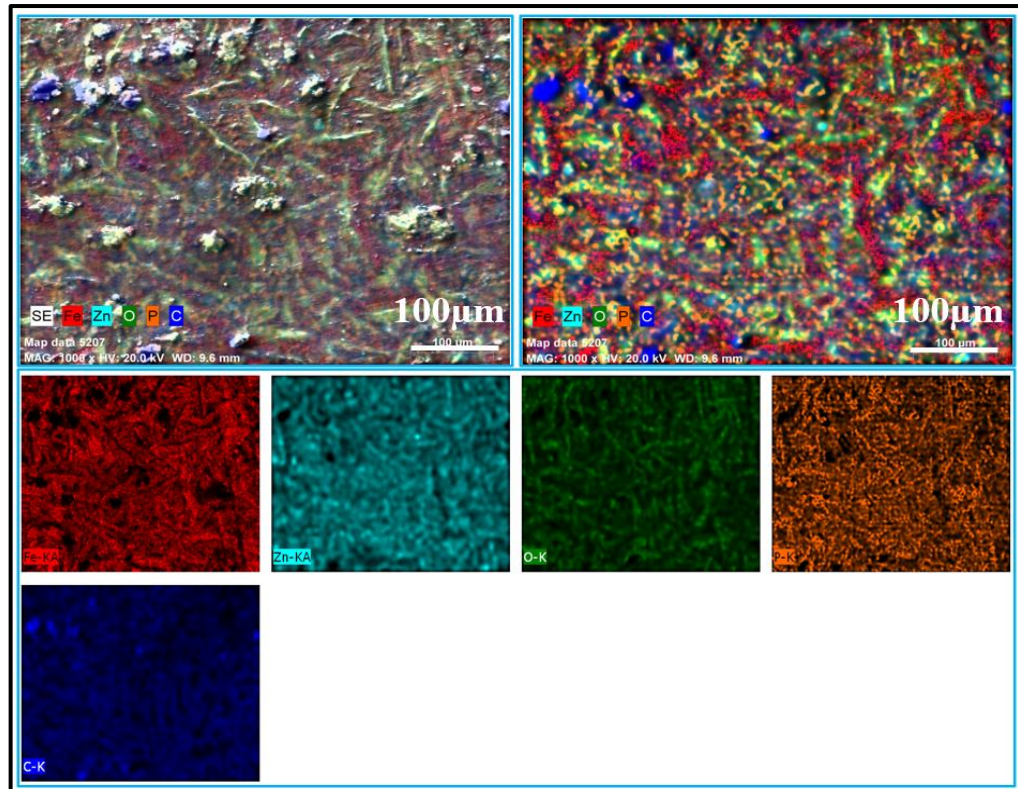
Şekil 4. 45. Echozinc26 çinko fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)

10000X ve 5000X büyümede iğne formunda çinko fosfat kristalleri kumlama yapılmamış ve S230 kumlama yapılmış yüzeyde rahatça görülebilmekte iken S460 kumlama yapılmış yüzeyde bu iğne formundaki kristal yapı rahatça görülmemiştir. Bunun nedeni düz yüzeylerde bu kristal yapı lamel şeklinde olduğu için kendisini rahatlıkla göstermekte, yüzeyin pürüzlülüğü arttıkça bu lamel oluşumu azalmakta ve blok halinde çinko fosfat kristalleri oluşmaktadır. Kumlama işleminde çelik bilyeler yüzey üzerinde granül boyutuna göre çukurlar oluşturduğu için de bu lamel oluşumu en rahat kumlama yapılmamış yüzeyde oluşurken, çok pürüzlü (derin çukurlar) yüzeylerde bloklar halinde görülmüştür.

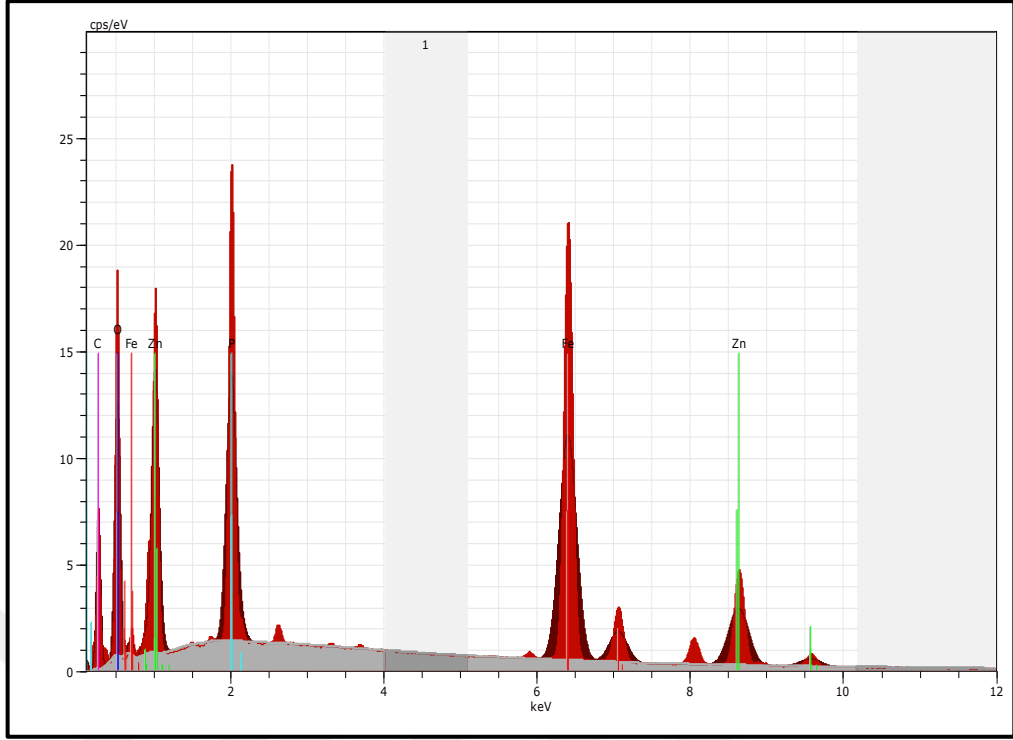
Echozinc26 çinko fosfat üzerine yapılan stearate (sabun) kaplamada yüzeyler üzerinde hidrofobik yüzeyler oluşmuştur. Bu durum 10000X büyütmede kumlama yapılamayan yüzeyde daha rahat görülmektedir. Hidrofobik kelime anlamı olarak suyu sevmeyen yüzey anlamına gelmektedir. Yüzeyde oluşan çinko stearate (çinko sabunu) tabakası hiçbir şekilde suda çözünmez ve yüzeyde korozyona karşı koruyucu bir tabaka oluşturur. Bu tabakanın yüzeye tutunması 10000X büyütmeden de görüleceği gibi kumlanmamış yüzeyde boşluksuz bir kaplama sunarken bunu sırası ile S230 kumlama yapılmış yüzey ve S460 kumlama yapılmış yüzey takip etmiştir. S460 kumlama yapılan yüzeyde derin çukurlar mevcut olduğundan mikroskop görüntülerinde bazı bölgelerde çinko stearate (çinko sabunu) görülürken diğer bölgelerde çinko sabunu görülmemiştir. Bu durum 2500X büyütmede daha rahat görülmektedir.

4.8.1.1. Echozinc26 çinko fosfat EDS analizi ve yüzeyin morfolojik haritası

Şekil 4.46 ile Şekil 4.51 arasında Echozinc26 çinko fosfat kaplamanın EDS analizleri gösterilmektedir. Çizelge 4.18 ile Çizelge 4.20 arasında ise yüzey üzerinden elementlerin yüzde kütle tabloları gösterilmiştir.



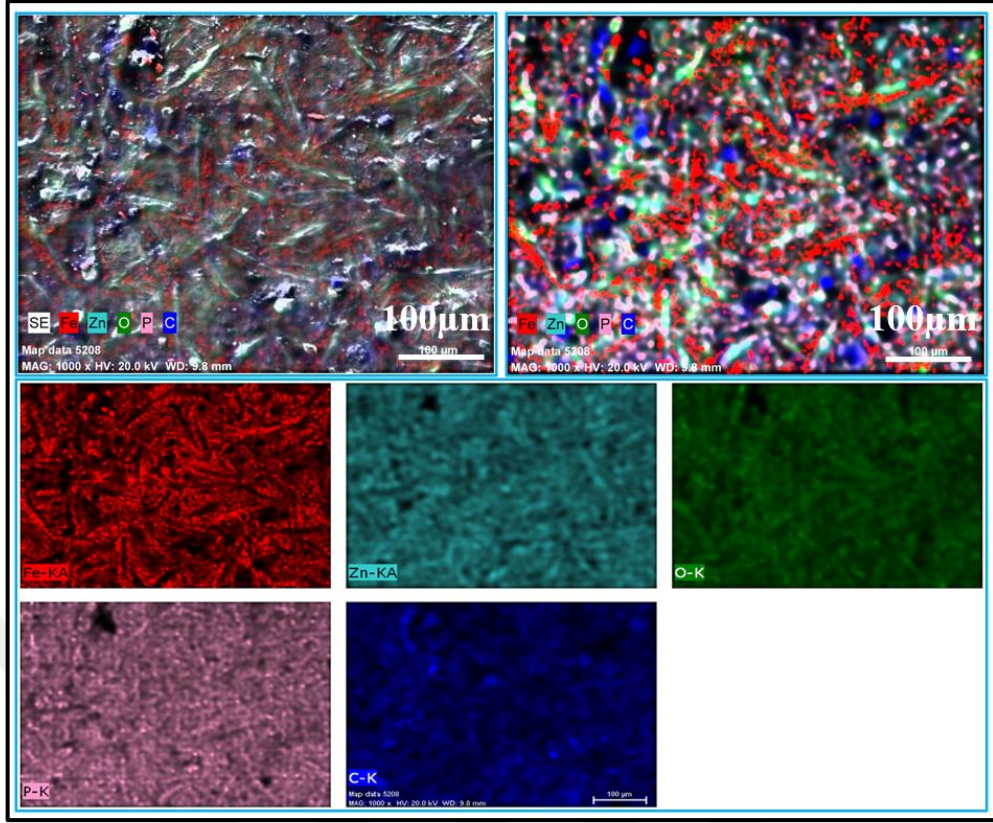
Şekil 4. 46. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası



Şekil 4. 47. Kuşlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi

Çizelge 4. 18. Kuşlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu

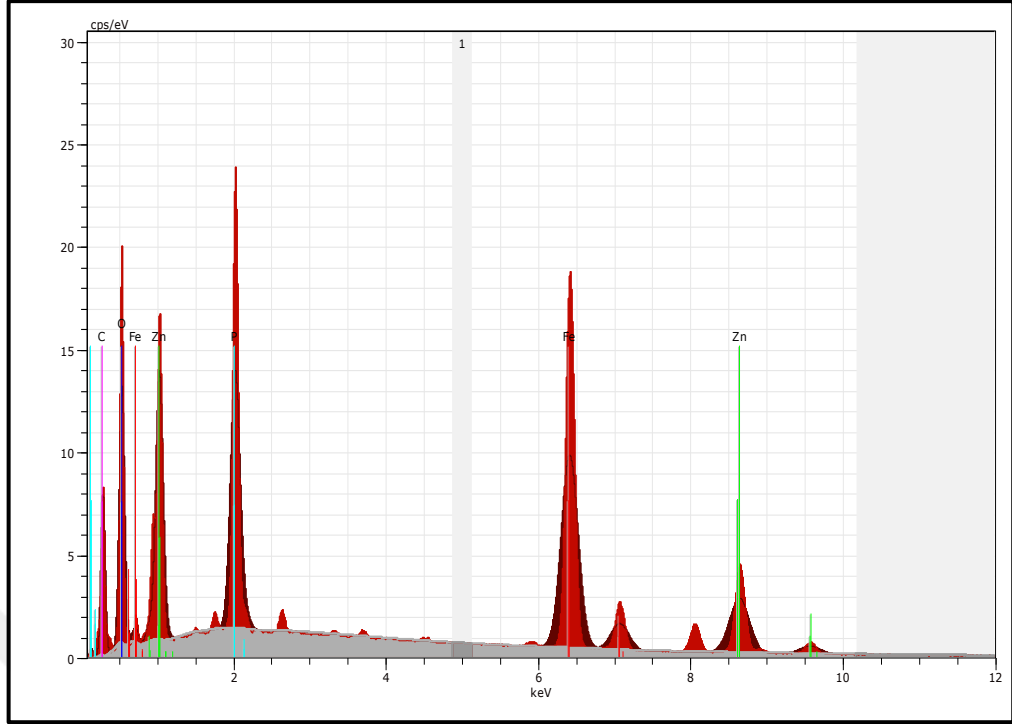
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	33.01	37.28	20.25	0.9
Zn (Çinko)	K	21.15	23.89	11.08	0.6
O (Oksijen)	K	17.89	20.21	38.31	2
P (Fosfor)	K	9.55	10.78	10.56	0.4
C (Karbon)	K	6.94	7.84	19.79	0.8
		88.54	100	100	



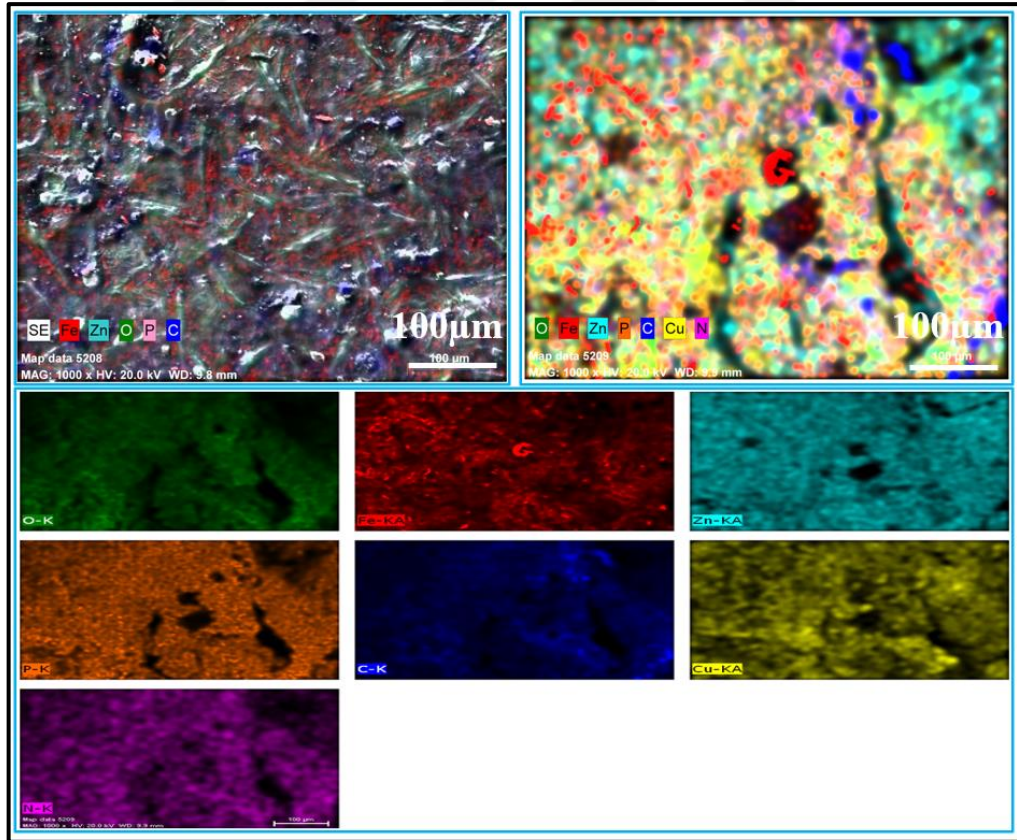
Şekil 4. 48. S230 Kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası

Çizelge 4. 19. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	29.55	33.83	17.47	0.8
Zn (Çinko)	K	21.05	24.09	10.63	0.6
O(Oksijen)	K	19.9	22.77	41.06	2.2
Fosfor(P)	K	9.23	10.56	9.83	0.4
Karbon (C)	K	7.64	8.75	21.01	0.9
		87.37	100	100	



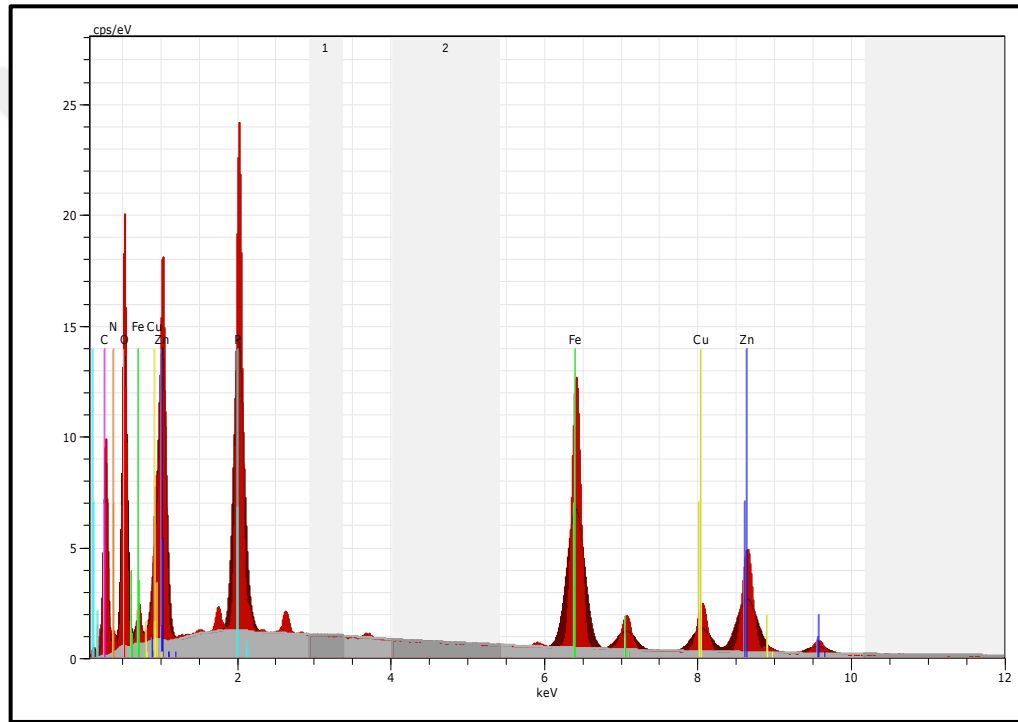
Şekil 4. 49. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi



Şekil 4. 50. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS yüzey haritası

Çizelge 4. 20. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	19.86	21.76	10.31	0.6
Zn (Çinko)	K	19.5	21.36	8.65	0.6
O(Oksijen)	K	22.17	24.29	40.19	2.5
Fosfor(P)	K	10.89	11.93	10.2	0.4
Karbon (C)	K	7.79	8.54	18.82	0.9
Bakır (Cu)	K	6.86	7.52	3.13	0.2
Nitrojen (N)	K	4.19	4.6	8.69	0.6
		91.26	100	100	



Şekil 4. 51. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat kaplama EDS analizi

Çinko fosfat kristallerini oluşturan elementler sırası ile Çinko, Fosfor ve oksijendir. Çizelge 4.18'e göre yüzey üzerindeki bu elementlerin toplam kütle yüzdesi %48,59 hesaplanmıştır. Aynı hesaplama ile Çizelge 4.19'da S230 kumlama yapılan yüzeyde bu elementlerin kütle yüzdesi %50,18, Çizelge 4.20'de ise S460 kumlama yapılan yüzeyde ise bu elementlerin yüzde kütlesi toplam %52,56 hesaplanmıştır. Kum büyüklüğü, yani çelik granül büyüklüğü arttıkça çinko fosfatın yüzeyde çökelme oranı artmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Kumlama da kullanılan çelik granüllerin

boyutları arttıkça numune üzerindeki kaplama alanını arttırmış, bu durumda çinko fosfat kristallerinin yüzey üzerinde daha fazla çökmesine sebep olmuştur.

Şekil 4.46’da numune yüzeyindeki elementlerin dağılımı incelendiğinde Demir, Fosfor, Oksijen ve Çinko elementleri homojen bir şekilde yüzeye dağılmışlardır. Ama Karbon elementi ise yüzey üzerinde bazı bölgelerde görülürken homojen bir dağılım sergilememiştir.

Şekil 4.48’de S230 kumlama yapılan Echozinc26 çinko fosfat kaplamada bu sefer Şekil 4.46’daki elementlerin yanı sıra karbon elementinin yüzeyde homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir.

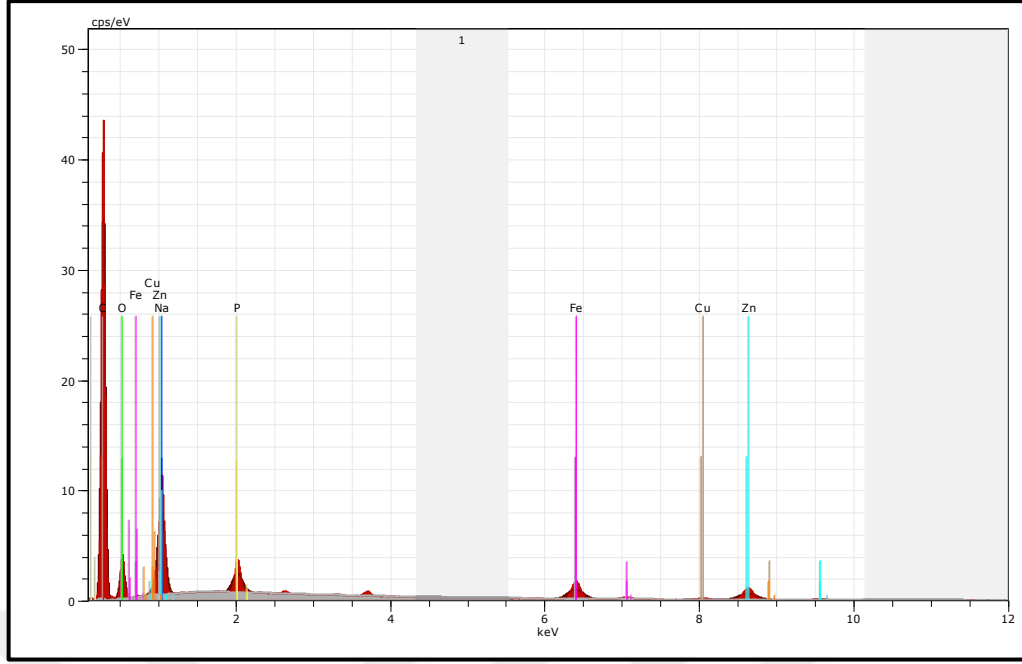
Şekil 4.50’de S460 kumlama yapılan Echozinc26 çinko fosfat incelendiğinde yüzey üzerindeki elementlerin çok homojen dağılmadığı görülmüştür. Bazı siyah renkli bölgelerin yüzey üzerinde bulunan kumlama izleri olduğu ve bu bölgelerde de çinko fosfat kristallerini oluşturan elementler görülmemiştir. Kumlama yapılmamış ve S230 kumlama yapılmış yüzeylerde elementlerin dağılımı daha homojendir.

4.8.1.2. Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi ve yüzeyin morfolojik haritası

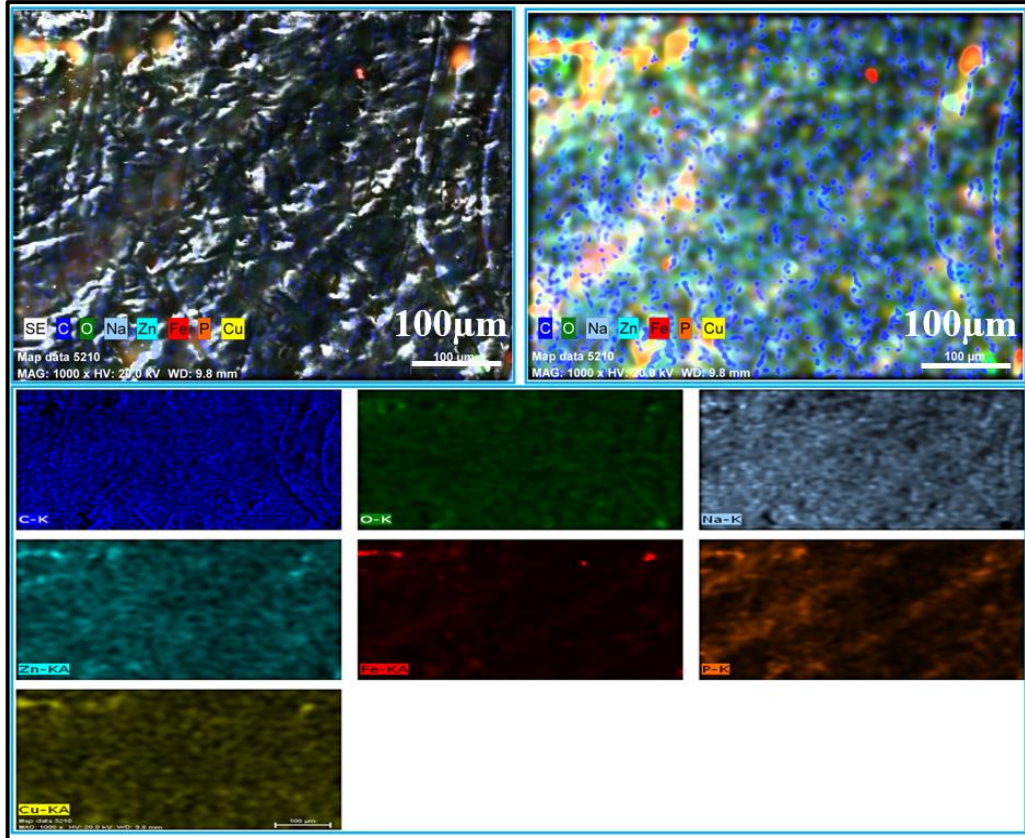
Şekil 4.52 ile Şekil 4.57 arasında Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplamanın EDS analizleri gösterilmektedir. Çizelge 4.21 ile Çizelge 4.23 arasında ise yüzey üzerindeki elementlerin yüzde kütle tabloları gösterilmiştir.

Şekil 4.53’te stearate (sabun) tuzundan gelen Na elementinin yüzeyi kapladığı görülmüştür. Karbon, oksijen, sodyum ve çinko elementlerinin yüzeye homojen dağıldığı gözlenmiştir. Demir elementi yüzey üzerinde görülmemiştir. Bunun sebebi stearate (sabun) katmanı yüzeyi kapladığı için demir elementi bu tabakanın altında kalmıştır. Çok nadir oranda bakır elementi görülmektedir. Bunun sebebinin fosfat kazanlarındaki ısıtıcı rezistanslardan geldiği yorumlanmıştır.

Şekil 4.55’te yüzey üzerinde karbon elementinin yoğunlaşıp arttığı görülmüştür. Bunun sebebi çinko stearate (çinko sabun) bünyesinde yoğun bir şekilde bulunan karbon elementinden kaynaklanmaktadır. Demir elementi Şekil 4.53’te olduğu gibi burada da görülmemiştir. Sodyum elementinin çok yoğun olmayıp karbon elementleri arasında dağılım gösterdiği görülmüştür. Bazı bölgelerde homojen olmayan çinko elementleri görülmüştür. Oksijen ve fosfor elementleri de çinko gibi nadir görülmüştür.



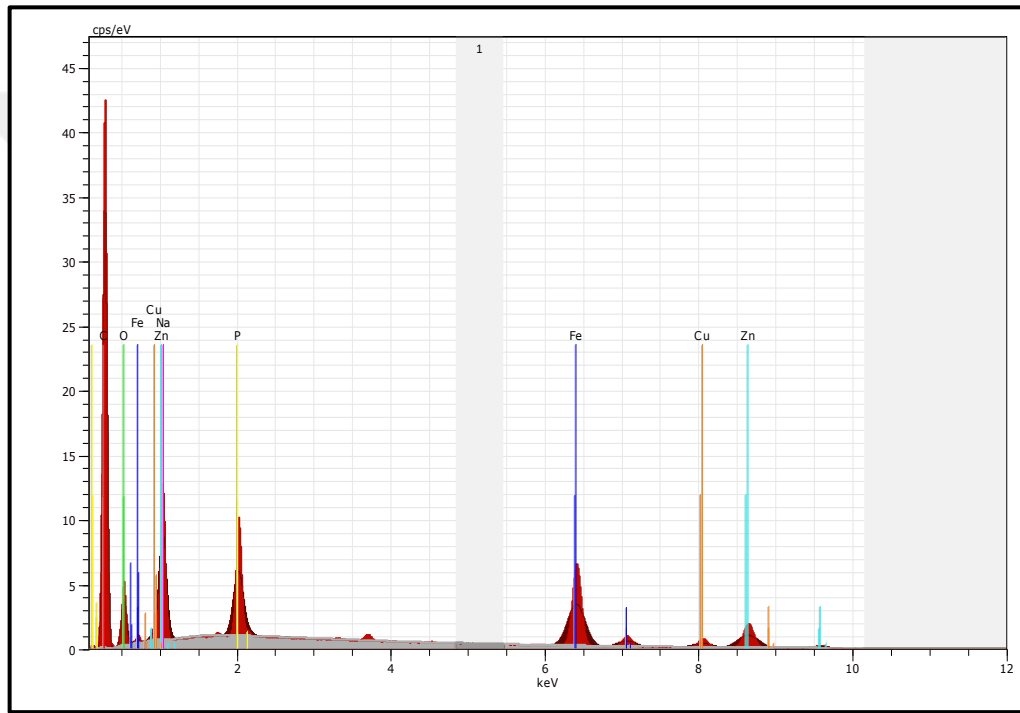
Şekil 4. 52. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi



Şekil 4. 53. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası

Çizelge 4. 21. Kumlama yapılmamış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

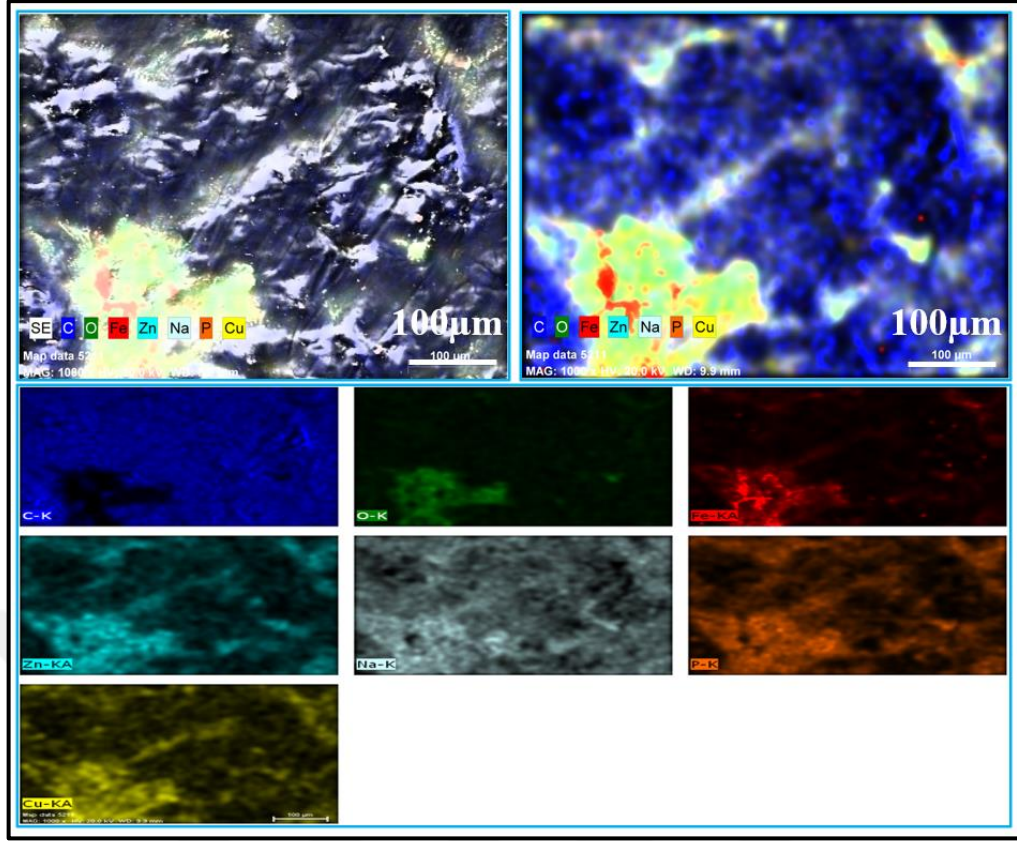
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	3.76	3.76	1	0.1
Zn (Çinko)	K	6.96	6.96	1.58	0.2
O(Oksijen)	K	27.49	27.49	25.5	12.2
Fosfor(P)	K	1.43	1.43	0.68	0.1
Karbon (C)	K	55.27	55.27	68.31	20.5
Bakır (Cu)	K	0.91	0.91	0.21	0.1
Sodyum (Na)	K	4.19	4.19	2.71	3.3
		100	100	100	



Şekil 4. 54. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

Çizelge 4. 22. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

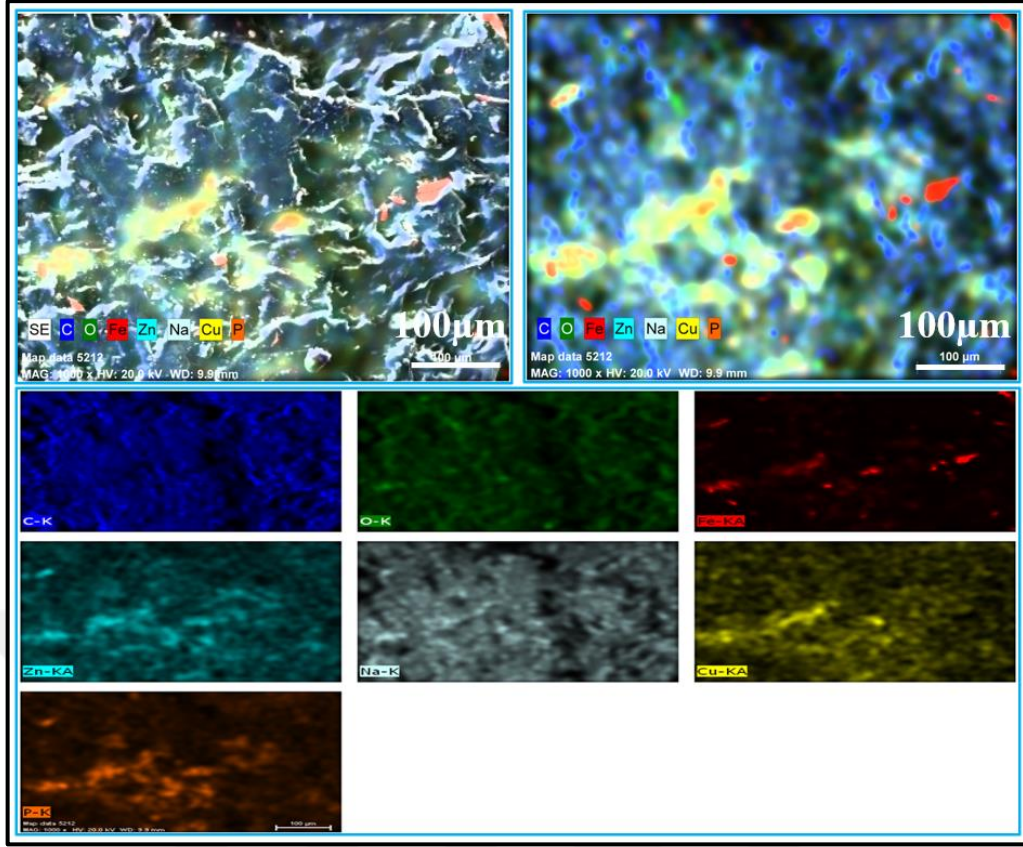
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	11.72	14.11	4.47	0.3
Zn (Çinko)	K	9.44	11.36	3.07	0.3
O(Oksijen)	K	15.78	18.99	21	1.9
Fosfor(P)	K	3.58	4.31	2.46	0.2
Karbon (C)	K	36.57	44.02	64.84	3.9
Bakır (Cu)	K	2.36	2.84	0.79	0.1
Sodyum (Na)	K	3.63	4.37	3.36	2.9
		83.08	100	100	



Şekil 4. 55. S230 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası

Çizelge 4. 23. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

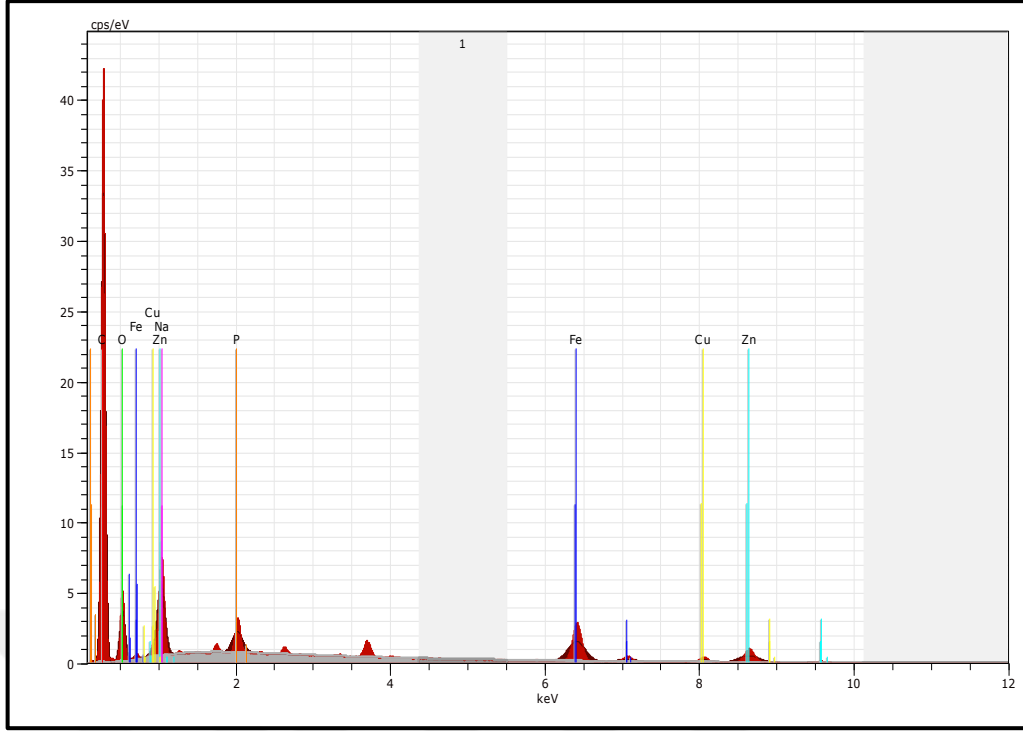
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	5.74	5.74	1.53	0.2
Zn (Çinko)	K	5.26	5.26	1.2	0.2
O(Oksijen)	K	31.65	31.65	29.46	11.7
Fosfor(P)	K	1.17	1.17	0.56	0.1
Karbon (C)	K	53.05	53.05	65.79	17.9
Bakır (Cu)	K	1.38	1.38	0.32	0.1
Sodyum (Na)	K	1.75	1.75	1.13	1.4
		100	100	100	



Şekil 4. 56. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası

Şekil 4.56’da S460 kumlama yapılan Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama yüzey haritası incelendiğinde karbon element yoğunluğunun S230 kumlanmış yüzeye göre daha az olduğu görülmüştür. Oksijen elementinin bazı bölgelerde yoğun bir şekilde görüldüğü ve homojen olmadığı görülmüştür. Nadir bir şekilde yüzeyde az miktarda demir elementi görülmüştür. Na elementi karbon elementlerinin olduğu bölgelerde daha sık görülmüştür. Fosfor elementi de sık olmayıp bazı bölgelerde görülmüştür.

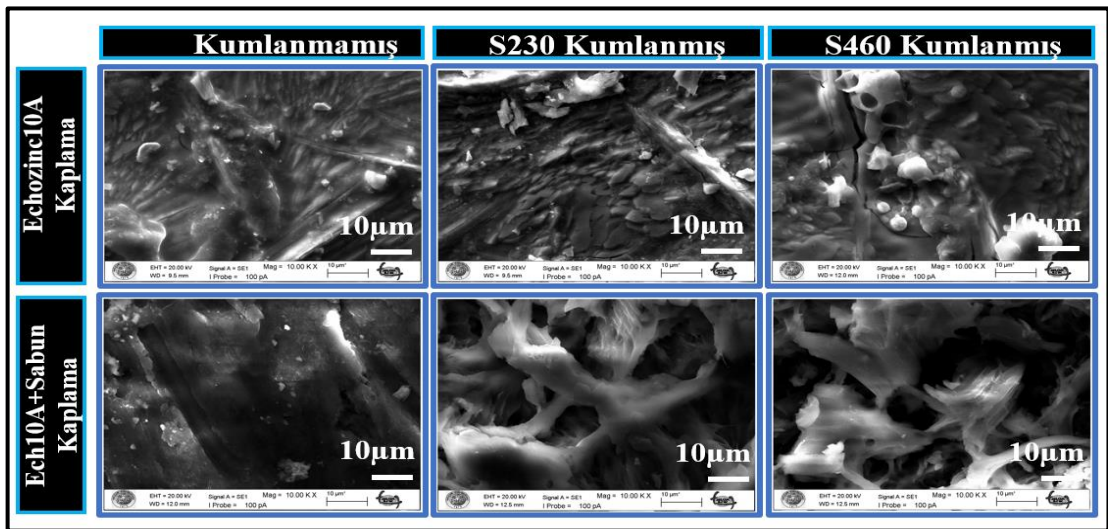
S230 kumlamadaki karbon yoğunluğu diğer S460 kumlama ve hiç kumlama yapılmayan yüzeye nazaran daha yüksek çıkması çinko stearate’ dan gelen karbon elementlerinden geldiği yorumu yapılmıştır.



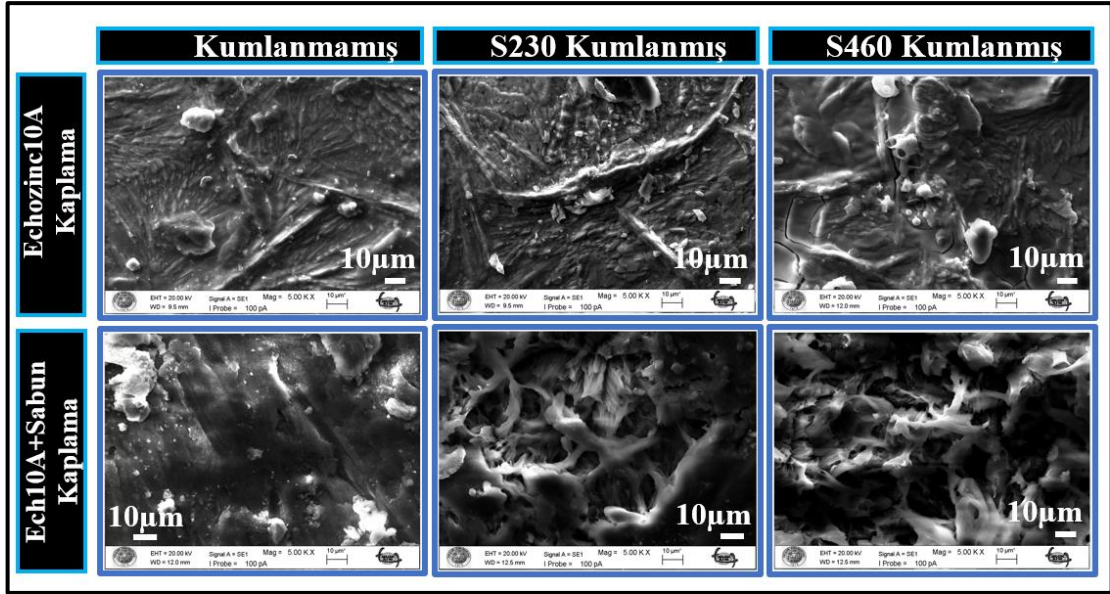
Şekil 4. 57. S460 kumlama yapılmış Echozinc26 çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

4.8.2. Echozinc10A çinko fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları

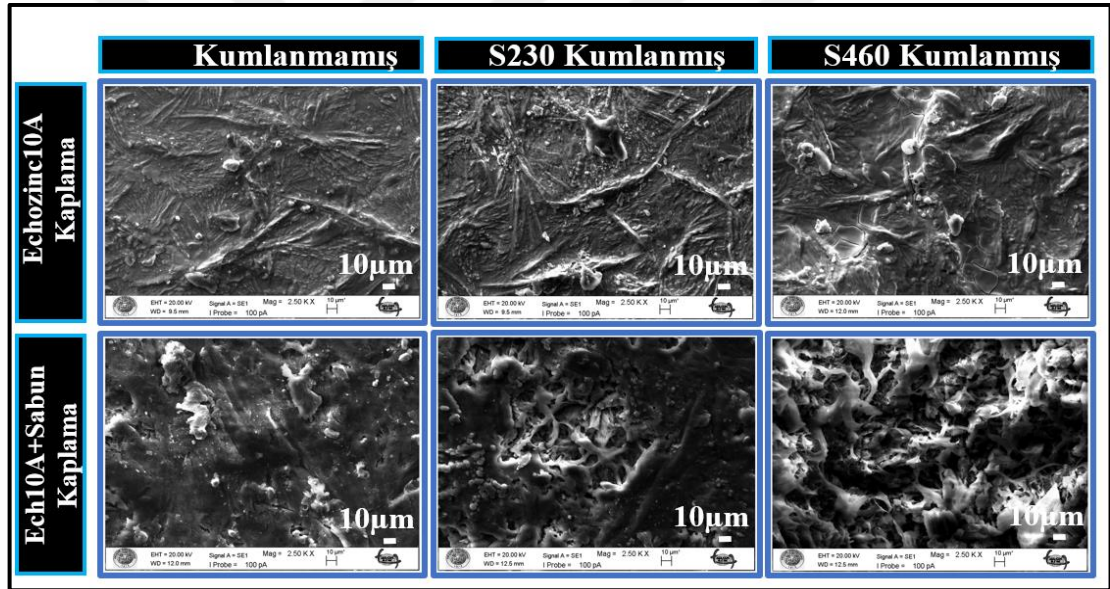
Şekil 4.58 ile Şekil 4.62 arasında Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın 10.000X'den başlamak üzere sırası ile 5000X, 2500X, 1000X ve 500X olmak üzere 5 farklı büyütme ile SEM görüntüleri gösterilmektedir.



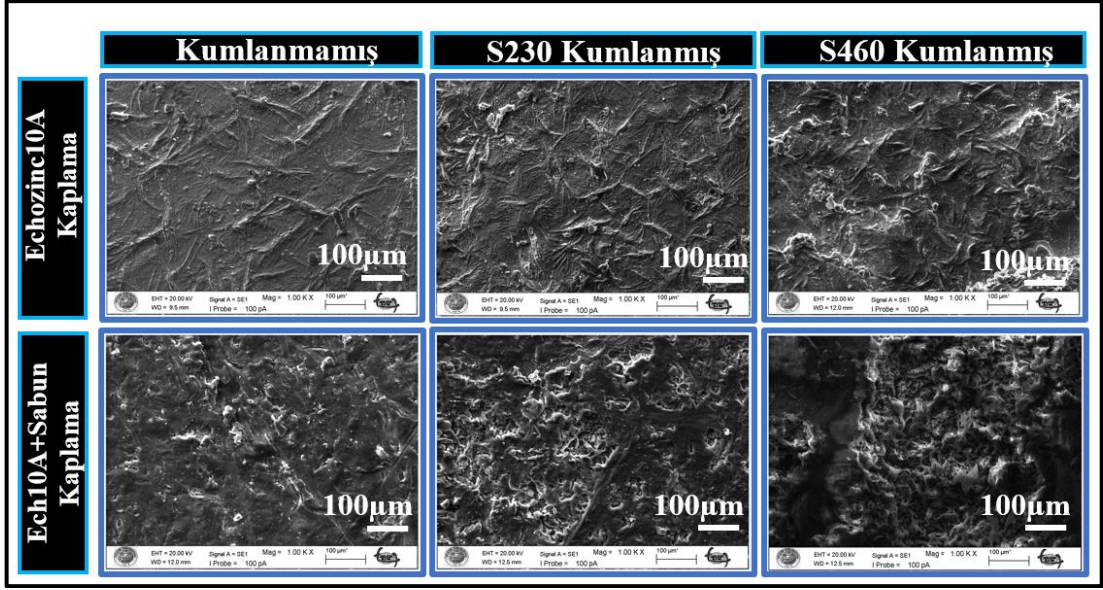
Şekil 4. 58. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 10000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



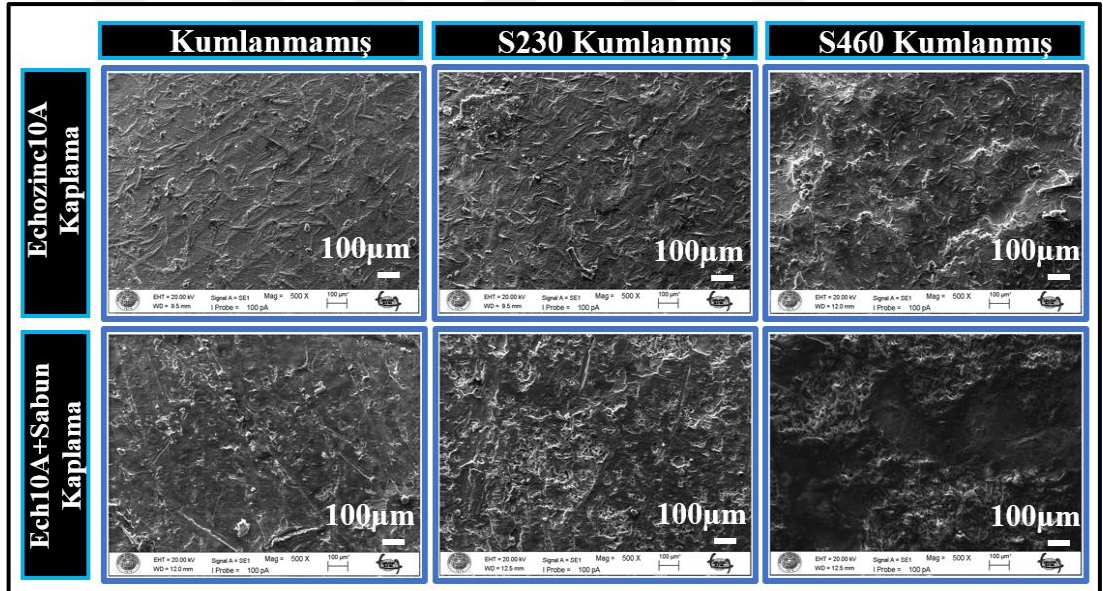
Şekil 4. 59. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 60. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 61. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 62. Echozinc10A çinko fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)

Bütün büyütme değerlerinde çinko kristalleri rahatlıkla görülmektedir. Echozinc26 çinko fosfat kristallerine göre Echozinc10A çinko fosfat kristalleri biraz daha yoğun bir şekilde yapıda gözükmemektedir. En belirgin kristal lamel yapısı kumlama yapılmamış ve S230 kumlama yapılmış numunelerde görülmektedir. Echozinc26 çinko fosfat kaplamada olduğu gibi Echozinc10A kaplamada da pürüzsüz ve az pürüzlü yüzeylerde bu lamel formu daha rahat görülmektedir.

Şekil 4.58’de 10000X büyümede sabun kaplanmış durumdaki Echozinc10A çinko fosfat kaplamada, kumlama yapılamayan yüzeyde stearate (sabun) tabakası yüzeyi

komple kapatırken S230 ve S460 kumlama durumunda ise gözenekli bir yapı halini almıştır. En gözenekli yapı S460 kumlama yapılmış durumda elde edilmiştir. Gözenek açıklığının sebebi kumlama boyutunun artması ile yüzeylerde oluşturulan çukurlar ve neticesinde çinko fosfat kristallerinde bu morfolojiye uygun olacak şekilde konumlanması ve neticesinde stearate (sabun) ile bağlandığında böyle bir görüntü ortaya çıkmaktadır. Tamamıyla hidrofobik yüzey kumlama yapılmamış yüzeyde görülmüştür.

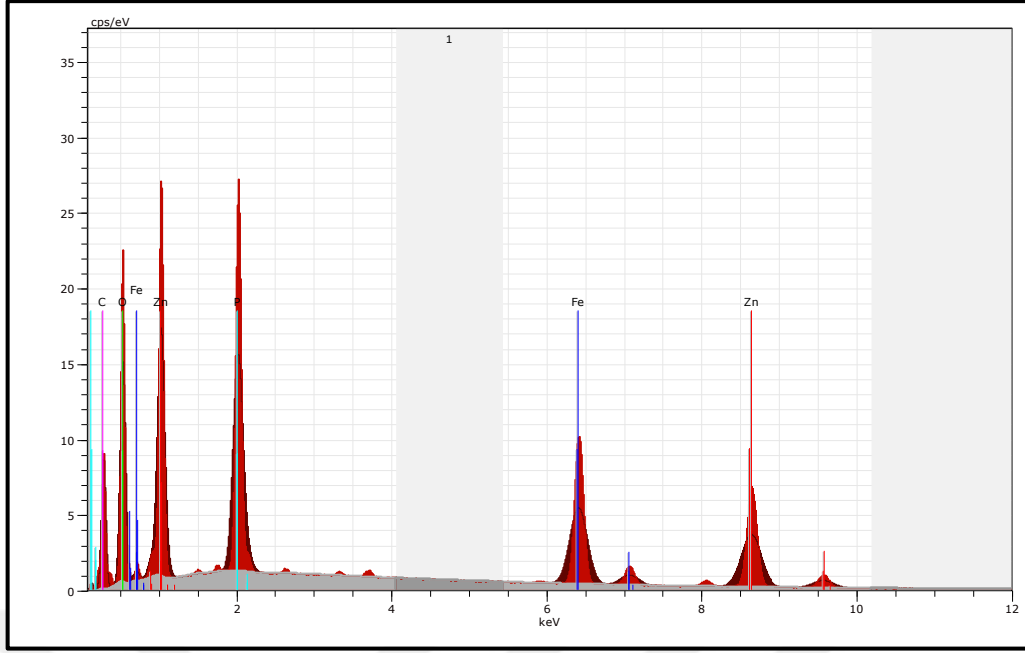
4.8.2.1. Echozinc10A çinko fosfat EDS analizi ve yüzeyin morfolojik haritası

Şekil 4.63 ile Şekil 4.68 arasında Echozinc10A çinko fosfat kaplamanın EDS analizleri gösterilmektedir. Çizelge 4.24 ile Çizelge 4.26 arasında ise yüzey üzerinden elementlerin yüzde kütle tabloları gösterilmiştir.

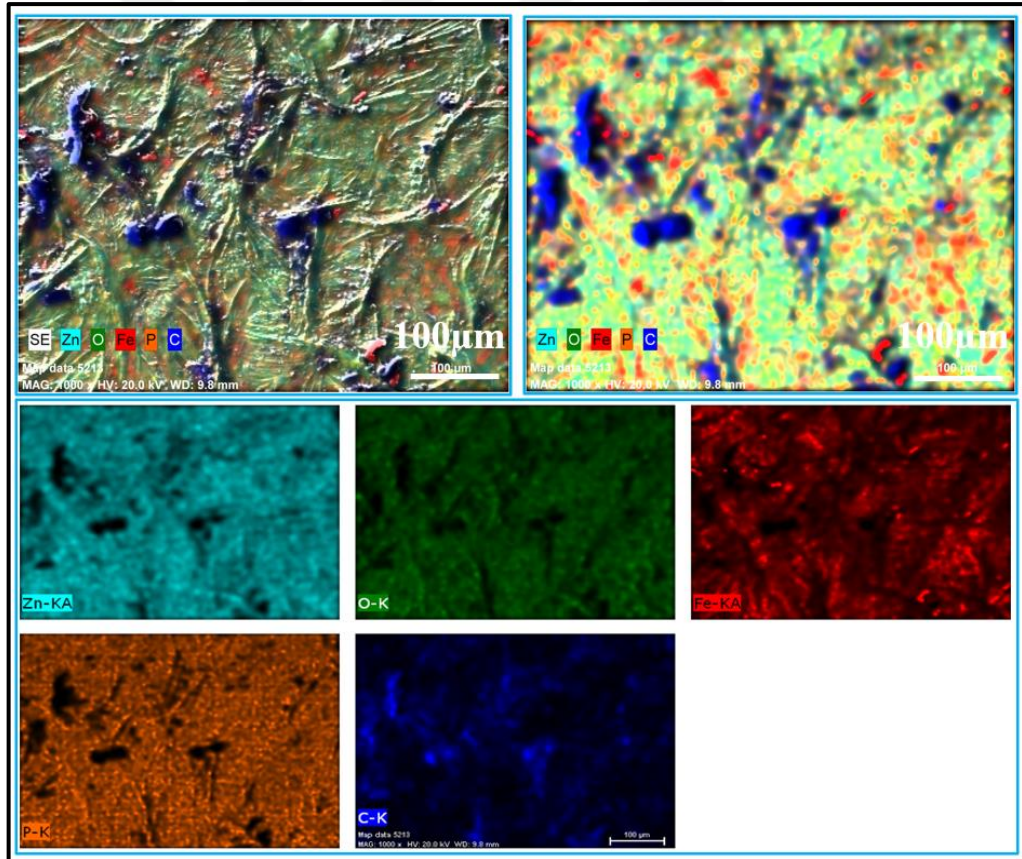
Çizelge 4. 24. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	15.72	17.43	8.14	0.4
Zn (Çinko)	K	28.14	31.2	12.44	0.8
O(Oksijen)	K	25.98	28.81	46.93	2.9
Fosfor(P)	K	11.19	12.4	10.44	0.5
Karbon (C)	K	9.16	10.16	22.05	1.1
		90.19	100	100	

Çinko fosfat kristallerini oluşturan elementler sırası ile Çinko, Fosfor ve oksijendir. Çizelge 4.24'e göre yüzey üzerindeki bu elementlerin toplam kütle yüzdesi %65,31 hesaplanmıştır. Aynı hesaplama ile Çizelge 4.25'de S230 kumlama yapılan yüzeyde bu elementlerin kütle yüzdesi %67,83, Çizelge 4.26'da ise S460 kumlama yapılan yüzeyde ise elementlerin yüzde kütlesi toplam %71,13 hesaplanmıştır. Kum büyüklüğü, yani çelik granül büyüklüğü arttıkça çinko fosfatın yüzeyde çökme oranı artmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Kumlama da kullanılan çelik granüllerin boyutları arttıkça numune üzerindeki kaplama alanını arttırmış, bu durumda çinko fosfat kristallerinin yüzey üzerinde daha fazla çökmesine sebep olmuştur. Aynı durum Echozinc26 çinko fosfat kaplamada da görülmüştü.



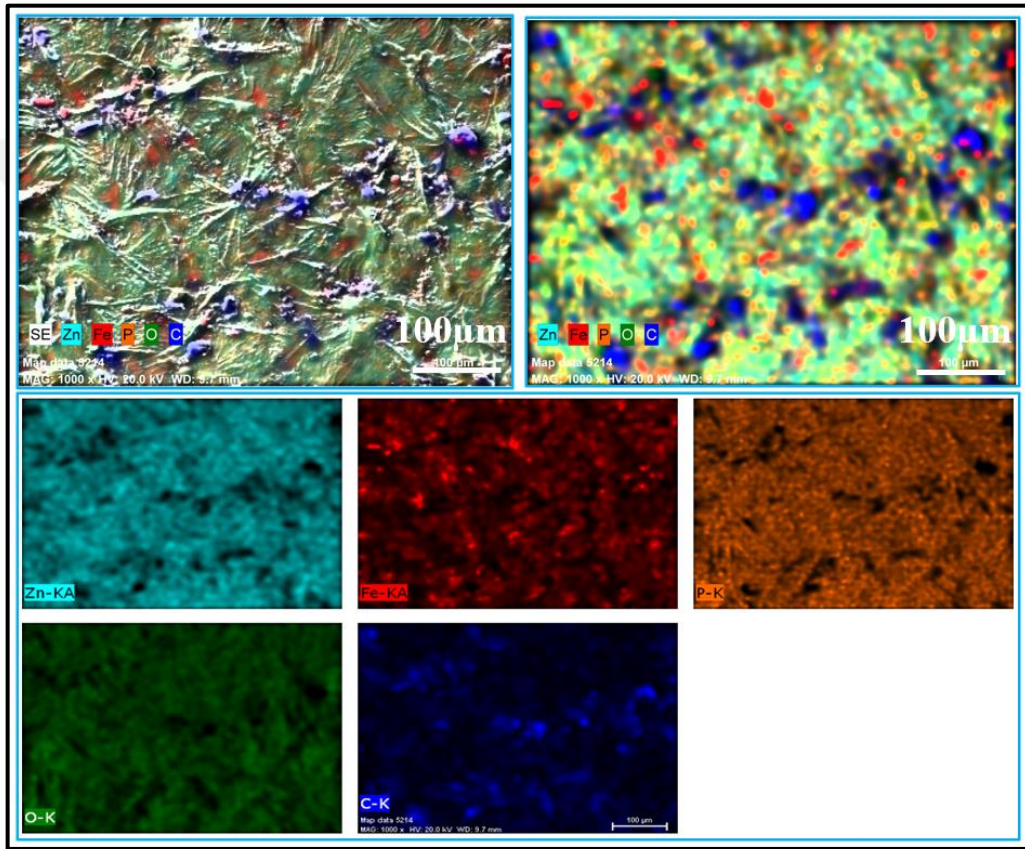
Şekil 4. 63. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi



Şekil 4. 64. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası

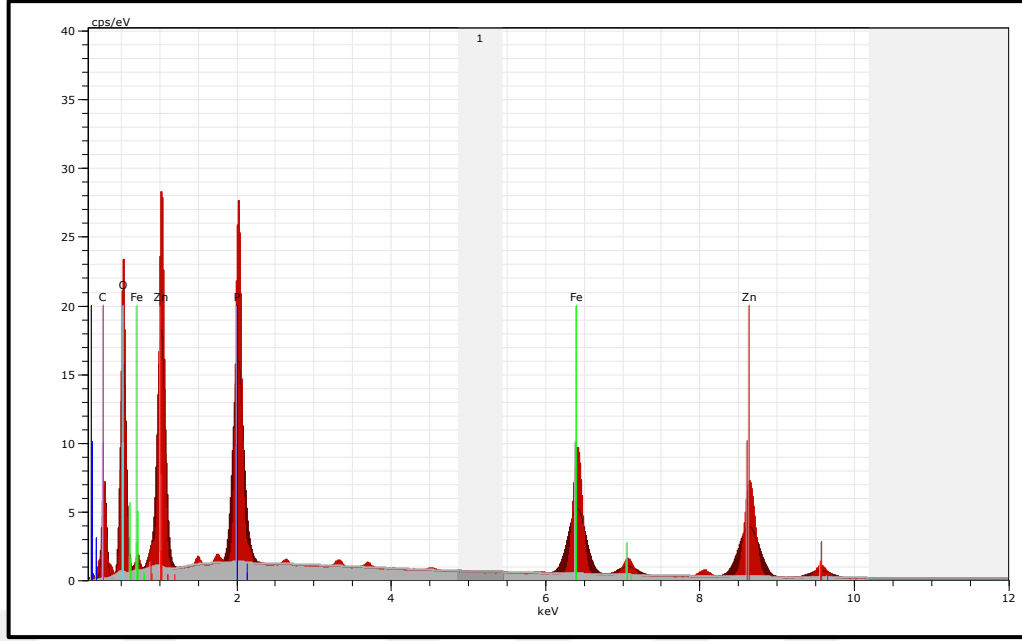
Çizelge 4. 25. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	14.94	16.52	7.91	0.4
Zn (Çinko)	K	30.03	33.2	13.58	0.8
O(Oksijen)	K	26.32	29.1	48.66	2.9
Fosfor(P)	K	11.48	12.69	10.96	0.5
Karbon (C)	K	7.67	8.48	18.88	0.9
		90.44	100	100	



Şekil 4. 65. S230 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası

Şekil 4.64'teki elementlerin yüzeydeki durumu incelendiğinde çinko elementinin yoğun bir şekilde yüzeyde homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Demir elementi az miktarda yüzeyde görülüp homojen bir dağılım göstermemiştir. Karbon elementi de homojen bir dağılım göstermeyip bazı bölgelerde yoğun bir şekilde kendini göstermiştir. Oksijenin ve fosforun homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.



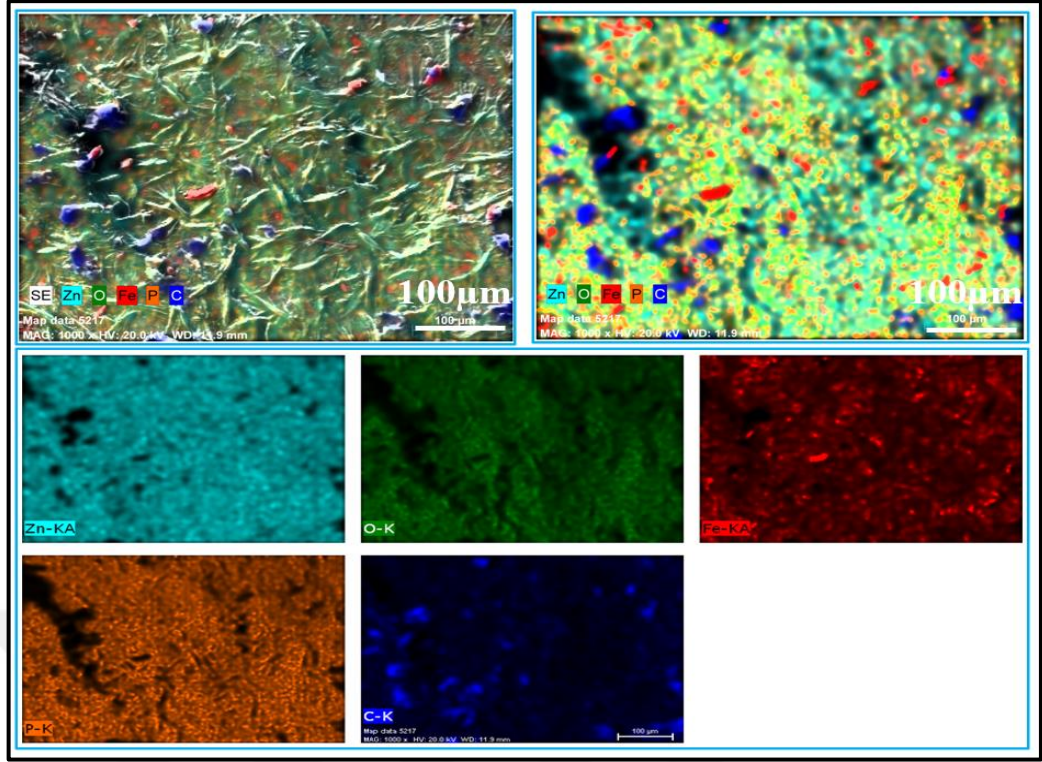
Şekil 4. 66. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

Çizelge 4. 26. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat element tablosu

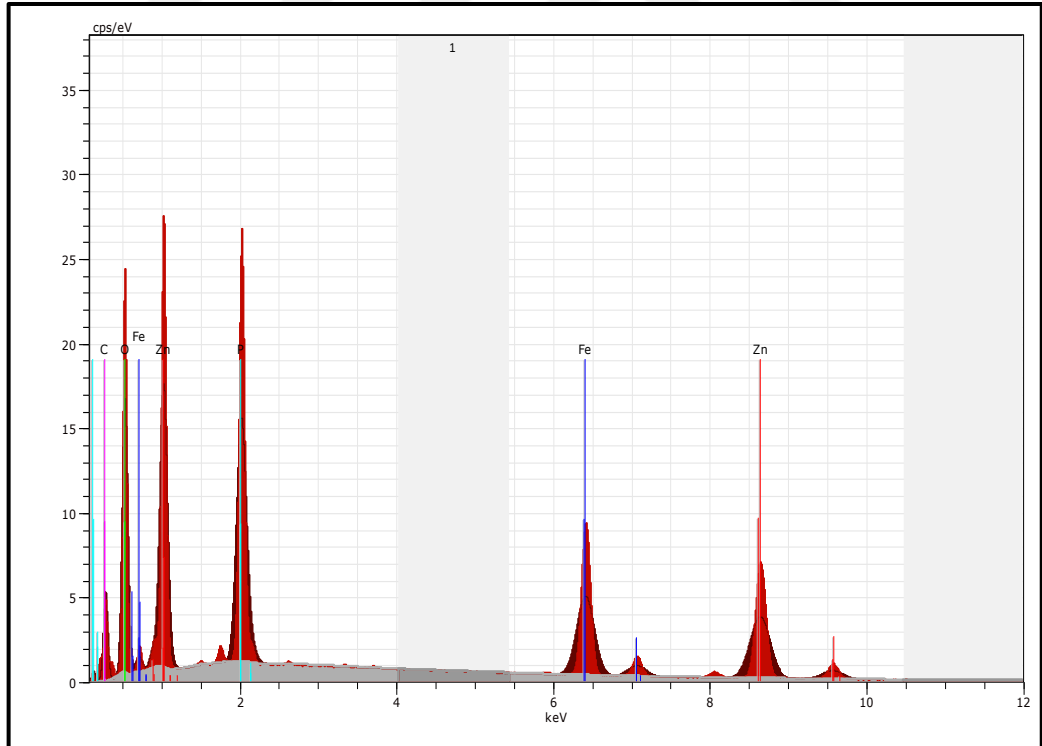
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	15.72	16.96	8.42	0.4
Zn (Çinko)	K	31.51	34.01	14.42	0.9
O(Oksijen)	K	27	29.14	50.49	3
Fosfor(P)	K	12.62	13.61	12.18	0.5
Karbon (C)	K	5.82	6.28	14.5	0.7
		92.67	100	100	

Şekil 4.65'te S230 kumlama yapılmış durumda ise elementlerin dağılımı kumlama yapılmamış duruma göre çok benzerdir.

Şekil 4.67'de S460 kumlama yapılmış durumda karbon elementinin dağılımı homojen değildir. Çinko kristalleri homojen bir şekilde dağılım göstermektedir. Oksijen ve fosfor elementleri de homojen bir dağılım sergilemiştir. Bazı bölgelerde koyu siyah bölgeler numune üzerindeki kumlama gözeneklerini göstermektedir. Demir elementinin de dağılımının homojen olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. 67. S460 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası



Şekil 4. 68. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

4.8.2.2. Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi ve yüzeyin morfolojik haritası

Şekil 4.69 ile Şekil 4.74 arasında Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplamanın EDS analizleri gösterilmektedir. Çizelge 4.27 ile Çizelge 4.29 arasında ise yüzey üzerinden elementlerin yüzde kütle tabloları gösterilmiştir.

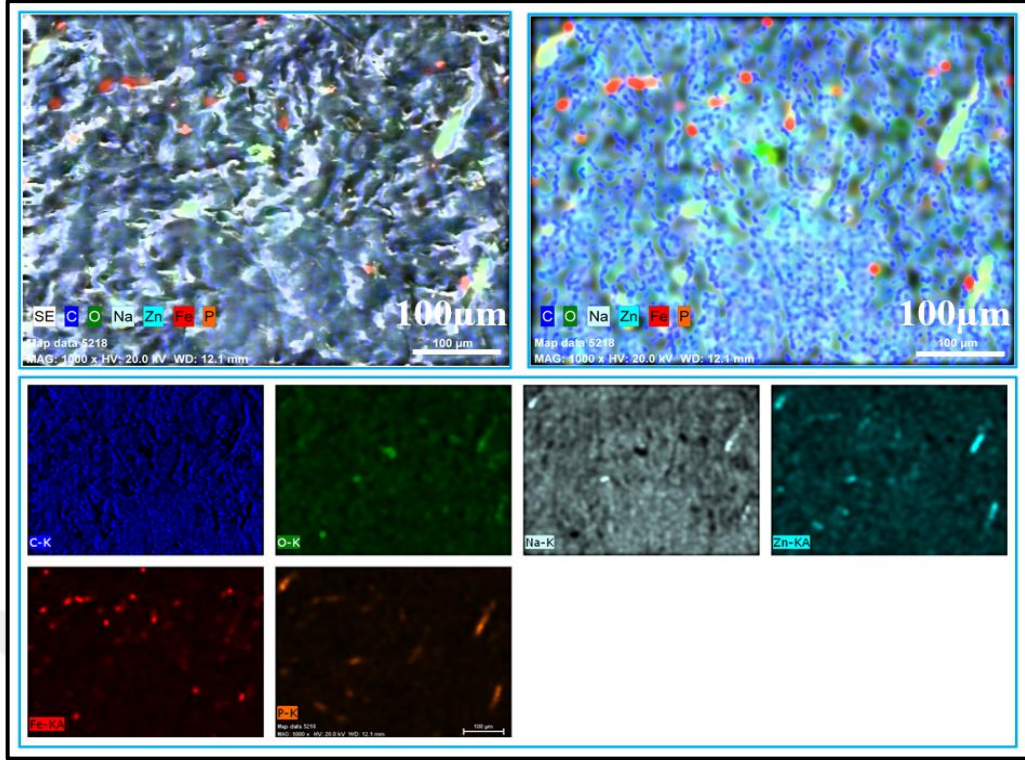
Şekil 4.69’da stearate (sabun) tuzundan gelen Na elementinin yüzeyi kapladığı görülmüştür. Karbon, oksijen, sodyum ve çinko elementlerinin yüzeye homojen dağıldığı gözlenmiştir. Demir elementi yüzey üzerinde az miktarda belirli bölgelerde görülmüştür. Fosfor elementi de demir elementi gibi az miktarda ve belirli bölgelerde görülmüştür.

Şekil 4.71’de yüzey üzerinde karbon ve sodyum elementinin homojen bir dağılım seyrettiği, fosfor, demir, oksijen ve çinko elementlerinin yüzey üzerinde az miktarda olduğu görülmüştür.

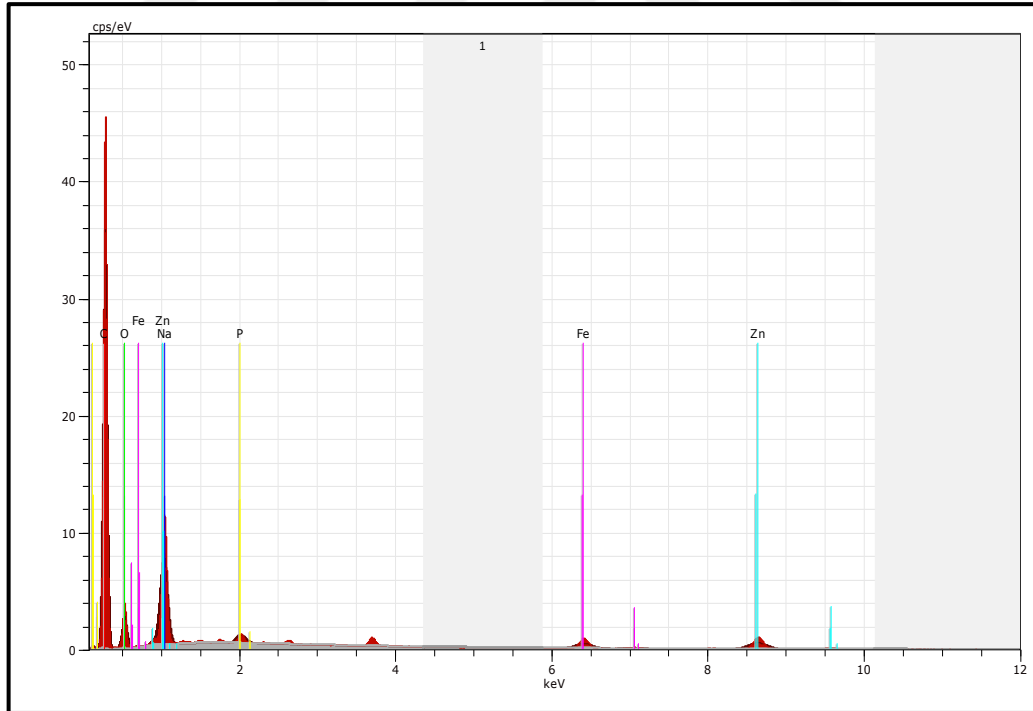
Şekil 4.73’te oksijen elementinin bazı bölgelerde yoğunlaştığı ve homojen olmadığı görülmüştür. Sodyum ve karbon elementi yine yoğun bir şekilde yapıda gözükmektedir. Az miktarda yüzey üzerinde fosfor ve demir elementi görülmektedir.

Çizelge 4. 27. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	2.35	2.35	0.61	0.1
Zn (Çinko)	K	7.84	7.84	1.75	0.2
O(Oksijen)	K	27.83	27.83	25.35	10.1
Fosfor(P)	K	0.72	0.72	0.34	0.1
Sodyum (Na)	K	4.08	4.08	2.59	1.2
Karbon (C)	K	57.17	57.17	69.36	18.8
		100	100	100	



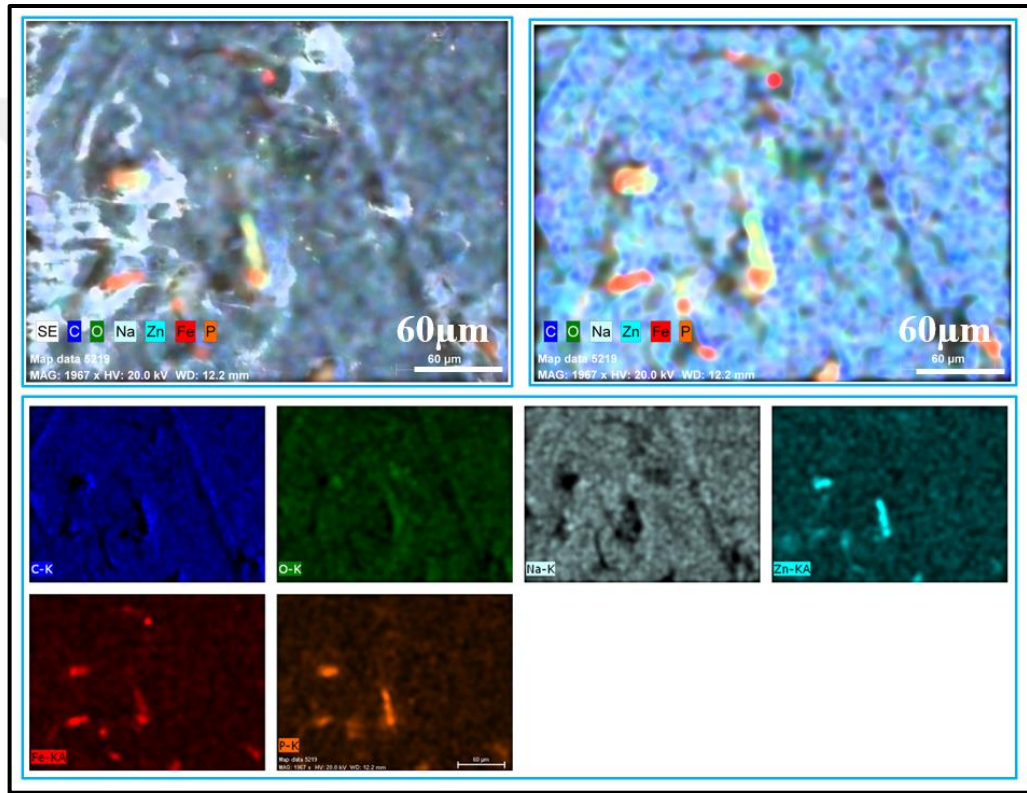
Şekil 4. 69. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası



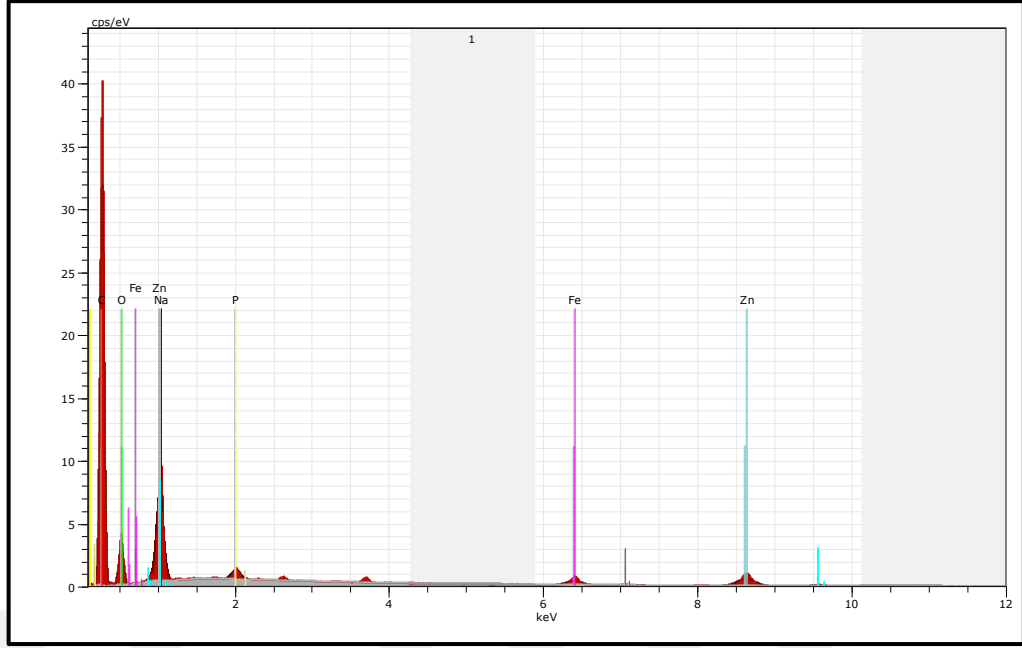
Şekil 4. 70. Kumlama yapılmamış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

Çizelge 4. 28. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	1.88	1.88	0.49	0.1
Zn (Çinko)	K	8.14	8.14	1.82	0.3
O(Oksijen)	K	29.8	29.8	27.29	11.1
Fosfor(P)	K	0.82	0.82	0.39	0.1
Sodyum (Na)	K	4.15	4.15	2.64	1.5
Karbon (C)	K	55.21	55.22	67.36	18.6
		100	100	100	



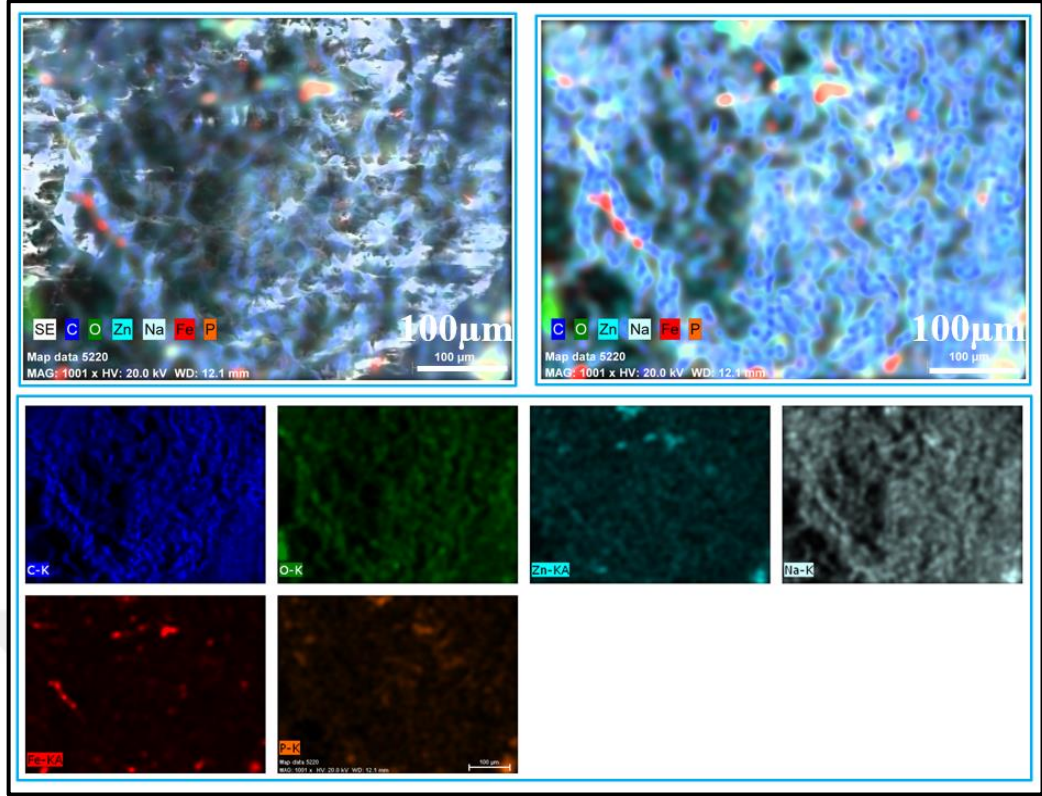
Şekil 4. 71. S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası



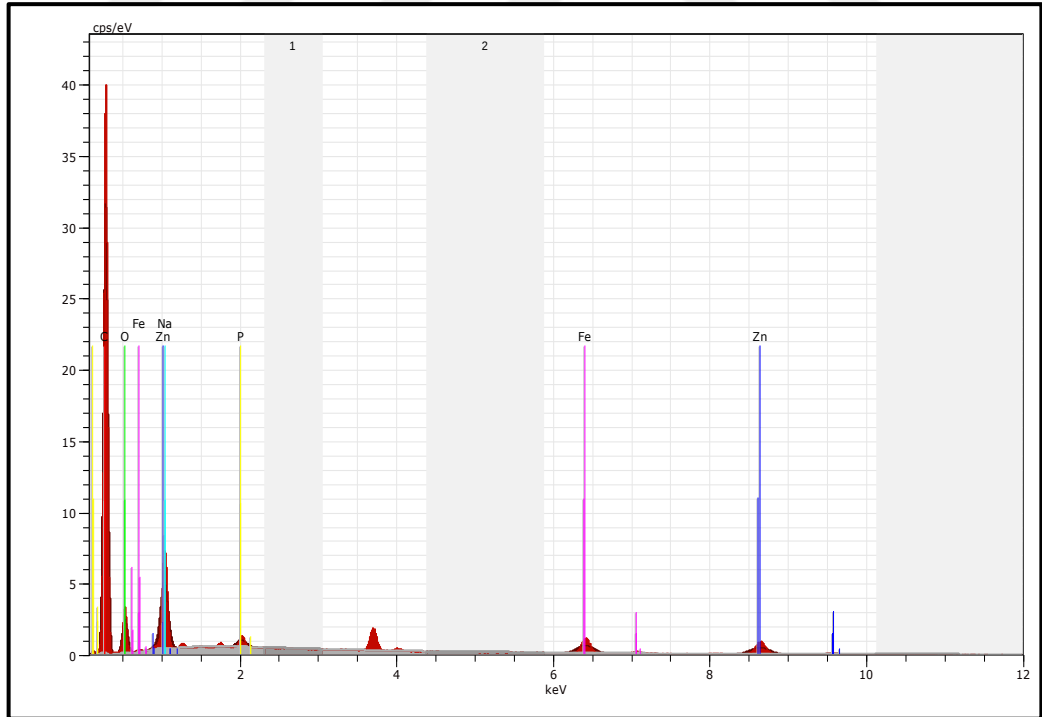
Şekil 4. 72. S230 Kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

Çizelge 4. 29. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	3.05	3.05	0.79	0.1
Zn (Çinko)	K	7.04	7.04	1.56	0.2
O(Oksijen)	K	28.57	28.57	25.78	10.4
Fosfor(P)	K	0.52	0.52	0.24	0
Sodyum (Na)	K	2.59	2.59	1.63	1.2
Karbon (C)	K	58.23	58.23	70	19.2
		100	100	100	



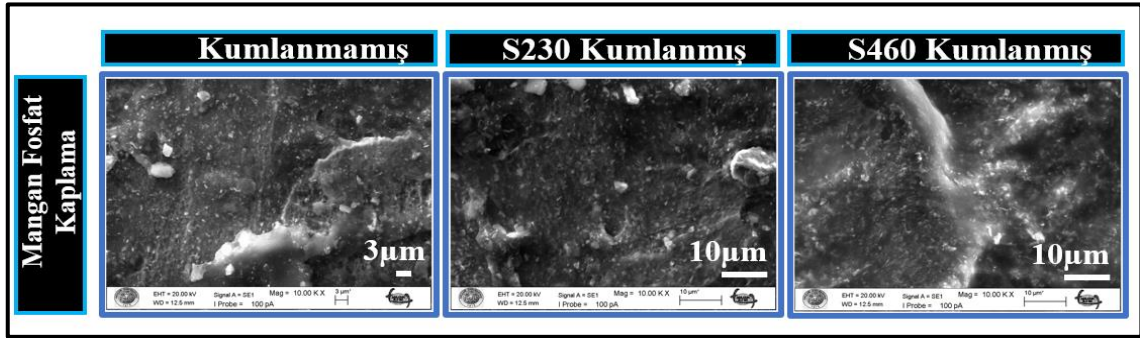
Şekil 4. 73. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS yüzey haritası



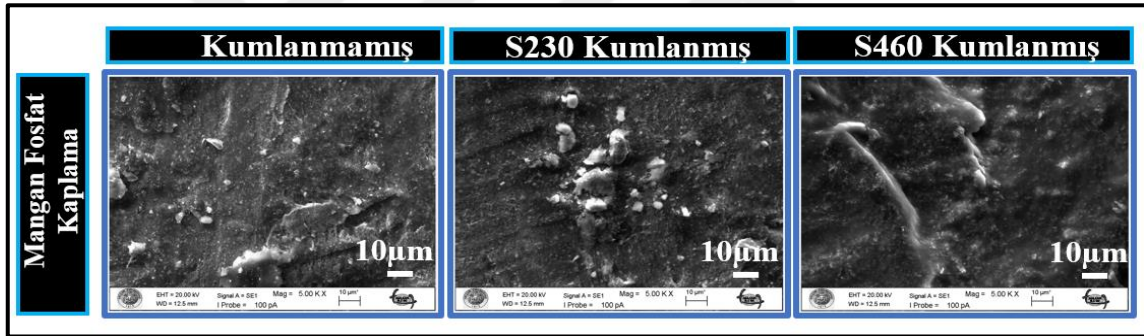
Şekil 4. 74. S460 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama EDS analizi

4.8.3. Mangan fosfat kaplama SEM-EDS sonuçları

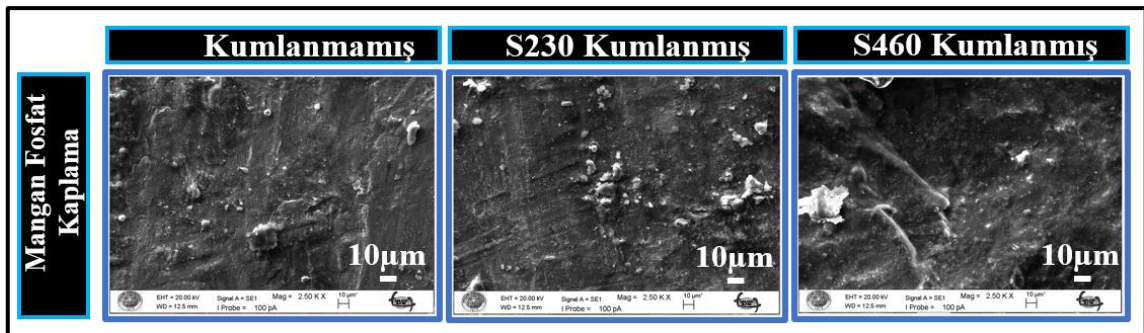
Şekil 4.75 ile Şekil 4.79 arasında mangan fosfat kaplamanın 10.000X'den başlamak üzere sırası ile 5000X, 2500X, 1000X ve 500X olmak üzere 5 farklı büyütme ile SEM görüntüleri gösterilmektedir.



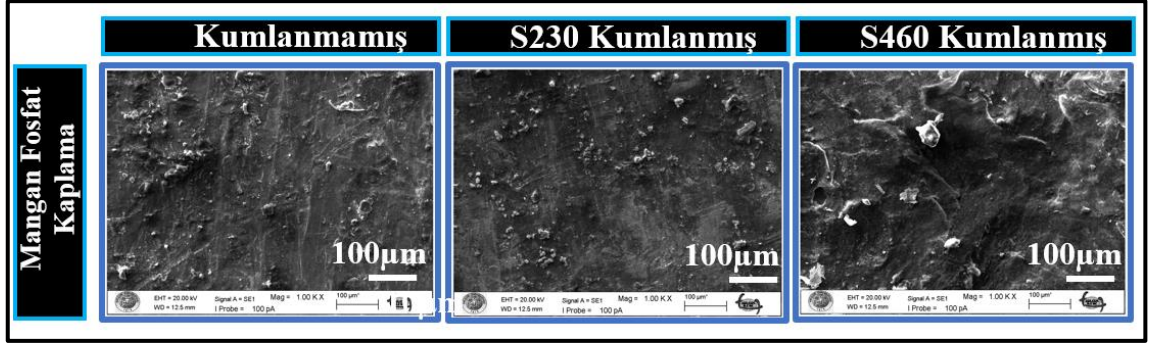
Şekil 4. 75. Mangan Fosfat kaplama 10000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



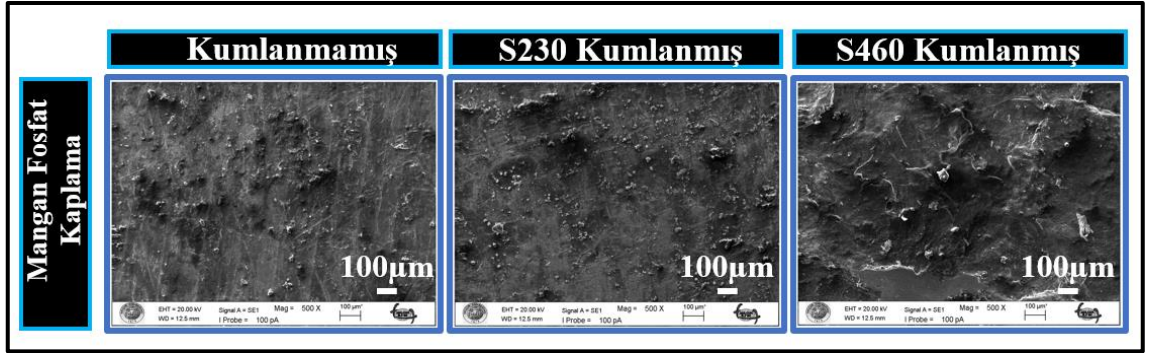
Şekil 4. 76. Mangan Fosfat kaplama 5000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 77. Mangan Fosfat kaplama 2500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 78. Mangan Fosfat kaplama 1000X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)



Şekil 4. 79. Mangan Fosfat kaplama 500X büyütmede SEM görüntüleri (EHT=20.000 kV)

Şekil 4.75'te 10000X büyütmeden mangan fosfat kristallerinin bloklar halinde olduğu görülmektedir. Kumlama yapılmayan yüzey incelendiğinde mangan fosfat çinko fosfat kristallerinin aksine daha pürüzsüz bir yüzey oluşturmaktadır. Çinko fosfatta olduğu gibi yüzeyde yoğun bir şekilde görülmemektedir.

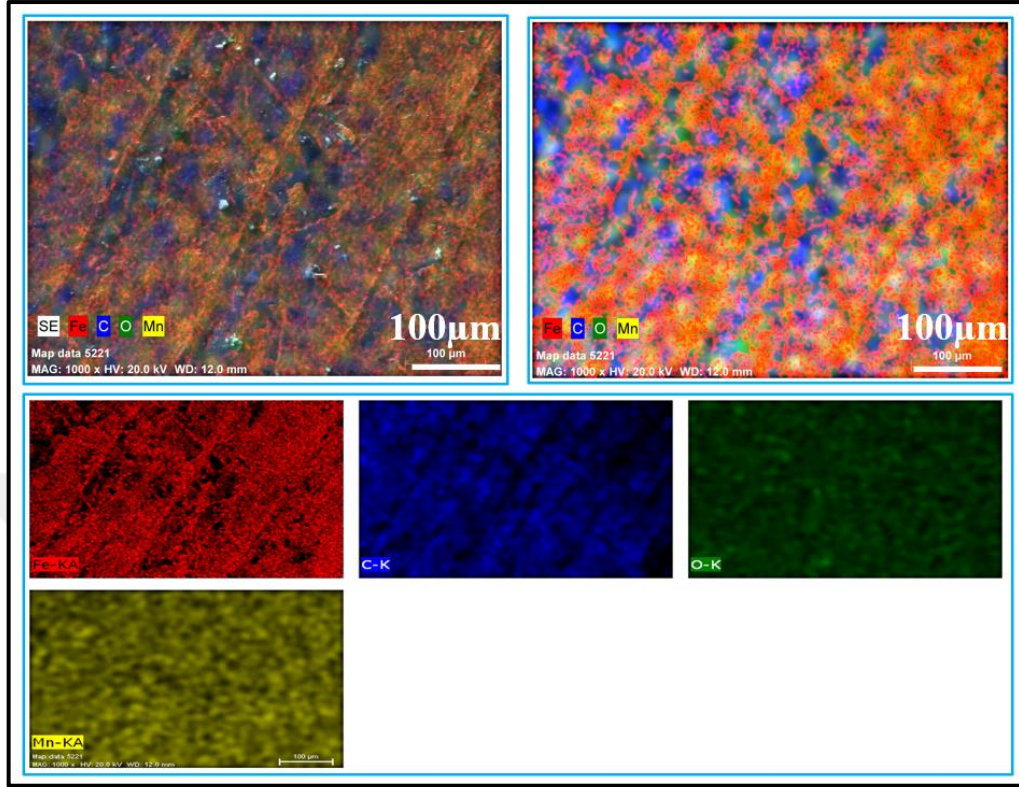
4.8.3.1. Mangan fosfat EDS analizi ve yüzeyin morfolojik haritası

Şekil 4.80 ile Şekil 4.85 arasında Mangan fosfat kaplamanın EDS analizleri gösterilmektedir. Çizelge 4.30 ile Çizelge 4.32 arasında ise yüzey üzerinden elementlerin yüzde kütle tabloları gösterilmiştir.

Çizelge 4. 30. Kumlama yapılmamış mangan fosfat element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	72.11	78.56	46.77	1.9
Karbon (C)	K	14.48	15.78	22.05	1.6
O(Oksijen)	K	3.81	4.15	46.93	0.5

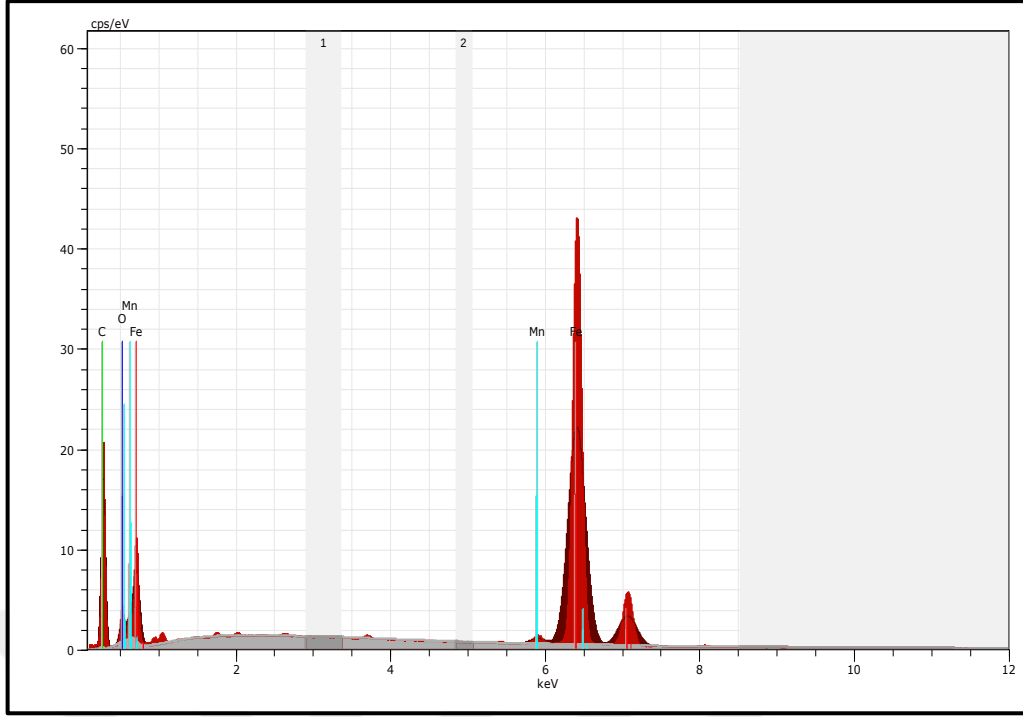
Mangan (Mn)	K	1.38	1.5	10.44	0.2
		91.78	100	100	



Şekil 4. 80. Kumlama yapılmamış mangan fosfat EDS yüzey haritası

Mangan fosfatı oluşturan elementler sırası ile mangan ve oksijendir. Çizelge 4.30'a göre yüzey üzerindeki bu elementlerin toplam kütle yüzdesi %5,19 hesaplanmıştır. Aynı hesaplama ile Çizelge 4.31'de S230 kumlama yapılan yüzeyde bu elementlerin kütle yüzdesi %5,92, Çizelge 4.32'de ise S460 kumlama yapılan yüzeyde ise elementlerin yüzde kütlesi toplam %11,12 hesaplanmıştır. Kum büyüklüğü, yani çelik granül büyüklüğü arttıkça mangan fosfatın yüzeyde çökeltme oranı artmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Kumlama da kullanılan çelik granüllerin boyutları arttıkça numune üzerindeki kaplama alanını arttırmış, bu durumda mangan fosfat kristallerinin yüzey üzerinde daha fazla çökeltmesine sebep olmuştur. Aynı durum Echozinc26 çinko fosfat ve Echozinc10A kaplamada da görülmüştür.

Şekil 4.80'de demir elementinin yapıdaki yoğunluğu ve homojen dağılımı gözlenmiştir. Aynı şekilde karbon, mangan ve oksijen de yapıda homojen dağılmıştır. Karbon da demir gibi yapıda çok fazla gözlenmiştir.



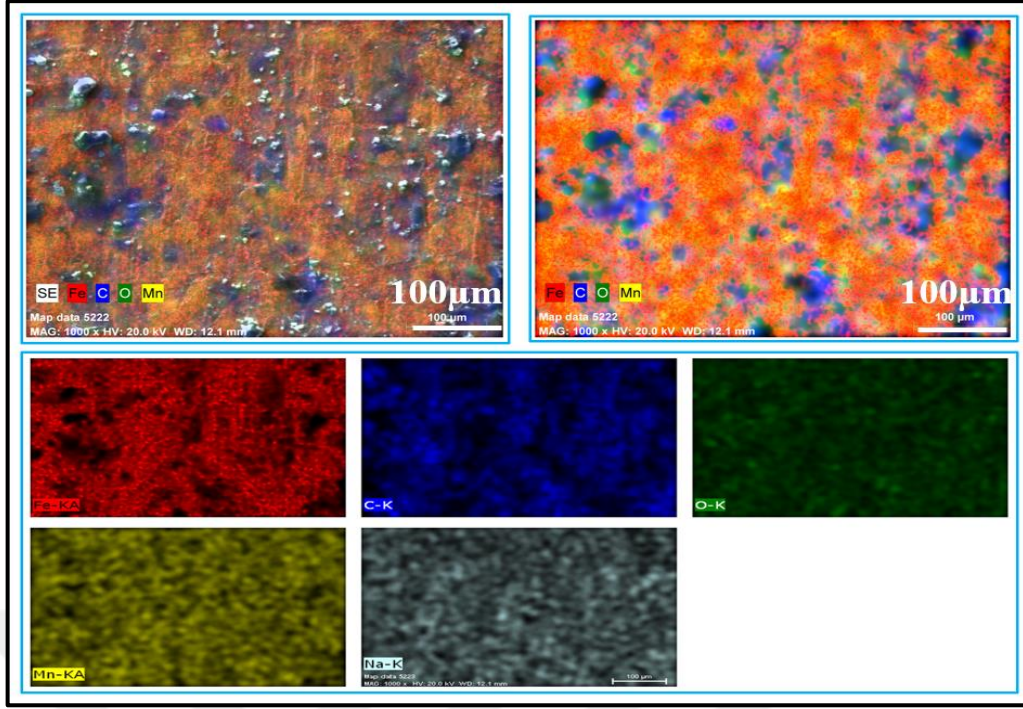
Şekil 4. 81. Kumlama yapılmamış mangan fosfat EDS analizi

Çizelge 4. 31. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat element tablosu

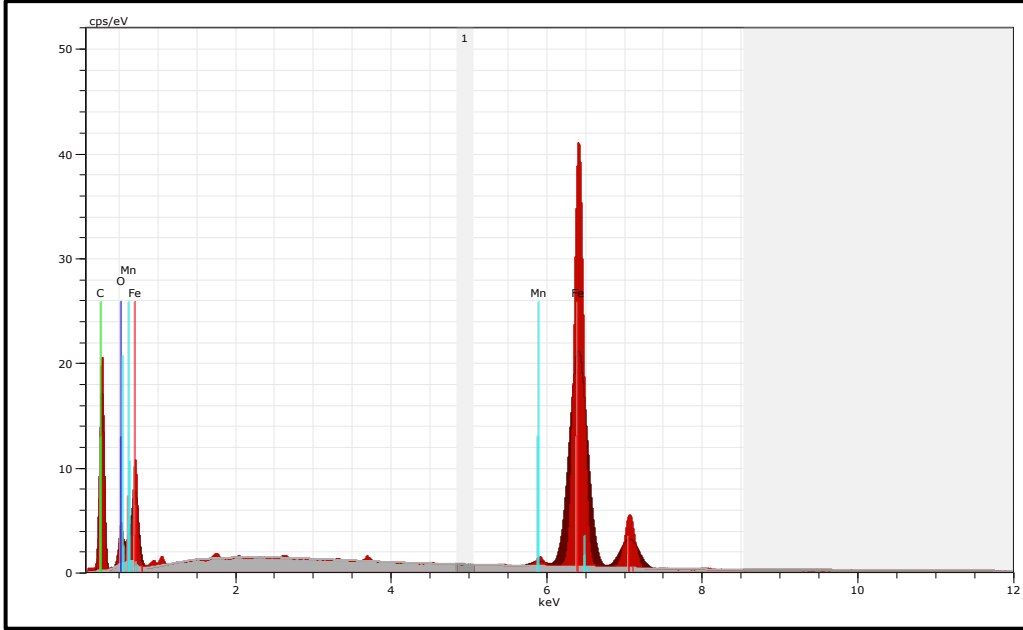
Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	69.92	76.95	44.48	1.9
Karbon (C)	K	15.02	16.54	44.44	1.7
O(Oksijen)	K	4.61	5.07	10.23	0.6
Mangan (Mn)	K	1.31	1.44	0.85	0.2
		90.86	100	100	

Şekil 4.82’de karbon elementlerinin yapıdaki yoğunluğu azalmış ve homojen bir dağılım göstermemiştir. Mangan ve demir elementi yapıda yoğunlukta görülmekte ve homojen bir dağılım sergilemektedir. Sık olmamak ile oksijen elementi de görülmektedir. Yapıda görülen sodyum elementinin diğer banyolardan taşındığı yorumu yapılmıştır. Kumlama yapılmayan duruma nazaran mangan elementinin S230 kumlu yüzeyde yoğun olması gözlenmiştir.

Şekil 4.84’te S460 kumlu yüzeyde mangan fosfat kaplamada elementlerin dağılımı homojen değildir. Oksijen, mangan, karbon ve demir elementi farklı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Çukur olan yüzeylerde karbon elementinin daha yoğunlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 82. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS yüzey haritası

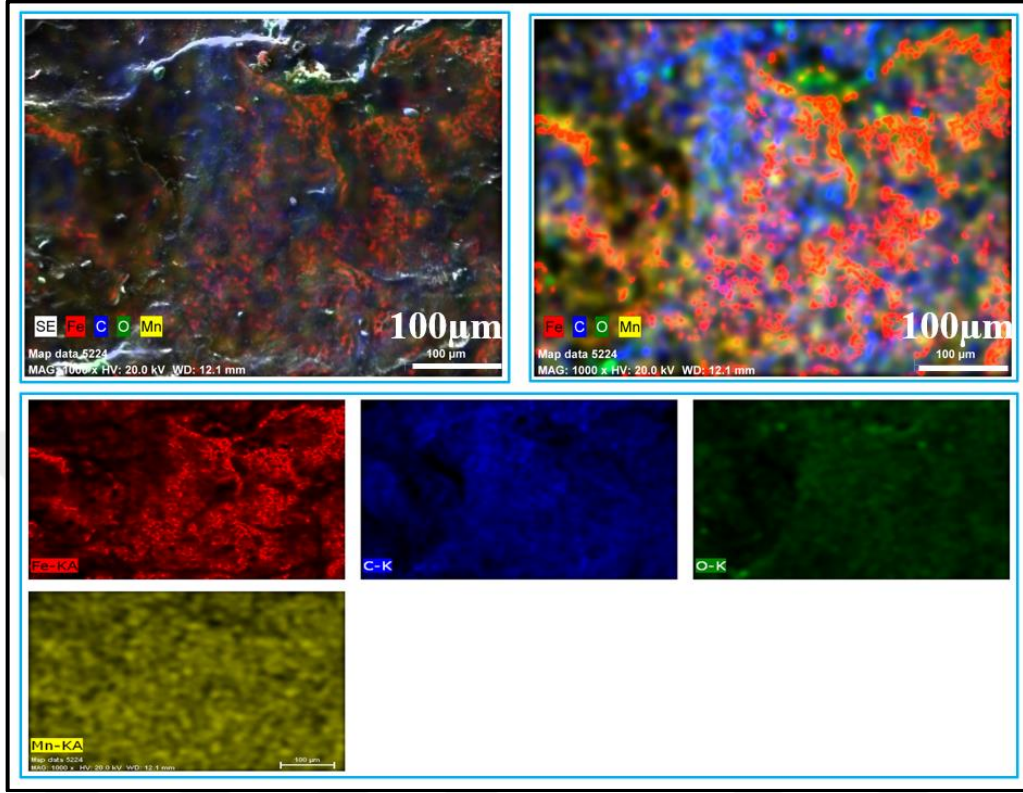


Şekil 4. 83. S230 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS analizi

Çizelge 4. 32. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat element tablosu

Element	Seri	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Ağırlık Yüzdesi (wt. %)	Atom Yüzdesi (at. %)	% Hata
Fe (Demir)	K	44.48	52.89	21.04	1.2
Karbon (C)	K	28.49	33.88	62.66	3.1

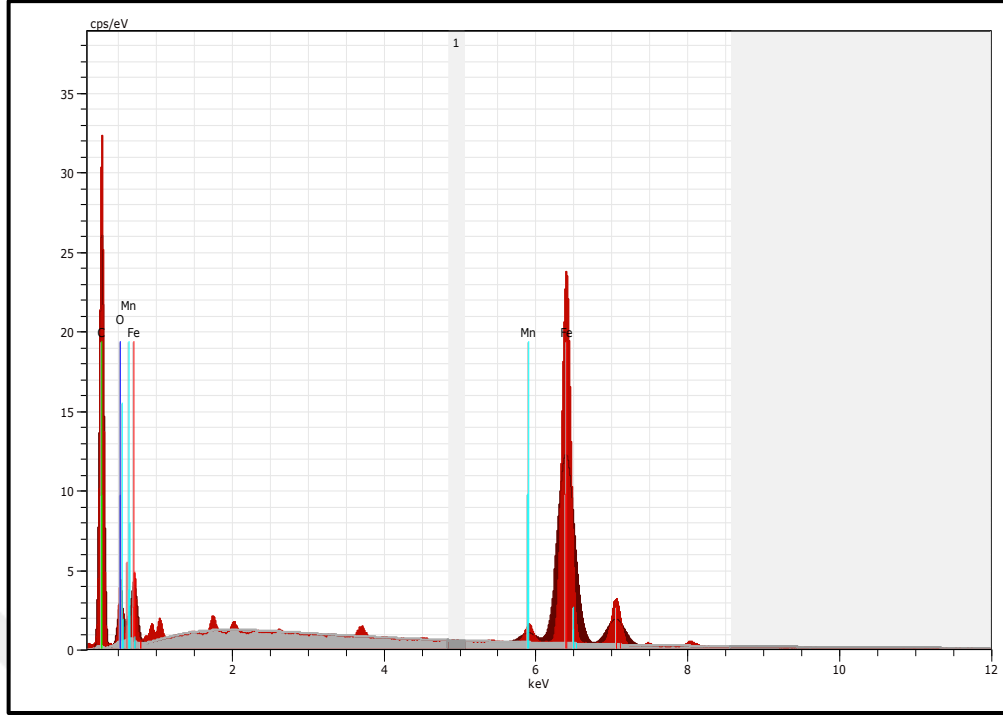
O(Oksijen)	K	9.35	11.12	15.44	1.2
Mangan (Mn)	K	1.77	2.1	0.85	0.2
		84.09	100	100	



Şekil 4. 84. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS yüzey haritası

Şekil 4.84'te yüksek tepelerde demir ve oksijen elementi yaygın bir şekilde görülmektedir. Mangan fosfat elementinin de çukur bir yüzeyde yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Şekil 4.81, Şekil 4.83 ve Şekil 4.85'te mangan elementine ait üç pik görülmektedir. Ana pik (Ka), en yoğun ve belirgin olandır. K β piki ise Ka pikine nazaran daha az yoğunlukta olup genellikle doğrulama amacı ile kullanılır. La piki ise düşük enerjili bölgede yer aldığı için düşük voltajlı analizlerde veya küçük numunelerde tespit edilebilmektedir. Bu piklerin enerji değerleri sırası ile 5.89 keV, 6.49 keV ve 0.64 keV'dir.



Şekil 4. 85. S460 kumlama yapılmış mangan fosfat EDS analizi

Oksijen elementine ait iki adet pik değeri bulunmaktadır. Ana piki 0.525 keV değerine sahip Ka pikidir. Bu ana piktir. 0.710 keV değerine sahip ikinci piki ise Kβ pikidir. Kβ piki oksijenin zayıf ikinci pikidir.

Karbon Elementine ait iki adet pik değeri bulunmaktadır. Ana piki 0.277 keV değerine sahip Ka pikidir. Karbonun en belirgin pikidir ve eds analizinde tespit edilen ana piktir. Kβ piki daha az yoğun bir piktir ve 0.456 keV değerine sahiptir. Daha zayıf bir piktir.

Demir elementinin EDS spektrumunda iki ana piki vardır. Ka piki 6.40 keV değeri ile en yoğun ve en belirgin piktir. 7.06 keV değeri ile Kβ piki daha az yoğun olan bir piktir. Demir elementinin 0.705 keV değerine sahip üçüncü bir La piki mevcuttur ve düşük enerji değerine sahiptir.

Mangan fosfat dışında çinko fosfat kaplamalarda kullanılan çinko elementinin de üç adet piki mevcuttur. 8.64 keV Ka ana piki, 9.57 keV ile Kβ piki, 1.01 keV değeri ile La piki.

Fosfor elementin de iki adet piki mevcuttur. 2.01 keV Ka ana piki, 2.14 keV ile Kβ piki. Ka piki fosforun tespiti için en yaygın kullanılan piktir. Kβ piki daha az yoğun bir piktir ve çoğu EDS analizinde düşük yoğunluğu nedeni ile Ka piki kadar belirgin değildir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması ile soğuk dövme işlemlerinde kullanılan eski nesil kaplama ve yeni nesil yağlayıcıların sürtünme ve aşınma performansları değerlendirildi. Ayrıca kaplama öncesi yapılan kumlama işleminin kaplamaya, sürtünmeye ve aşınmaya olan etkisi de incelendi. SEM-EDS analizleri ile kaplamanın yüzey morfolojisi incelendi. Çift yönlü ekstrüzyon testleri ile de kaplamaların ve yağlayıcıların farklı kumlama yüzeyi ile sürtünme katsayısına olan etkileri de incelendi. DCET testleri ile otomotivde kullanılan aks lalesinin soğuk dövme operasyonundaki sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırıldı.

Çalışmaların neticesi olarak, Echozinc26 çinko fosfat, Echozinc10A çinko fosfat ve Mangan fosfat kaplamada en düşük aşınma genişlikleri S230 kumlama yapılan kaplamalarda görülmüştür. Kum büyüklüğünün daha da artması aşınma genişliğini doğru orantılı olarak düşürmemiş, bunun aksine aşınma genişliği S460 kumlama ile artış göstermiştir. Kum büyüklüğünün aşınma genişliğine olan etkisinde optimum proses parametresi olarak S230 kumlama elde edilmiştir. Aşınma genişliklerinin düşmesi ile Kolomb sürtünme katsayılarının da düştüğü görülmüştür. Bir istisna olarak Mangan fosfat kaplamada S460 kumlama durumunda en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak Mangan fosfat kaplamalar çinko fosfat kaplamalara nazaran daha ince bir kaplama sunduğu için S460 kumlama ile yüzeyde oluşturulan mikro yüzey ve çukurlar temas alanını azaltmış ve Kolomb sürtünme katsayısını önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Sabun kaplama olmadan yapılan kaplamalarda 0,6 civarında olan sürtünme katsayısı, sabun ile yapılan kaplamalar neticesinde 0,18 değerine kadar azalmıştır. Kaplamalar tarafında en düşük aşınma genişliği ve Kolomb sürtünme katsayısı S230 kumlama yapılmış ve sabun kaplanmış Echozinc10A çinko fosfat kaplamada görülmüştür.

Yeni nesil yağlayıcıların sürtünme ve aşınma testinde her üç yağlayıcıda genel olarak kum büyüklüğünün artması ile aşınma genişliğinin arttığı görülmüştür. KFP10 yağında en düşük aşınma genişliği ve Kolomb sürtünme katsayısı kumlamasız yüzeyde elde edilirken KFP95 ve KFP96 yağında en düşük aşınma genişliği ve Kolomb sürtünme katsayısı S230 kumlama yapılmış durumda elde edilmiştir. KFP95 ve KFP96 yağında S230 kumlama durumunda en düşük aşınma genişliği ve sürtünme katsayısı vermesinin sebebi KFP10 yağına kıyasla dinamik vizkozitelerinden kaynaklı farklılıktır. KFP10

yağının 40 C°' de ki vizkozitesi 58 mm²/sn, KFP96 yağının 91 mm²/sn ve KFP95 yağının ise 120 mm²/sn'dir. Vizkozitedeki artış KFP95 ve KFP96 yağında S230 kumlama durumunda aşınma genişliği olarak en uygun sonucu vermiştir. S230 kumlama ile yüzeyde oluşturulan mikro çukurlar KFP95 ve KFP96 yağlarının sürtünme ve aşınma testinde yüzeyde yağ cepleri oluşturarak aşınma genişliğinin ve sürtünme katsayısının düşmesini sağlamıştır. Her üç yağ kendi aralarında kıyaslandığına en düşük aşınma genişliği ve sürtünme katsayısı kumlama yapılmayan KFP10 yağında 0,12 olarak elde edilirken bunu 0,14 değeri ile S230 kumlama yapılmış KFP96 ve KFP95 izlemiştir. Böylece yeni nesil yağlayıcılar ile sabunla birlikte yapılan kaplamalardan elde edilen sürtünme katsayısının daha altında bir sürtünme katsayısı elde edilebilmiştir.

Kaplamaların SEM-EDS analizlerinde kum büyüklüğü arttıkça yüzeyde çökelen kaplamanın arttığı görülmüştür. Kaplama elementlerinin yüzey üzerindeki homojen dağılımları kum büyüklüğü arttıkça bozulmuştur. Bütün kaplamalarda homojen dağılım kumlamasız durumda elde edilmiştir. EDS analizlerine göre kaplamaların yüzeyde çökmesi en fazla Echozinc10A çinko fosfat kaplamada görülürken bunu sırası ile Echozinc26 çinko fosfat kaplama ve Mangan fosfat kaplama takip etmiştir. Aşınma genişliklerinde de bu şekilde sıralama mevcuttur. Yüzeyde biriken kaplama arttıkça aşınma genişliğinin de düştüğü görülmüştür.

Sürtünme ve aşınma testinden en düşük Kolomb sürtünme katsayısı ve aşınma genişliği kumlama yapılmayan KFP10 yağında elde edilmiştir. Bunu kaplama tarafında S230 kumlama yapılmış Echozinc10A çinko fosfat ve sabun kaplama takip etmiştir.

DCET testlerinde kum büyüklüğü arttıkça sürtünme katsayısının arttığı görülmüştür. Yeni nesil yağlayıcı tarafında en düşük aşınma genişliği KFP10 yağında elde edilirken bunu KFP96 ve KFP95 izlemiştir. Kaplama tarafında ise en düşük sürtünme katsayısı Echozinc10A çinko fosfat + sabun kaplama da elde edilirken bunu Echozinc26 çinko fosfat + sabun kaplama takip etmiştir. Kaplamalar ve yağlayıcılar kendi aralarında değerlendirildiğinde en düşük sürtünme katsayısı KFP10 yağında elde edilirken bunu Echozinc10A çinko fosfat + sabun kaplama takip etmiştir.

DCET testlerinden çıkan sonuca göre KFP10 yağının endüstride üretimi gerçekleştirilen otomotiv aks lalesinin soğuk dövme işlemlerinde denemesi yapılmıştır. Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri otomotiv aks lalesi üretim denemelerinde daha önce sabun kaplamada hasarlı şekillendirmeler ile karşılaşılırken yeni nesil yağlayıcılar kullanılmasıyla hasar oranının sıfıra indirilmesi olmuştur. Ayrıca deneme sonuçlarının, simülasyon sonuçları ve DCET testleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Buna göre

simülasyon sonuçlarından “m” kayma sürtünme değeri 0.02 ile 0.025 arasında elde edilirken DCET testinde KFP10 soğuk dövme yağında hesaplanan “m” değeri 0.022 elde edilmiştir.

Çalışma ile endüstrinin ihtiyaç duyduğu bir alanda çalışma yapılmış ve endüstriye kazandırılmıştır. Soğuk dövme işleminde çevreye ve insan sağlığına duyarlı yeni yağlayıcılara geçilmesi ile çalışmanın esas amaçlarından bir tanesinin de gerçekleşmesi sağlandı. Çevre ve insan sağlığı duyarlılığı açısından yeni nesil yağlayıcıların kullanılması ile işgücü, malzeme ve enerjiden tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca geleneksel kaplamaya nazaran yeni nesil yağlayıcılar ile soğuk dövme öncesi yapılan iş parçası yüzey hazırlık işlemlerinin vardiyadaki üretim adetleri artarak üretim verimliliği sağlanmıştır.

Soğuk dövme öncesi yüzey işlemi olarak kullanılan kaplama tesislerinin ve yağlama hatlarının ilk kurulum maliyetleri kıyaslandığında kaplamaya göre yağlama hatlarının daha ekonomik olduğu görülmüştür. Diğer yandan parça başı birim maliyeti ₺ 6,28 olan kaplama, soğuk dövme yağında ₺ 2,35 olarak hesaplanmıştır. Birim maliyet olarak da soğuk dövme yağı kaplamaya göre daha avantajlı hale gelmiştir. Vardiya başı 1000 adet olan kaplama tesislerindeki parça üretim sayısının yağlama hatları ile 4000 adede çıkması üretim hızı olarak da öne çıkmıştır.

5.2 Öneriler

Kumlama işleminin kaplamalarda ve soğuk dövme yağlarında sürtünmeye olan etkisinin incelenmesi literatüre bu noktada katkı sunmuştur. Ayrıca üç farklı fosfat, sabun ve üç farklı soğuk dövme yağları ile kapsamlı bir çalışma yapılarak tümünün bir çalışmada irdelenmesi sağlanmıştır. Bu açıdan bakıldığında da çalışma kaplama ve yağlayıcı seçiminde, yüzey özellikleri de göz önüne alındığında bir nevi kılavuz olmuştur. Pürüzlü yüzey oluşturmak için çalışmada sadece endüstride yaygın bir şekilde kullanılan çelik granüller tercih edilmiştir. Aslında çelik granüllerin dışında farklı yüzey hazırlama metotları da mevcuttur. Bunlar, ıslak kumlama (wet blasting), ceviz kabuğu ile kumlama, cam küre, seramik kumlama ve alüminyum oksitlerde kullanılmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda bu metotların da etkileri irdelenecektir. Endüstrinin hızla geliştiği bir dönemde özellikler şekil verme operasyonlarında yeni nesil ve çevreye duyarlı yağlayıcı ve kaplayıcıların kullanma zarureti günden güne artmakta ve işletmeler üzerinde bu noktada bir baskı oluşturmaktadır. Çalışmada sadece yeni nesil soğuk dövme yağı olarak

Bechem firmasına ait üç farklı yağ kullanılmıştır. Bu yağların dışında şekil verme işlemlerinde kullanılan bazı wax ürünleri, bal mumu, grafit esaslı yağlayıcılar vb. birçok metot mevcuttur. Bundan sonraki çalışmalarda da bu ürünlerin performanslarının değerlendirilmesi planlanmaktadır. Çalışmada gerçekleştiren çift yönlü ekstrüzyon testinde (DCET), farklı koşullar altında şekillendirme esnasında oluşan malzeme sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ile çalışma daha da zenginleştirilebilir. Çalışmada tek çeşit malzeme üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Farklı kimyasal kompozisyonlarda ve sertliklerdeki malzeme üzerinde oluşabilecek sürtünme performansının irdelenmesi de çalışmayı bu alanda genişletecektir. Çalışmada saha testlerinde sadece DCET testi uygulanmıştır. Farklı test metotlarının, halka sıkıştırma testi (RCET), ileri kap ekstrüzyonu (FCE), geri kap ekstrüzyonu (BCE) gibi testler ile benzer çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Ekstrüzyon testleri esnasında kalıp sistemine yük ölçer montajı yapılarak şekil verme esnasında oluşan pres yüklerinin, deplasmana bağlı olarak ölçülmesi ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması çalışmaya zenginlik katacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdul, N. A. (1987) "Analysis of the non-steady axi-symmetric bore-extrusion process", *Journal of mechanical working technology*, 14(2), 173-185.
- Altan, T. (1970) "Heat generation and temperatures in wire and rod drawing", *WIRE J.*, 3(3), 54-59.
- Altan, T., Ngaile, G. ve Shen, G. (2004) *Cold and hot forging: fundamentals and applications*.
- Andreas, K. ve Merklein, M. (2014) "Influence of surface integrity on the tribological performance of cold forging tools", *Procedia CIRP*, 13, 61-66.
- Arentoft, M., Bay, N., Tang, P. T. ve Jensen, J. D. (2009) "A new lubricant carrier for metal forming", *CIRP annals*, 58(1), 243-246.
- ASTM, E.-96 ve others (2004) "Standard test methods for determining average grain size", *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*.
- Astm, G. (2016) "133 Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear", *ASTM International: West Conshohocken, PA, USA*.
- Bay, N. (1994) "The state of the art in cold forging lubrication", *Journal of Materials Processing Technology*, 46(1-2), 19-40.
- Bay, N. (1997) "Cold forming of aluminium—state of the art", *Journal of Materials Processing Technology*, 71(1), 76-90.
- Bay, N. (2013) "New tribo-systems for cold forming of steel, stainless steel and aluminium alloys", *46th ICFG Plenary Meeting*, 7-04.
- Bay, N., Eriksen, M., Tan, X. ve Wibom, O. (2011) "A friction model for cold forging of aluminum, steel and stainless steel provided with conversion coating and solid film lubricant", *CIRP annals*, 60(1), 303-306.
- Buschhausen, A., Weinmann, K., Lee, J. Y. ve Altan, T. (1992) "Evaluation of lubrication and friction in cold forging using a double backward-extrusion process", *Journal of materials processing technology*, 33(1-2), 95-108.
- Doehring, R. C. (1972) "New Developments in Cold and Warm Forging", *Tech. Paper*.
- Douglas, J. R. ve Altan, T. (1975) "Flow stress determination for metals at forging rates and temperatures".
- Forcellese, A., Gabrielli, F., Barcellona, A. ve Micari, F. (1994) "Evaluation of friction in cold metal forming", *Journal of materials processing technology*, 45(1-4), 619-624.
- Gariety, M. ve Ngaile, G. (2005) "Friction and lubrication", *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications*, 67-81.

- Groenback, J. ve Nielsen, E. B. (1997) "Stripwound containers for combined radial and axial prestressing", *Journal of Materials Processing Technology*, 71(1), 30-35.
- Hansen, B. G. ve Bay, N. (1986) "Two new methods for testing lubricants for cold forging", *Journal of mechanical working technology*, 13(2), 189-204.
- Hivart, P., Bricout, J. P. ve Oudin, J. (1992) "New real-time test for prediction of zinc phosphate/stearate coating breakdown: optimal stearate settling parameters for steel billets in cold forging", *Tribology international*, 25(1), 45-51.
- Hu, C., Yin, Q. ve Zhao, Z. (2017) "A novel method for determining friction in cold forging of complex parts using a steady combined forward and backward extrusion test", *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 57-66.
- Hu, C., Yin, Q., Zhao, Z. ve Ou, H. (2017) "A new measuring method for friction factor by using ring with inner boss compression test", *International Journal of Mechanical Sciences*, 123, 133-140.
- Hu, C.-L., Zhen, Z., Yin, G.-R., Yuan, Z.-F. ve Xu, X.-L. (2009) "Cold extrusion deformation behavior of medium carbon steel after quenching and tempering", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, s552-s557.
- ISO 4288, D. (1996) "Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture".
- Kim, Jeong-Hun, Ko, B.-H., Kim, Jae-Hong, Lee, K.-H., Moon, Y.-H. ve Ko, D.-C. (2020) "Evaluation of friction using double cup and spike forging test for dry-in-place coating and forming oils", *Tribology International*, 150, 106361.
- Kunogi, M. (1956) "A new method of cold extrusion", *J. Sci. Res. Inst.*, 50(1437), 215-246.
- Kuzman, K., Pfeifer, E., Bay, N. ve Hunding, J. (1996) "Control of material flow in a combined backward can-forward rod extrusion", *Journal of materials processing technology*, 60(1-4), 141-147.
- Lange, K. (1992) "Some aspects of the development of cold forging to a high-tech precision technology", *Journal of materials processing technology*, 35(3-4), 245-257.
- Lange, K. ve Pöhlandt, K. (1985) "Handbook of metal forming", (No Title).
- Lazzarotto, L., Marechal, C., Dubar, L., Dubois, A. ve Oudin, J. (1999) "The effects of processing bath parameters on the quality and performance of zinc phosphate stearate coatings", *Surface and Coatings Technology*, 122(2-3), 94-100.
- Lee, C. H. ve Altan, T. (1972) "Influence of flow stress and friction upon metal flow in upset forging of rings and cylinders".
- Male, A. (1964) "A method for the determination of the coefficient of friction of metals under conditions of bulk plastic deformation", *J. Inst. Met.*, 93, 38.

- Male, A. T. ve Depierre, V. (1970) “The validity of mathematical solutions for determining friction from the ring compression test”.
- Mangukia, P. (2005) “Cold and Warm Forging”.
- Ngaile, G. ve Saiki, H. (1999) “Cold forging tribo-test based on variation of deformation patterns at the tool-workplace interface”, *Tribology & Lubrication Technology*, 55(2), 24.
- Ngaile, G., Saiki, H., Ruan, L. ve Marumo, Y. (2007) “A tribo-testing method for high performance cold forging lubricants”, *Wear*, 262(5-6), 684-692.
- Ohmori, T., Kitamura, K., Danno, A. ve Kawamura, M. (1992) “Evaluation of galling prevention properties of cold-forging oils by ball penetration test”, *Wear*, 155(1), 183-192.
- Saffarzade, P., Amadeh, A. A. ve Agahi, N. (2020) “Study of tribological and friction behavior of magnesium phosphate coating and comparison with traditional zinc phosphate coating under dry and lubricated conditions”, *Tribology International*, 144, 106122.
- Sagisaka, Y., Ishibashi, I., Nakamura, T., Sekizawa, M., Sumioka, Y. ve Kawano, M. (2012) “Evaluation of environmentally friendly lubricants for cold forging”, *Journal of Materials Processing Technology*, 212(9), 1869-1874.
- Sagisaka, Y., Nakamura, T., Hayakawa, K. ve Ishibashi, I. (2013) “Evaluation of environmentally friendly lubricant for aluminum cold forging using friction test based on spline extrusion”, *Journal of Manufacturing Processes*, 15(1), 96-101.
- Saiki, H. (1997) “The role of tribology for improvement of tool life in hot forging”, *Proc. of the 1st International Conference on Tribology in Manufacturing Processes*, 22-31.
- Schey, J. (1983) “Tribology in metalworking: lubrication”, *Friction and Wear, American Society for Metals, Metals Park, OH*.
- Schmoeckel, D. ve Rupp, M. (1997) “More environment friendly cold massive forming—production of steel without zinc phosphate layer”, *Proceed. Neuere Entwicklunde der Massivumformung, Stuttgart*, 183-200.
- Shen, G., Vedhanayagam, A., Kropp, E. ve Altan, T. (1992) “A method for evaluating friction using a backward extrusion-type forging”, *Journal of Materials Processing Technology*, 33(1-2), 109-123.
- Stahlmann, J., Nicodemus, E. R., Sharma, S. C. ve Groche, P. (2012) “Surface roughness evolution in FEA simulations of bulk metal forming process”, *Wear*, 288, 78-87.
- TC, I. ve others (2009) “Metallic Materials–Tensile Testing–Part 1: Method of Test at Room Temperature”.

Wagener, H. W. ve Wolf, J. (1994) "Coefficient of friction in cold extrusion", *Journal of materials processing technology*, 44(3-4), 283-291.

Xie, D., Liu, H., Deng, X., Leng, Y. ve Huang, N. (2009) "Deposition of aC: H films on UHMWPE substrate and its wear-resistance", *Applied surface science*, 256(1), 284-288.



EKLER

EK- 1 Echoil EM 64 Teknik Bilgi Sayfası



ECHOIL EM 64

Alkali Yağ Alma

Emaye sanayinde sıcak yağ alma banyolarında daldırma sistemlerinde kullanılan, alkalitesi yüksek ve yağ alma efekti fevkalade iyi olan toz bir temizlik ürünüdür. Genellikle sac ve demir yüzeylerin üzerindeki doğal veya mineral yağların veya pigmentlerin yüzeyden uzaklaştırılmasında, ayrıca asit banyoları öncesinde de kullanılır.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 50 kg **ECHOIL EM 64**, 40 – 50 °C sıcaklıkta eritilerek eklenir. Metal parçalar uygun konsantrasyon ve sıcaklıkta hazırlanan banyolarda, daldırma yöntemi ile temizlenir.

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 5
Sıcaklık	: 70 – 90 °C
İşlem Süresi	: 5 – 10 dakika
Toplam Alkalite	: 7.00 – 10.00 ml

BANYO KONTROLÜ

Banyo Toplam Alkalite Tayini'yle kontrol edilir.

Toplam Alkalite Tayini

5 ml banyo numunesi bir erlene alınır, 50 ml deiyonize su ilave edilir. 3 – 5 damla fenolftalein indikatörü eklendikten sonra 0.5 N HCl ile renk pembeden şeffaf olana kadar titre edilir. Titrasyon sonucu harcanan HCl çözeltisinin miktarı (ml) toplam alkalite noktasını verir.

Eksik olan her toplam alkalite noktasına karşılık;

1000 litrelik banyo için, 5.00 kg ECHOIL EM 64 ilave edilir.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temas halinde bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Asidik bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com



RUSTECH 18

Pas ve Tufal Alma

Demir ve çelik yüzeylerden pas ve tufal sökme kimyasalıdır. Daldırma yöntemiyle uygulanan **RUSTECH 18**, içinde bulunan inhibitörler yardımıyla metali aşındırmadan pas ve tufalı söker.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için; banyo yarı yarıya su ile doldurulur ve dikkatlice karıştırılarak 250-450 kg **RUSTECH 18** ilave edilir. Daha sonra banyo su ile tamamlanır.

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 10 – 40
Sıcaklık	: 20 – 75 °C
İşlem Süresi	: 10 – 60 dakika
Toplam Asit	: 20.00 – 60.00 ml
Serbest Asit	: 12.00 – 40.00 ml
Demir II	: max.30 g/l

BANYO KONTROLÜ

Banyo Serbest Asit ve Demir II Tayini'yle kontrol edilir.

Serbest Asit Tayini

1 ml banyo numunesi 50 ml saf su ile seyreltilir. Bromkresolgrün indikatörü eşliğinde 0.1 N NaOH ile titre edilir. Okunan sarfiyat serbest asit noktasını verir.

Demir II Tayini

5 ml banyo numunesi üzerine 10 ml %25'lik H₂SO₄ ilave edilir. 15 saniye pembe renk sabit kalana kadar 0.1N KMNO₄ ile titre edilir. Sarfedilen 0.1N KMNO₄ miktarı (ml) 1.12 ile çarpıldığında demir II değeri g/l olarak elde edilir.

Banyonun İlavesi

Her eksik serbest asit değerine karşılık

1000 litrelik banyo için;	14 kg RUSTECH 18 ilave edilir.
---------------------------	---------------------------------------

NOT

Banyo materyali hidroklorik asite dayanıklı yada kauçuk kaplı malzemeden yapılmalıdır.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temas halinde bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Alkali bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com

EK- 3 Activech Z15 Teknik Bilgi Sayfası



ACTIVECH Z 15

Aktivasyon

Metal sanayinde daldırma çinko fosfat banyolarında kullanılan, fosfat taneciklerinin ince ve homojen olmasını sağlayan toz bir kimyasaldır. **ACTIVECH Z 15** banyonun içerisinde tamamen çözünmez ve süspansiyon oluşturur. Oluşan bu çözelti durağan halde kalırsa çökme meydana gelecektir. Bu nedenle banyo sürekli hava ile karıştırılarak homojen bir dağılım sağlanmalıdır.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 1-3 kg **ACTIVECH Z 15** gereklidir. Banyo, geçen yüzey miktarı ile orantılı olarak yenilenmelidir. Banyo pH'ı 10'u geçerse yeniden kurulmalı yada ekleme yapılmalıdır..

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 0,1 - 0,3
Sıcaklık	: 20 – 40 °C
İşlem Süresi	: 0,5 – 1 dakika
pH	: 8 - 10

BANYO KONTROLÜ

Banyo kontrolleri banyonun pH'ı dikkate alınarak yapılır. pH 10'u geçerse banyo yenilenir veya ekleme yapılarak 8-10 aralığında çekilir.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temasında bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Asidik bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama, +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com



ECHOZINC 26

Daldırma Çinko Fosfat

Daldırma banyolarda kullanılan, demir yüzeylerde korozyon direncini ve boya tutunma kabiliyetini arttıran, ince kristalli çinko fosfat tabakası oluşturan sıvı bir üründür. Kristal yapısı ince olduğundan aktivasyon gerektirmez.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 50 – 70 kg **ECHOZINC 26** gereklidir.

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 5 – 7
Sıcaklık	: 60 – 70 °C
İşlem Süresi	: 5 – 8 dakika
Toplam Asit	: 25.00 – 30.00 ml
Serbest Asit	: 1.50 – 3.20 ml

BANYO KONTROLÜ

Banyo Toplam Asit Tayini'yle kontrol edilir.

Toplam Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır. 50 ml saf su ilave edilir. 3 – 5 damla fenolftaleim indikatörü ilave edilir. 0,1 N NaOH ile renk açık pembeye dönünceye kadar titre edilir. Okunan sarfiyat toplam asit değeridir.

Serbest Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır, 50 ml saf su ilave edilir. 3 – 5 damla bromkresolgrün indikatörü ilave edilir. 0,1 N NaOH ile renk sarıdan şeffaf yeşile dönünceye kadar titre edilir. Bulunan sarfiyat serbest asit değerini verir.

Banyonun İlavesi

Her eksik toplam asit noktasına karşılık,

1000 litrelik banyo için 2 kg **ECHOZINC 26** ilave edilir.

Serbest asit noktası 0.1 ml düşürmek için,

1000 lt'lik banyo için 0.4 kg **ECHPHOS I 250** ilave edilir.

ECHPHOS I 250 konsantre ve hızlı bir şekilde ilave edildiğinde çökmeye neden olacağından “yavaş yavaş” banyoya su ile 1/10 oranında karıştırılarak ilave edilir.

NOT : Banyoda kullanılan ısıtma sisteminin paslanmaz malzemeden yapılması gereklidir. Ayrıca aside ve ısıya dayanıklı olmalıdır. Banyonun alt kısmının eğimli veya konik olması çamurun birikmesi ve rahat alınması için idealdir.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temas halinde bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Depolama +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com

EK- 5 Echozinc10A/10E Teknik Bilgi Sayfası



ECHOZINC 10 A / 10 E

Kalın Çinko Fosfat ve İlavesi

Demir ve çelik yüzeylerde kalın kristalli çinko fosfat tabakası oluşturan kimyasaldır. Oluşan fosfat tabakasının koruyucu yağ ve vaksları emme gücü yüksek olduğundan çok iyi bir korozyon direnci sağlar. Kristalli fosfat tabakası, şartların durumuna göre boyama için de kullanılabilir. Fosfat tabakasının ağırlığı; yapılan yüzey temizlik işlemine ve fosfatlama süresine bağlı olarak 15 – 40 g/m² arasında değişebilir.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 210 kg **ECHOZINC 10 A** ilave edilir. Yeni hazırlanmış banyoya 1 kg çelik talaşı ilave edilir veya paslı bir metal koyulur ve 70 °C'de 30 dakika bekletilir. Amaç banyodaki demir miktarını bir miktar arttırmaktır. Daha sonra çelik talaşı veya paslı metal uzaklaştırılır ve banyo çalışma sıcaklığına getirilir.

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Sıcaklık	: 70-80 °C
İşlem Süresi	: 5 – 17 dakika
Serbest Asit	: 15.00 – 17.00 ml
Toplam Asit	: 78.00 – 82.00 ml
Demir (II)	: max.7 g/l

BANYO KONTROLÜ

Banyo Serbest Asit ve Toplam Asit Tayini'yle kontrol edilir.

Toplam Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır. 50 ml saf su ilave edilir. 3 – 5 damla fenolftalein indikatörü ilave edilir.0,1 N NaOH ile renk açık pembeye dönünceye kadar titre edilir.

Okunan sarfiyat toplam asit değeridir.

Serbest Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır, 50 ml saf su ilave edilir. 3 – 5 damla bromkresolgrün indikatörü ilave edilir.0,1 N NaOH ile renk sarıdan şeffaf yeşile dönünceye kadar titre edilir. Bulunan sarfiyat serbest asit değerini verir.

Demir Tayini

2 ml banyo çözeltisi alınır üzerine 50ml saf su eklenir. 10 ml %50 lik sülfirik asit ilave edilir. 0.1 N potasyum permanganat ile titrasyon yapılır. Oluşan kırmızı renk 20 saniye sabit kalana kadar titrasyona devam edilir. Harcanan sarfiyat 2,8 ile çarpılır. Bu değer demir noktasını verir. Demir miktarı 7g/L'den fazlaysa banyo yenilenir.

Banyonun İlavesi

Banyoya ilave olarak **ECHOZINC 10 E** kullanılır.

1000 litrelik banyo için 2 kg **ECHOZINC 10 E** ilave edilirse;

Serbest Asit Noktası: 0.21 ml artacaktır.
Toplam Asit Noktası: 1.00 ml artacaktır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com



GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temas halinde bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Herhangi bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com



ECHLUBE 11

Reaktif Sabun

ECHLUBE 11 fosfatlanmış çelik parçaların soğuk çekme işlemini kolaylaştırmak için kullanılan, suda tamamen çözünen bir üründür. Fosfat tabakasıyla etkileşime girerek soğuk çekme işlemleri için uygun bir yüzey oluşturur.

KULLANIM METODU

ECHLUBE 11 çalışma parametreleri ;

Banyo Konsantrasyonu	: %3 – 7
Sıcaklık	: 70 – 80 °C
Uygulama Süresi	: 2 – 5 dakika
pH (banyo çözeltisi)	: 8 - 10 (min. 7,50)
Kurutma	: 120 °C de kurutma önerilir.

BANYO KONTROLÜ

1. pH tayini ;

- pH değeri 8-10 arasında olmalıdır.

2. ECHLUBE 11 tayini ;

- 50 ml banyo numunesi 250 ml'lik Babcock test camına alınır.
- Üzerine 100 ml % 50'lik sülfürik asit eklenir.
- Birkaç parça kaynama tası atılarak 30 dakika su banyosunda yağ tabakası yüzeyde toplanana kadar kaynatılır.
- Olusan yağ tabakası test camı hizasından itibaren okunacak şekilde sıcak su ilave edilir.
- Okunan değer 2.5 ile çarpılarak banyo konsantrasyonu bulunur.

BANYO İLAVESİ

1000 litrelik banyo için;

Her **2,5 kg.** ECHLUBE 11 eklentisine karşılık ECHLUBE 11 tayin değeri **0,1 br.** artacaktır.



ACTIVECH M 35

Aktivasyon

Metal sanayinde mangan fosfat banyolarında kullanılan, fosfat taneciklerinin ince ve homojen olmasını sağlayan toz bir kimyasaldır. **ACTIVECH M 35** banyonun içerisinde tamamen çözünmez ve süspansiyon oluşturur. Oluşan bu çözelti durağan halde kalırsa çökme meydana gelecektir. Bu nedenle banyo sürekli hava ile karıştırılarak homojen bir dağılım sağlanmalıdır.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 1-3 kg **ACTIVECH M 35** gereklidir. Banyo, geçen yüzey miktarı ile orantılı olarak yenilenmelidir. Banyo pH'ı 10'u geçerse yeniden kurulmalı yada ekleme yapılmalıdır..

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 0,1 - 0,3
Sıcaklık	: 20 – 40 ° C
İşlem Süresi	: 0,5 – 1 dakika
pH	: 8 - 10

BANYO KONTROLÜ

Banyo kontrolleri banyonun pH'ı dikkate alınarak yapılır. pH 10'u geçerse banyo yenilenir veya ekleme yapılarak 8-10 aralığında çekilir.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temasında bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Asidik bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama, +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EK- 8 Echpos MN 28 Daldırma Mangan Fosfat Teknik Bilgi Sayfası



ECHPHOS MN 28

Daldırma Mangan Fosfat

Demir ve çelik malzemelerin yüzeylerinde daldırma yöntemi ile mangan fosfat tabakası oluşturan bir üründür. Fosfat kaplama işlemi yapıldıktan sonra koruyucu yağ ile korozyon direnci sağlanmalıdır. Metal üzerinde koyu gri siyah renkte kaplama oluşacaktır.

KULLANIM METODU

1000 litrelik banyo için 200-210 kg ECHPHOS MN 28 gereklidir.

ÇALIŞMA ŞARTLARI

Kullanım Konsantrasyonu	: % 20
Sıcaklık	: 75 – 85 °C
İşlem Süresi	: 5 – 10 dakika
Toplam Asit	: 85.00 – 95.00 ml
Serbest Asit	: 14.00 – 18.00 ml
Demir Miktarı(max)	: 6,5
Asit oranı	: 5 – 6

BANYO KONTROLÜ

Banyo Serbest Asit ve Toplam Asit Tayini'yle kontrol edilir.

Toplam Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır. 50 ml saf su ilave edilir. 3-5 damla fenolftalein indikatörü ilave edilir. 0,1 N NaOH ile renk açık pembeye dönünceye kadar titre edilir. Okunan sarfiyat toplam asit değeridir.

Serbest Asit Tayini

10 ml banyo çözeltisi bir erlene alınır, 50 ml saf su ilave edilir. 3 – 5 damla bromkresolgrün indikatörü ilave edilir. 0,1 N NaOH ile renk sarıdan şeffaf yeşile dönünceye kadar titre edilir. Bulunan sarfiyat serbest asit değerini verir.

Demir Tayini

2 ml banyo çözeltisi alınır üzerine 50ml saf su eklenir. 10 ml %50 lik sülfirik asit ilave edilir. 0,1 N potasyum permanganat ile titrasyon yapılır. Oluşan kırmızı renk 20 saniye sabit kalana kadar titrasyona devam edilir. Harcanan sarfiyat 2,8 ile çarpılır. Bu değer demir noktasını verir. Demir miktarı 6,5 den fazlaysa banyo yenilenir.

Banyonun İlavesi

Her eksik toplam asit noktasına karşılık

1000 litrelik banyo için; 2.25 kg ECHPHOS MN 28 ilave edilir.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com



1000 lt'lik banyo için 0.5 kg **ECHPHOS MN TNR** ilave edildiğinde serbest asit değeri 1.00 ml düşecektir.

NOT

Banyoda kullanılan ısıtma sisteminin paslanmaz malzemeden yapılması gereklidir. Ayrıca aside ve ısıya dayanıklı olmalıdır. Banyonun alt kısmının eğimli veya konik olması çamurun birikmesi ve rahat alınması için idealdir.

GÜVENLİK ÖNLEMLERİ VE DEPOLAMA

- Cilt ve gözle temas halinde bol su ile yıkayınız. Doktora başvurunuz.
- Alkali bir madde ile karıştırmayınız.
- Depolama +4 / +30 derecede nemsiz ortamda en fazla 1 yıl olmalıdır.

EKSEN KİMYA SAN. ve TİC.LTD.ŞTİ
Dudullu Org.San.Bölgesi Mah. 3.Cad. Göznuru sokak No: 24 / 5 Ümraniye-İst.
Tel : (0216) 314 22 34 Pbx. Fax : (0216) 314 22 99
www.eksenkimya.com

EK- 9 Beruform KFP 10 Teknik Bilgi Sayfası

Technical Product Information

Revision: 2022_10_24, 12:49

Page 1/2



Beruform KFP 10

Part-No. 9811302

Non water miscible cold forming oil



Product description

Beruform KFP 10 is a non-water miscible cold extrusion oil for high requirements, such as very long reductions of high-alloyed steels or application by flood lubrication. The formulation contains no additives containing chlorine or heavy metals.

Industries

- Metalworking

Examples of application

- Cold extrusion
- Piercing
- Punching
- Fine blanking
- Deep drawing
- Very deep cupping operations

Properties

- Good corrosion protection
- Long lifetime in the coolant tank
- Chlorine and heavy metal free*
- Not suitable for processing of non-ferrous metals

* Chlorine and heavy metal additives are not part of the product formulation

Materials to be processed

- Stainless steel
- Steel

Characteristic data

Type	Unit	Value	Standard
Color/Appearance		dark brown, clear fluid	
Kinematic viscosity at 20 °C	mm ² /s	150	ASTM D 7042
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	58	ASTM D 7042
Density at 20 °C	g/cm ³	0,97	ASTM D 7042
Flash point	°C	200	DIN EN ISO 2592

Instructions for use

- Application by immersion or spray devices
- Easy cleaning of the formed workpieces with aqueous alkaline or solvent-based cleaners of Beruclean series

contact form on our website www.bechem.de/kontakt or by e-mail to bechem@bechem.de.

Please read the safety data sheet prior to use to learn about precautions and safety instructions. Always comply with the applicable safety provisions and the intended use. You can request a copy of the current safety data sheet using the

CARL BECHEM GMBH · Weststr. 120 · 58089 Hagen · Germany

Phone +49 2331 935-0 · Fax +49 2331 935-1199 · bechem@bechem.de · www.bechem.com

Beruform KFP 10

Part-No. 9811302
Non water miscible cold forming oil

Important notes

The information and technical data contained in this data sheet concerning the fields of application and processing for the product listed above are based on our knowledge and experience at the time of printing. Unless otherwise stated, this information is provided solely for reference and does not constitute a specification or warranty of quality in a particular instance. Many factors such as the relevant fields of application and the operating and working conditions are beyond the control of BECHEM. **For this reason, we cannot guarantee the suitability of our products for a specific purpose or application on the part of the customer. The delivery of our products and our liability are subject exclusively to our general sales and delivery conditions. These are available online at www.bechem.de/agb.html.**

Information regarding material compatibility is based on extensive laboratory testing and literature references. In order to ensure that the product is used correctly for individual orders and particularly for serial production, we recommend that the supplier carries out its own trials and application tests in advance and confirms the compatibility of the product or carries out thorough laboratory tests.

Please refer to the current safety data sheet for information regarding: Hazardous material labeling, safety provisions, and

regulations on storage and transport, and take any necessary precautions to protect property and persons.

Because BECHEM products are subject to continuous development, CARL BECHEM GMBH and its associated companies reserve the right to make changes to the technical data in this data sheet at any time.

Visible variations in the product color of each batch as well as changes in the color of delivered products are technically possible and even probable for some products (for instance, due to the influence of temperature on raw materials). These processes are normal and confirmed by BECHEM raw material suppliers. They have no impact on the serviceability, service life, and quality of the products.

BECHEM and BECHEM Rhusblüte are registered trademarks of CARL BECHEM GMBH. Logos, pictograms, and illustrations depicted in this data sheet are subject to copyright protection and may not be reproduced, modified, or disseminated without the express permission of BECHEM.

For further information and more detailed product data, please contact us at: info@bechem.com or bechem@bechem.de.



Extended tool life



Deep drawing



Cold forming



Chlorine free



Corrosion protection



Punching



Fine blanking

EK- 10 Beruform KFP 95 Teknik Bilgi Sayfası

Technical Product Information

Revision: 2021_04_13, 09:03

Page 1/2



Beruform KFP 95 HPN

Part-No. 9762772

Non water miscible forming oil



Product description

Beruform KFP 95 HPN is a non water miscible forming oil for the most demanding, multi-stage forming processes. The formulation contains no chlorine or heavy metal additives.

Examples of application

- Cold extrusion
- Drawing of wires and tubes

Properties

- Good corrosion protection
 - Long tool life
 - Long lifetime in the coolant tank
 - Chlorine and heavy metal free*
 - Not suitable for processing of non-ferrous metals
- * Chlorine and heavy metal additives are not part of the product formulation

Materials to be processed

- Stainless steel
- Steel

Characteristic data

Type	Unit	Value	Standard
Color/Appearance		brown-black fluid	
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	120	ASTM D 7042
Density at 20 °C	g/cm ³	0,98	ASTM D 7042
Flash point	°C	180	DIN EN ISO 2592

Instructions for use

- Product is applied manually by drip oiler, rollers or suitable pneumatic lubricating equipment
- The formed pieces can be easily cleaned with conventional solvents or in aqueous alkaline degreasing baths

request a copy of the current safety data sheet using the contact form on our website www.bechem.de/kontakt or by e-mail to bechem@bechem.de.

Please read the safety data sheet prior to use to learn about precautions and safety instructions. Always comply with the applicable safety provisions and the intended use. You can

CARL BECHEM GMBH · Weststr. 120 · 58089 Hagen · Germany
Phone +49 2331 935-0 · Fax +49 2331 935-1199 · bechem@bechem.de · www.bechem.com

Technical Product Information

Revision: 2021_04_13, 09:03

Page 2/2



Beruform KFP 95 HPN

Part-No. 9762772

Non water miscible forming oil

Important notes

The information and technical data contained in this data sheet concerning the fields of application and processing for the product listed above are based on our knowledge and experience at the time of printing. Unless otherwise stated, this information is provided solely for reference and does not constitute a specification or warranty of quality in a particular instance. Many factors such as the relevant fields of application and the operating and working conditions are beyond the control of BECHEM. **For this reason, we cannot guarantee the suitability of our products for a specific purpose or application on the part of the customer. The delivery of our products and our liability are subject exclusively to our general sales and delivery conditions. These are available online at www.bechem.de/agb.html.**

Information regarding material compatibility is based on extensive laboratory testing and literature references. In order to ensure that the product is used correctly for individual orders and particularly for serial production, we recommend that the supplier carries out its own trials and application tests in advance and confirms the compatibility of the product or carries out thorough laboratory tests.

Please refer to the current safety data sheet for information regarding: Hazardous material labeling, safety provisions, and

regulations on storage and transport, and take any necessary precautions to protect property and persons.

Because BECHEM products are subject to continuous development, CARL BECHEM GMBH and its associated companies reserve the right to make changes to the technical data in this data sheet at any time.

Visible variations in the product color of each batch as well as changes in the color of delivered products are technically possible and even probable for some products (for instance, due to the influence of temperature on raw materials). These processes are normal and confirmed by BECHEM raw material suppliers. They have no impact on the serviceability, service life, and quality of the products.

BECHEM and BECHEM Rhusblüte are registered trademarks of CARL BECHEM GMBH. Logos, pictograms, and illustrations depicted in this data sheet are subject to copyright protection and may not be reproduced, modified, or disseminated without the express permission of BECHEM.

For further information and more detailed product data, please contact us at: info@bechem.com or bechem@bechem.de.



Extended tool life



Cold forming



Tube drawing



Wire drawing



Chlorine free



Corrosion protection

CARL BECHEM GMBH · Weststr. 120 · 58089 Hagen · GermanyPhone +49 2331 935-0 · Fax +49 2331 935-1199 · bechem@bechem.de · www.bechem.com

EK- 11 Beruform KFP 96 Teknik Bilgi Sayfası

Technical Product Information

Revision: 2022_04_06, 08:13

Page 1/2



Beruform KFP 96

Part-No. 9660202

Cold forming oil



Product description

Beruform KFP 96 is a non-water-miscible cold extrusion oil for the most demanding, multi-stage forming processes. The formulation contains no additives containing chlorine or heavy metals.

Industries

- Metalworking

Examples of application

- Cold extrusion
- Piercing
- Punching
- Fine blanking
- Deep drawing

Properties

- Good corrosion protection
 - Long tool life
 - Long lifetime in the coolant tank
 - Chlorine and heavy metal free*
 - Not suitable for processing of non-ferrous metals
- * Chlorine and heavy metal additives are not part of the product formulation

Materials to be processed

- Stainless steel
- Steel

Characteristic data

Type	Unit	Value	Standard
Color/Appearance		brown-black fluid	
Kinematic viscosity at 20 °C	mm ² /s	250	ASTM D 7042
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	91	ASTM D 7042
Density at 20 °C	g/cm ³	0,99	ASTM D 7042
Flash point	°C	185	DIN EN ISO 2592

Instructions for use

- Miscible with mineral oils at any ratio
- Easy cleaning of the formed workpieces with aqueous alkaline or solvent-based cleaners of the Beruclean series

contact form on our website www.bechem.de/kontakt or by e-mail to bechem@bechem.de.

Please read the safety data sheet prior to use to learn about precautions and safety instructions. Always comply with the applicable safety provisions and the intended use. You can request a copy of the current safety data sheet using the

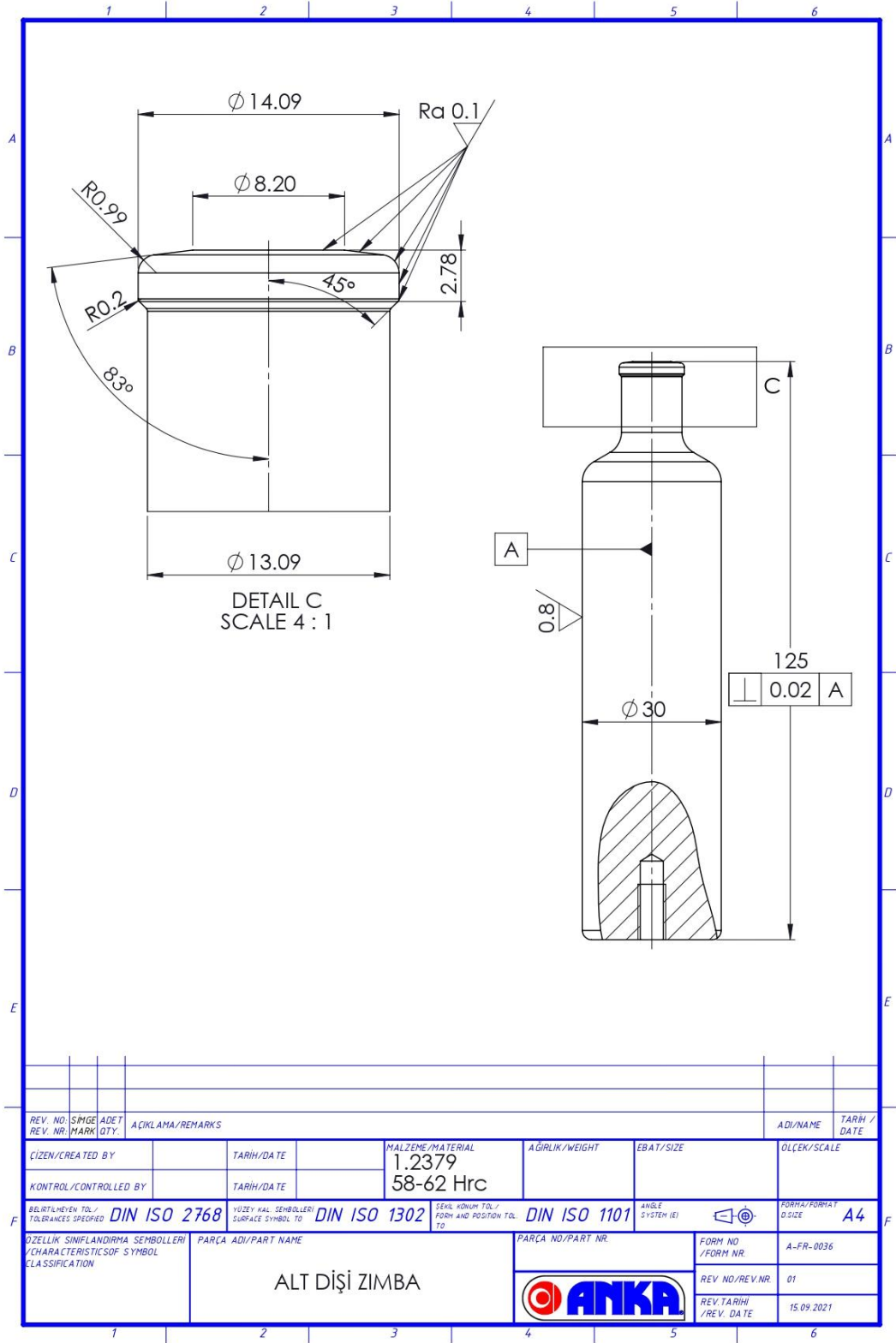
CARL BECHEM GMBH · Weststr. 120 · 58089 Hagen · Germany

Phone +49 2331 935-0 · Fax +49 2331 935-1199 · bechem@bechem.de · www.bechem.com

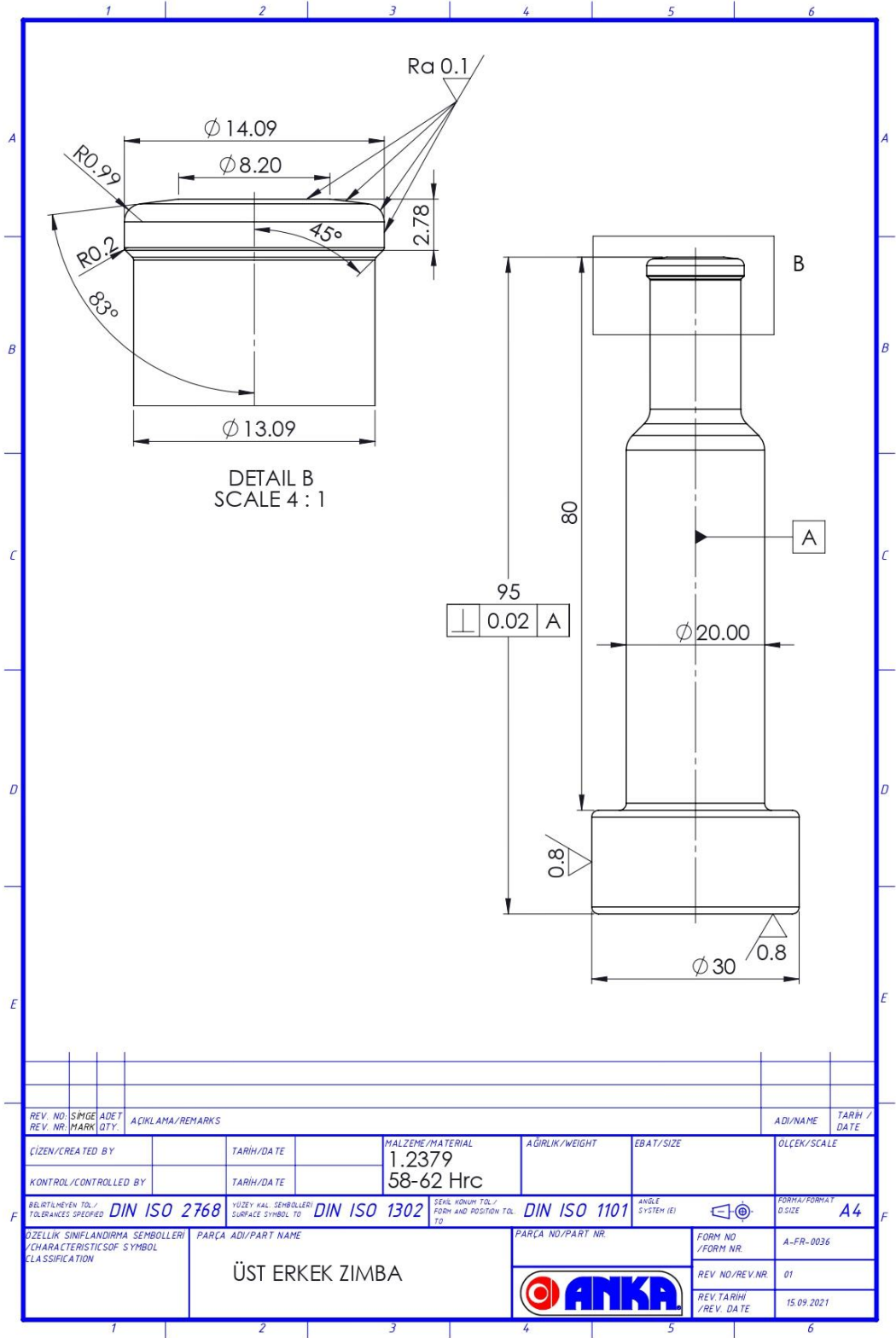
EK- 12 SAE J444' E Göre Çelik Granül Kum Büyüklükleri

mesh	mm	Specification of Steel Shot mm										
		SS-2.5	SS-2.0	SS-1.7	SS-1.4	SS-1.2	SS-1.0	SS-0.8	SS-0.6	SS-0.5	SS-0.3	SS-0.2
7	2.80	all pass										
8	2.36		all pass									
10	2.00	85%min		all pass	all pass							
12	1.70	97%min	85%min		5%max	all pass						
14	1.40		97%min	85%min		5%max	all pass					
16	1.18			97%min	85%min		5%max	all pass				
18	1.00				96%min	85%min	5%max	all pass				
20	0.850					96%min	85%min		10%max	all pass		
25	0.710						96%min	85%min		10%max		
30	0.600							96%min	85%min		all pass	
35	0.500								97%min	85%min	10%max	
40	0.425									97%min		all pass
45	0.355										80%min	10%max
50	0.300										90%min	
80	0.180											80%min
120	0.125											90%min
200	0.075											
325	0.045											
SAE		S-780	S-660	S-550	S-460	S-390	S-330	S-280	S-230	S-170	S-110	S-70

EK- 13 Alt Dişı Zimba Teknik Resmi

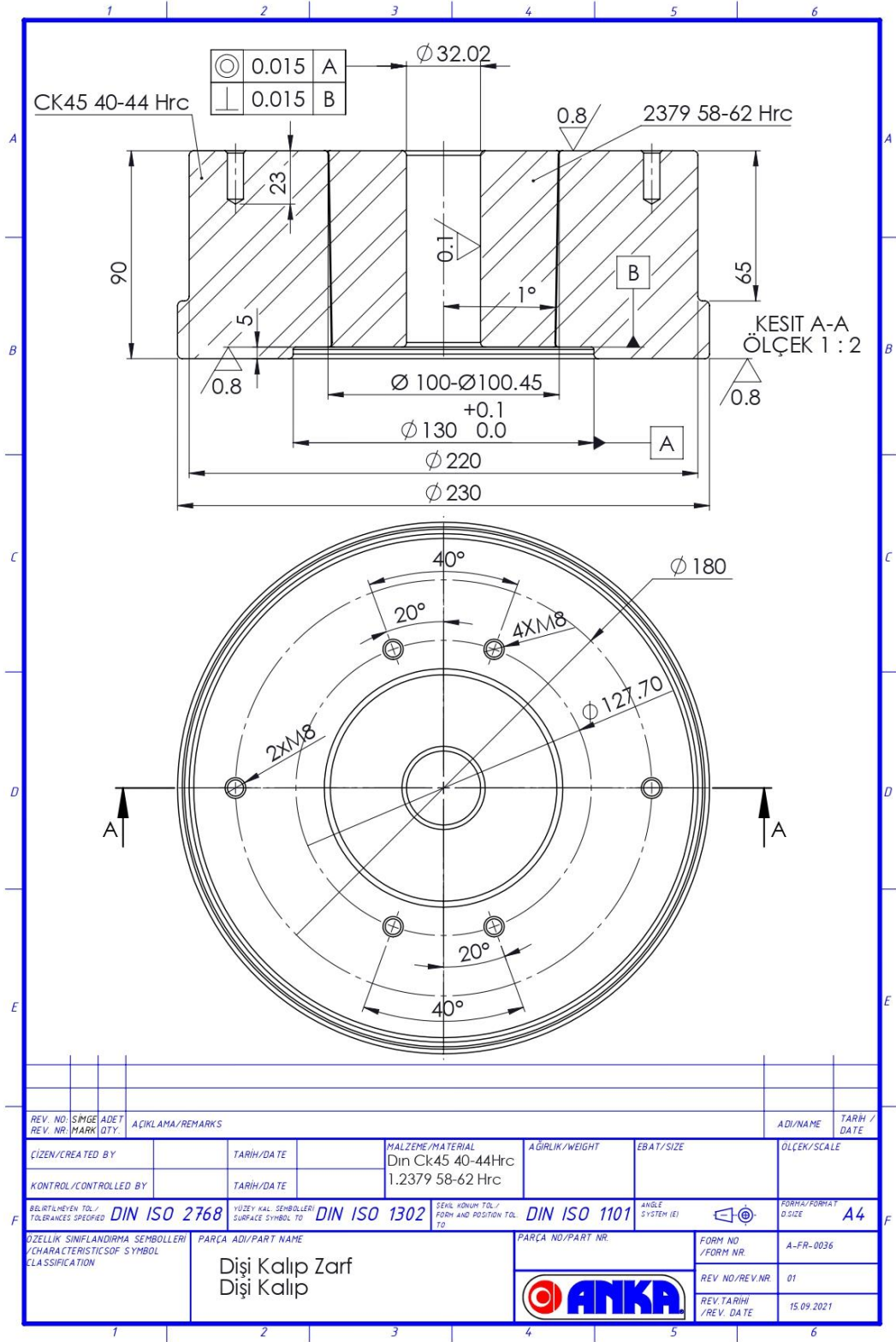


EK- 14 Üst Erkek Zımba Teknik Resmi

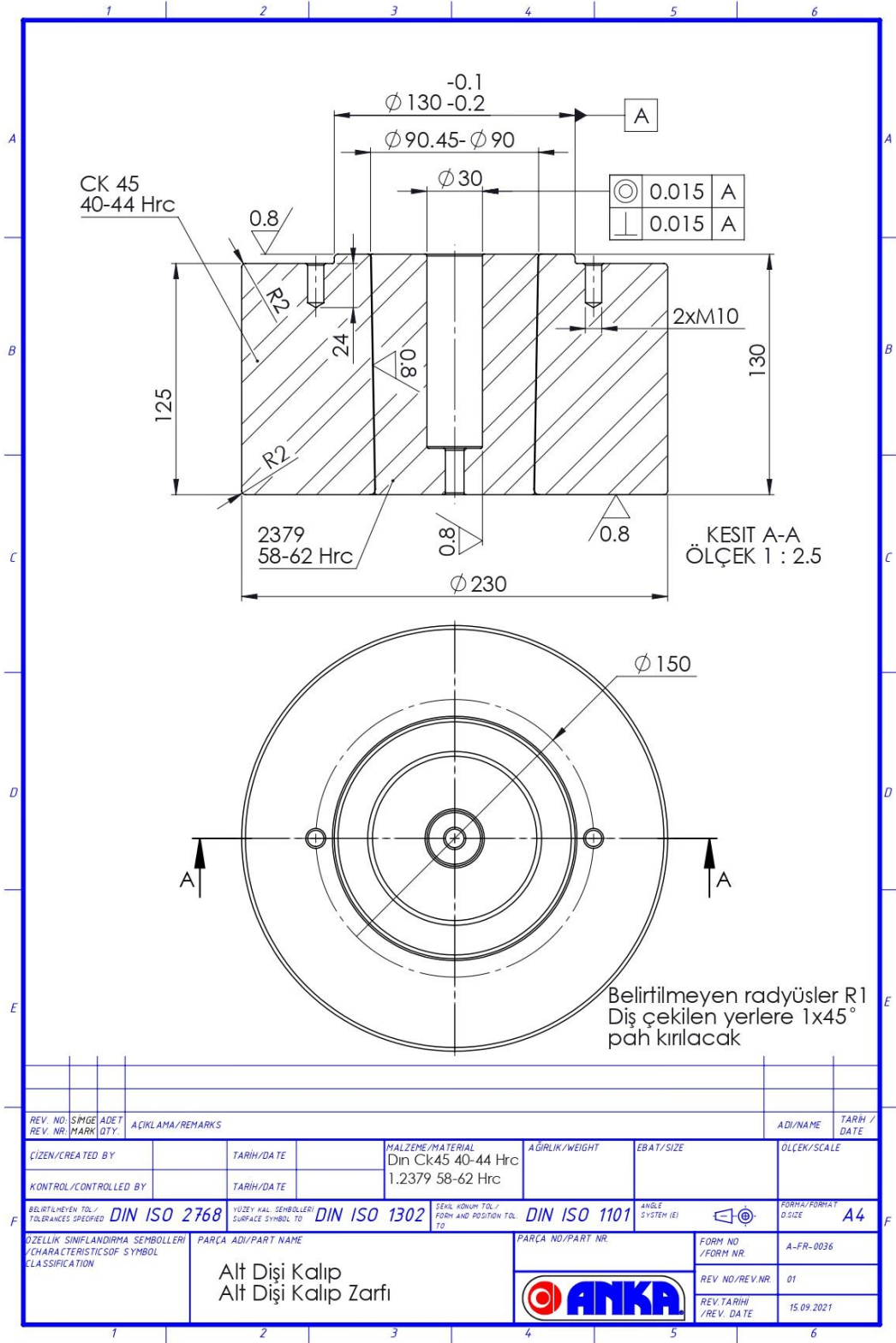


[illegible]

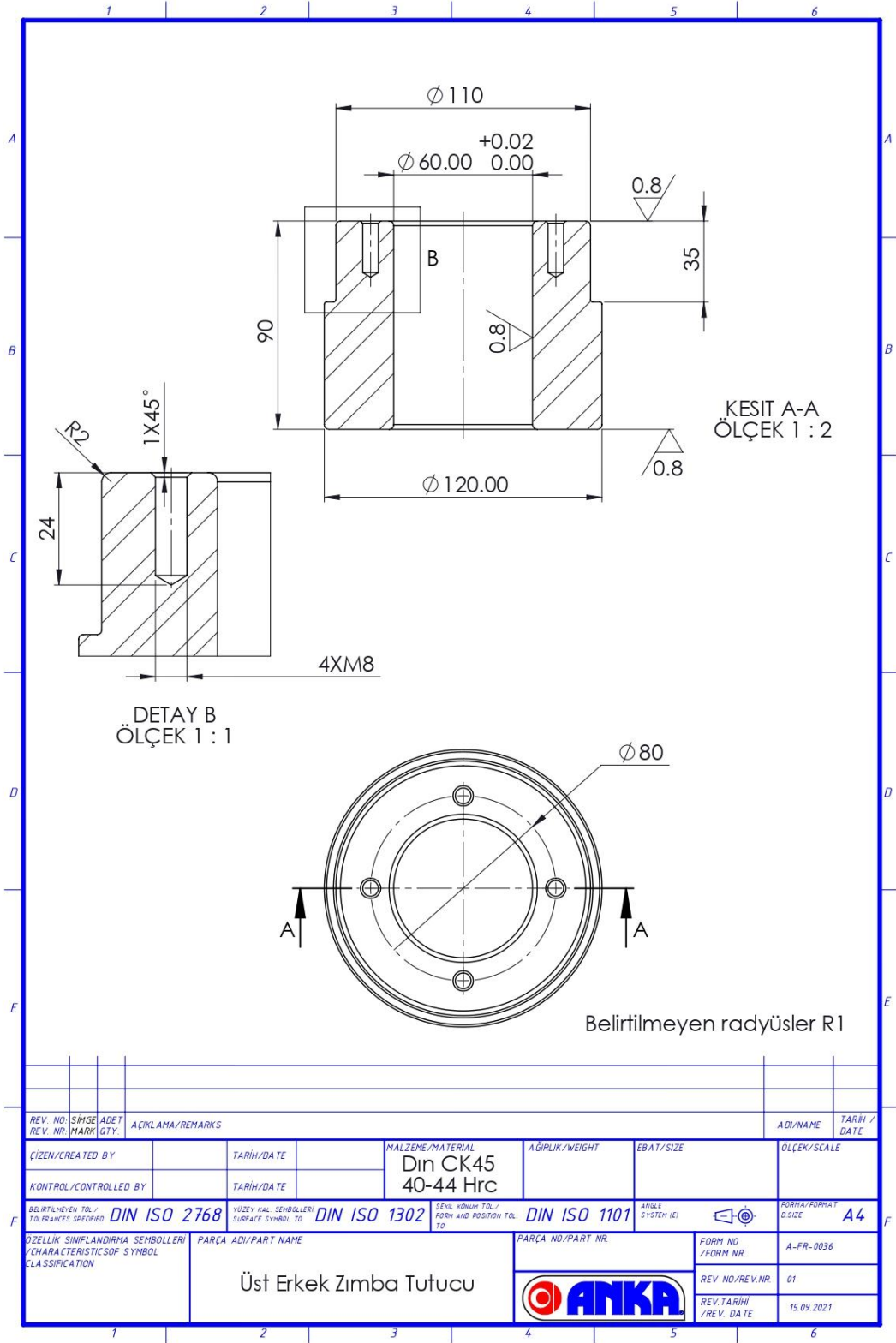
EK- 16 Dişi Kalıp Zarf-Dişi Kalıp Teknik Resmi



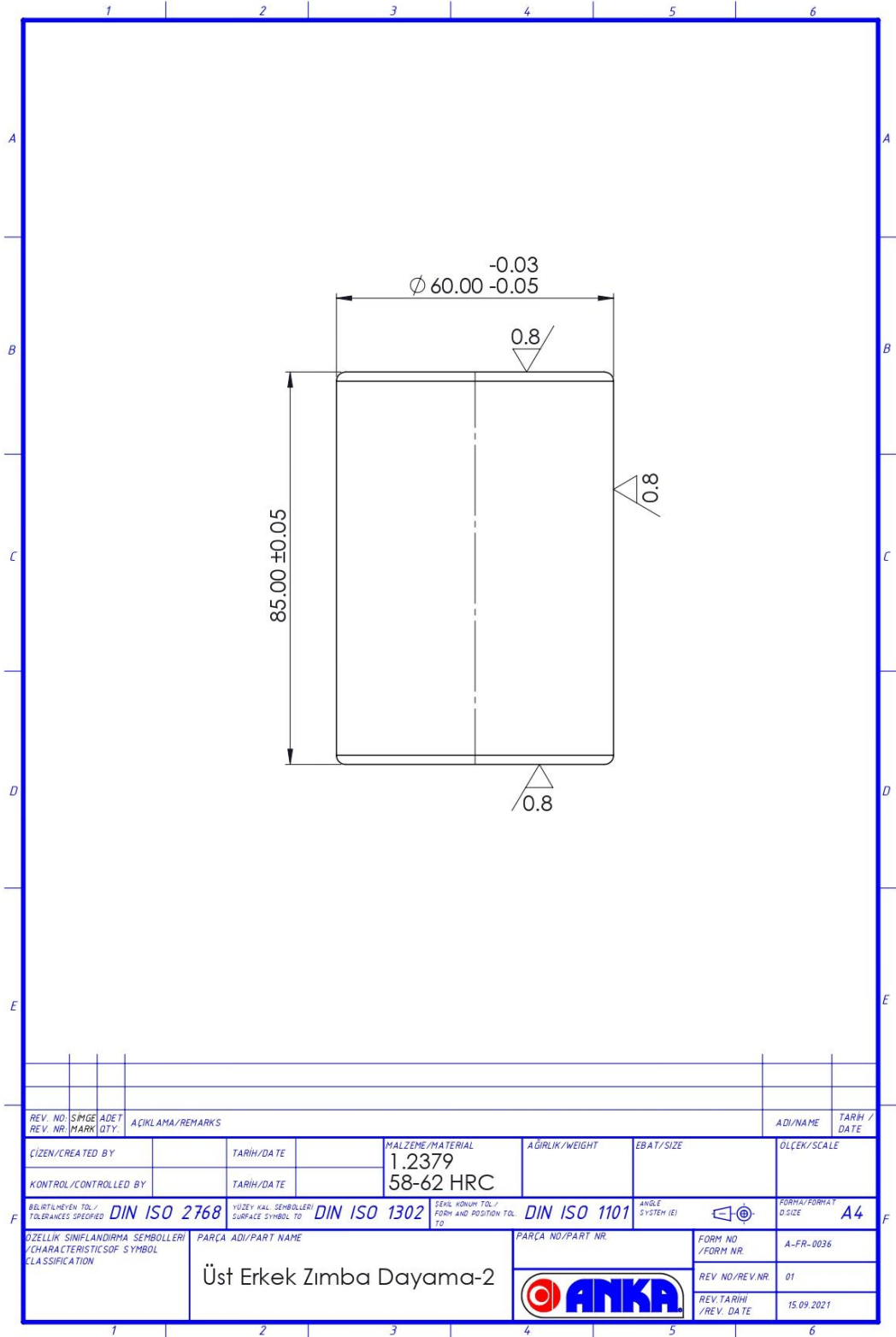
EK- 17 Alt Dişi Kalıp Zarfı-Alt Dişi Kalıp Teknik Resmi



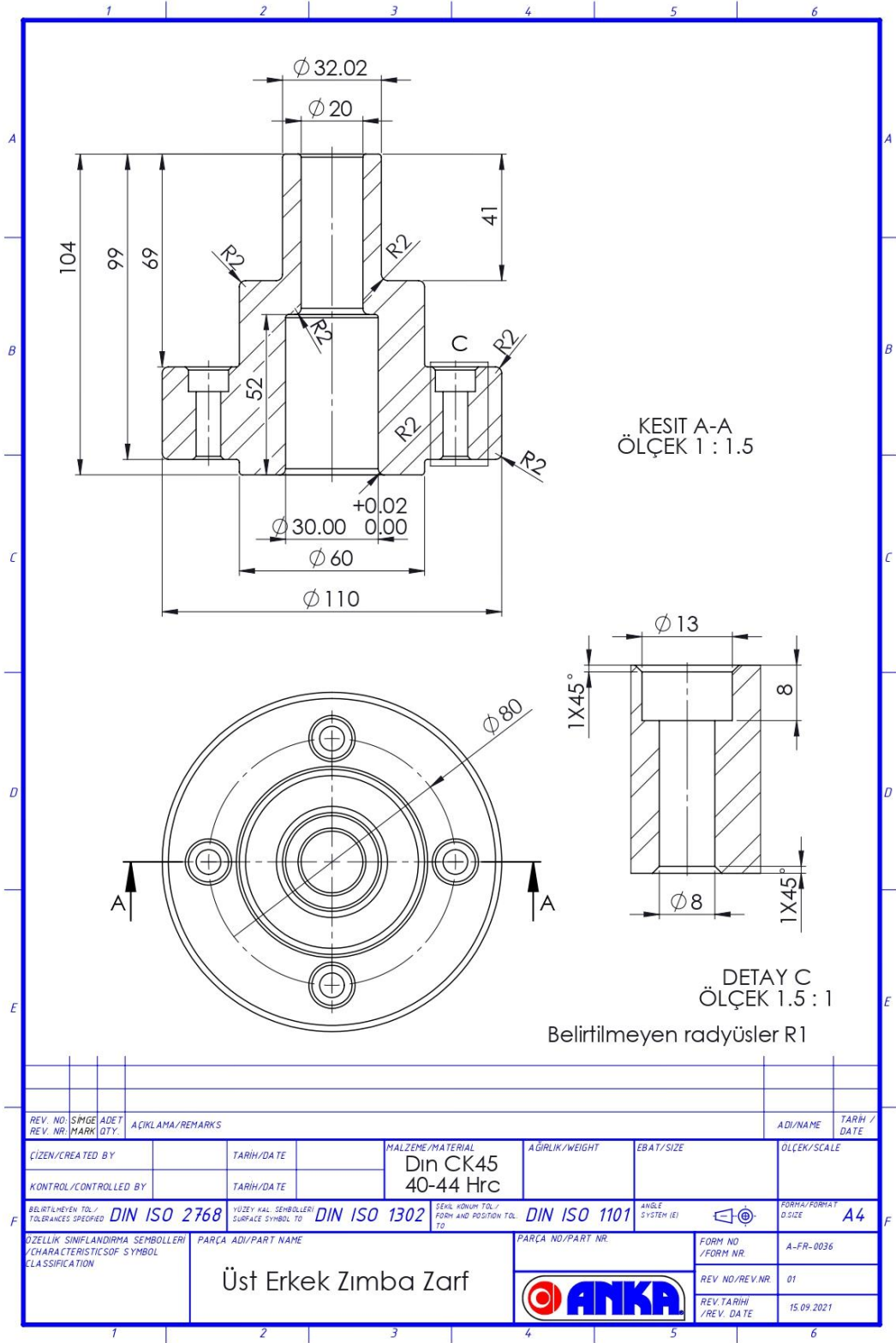
EK- 18 Üst Erkek Zimba Tutucu Teknik Resmi



EK- 19 Üst Erkek Zimba Dayama-2 Teknik Resmi



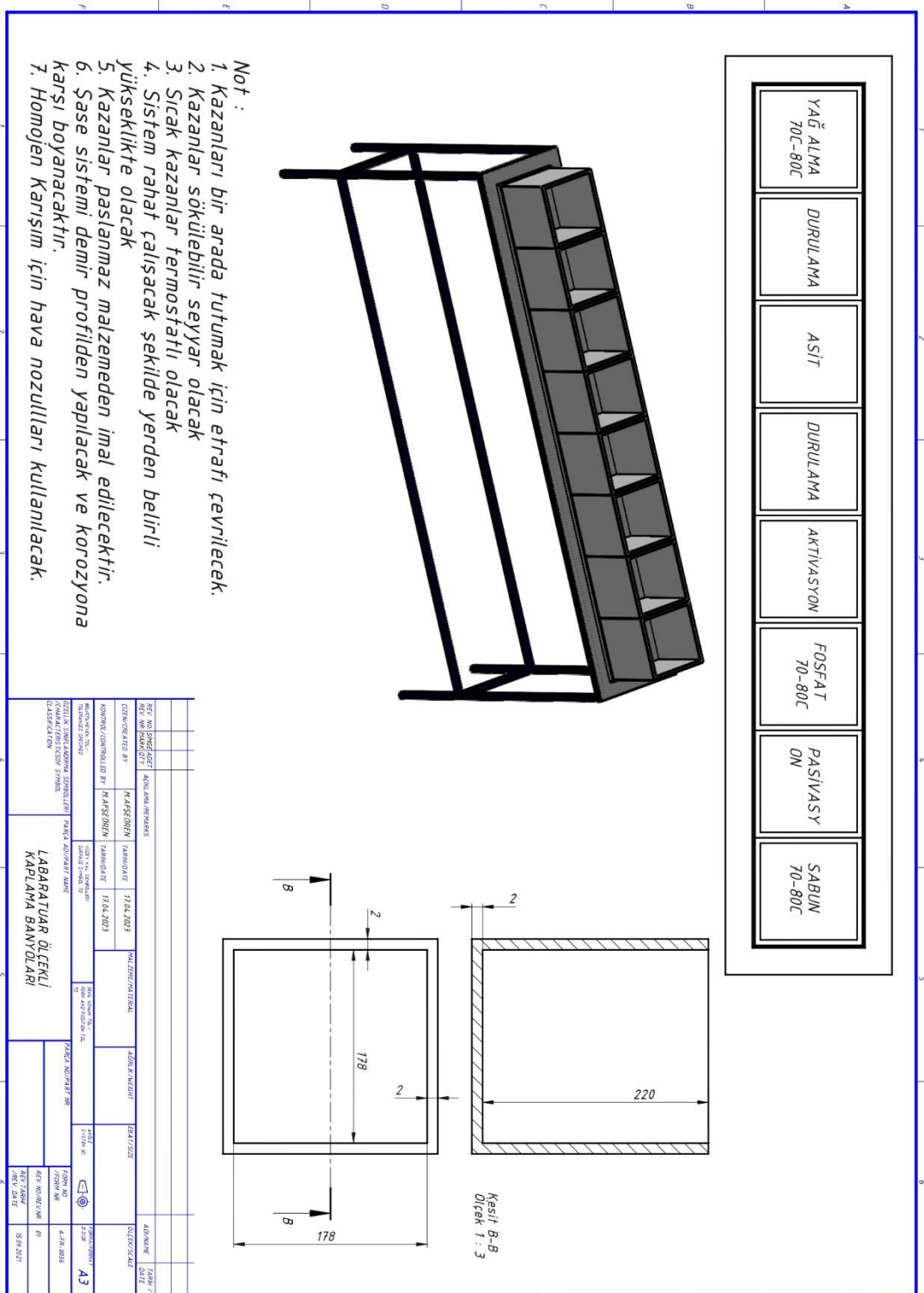
EK- 20 Üst Erkek Zimba Zarf



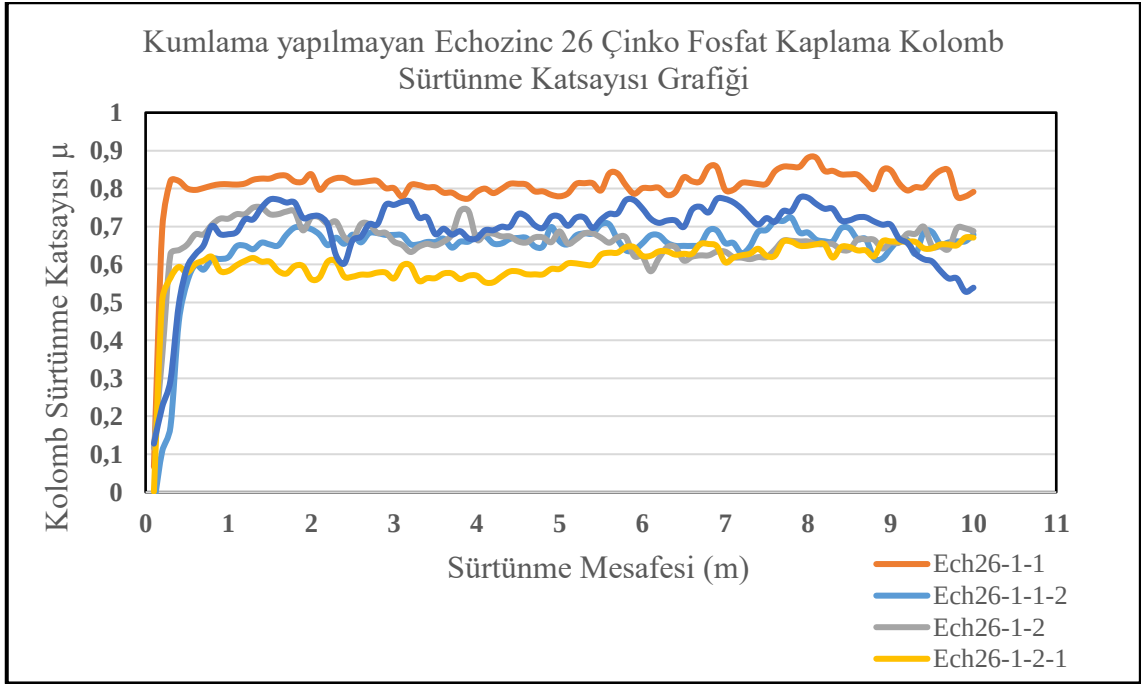
EK- 21 Üst Erkek Zimba Dayama Teknik Resmi

1	2	3	4	5	6																																																								
A						A																																																							
B						B																																																							
C						C																																																							
D						D																																																							
E						E																																																							
<table border="1"> <tr> <td>REV. NO. / REV. NR.</td> <td>SİMGE / MARK</td> <td>ADET / QTY.</td> <td colspan="3">AÇIKLAMA / REMARKS</td> <td>ADI / NAME</td> <td>TARİH / DATE</td> </tr> <tr> <td>ÇİZEN / CREATED BY</td> <td></td> <td></td> <td>TARİH / DATE</td> <td>MALZEME / MATERIAL</td> <td>AĞIRLIK / WEIGHT</td> <td>EBAT / SIZE</td> <td>ÖLÇEK / SCALE</td> </tr> <tr> <td>KONTROL / CONTROLLED BY</td> <td></td> <td></td> <td>TARİH / DATE</td> <td>1.2379 58-62 HRC</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">BEYİTLİ MEYEN TOL. / TOLERANCES SPECIFIED</td> <td>DIN ISO 2768</td> <td>YÜZEY KAL. SEMBOLLERİ / SURFACE SYMBOL TO</td> <td>DIN ISO 1302</td> <td>SEKİL KONUM TOL. / FORM AND POSITION TOL.</td> <td>DIN ISO 1101</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ÖZELLİK SINIFLANDIRMA SEMBOLLERİ / CHARACTERISTICS OF SYMBOL CLASSIFICATION</td> <td colspan="2">PARÇA ADI / PART NAME</td> <td>PARÇA NO / PART NR.</td> <td>FORM NO / FORM NR.</td> <td>FORMA / FORMAT O SIZE</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="2">Üst Erkek Zimba Dayama-1</td> <td></td> <td>REV. NO / REV. NR.</td> <td>A4</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td>REV. TARİH / REV. DATE</td> <td>15.09.2021</td> </tr> </table>						REV. NO. / REV. NR.	SİMGE / MARK	ADET / QTY.	AÇIKLAMA / REMARKS			ADI / NAME	TARİH / DATE	ÇİZEN / CREATED BY			TARİH / DATE	MALZEME / MATERIAL	AĞIRLIK / WEIGHT	EBAT / SIZE	ÖLÇEK / SCALE	KONTROL / CONTROLLED BY			TARİH / DATE	1.2379 58-62 HRC				BEYİTLİ MEYEN TOL. / TOLERANCES SPECIFIED			DIN ISO 2768	YÜZEY KAL. SEMBOLLERİ / SURFACE SYMBOL TO	DIN ISO 1302	SEKİL KONUM TOL. / FORM AND POSITION TOL.	DIN ISO 1101	ÖZELLİK SINIFLANDIRMA SEMBOLLERİ / CHARACTERISTICS OF SYMBOL CLASSIFICATION			PARÇA ADI / PART NAME		PARÇA NO / PART NR.	FORM NO / FORM NR.	FORMA / FORMAT O SIZE				Üst Erkek Zimba Dayama-1			REV. NO / REV. NR.	A4							REV. TARİH / REV. DATE	15.09.2021
REV. NO. / REV. NR.	SİMGE / MARK	ADET / QTY.	AÇIKLAMA / REMARKS			ADI / NAME	TARİH / DATE																																																						
ÇİZEN / CREATED BY			TARİH / DATE	MALZEME / MATERIAL	AĞIRLIK / WEIGHT	EBAT / SIZE	ÖLÇEK / SCALE																																																						
KONTROL / CONTROLLED BY			TARİH / DATE	1.2379 58-62 HRC																																																									
BEYİTLİ MEYEN TOL. / TOLERANCES SPECIFIED			DIN ISO 2768	YÜZEY KAL. SEMBOLLERİ / SURFACE SYMBOL TO	DIN ISO 1302	SEKİL KONUM TOL. / FORM AND POSITION TOL.	DIN ISO 1101																																																						
ÖZELLİK SINIFLANDIRMA SEMBOLLERİ / CHARACTERISTICS OF SYMBOL CLASSIFICATION			PARÇA ADI / PART NAME		PARÇA NO / PART NR.	FORM NO / FORM NR.	FORMA / FORMAT O SIZE																																																						
			Üst Erkek Zimba Dayama-1			REV. NO / REV. NR.	A4																																																						
						REV. TARİH / REV. DATE	15.09.2021																																																						
1	2	3	4	5	6																																																								

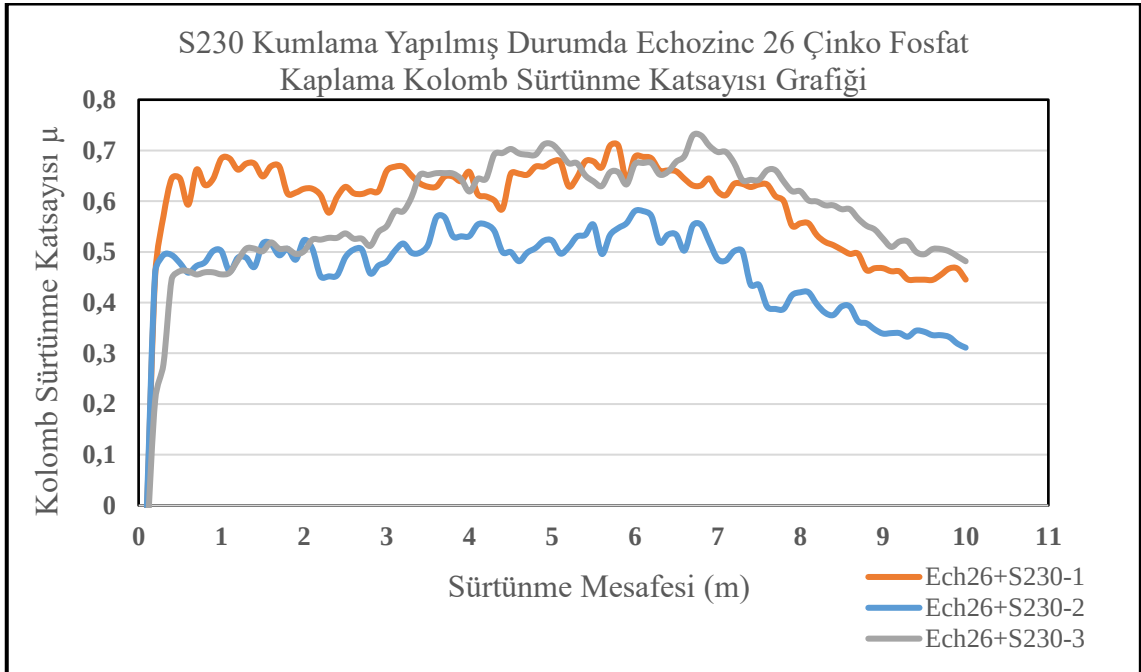
EK- 22 Laboratuvar Ölçekli Kaplama Banyoları Satın alma Şartnamesi



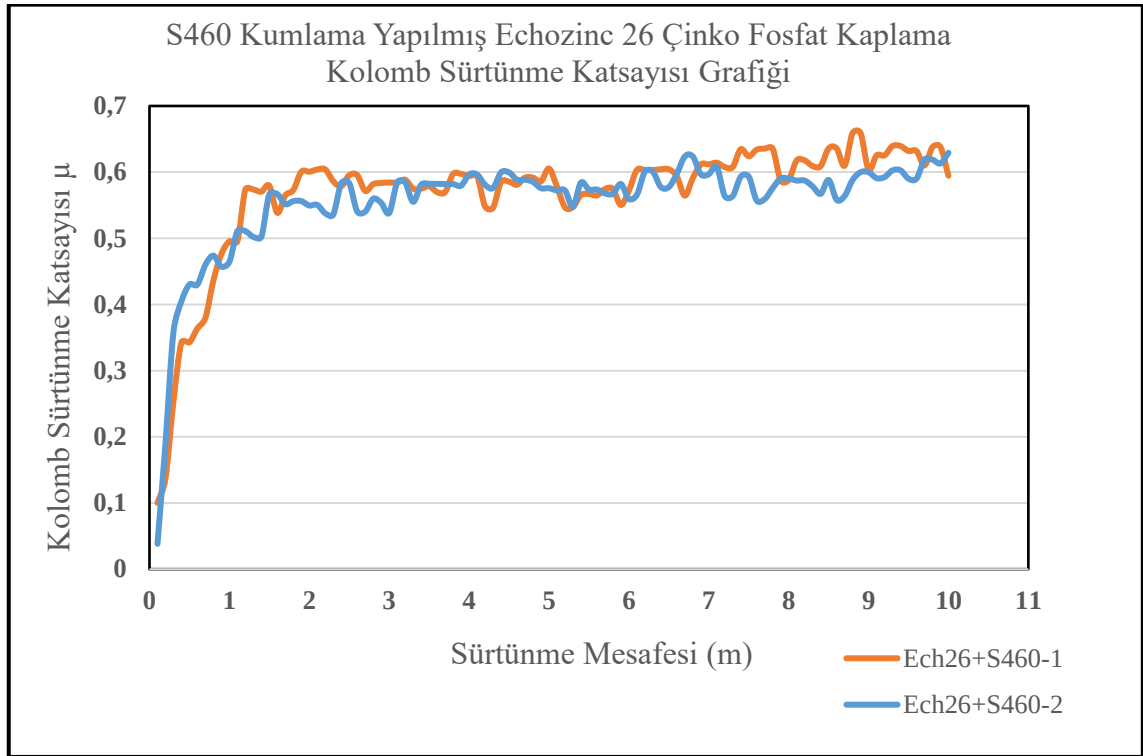
EK- 23 Kumlama yapılmayan Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



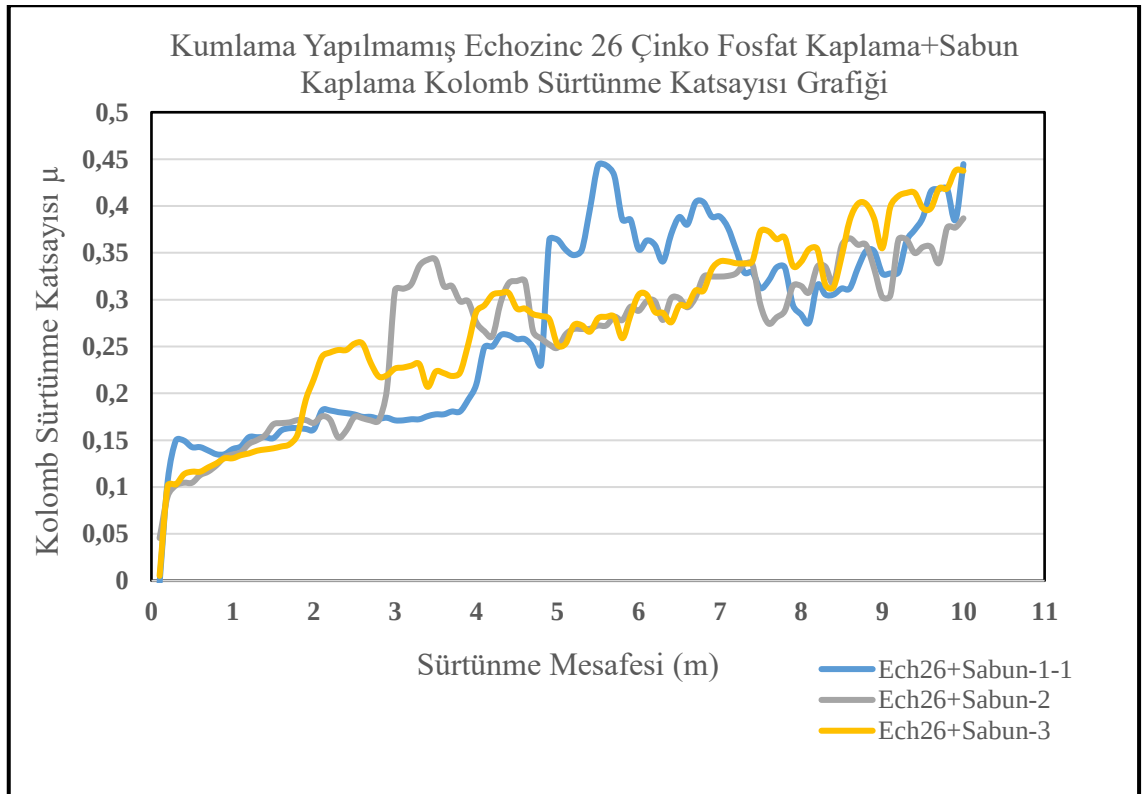
EK- 24 S230 Kumlama Yapılmış Durumda Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



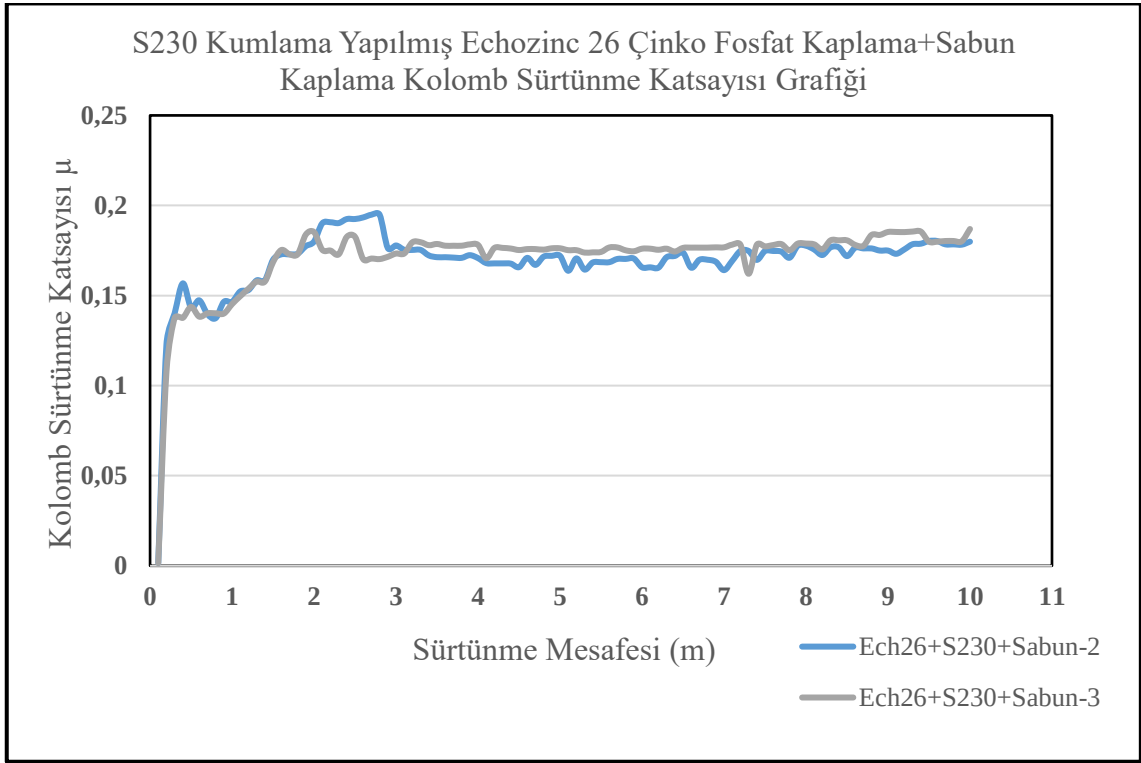
EK- 25 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc26 Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



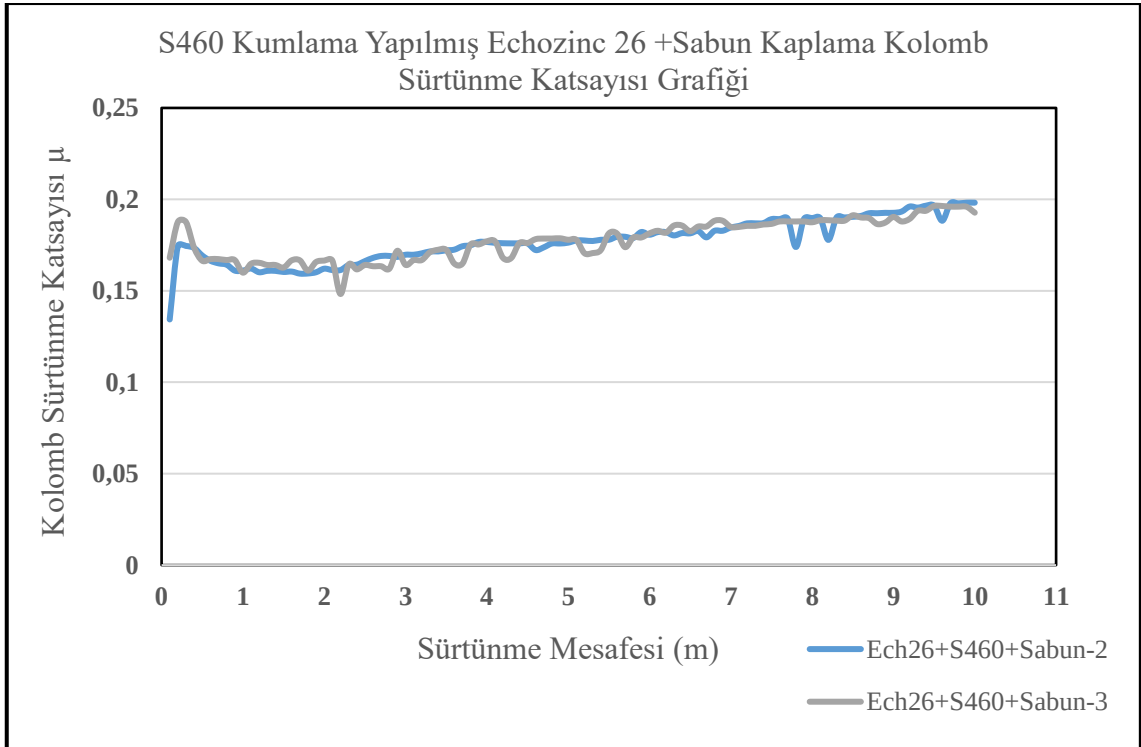
EK- 26 Kumlama Yapılmamış Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



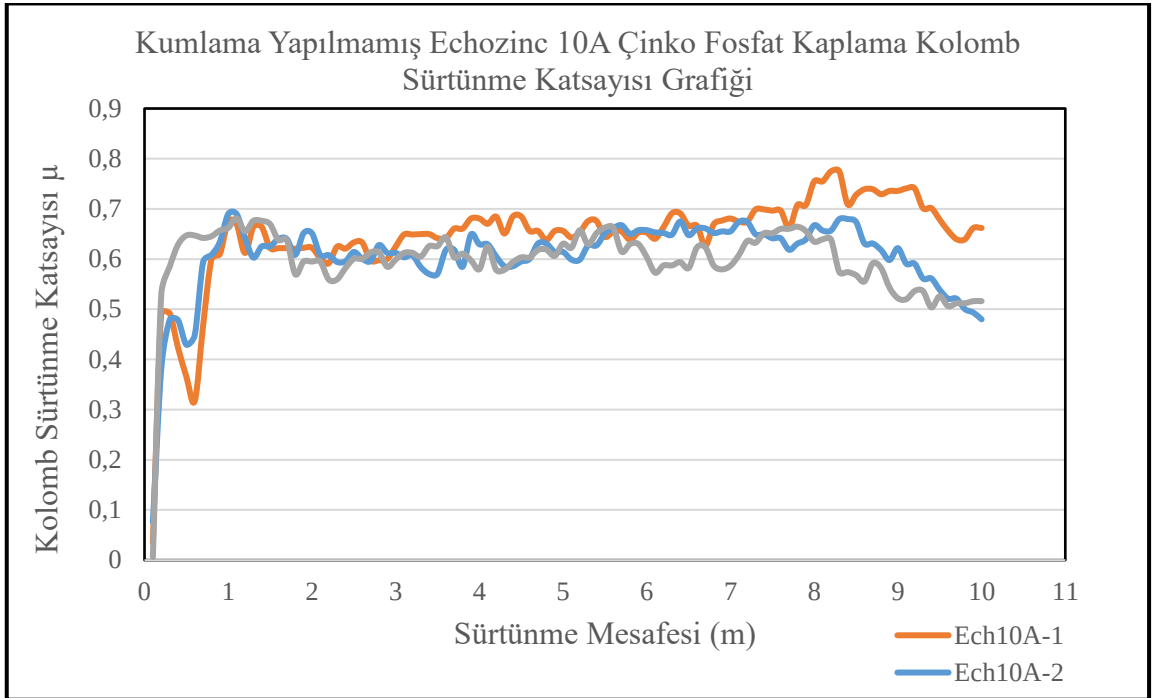
EK- 27 S230 Kuşlama Yapılmış Echozinc26 Çinko Fosfat Kaplama +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiğı



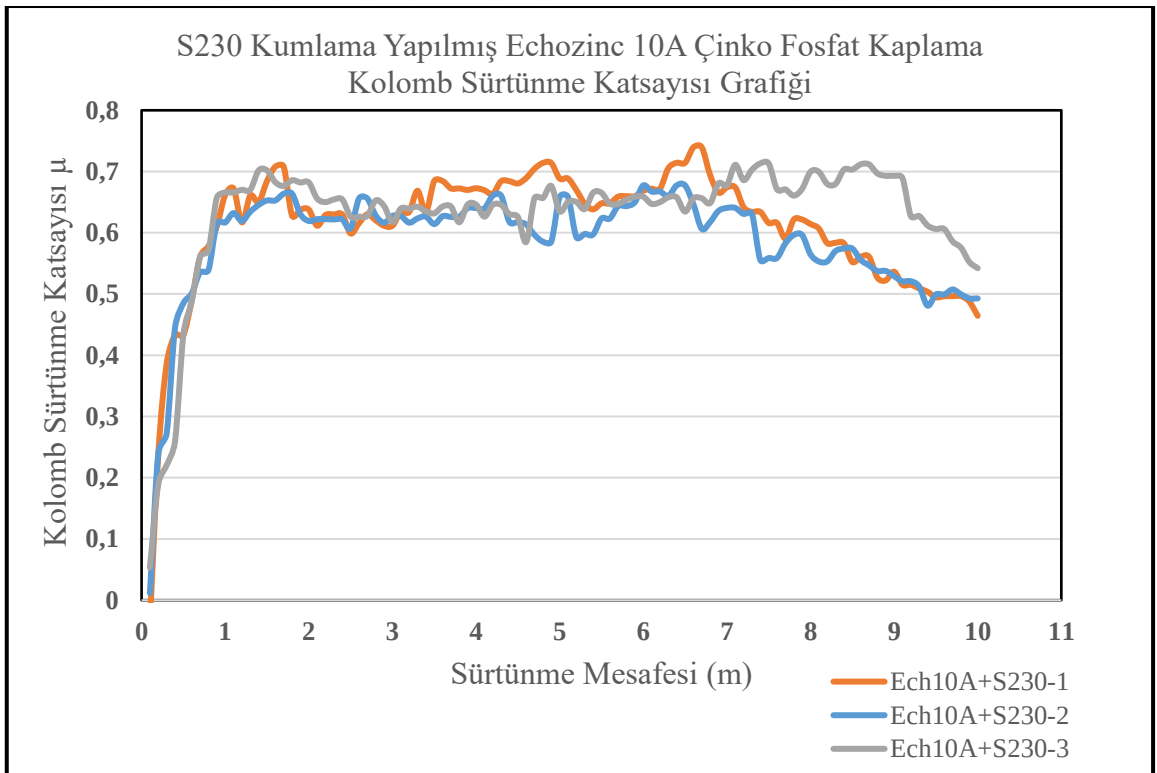
EK- 28 S460 Kuşlama Yapılmış Echozinc26 +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiğı



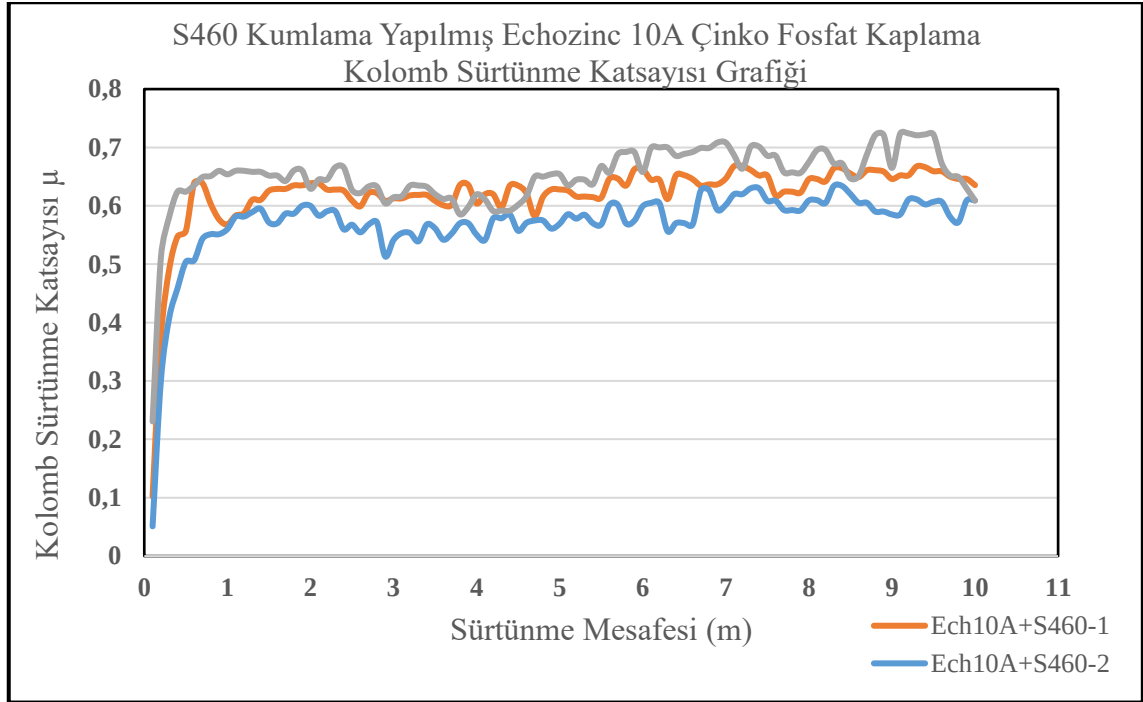
EK- 29 Kumlama Yapılmamış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



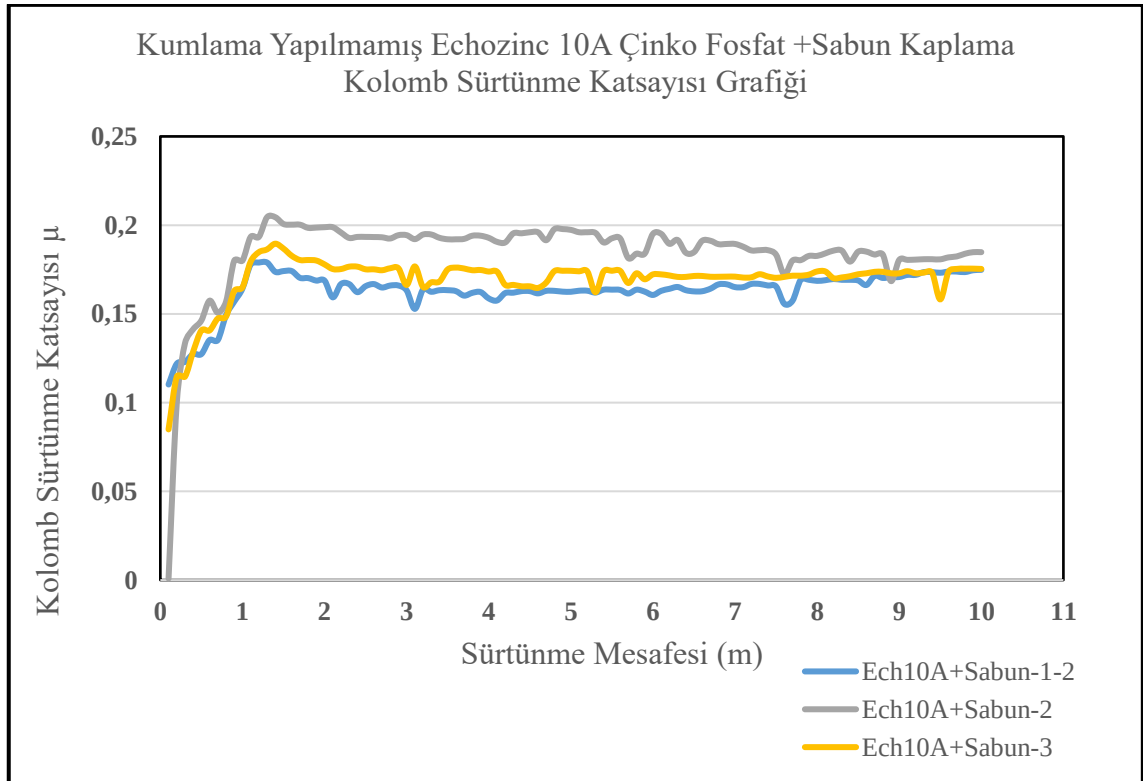
EK- 30 S230 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



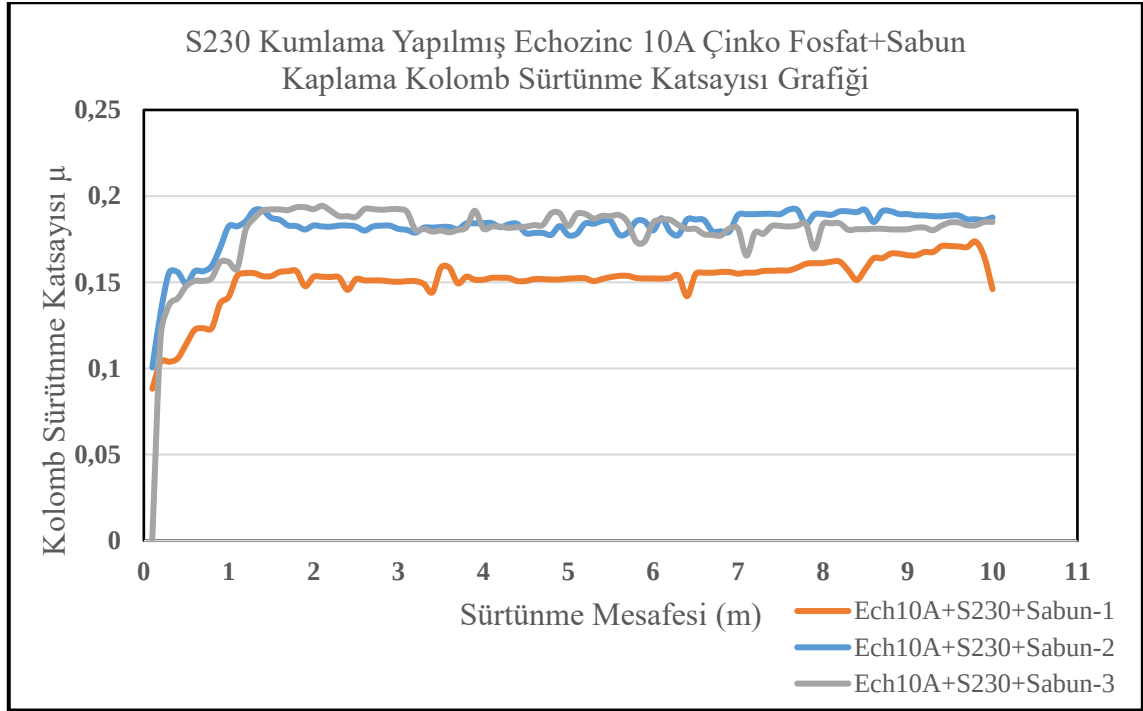
EK- 31 S460 Kumlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



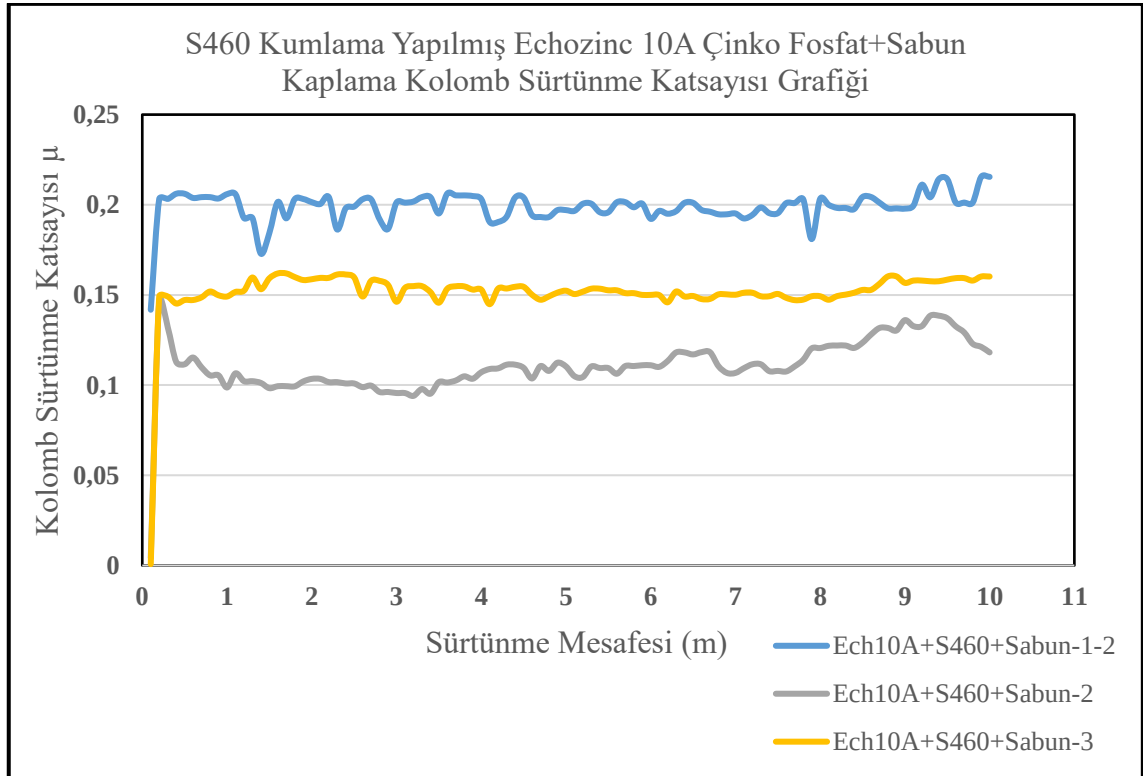
EK- 32 Kumlama Yapılmamış Echozinc10A Çinko Fosfat +Sabun Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



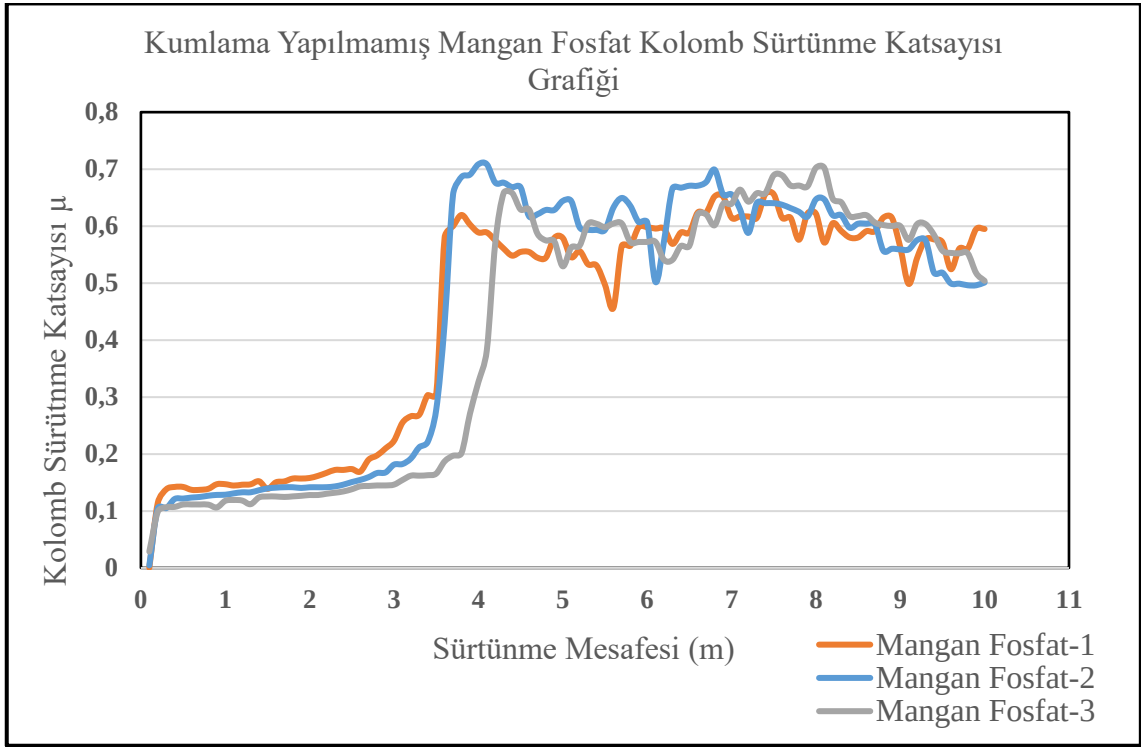
EK- 33 S230 Kuşlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat+Sabun Kaplama Kolomb Sürünme Katsayısı Grafiğı



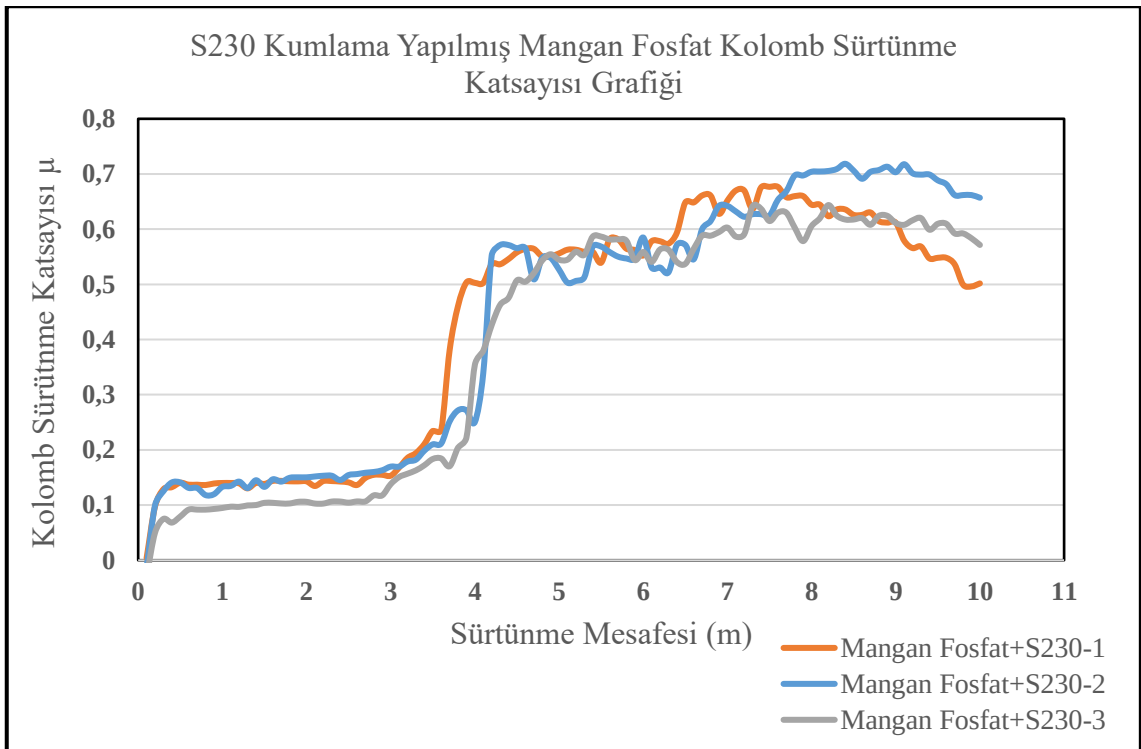
EK- 34 S460 Kuşlama Yapılmış Echozinc10A Çinko Fosfat+Sabun Kaplama Kolomb Sürünme Katsayısı Grafiğı



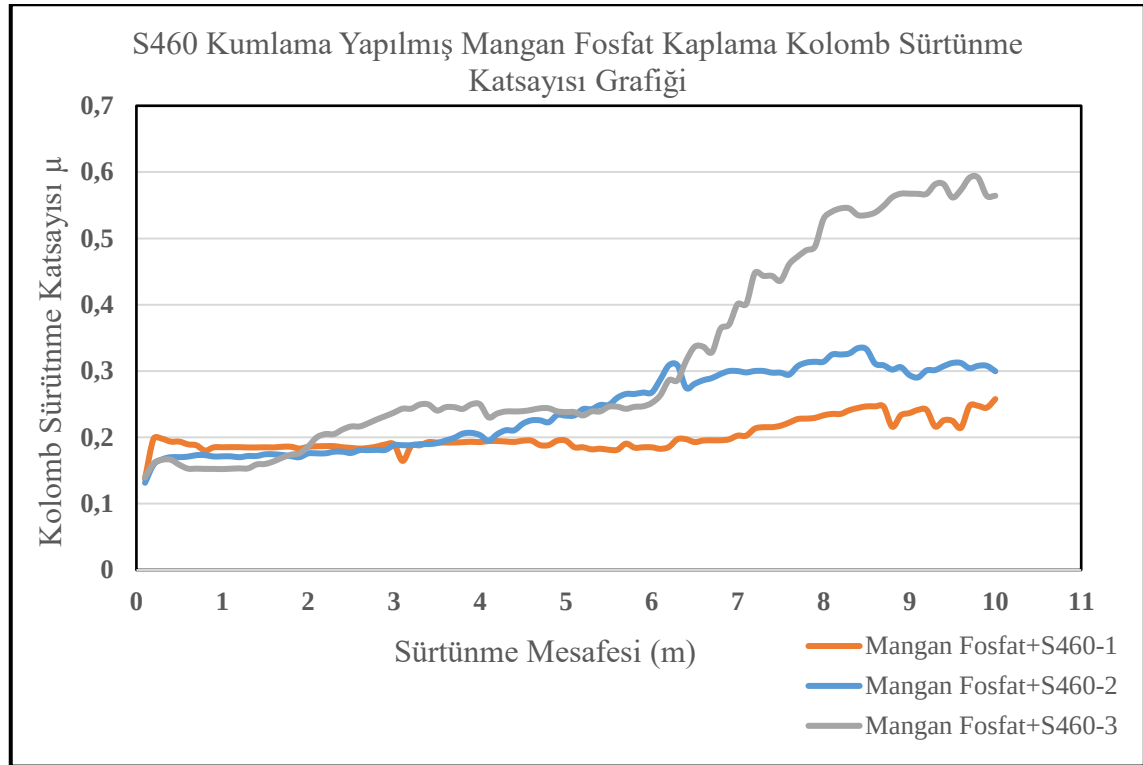
EK- 35 Kumlama Yapılmamış Mangan Fosfat Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



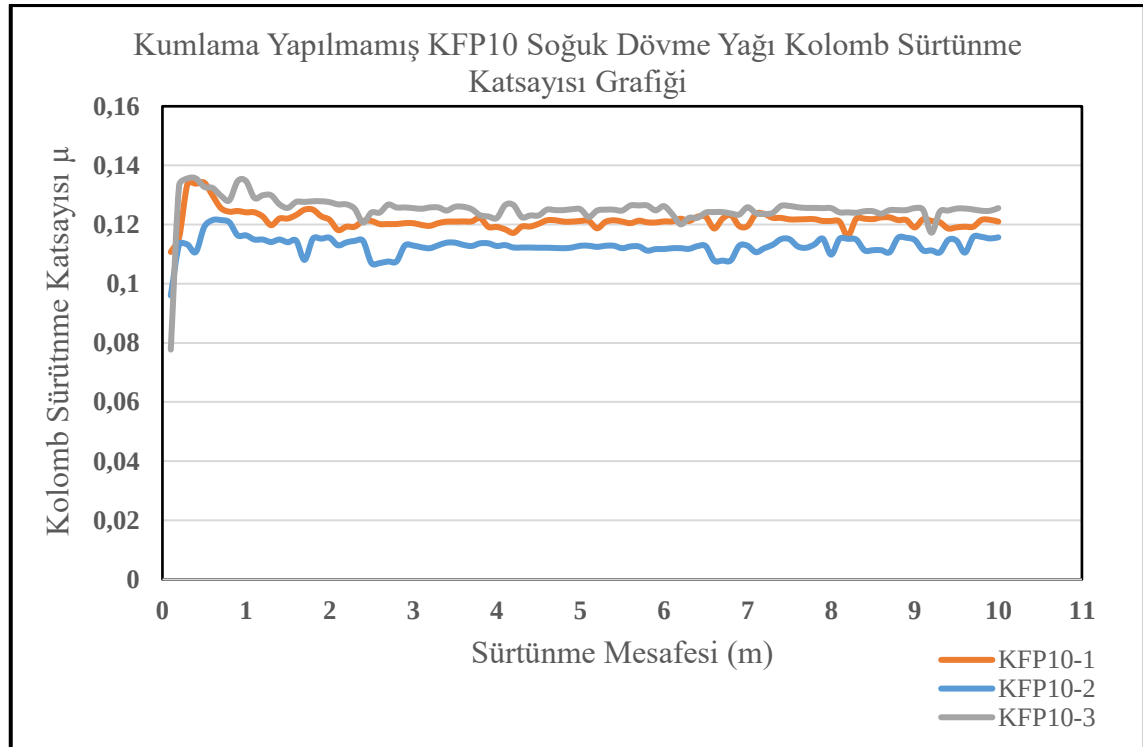
EK- 36 S230 Kumlama Yapılmış Mangan Fosfat Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



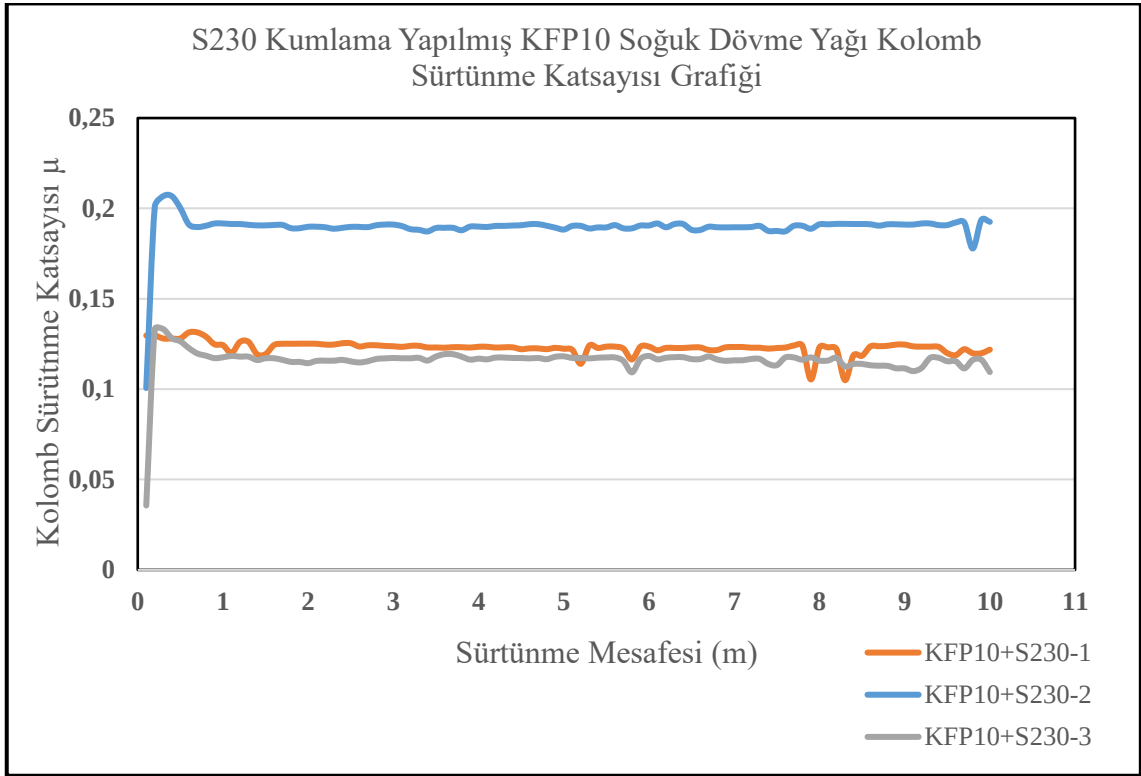
EK- 37 S460 Kumlama Yapılmış Mangan Fosfat Kaplama Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



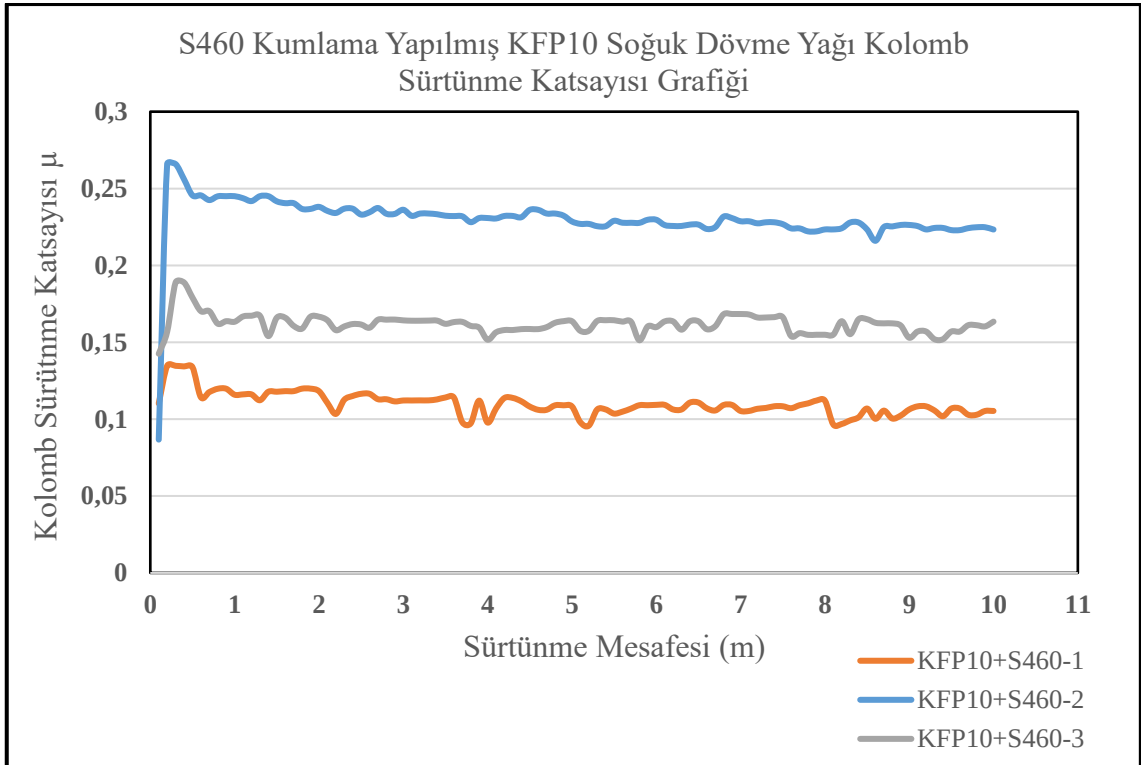
EK- 38 Kumlama Yapılmamış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



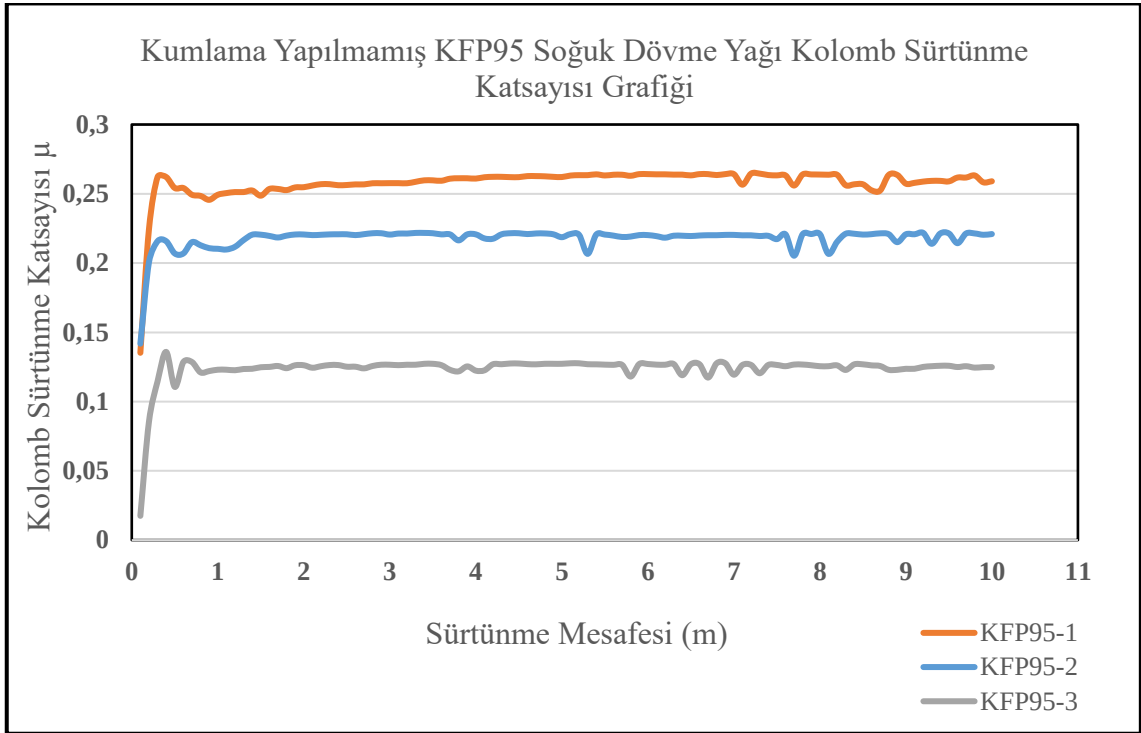
EK- 39 S230 Kumlama Yapılmış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



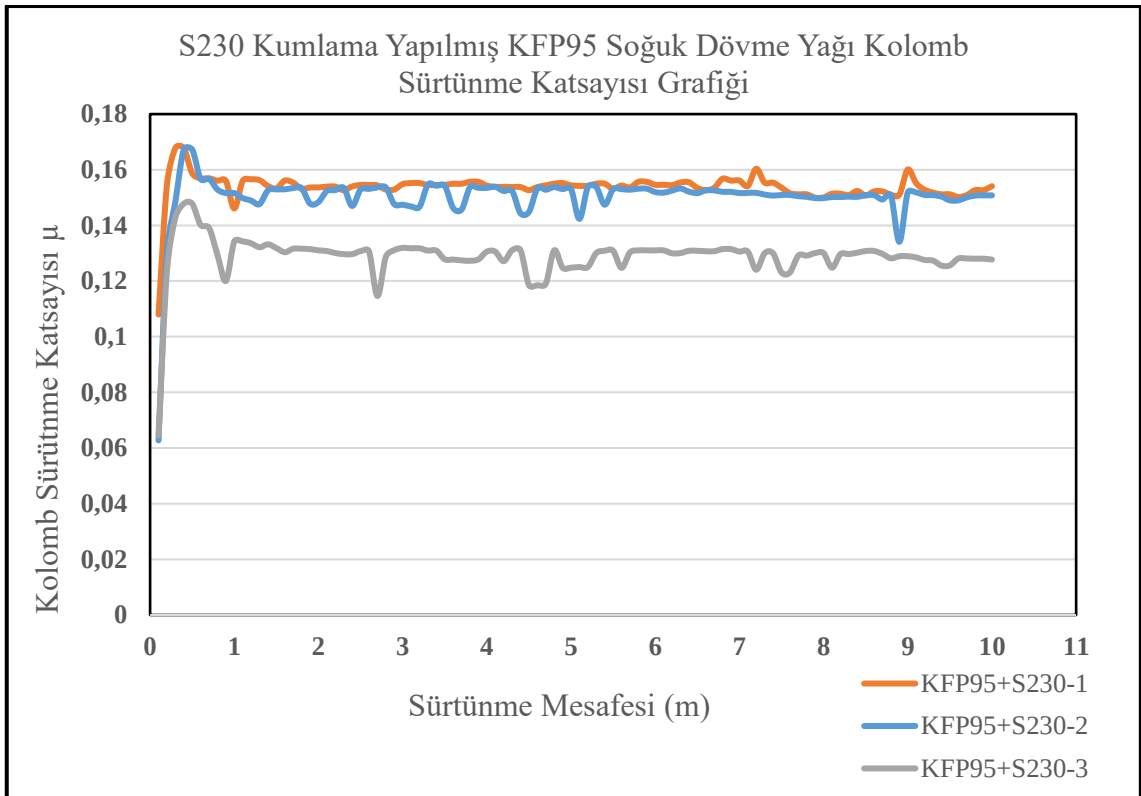
EK- 40 S460 Kumlama Yapılmış KFP10 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



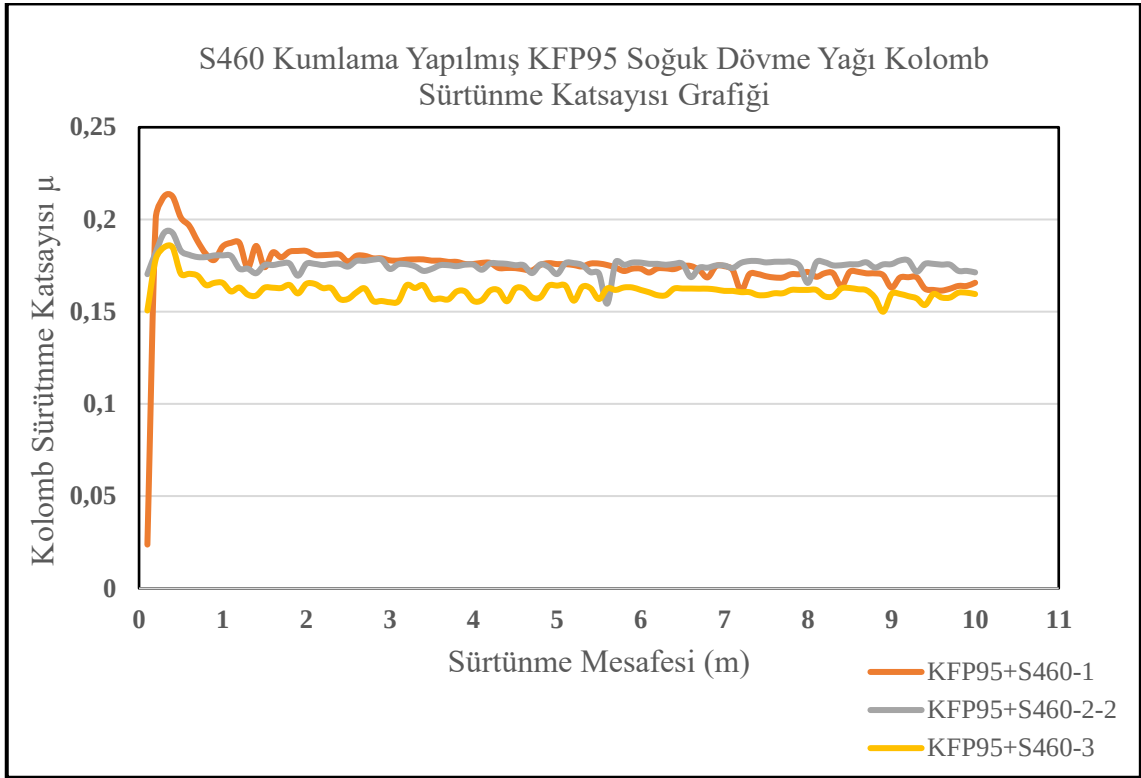
EK- 41 Kumlama Yapılmamış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



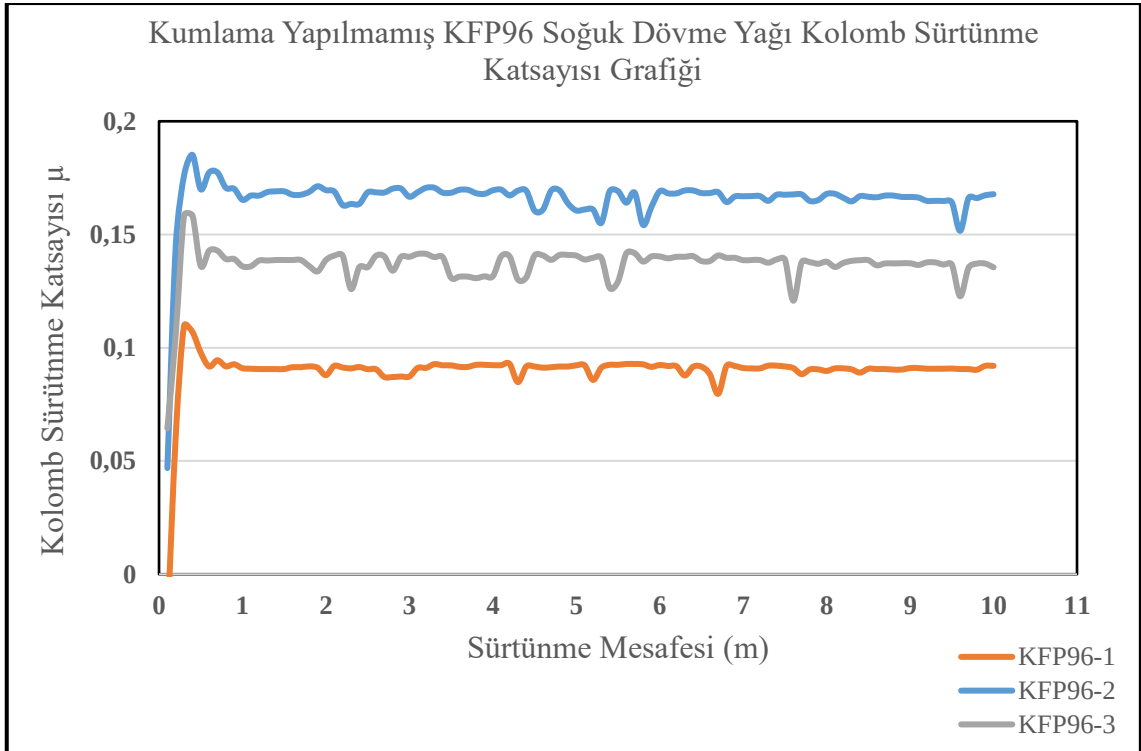
EK- 42 S230 Kumlama Yapılmış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



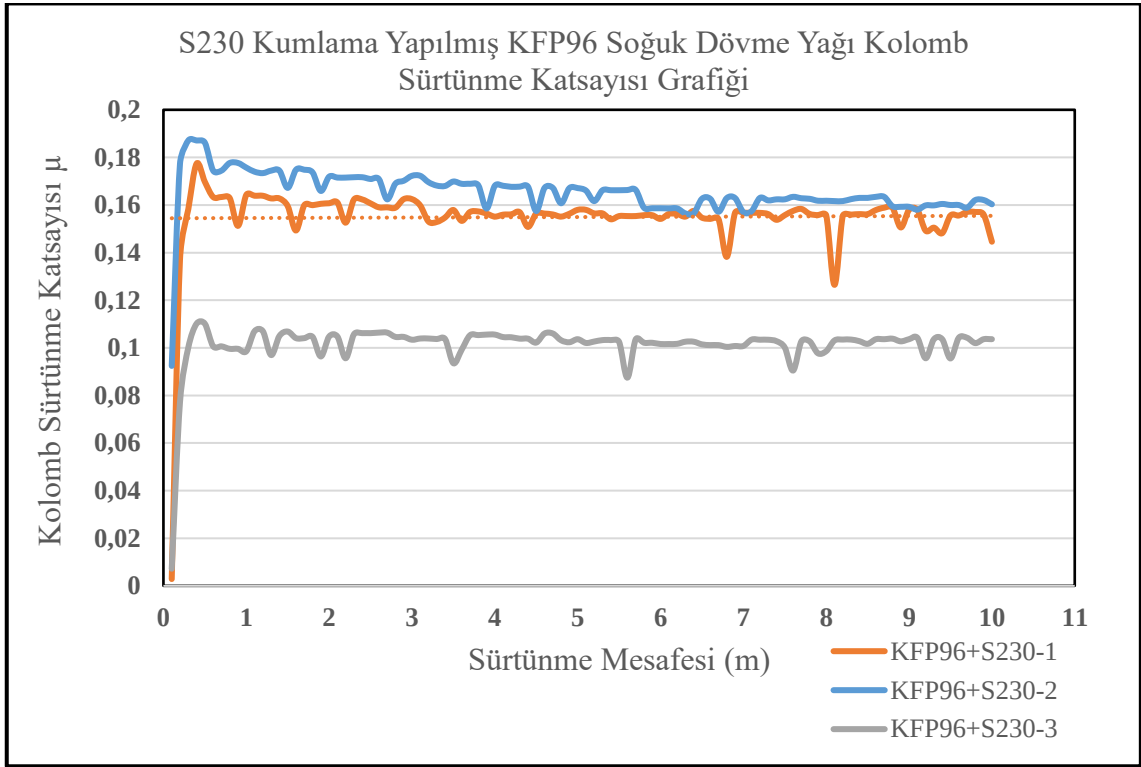
EK- 43 S460 Kumlama Yapılmış KFP95 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



EK- 44 Kumlama Yapılmamış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



EK- 45 S230 Kumlama Yapılmış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği



EK- 46 S460 Kumlama Yapılmış KFP96 Soğuk Dövme Yağı Kolomb Sürtünme Katsayısı Grafiği

