

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

**BAKIR YÜZEYİNDE ÜRETİLEN BAKIR KARBÜR YÜZEY
KOMPOZİTLERİNİN FİZİKSEL, MEKANİK VE KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Cihan ÖZORAK

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Serkan ISLAK
Prof. Dr. Mustafa BOZ
Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA
Dr. Öğr. Üyesi Aytekin ULUTAŞ**

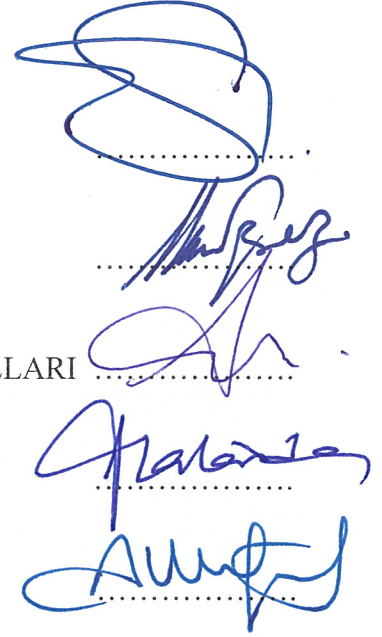
**DOKTORA TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Cihan ÖZORAK tarafından hazırlanan "**Bakır Yüzeyinde Üretilen Bakır Karbür Yüzey Kompozitlerinin Fiziksel, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Serkan ISLAK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Mustafa BOZ Karabük Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi AYTEKİN ULUTAŞ Balıkesir Üniversitesi



31/01/2019

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza
Cihan ÖZORAK



ÖZET

Doktora Tezi

BAKIR YÜZEYİNDE ÜRETİLEN BAKIR KARBÜR YÜZEY KOMPOZİTLERİNİN FİZİKSEL, MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Cihan ÖZORAK

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serkan ISLAK

Bu tez çalışmasında, bakırın aşınma özelliklerinin geliştirilmesi ve elektriksel özelliklerinin ise minimum etkilenmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple elektrolitik bakır üzerine bakır matrisli karbür takviyeli yüzey kompozitleri plazma sprej kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Karbür olarak SiC, B₄C ve WC-Co kullanılmıştır. Bu karbürlerin miktarının tribolojik, korozyon ve fiziksel özellikler üzerine etkisini araştırmak amacıyla her biri için ağırlıkça %5, %10 ve %20 olarak ilave edilmiştir. Aşınma özelliklerin belirlenmesi için ileri-geri hareketli aşınma, korozyon özelliklerinin belirlenmesi için ise potansiyodinamik yöntem kullanılmıştır. Üretilen kaplamaların mikroyapı özellikleri ve faz dağılımının tespiti amacıyla optik mikroskop, SEM-EDS ve XRD analizleri yapılmıştır. Kaplama tabakalarının elektriksel iletkenlikleri girdap akımları prensibine göre gerçekleştirilmiştir.

Silisyum karbür ve bor karbürün dekompoze olduğu XRD analizlerinden ve SEM-EDS, Mapping analizlerinden anlaşılmaktadır. Tungsten karbür kobaltta metalik ve intermetalik bileşikler oluşmuştur. Tüm kaplamaların sertlik değerleri alt malzemenin sertlik değerinden yüksektir. Her bir kaplamada katkı oranının artmasıyla sertlikler artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerinin tungsten karbür kobalt katkısında olduğu ve yaklaşık olarak ana malzemenin sertlik değerinin 1.8 katı olduğu belirlenmiştir. Aşınma özellikleri incelendiğinde bakır altlık ve kaplama tabakalarında hem abrasif hem de adhesif aşınma türleri gözlenmiştir. Tüm numunelerde yükün artmasıyla malzeme kaybı da artmaktadır. Korozyon sonuçları irdelendiğinde tüm numuneler arasında en düşük akım yoğunluğunun kaplamasız altlık malzemede olduğu görülmektedir. Numunelerin kaplanmasıyla birlikte akım yoğunluğunun artmasıyla birlikte korozyon hızları da artmaktadır. Tüm numunelerin elektriksel iletkenlik sonuçları karşılaştırıldığında kaplamadaki karbür oranının artmasıyla elektriksel iletkenlik azalmaktadır. Aynı zamanda kaplamadaki katkı miktarının artması da gözenekliliğin artmasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakır, karbür, yüzey kaplama, mikroyapı, aşınma, korozyon

2019, 108 sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

PhD. Thesis

INVESTIGATION OF PHYSICAL, MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF COPPER CARBIDE SURFACE COMPOSITES PRODUCED ON COPPER SURFACE

Cihan ÖZORAK

Kastamonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan ISLAK

Abstract: This thesis aims to improve the tribological properties of copper and to minimize its alteration of electrical properties. For this reason, copper carbide surface composites on electrolytic copper are coated with plasma spray coating method. SiC, B₄C and WC-Co were used as carbide. These carbides have been added 5%, 10% and 20% by weight to investigate the effect on tribological, corrosion and physical properties. For the tribological properties, Ball-on-Flat Sliding wear method is used. Potentiodynamic method was used for corrosion. For the microstructure properties and phase composition of the produced coatings, optical microscope, SEM-EDS and XRD analyzes were used. The electrical conductivity of the coating layers is based on the eddy currents principle.

It can be observed that silicon carbide and boron carbide are decomposed in the result of XRD analyses, SEM-EDS, and Mapping analyses. Also, at tungsten carbide-cobalt Co₆W₆C, W₂C and WC phases were detected through XRD analyses. The hardness values of all coatings are higher than the hardness of the substrate. Hardness values increased with increasing rate of additive in each coating. The highest hardness value is tungsten carbide-cobalt. Also, it can be seen that the hardness value of tungsten carbide-cobalt is approximately 1.8 times of the hardness value of the substrate material. Both abrasive and adhesive wear types were observed in the copper substrate and coating layers. The increase of the load in all samples cause a rise of the loss of material. Through the examinations of corrosion results of all samples, it is observed that the lowest current density is in the uncoated substrate material. Coating the samples increased the current density. The results of electrical conductivity tests decrease with the increase in carbide ratio in the coating. At the same time, the increase in the amount of additive in the coating also caused the increase in porosity.

Key Words: Copper, carbide, plasma spray coating, surface coating, microstructure, wear, corrosion

2019, 108 pages

Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine danıştığım da sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Serkan ISLAK'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez izleme jürisinde yer alan ve tez çalışmalarına verdikleri katkılardan dolayı Doç.Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca tez savunmasında görev alan jüri üyeleri Saygıdeğer Hocalarım Prof. Dr. Mustafa BOZ ve Dr. Öğr. Üyesi Aytekin ULUTAŞ'a şükranlarımı sunarım.

Kaplamaların üretim aşamasında kaplama cihazlarını ve laboratuvar imkânlarını kullandığım ve bilgi ve birikimlerini esirgemeyen Plazma Teknik Sert Metal Ve Seramik Kaplama A.Ş. işletme sorumlusu Sayın Özgür ARSLAN beye ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Deneysel ölçümler konusunda ki yardımlardan dolayı Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı çalışanlarına, Kastamonu Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Dr. Öğr. Üyesi Elif AŞIKUZUN'a, Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ'a, ve Kastamonu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Temel Kan BAKIR'a çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca bana her konuda destek veren çok sevgili anne ve babama, her zaman yanımda olan, benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve anlayış gösteren değerli Eşim Ebru ÖZORAK'a ve biricik oğlum Fatih ÖZORAK'a çok teşekkür ederim.

Cihan ÖZORAK
Kastamonu, Ocak, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	2
3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	8
3.1. Termal Sprey (Isıl Püskürtme) Yöntemleri.....	9
3.2. Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Gelişimi Ve Esası.....	12
3.3. Isıl Püskürtme Kaplamalarda Bağlanma.....	13
3.3.1. Bağlanma Mekanizması.....	13
3.3.2. Bağ (Ara) Tabakanın Kullanılması.....	14
3.3.3. Bağ Dayanımını Etkileyen Faktörler.....	14
3.4. Termal Sprey Kaplamaların Uygulama Alanları.....	15
4. KOMPOZİT MALZEMELER.....	16
4.1. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri.....	17
4.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	19
4.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	22
5. BAKIR VE ÇEŞİTLİ KARBÜRLERİN ÖZELLİKLERİ.....	23
5.1. Bakır.....	23
5.1.1. Bakır Mineralleri.....	24
5.1.2. Ticari Saf Bakır Çeşitleri.....	24
5.1.4. Bakırın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	25
5.1.5. Bakırın Elektriksel İletkenliği.....	27
5.1.6. Bakırın Kullanım Alanları.....	28
5.1.7. Bakırın Mukavemetinin Arttırılması.....	29
5.2. Bor Karbür (B ₄ C).....	31
5.3. Silisyum Karbür (SiC).....	33
5.4. Tungsten Karbür Kobalt (WC-Co).....	35
6. KOROZYON.....	39
6.1. Korozyon ve Önemi.....	39
6.2. Korozyona Etki Eden Parametreler.....	39
6.2.1. Ortamın Etkisi.....	39
6.2.2. Sıcaklığın Etkisi.....	39
6.2.3. Malzeme Seçiminin Etkisi.....	40
6.2.4. Taneler Arası Özellik Farkları.....	40
6.2.5. Sistem Dizaynı.....	40
6.2.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu.....	40
6.2.7. Zemin Elektriksel Özgün Direncinin Etkisi.....	40

6.3. Korozyon Mekanizması	41
6.3.1. Fiziksel Korozyon	41
6.3.2. Kimyasal Korozyon.....	41
6.3.3. Elektrokimyasal Korozyon.....	41
6.4. Korozyon Türleri.....	42
6.5. Korozyon Hızı Belirleme Yöntemleri	43
6.5.1. Kimyasal Yöntemler	44
6.5.1.1. Ağırlık Kaybı ile Korozyon Hızı Ölçüm Yöntemi.....	44
6.5.2. Elektrokimyasal Yöntemler.....	46
6.5.2.1. Lineer Polarizasyon Yöntemi.....	46
6.5.2.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi	49
6.5.2.3. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi.....	50
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
7.1. Deneysel Yöntem	53
7.2. Numunelerin Hazırlanması.....	53
7.3. Mikroyapı İncelemesi.....	55
7.4. Sertlik Deneyi.....	57
7.5. Aşınma Deneyi	57
7.6. Korozyon Deneyi	59
7.7. Elektriksel İletkenlik ve Porozite Deneyleri	60
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
8.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları	62
8.2 XRD Analizi Sonuçları	69
8.3. Sertlik Deneyi Sonuçları	71
8.4. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	72
8.5. Korozyon Deneyleri	77
8.6. Elektriksel İletkenlik ve Porozite Deneyleri	83
9. SONUÇLAR	87
10. ÖNERİLER.....	90
11. KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt
İnc	İnç
MPa	Megapaskal
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Newton
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
sn	Saniye
IACS	Uluslararası Tavlanmış Bakır Standartı
OMK	Organik Matriksli Kompozit
MMK	Metal Matriksli Kompozit
SMK	Seramik Matriksli Kompozit
PMK	Polimer Matriksli Kompozit
Mpy	mils per year

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları	8
Şekil 3.2. Termal sprej kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi	10
Şekil 3.3. Termal sprej kaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri.....	11
Şekil 3.4. Partikülün mekanik bağlanması	12
Şekil 4.1. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri	18
Şekil 4.2. Malzemelerinin mukavemet/ağırlık oranları ve çalışma sıcaklıkları.....	19
Şekil 4.3. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri	19
Şekil 5.1. Elementlerin bakırın elektrik iletkenliğine etkisi.....	25
Şekil 5.2. Bakır atomunun elektron dizilimi	26
Şekil 5.3. Alaşım elementlerinin bakıra etkileri.....	30
Şekil 5.4. Bor karbürün SEM fotoğrafı	31
Şekil 5.5. Silisyum karbürün SEM fotoğrafı.....	34
Şekil 5.5. Tungsten (Wolfram) elementi.....	35
Şekil 5.6. WC-12Co tozunun SEM görüntüsü	36
Şekil 5.7. WC-Co faz diyagramı	38
Şekil 6.1 Korozyon Hücresi	42
Şekil 6.1 Korozyon Türleri	43
Şekil 6.2. Lineer polarizasyon yöntemi ile Rp bulunması	47
Şekil 6.3 Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.....	52
Şekil 7.1. Plazma sprej kaplama işleminin prensip şeması	54
Şekil 7.2. Kaplanmış numuneler	55
Şekil 7.2. Optik Mikroskop	56
Şekil 7.3. Mikrosertlik cihazı	57
Şekil 7.4. Aşınma test cihazı (UTS 10/20 Tribometer).....	58
Şekil 7.5. Yüzey profilometre cihazı.....	59
Şekil 7.6. Korozyon Ünitesi	60
Şekil 7.7. Elektriksel iletkenlik deneylerinde kullanılan cihaz	61
Şekil 7.8. Porozite deneylerinde kullanılan cihaz	61
Şekil 8.1 Altlık malzemenin SEM-EDS analizi.....	62
Şekil 8.2 Kaplamada kullanılan tozların SEM görüntüleri	63
Şekil 8.3 Bor karbür kaplamaların optik görüntüleri	64
Şekil 8.4 Silisyum karbür kaplamaların optik görüntüleri	64
Şekil 8.5 Tungsten karbür kobalt kaplamaların optik görüntüleri	65
Şekil 8.6. Kaplama tabakalarının SEM-EDS görüntüleri	66
Şekil 8.7. Kaplama tabakalarının noktasal EDS analizleri	67
Şekil 8.8 %20 katkılı bor karbür kaplamasının MAP analizi.....	68
Şekil 8.9 %20 katkılı silisyum karbür kaplamasının MAP analizi	68
Şekil 8.10 %20 tungsten karbür kobalt kaplamasının MAP analizi.....	68
Şekil 8.12 Alt malzeme ve Kaplamaların Mikrosertlik Değerleri	71
Şekil 8.13. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin morfolojileri	72
Şekil 8.14. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin morfolojileri	73
Şekil 8.15. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin EDS analizleri	74
Şekil 8.16. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerinin EDS analizleri.....	75
Şekil 8.17. Her bir numunenin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları.....	76
Şekil 8.18. Alt malzeme ve kaplanmış malzemelerin Tafel Eğrileri	78
Şekil 8.19. Bakırın korozyon öncesi ve korozyon sonrası EDS analizleri.....	79

Şekil 8.20. Bor karbürün korozyon öncesi ve korozyon sonrası SEM görüntüsü	80
Şekil 8.21. Bor karbür içeren numunenin EDS analizleri.....	80
Şekil 8.22. Silisyum karbür içeren numunenin EDS analizleri.....	81
Şekil 8.23. Tungsten karbür kobalt içeren numunenin EDS analizleri	82
Şekil 8.24. Alt malzeme ve kaplamaların elektriksel iletkenlik sonuçları.....	84
Şekil 8.25. Alt malzeme ve kaplamaların porozite oranları.....	86



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1. <i>Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri</i>	27
Tablo 5.2. <i>Bazı seramik tozlar ve özellikleri</i>	31
Tablo 5.3. <i>Bor karbürün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri</i>	32
Tablo 5.4. <i>Silisyum karbürün bazı özellikleri</i>	34
Tablo 5.5. <i>Tungsten Karbür Kobaltın bazı özellikleri</i>	38
Tablo 6.1. <i>Bağlı Korozyon Direnci</i>	46
Tablo 7.1. <i>Elektrolitik bakır ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri</i>	53
Tablo 7.2. <i>Kaplamada kullanılan tozların karışım oranları ve numune kodlamaları</i>	54
Tablo 7.3. <i>Püskürtme parametreleri</i>	55
Tablo 8.1. <i>Alt malzeme ve kaplamaların elektrokimyasal sonuçları</i>	77



1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle ihtiyaç duyulan malzemelerin üretimine olanak veren Malzeme Bilimi Alanı teknolojik alanlarda yeniliklerin başlamasına yardımcı olmayı sürdürmektedir. Malzemelerin kullanılacakları alanlara ve ortamlara göre bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir (Özel, Turhan ve Sarsılmaz, 2008). Kaplama teknolojisinin gelişmesi, aşınma ve korozyon gibi malzemelerin yüzeylerinde oluşan istenmeyen hasarların engellenmesinde büyük rol oynamaktadır (Mishra, Chandra, Prakash ve Venkataraman, 2005; Yilbas ve Arif, 2007). Aşınmanın sebep olduğu hasarları engellemek için yaygın olarak kaplama yöntemlerinden termal sprey yöntemleri kullanılmaktadır. Termal sprey kaplamaların bir diğer önemli özelliği ise kaplamaların aşınmasından sonra aynı yere tekrardan kaplama yapılabilmesidir. Günümüzde termal sprey kaplama yöntemleri olarak çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin her birinde püskürtülecek kaplama malzemeleri ve ulaştıkları sıcaklıklar farklılık gösterdiği için her bir yöntem farklı alanlarda kullanılmaktadır (Islak, 2005). Termal sprey yönteminin en önemli kullanım yeri aşınmaya karşı direncin artırılması ve bakım çalışmalarıdır. Biyomedikal alanlarda, otomotiv sektöründe bakım sektöründe ve diş sektöründe termal sprey yöntemi yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Termal sprey yöntemleri ile yapılan kaplamalar sökülebilir olmasından dolayı oldukça tasarrufludur (Charles, 1994). HVOF (Yüksek hızlı oksijen yakıt) ve Plazma Püskürtme yöntemleri makine parçalarının yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve aşınmış parçaların tekrar kaplanıp kullanılabilmesi açısından birçok alanda kullanılmaktadır. Termal sprey kaplamalardan Plazma Püskürtme ve HVOF yöntemleri oldukça iyi kalitede kaplamaların kullanıldığı alanlarda tercih edilmektedir (Kaya, 2007).

Bu tez çalışmasında, bakır yüzeyine plazma sprey yöntemi ile çeşitli kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bakır yüzeyine yapılacak kaplamalar ile bakırın aşınma özelliklerinin iyileştirilip, aşınma kayıplarının en aza indirilmesinin yanında bakırın üstün özelliklerinde minimum kayıp hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Gelişen teknoloji ile birlikte malzemelerin kullanılacakları ortama ve koşullara göre bazı yüzey özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Malzemelere bu özellikleri kazandırmak için çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Termal spreycaplamaları bu işlemlerin içerisinde kendine önemli bir yer bulmuştur. Malzemeleri aşınma ve korozyona karşı korumanın yanında kaplamaların alt malzemeye zarar vermeden sökülüp yeniden kaplanması çok önemli avantajlarından (Mishra vd. 2005; Yılbaş vd. 2007). Bakır ve alaşımları genellikle pahalı malzemeler olmalarına karşın bakırın bazı üstün özellikleri (iyi elektrik ve ısı iletkenliği gibi) sebebiyle bakır ve alaşımları popülerliğini hiçbir zaman yitirmemiştir. Mevcut literatürde bakır ve alaşımları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bakırın termal spreyle kaplanarak fiziksel, mekanik, iletkenlik ve korozyon özellikleri hakkındaki çalışmalar sınırlı sayıdadır (Kahraman vd. 2005; Mishra vd. 2005; Mcgrann vd.1998; Yıldırım vd. 2001a,b).

Niu vd. (2015) bakır altlıklar üzerine vakum plazma ve atmosferik plazma spreycaplamaları ile W ve Cu (15ağ% ve 25ağ% Cu) kaplamaları yapmışlardır. Kaplamaların poroziteleri, fiziksel özellikleri, mikrosertlikleri, yoğunlukları, oksijen içerikleri ve termal özellikleri incelenmiştir. Vakum plazma spreycaplamaları ile üretilen numuneler Atmosferik plazma spreycaplamaları ile üretilen numunelere göre daha yoğun, daha homojen yapıda, daha düşük oksijen içeriğine sahip, daha az porozite miktarı ve dolayısıyla daha yüksek sertliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplamalarda bakır oranının artmasıyla kaplamanın termal iletkenliği ve termal genleşme katsayılarının arttığı belirtilmiştir.

Fiedler vd. (2017) yüksek ısı akısı uygulaması için metalik HVOF kaplamalarının hasar mekanizmaları isimli çalışmalarında bakır altlık üzerine HVOF yöntemiyle 3 farklı toz (NiCuCrAl, CoRe, Rene80) püskürtülmüş ve hasar mekanizmaları incelenmiştir. Termal uyumsuzluktan kaynaklı bazı hasarlar rapor edilmiştir.

Veridan vd. (2012) bakır altlık üzerine HVOF yöntemiyle mekanik alaşımlanmış Ni-%25Si tozu püskürtmüşlerdir. Ni₃Si ile karşılaştırıldığında HVOF yöntemiyle püskürtülen mekanik alaşımlandırılmış Ni(Si)/Ni₅Si₂ tozlarıyla yapılan kaplamanın mikrosertlik değerlerindeki artış rapor edilmiştir. Korozyon değerlerinde ise Ni₅Si₂ çok fazlı kaplamanın bakır altlıktan daha iyi korozyon değerine sahip olduğu bildirilmiştir.

Sharma vd. (2012) bakır altlık üzerine HVOF ve alev püskürtme yöntemleriyle nikel krom bor silisyum esaslı alaşım tozları püskürtmüşler ve sertlik, aşınma, karakterizasyon özelliklerini araştırmışlardır. Alt malzemenin 82 VHN olan sertliğine karşın HVOF ile yapılan kaplama da 935 VHN, alev püskürtme ile yapılan kaplamada 251 VHN olarak rapor etmişlerdir. Alt malzemeye oranla her iki kaplamada da aşınma direnci artmıştır. HVOF ile yapılmış kaplamada sertliğin yüksek olması sürtünme katsayısının düşmesine ve aşınma direncinin artması sebep olduğu bildirilmiştir.

Islak vd. (2018) Cu-Mo Kaplamalarının Elektriksel İletkenliği ve Mikroyapı Özellikleri isimli bildiride bakır altlıklar üzerine plazma sprej yöntemiyle bakır molibden kaplamaları yapılmış ve mikroyapı, elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bakır molibden kaplama sonucu alt malzemeye göre kaplama sertlikleri önemli derecede artmış olup elektriksel iletkenlik %90 IACS den %57-80 IACS değerine azaldığı rapor edilmiştir.

Chen vd. (2017) bakır yüzey üzerine patlamalı şekillendirme yöntemiyle tungsten bakır kaplamaları incelemişlerdir. Bu kaplama sonucunda teorik yoğunluğa %99 oranında yaklaşmışlardır. Kaplamalar sonucu sertlik alt malzemeye göre yaklaşık 4 kat artış göstermiştir. W-%50 Cu kaplama ve bakır alt malzeme arasındaki kayma mukavemeti yaklaşık olarak 110-125 MPa olduğu rapor edilmiştir.

Sobolev vd. (1999) bakır altlık üzerine HVOF püskürtme yöntemiyle WC-Co tozu kaplamışlar ve kaplama tabakasının ısı transfer analizini matematiksel hesaplama yolu ile hesaplamışlardır. Kaplama tabakası, ara yüzey ve alt malzemedeki erimeyle katılaşmadaki ısı reaksiyonları rapor etmişlerdir.

Chen vd. (2017) bakır altlık üzerine patlamalı şekillendirme kaplama yöntemiyle tungsten bakır kaplamaların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Mikroyapı özelliklerine göre tungsten ve bakır tozlarında homojen dağılım gözlenmiş, yani bu tozların iyi karıştırıldığı bildirilmiştir. Tungsten toz boyutunun daha büyük olduğu SEM analizlerinde görüldüğü bildirilmiştir. Yine SEM analizlerinde kırık yüzey incelendiğinde metallerin geleneksel kırılmasından farklı olduğu tespit edilmiştir. Ara tabakaya bakıldığında tungsten bakır karışımının alt malzeme de olan bakıra sinterlendiği görülmektedir. Bunun sonucu olarak kaplama tabakasının sertlik değeri yaklaşık 240 VHN olarak bildirilmiştir. Alt malzemenin sertliği yaklaşık 55 VHN olarak rapor edilmiştir.

Lu vd. (2018) bakır altlık üzerine mekanik alaşımlama yöntemiyle elmas bakır kompozit kaplamalar üretmişlerdir. Elmas partikül büyüklüğü, elmas içeriği ve öğütme süresinin mikroyapı ve kaplama özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, kaplamadaki elmas parçacık büyüklüğünün esas olarak yüzlerce nanometre ve birkaç mikrometre arasında dağıldığını göstermiştir. Kaplamanın mikrosertliğinin bakır altmalzemedен çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Büyük elmaslar partikülleri iç tabakanın etkinliğini artırması nedeniyle kaplamanın termal şok direncine katkıda bulunduğu bildirilmiştir. Optimum mikroyapı ve termal şok direncine sahip kaplama, 105 µm'lik elmas boyutunda,% 30 oranında elmas içeriğinde ve 7 saatlik öğütme süresinde sentezlendiği rapor edilmiştir.

Liu vd. (2016) bakır-elmas altlık üzerine saf bakır tozu HVOF yöntemiyle püskürtülmüş ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. İnce parçacıklar alt tabaka ile iyi bir yapışma gösterirken, kaba parçacıklar önemli ölçüde deforme olmuşlardır. Kaplama % 1'den daha düşük gözeneklilik, % 0,5'in altında oksijen içeriği ve yaklaşık $266 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ısı iletkenliği ile oldukça yoğun olduğu bildirilmiştir. HVOF püskürtme işlemi ile elmas-Cu substratı üzerinde biriken Cu kaplama, lehimleme ve diğer malzemelerin birleştirilmesinde kolaylık sağlanmış ve elektronik endüstrisinde yararlı olabileceği rapor edilmiştir.

Huanchao vd. (2017) grafen / bakır kompozitleri üretmek için tozlar bilyalı öğütme cihazında karıştırılmış, soğuk presleme ve sinterleme işlemleri ile numuneler hazırlanmıştır. Sertlik, yoğunluk, iletkenlik ve oksidasyon direnci gibi mekanik ve fizikokimyasal özellik testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda optimum parametre grafen oranının ağırlıkça %0,2 olduğu belirlenmiştir. Optimum proses parametreleri ile elde edilen malzemelerin yoğunluk, sertlik, oksidasyon ağırlığı ve IACS değerleri sırasıyla% 90.0, 53.4HB, 1.6 mg cm⁻² ve % 76.2 olduğu tespit edilmiştir.

Sathwara vd. (2015) bakır altlık üzerine WC-12% Co HVOF yöntemiyle üretilmiştir. Kaplamanın mikroyapısı, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiş ve X-Ray Difraksiyonu (XRD) ile kaplamanın mevcut fazlarının karakterizasyonu incelenmiştir. Tüm kaplamaların mikro sertliği Vickers Mikrosertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Düşük oksijen basıncında (10.00 bar), yüksek hava basıncında (7bar) ve kısa nozulda 170 mm'lik bakır altlık üzerindeki kaplama tabakasında en az gözeneklilik, en iyi kaplama ve yapışma olduğu rapor edilmiştir.

Wang vd. (2018) bakır içerisine %1-9 arasında ZrB₂ partikülleri eklenerek sıcak preslenmiş ve Cu-ZrB₂ kompozitleri üretilmiştir. Mikroyapı özellikleri, mekanik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin yoğunluğu ve elektriksel iletkenliğinin, ZrB₂ içeriğinin artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek sertlik değeri %7 ZrB₂ içeriğine sahip olan numunede 100.8 HV_{0.2} olarak tespit edilmiştir ve ZrB₂ içeriğinin artmasıyla sertlikte bir miktar azalmalar gözlenmiştir. TEM çalışmasında bakır matriks tabakasının ZrB₂ taneciklerinin etrafını çok iyi sardığı gözlenmiştir. Arayüzey bölgesinde hem keskin geçişler hem de amorf geçiş katmanı tespit edilmiştir.

Ni vd. (2018) bakır içerisine TiC ilave edilerek 48, 72, 84, 96 120 saat bilyeli öğütme ile karıştırılmış ve sıcak presleme kullanılarak numuneler üretilmiştir. Cu-matriksli nanokompozitlerin sertlikleri bilyeli öğütme süresinin artmasıyla artmıştır. Fakat elektriksel iletkenlikleri 84 saate kadar azalmış 84 saatten sonra kısmen artmıştır.

Yener vd. (2014) Bakır-B₄C kompozitleri, herhangi bir inert ortam (gaz veya vakum) kullanmadan, grafit tozu içine gömülerek geleneksel toz metalurjisi yöntemi ile başarıyla üretilmiştir. Kompozitlerin yoğunluğu, mikro sertliği ve elektriksel özellikleri gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yaklaşık 40 µm partikül boyutuna sahip ticari bakır tozları elektriksel iletkenlik için ve bakırın mekanik özelliklerini geliştirmek için ise ağırlıkça % 1, 2, 3 oranlarında 40 µm'lik parçacık boyutu ile B₄C ile takviye edilmiştir. Cu-B₄C kompozitler, 2 saat boyunca 900 °C sıcaklıkta toz sinterleme prosesi ile üretilmiştir. Sinterlenmiş kompozitlerin baskın bileşenleri olan Cu ve B₄C'nin varlığı XRD ve SEM-EDS ile tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), B₄C partiküllerinin bakır matrisinde homojen olarak dağıldığını göstermiştir. 900 °C'de sinterlenen Cu ve Cu-B₄C kompozitlerin nispi yoğunlukları % 95.7'den % 91.6'ya kadar değişmiştir. Kompozitlerin mikrosertliği 84,5 ila 94,6 HB arasında değişmektedir. Cu-B₄C kompozit malzemenin elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçları, modelin sonuçları ile karşılaştırılmış ve % 96 'nın üzerindeki genel doğruluk seviyesi elde edilmiştir.

Islak vd. (2014) yaptıkları çalışmada, sıcak presleme yöntemi kullanılarak Cu-TiC kompozitleri başarıyla üretilmiştir. Cu-TiC toz karışımları, 50 MPa uygulanan bir basınç altında 600, 700 ve 800 ° C'de 4 dakika boyunca sıcak preslenmiştir. Farklı sıcaklıklarda preslenmiş kompozitlerin faz bileşimi ve mikro yapıları, X ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskop teknikleri ile karakterize edilmiştir.. Mikroyapı çalışmaları, TiC parçacıklarının Cu matrisinde eşit olarak dağıldığını ortaya koymuştur. Artan sinterleme sıcaklığı ile kompozitlerin sertliği 64.5 HV_{0.1} ile 85.2 HV_{0.1} arasında değişmiştir. Cu-% 10 TiC kompozitlerinin en yüksek elektrik iletkenliği, yaklaşık % 68.1 IACS ile 800 ° C sinterleme sıcaklığı için elde edilmiştir.

Nazeer vd. (2019) yaptıkları çalışmada, toz metalurjisi tekniği ile bakır-grafit ve bakır-indirgenmiş grafit oksit kompozitlerinin yapılması için farklı boyutlarda grafit ve grafit oksit kullanılmışlardır. Raman, XRD, XPS ve SEM, grafit oksidin bozulma, faz analizi, yüzey morfolojisi ve mikroyapı analizleri yapılmıştır. Grafit oksitin bakır içerisinde iyi dağıldı SEM analizlerinde tespit edilmiştir. Termal iletkenlik ve anizotropik termal iletkenlik, farklı gözenekli grafit boyutları ve azalan grafit oksit miktarıyla iyi değerler vermiştir. En iyi sonuçların her iki grafit ve indirgenmiş grafit

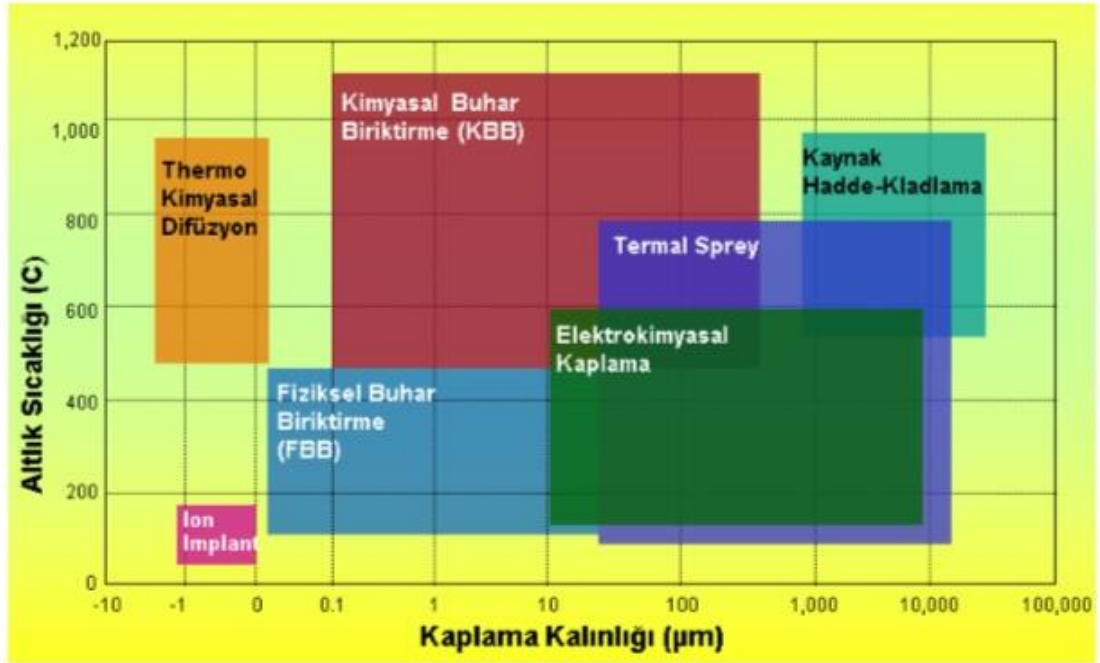
oksitin ağırlıkça % 1 ilave edilen ve mesh büyüklüğünün 3500 µm boyutunda olduğu değerde tespit edilmiştir. Ayrıca, anizotropik termal iletkenlik sonuçları saf bakırdan çok daha iyidir. Sertlik değerleri katkılarla artmış olup grafen katkısıyla saf bakırdan yaklaşık %54 grafen oksit katkısıyla bakırdan yaklaşık %61 daha yüksek değerler rapor edilmiştir. Anizotropik termal iletkenlik ve yüksek sertlik değerlerinde belirgin bir iyileşme, bu malzemeleri elektronik paketleme sistemindeki ısı alıcıları olarak kullanmak için yeni bir umut vermiştir.

Salvo vd. (2019) mekanik öğütme ve sıcak presleme kullanılarak grafenle (ağırlıkça % 1) güçlendirilmiş bakır matrisli kompozitler (Cu-GNS) üretmişlerdir. Birkaç katmanlı grafen nanosheets (GNS) ile güçlendirilmiş bakır matrisli kompozitlerin yapı ve morfolojisi sırasıyla X-ışını difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri ile tartışılmıştır. Mekanik öğütmenin mikroyapı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Kompozitlerin kimyasal uyumluluğu ve başarılı oluşumu X-ışını kırınım çalışmaları ile doğrulanmıştır. Tozların birleştirilmesi vakumlu sıcak pres sinterleme (600 ve 700 °C'de) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 600 °C'de saf Cu matrisine kıyasla % 1'lik grafen takviyeli Cu için elektrik iletkenliği %22 civarında bir gelişme gözlenmiştir. Geliştirilmiş fiziksel, mekanik ve elektriksel özellikleri ile Cu-GNS kompozitlerini elde etmek için (600 °C, 30MPa, 30 dakika) düşük sinterleme sıcaklığının ve daha yüksek uygulanan yükün önemi vurgulanmıştır. Sinterleme sıcaklığının düşürülmesinin ve sıcak presleme işleminde uygulanan basıncın artırılmasının, fiziksel ve mekanik özelliklerin artmasıyla Cu-GNS kompozitlerinin gerçekleştirilmesi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Khobragade vd. (2019) grafenle güçlendirilmiş Cu matrisli kompoziti, mekanik olarak karıştırılmış toz karışımının yüksek basınçlı burulma (HPT) ile birleştirilmesiyle üretmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapısal karakterizasyon, takviye fazının matrise eşit dağıldığını göstermiştir. X ışını kırınımı (XRD) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM), Cu ve grafen arasındaki nanokristalin mikro yapısını ve güçlü ara yüzey bağı göstermektedir. Bakır içerisine % 10 grafen eklenmesi maksimum sertlik (~2.67GPa) ve Young modülü (102.03GPa) olduğu rapor edilmiş ve saf bakıra göre yaklaşık 2 kat arttığı tespit edilmiştir. Cu-% 10 grafen kompozitin elektrik iletkenliği ~% 87 IACS olarak bulunmuştur.

3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Disiplinler arası bir alan olan Malzeme Bilimi alanı teknolojik alanlarda yeniliklerin başlamasına önyak olan alanların başında gelmektedir. Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ile birlikte malzemelerden daha üstün özellikler beklenmektedir. Bu nedenle kullanılan malzemelerin yüzey modifikasyonları gündemdedir. Kaplama yöntemleriyle malzemelerden istenilen özelliklerin bazıları elde edilebilmektedir ve uygulaması da oldukça ekonomiktir. Endüstride kullanılacak malzemeler kullanım yerlerine göre bazı yüzey özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir (Özel vd., 2008; Şafak, 2008). Triboloji, yüzey sertleştirme teknikleri diye anılan bilim dallarıyla malzeme mühendisliği arasındaki bütünlük, yüzey işlemleri, kaplamalar olarak bilinmektedir. Yüzey mühendisliği yöntemleri malzemelerin fiziksel özelliklerinden yorulma dayanımlarına, korozyon özelliklerinden aşınma özelliklerine kadar incelenmesini ve bu özelliklerini sürekli geliştirme ve iyileştirilmesini kapsamaktadır (Bloyce, 1995). Aşağıda Şekil 3.1’de farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları verilmiştir (URL-1, 2018).



Şekil 3.1. Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları

Yüzey kaplama işlemleri malzemelerin yüzeylerini aşınma ve korozyona karşı korumasının yanı sıra malzemelerin çeşitli istenilen özelliklerini iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Tek bir kaplama yönteminin olmaması malzemelerin özelliklerini iyileştirmede istenilen özelliklerin sağlanamaması çeşitli kaplama yöntemlerinin gelişmesine olanak doğurmuştur. Yüzey mühendisliği alanında kullanılan bu kaplama yöntemlerinin ihtiyaca göre daha da artması muhtemeldir. Günümüzde kullanılan yüzey kaplama yöntemlerini aşağıdaki gibi 4 ana başlık altında inceleyecek olursak Termal Sprey Yöntemleri Ergitme Yöntemlerinin alt başlığı olarak kendine yer bulmaktadır (Islak, 2005).

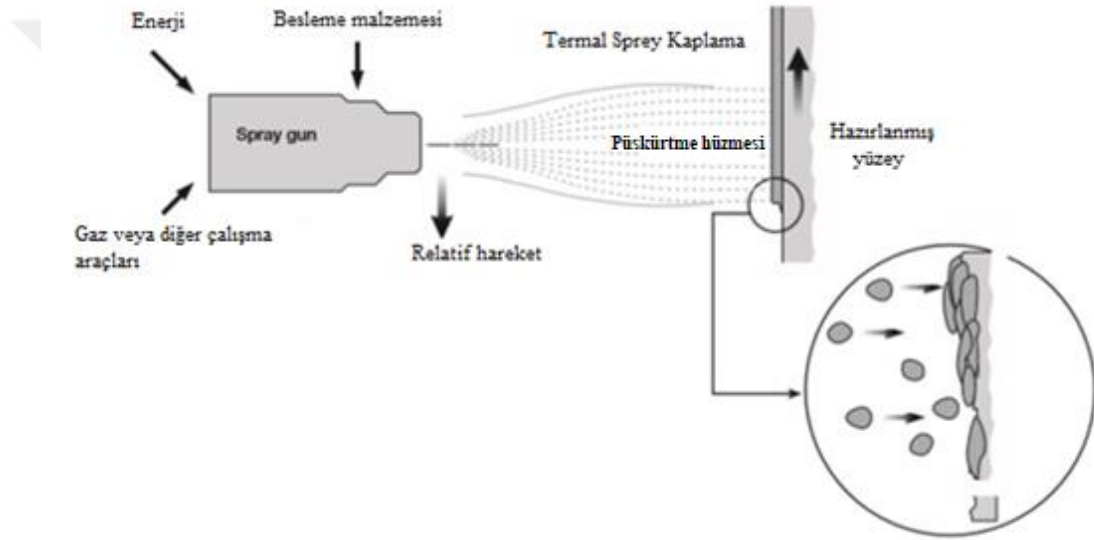
- a. Buhar Fazı Yöntemleri,
- b. Sol-Jel Yöntemi,
- c. Kaplama ve Anotlama Yöntemleri (Elektrolitik Kaplama),
- d. Ergitme Yöntemleri
 1. Kaynak
 2. Termal Sprey (Isıl Püskürtme) Yöntemleri

3.1. Termal Sprey (Isıl Püskürtme) Yöntemleri

Isıl püskürtme yöntemleri ile kaplama uygulamalarının artması, kaplama tabakalarının özelliklerinin anlaşılması ve daha iyi kaplamalar elde edebilmek için termal spre y yöntemleri sürekli geliştirilmektedir. Termal spre y kaplamalarında altlık üzerine atılacak malzeme seramik, metalik, plastik veya herhangi bir bileşim ya da karışımdan oluşabilmektedir (Rickerby ve Matthews,1991; Salman, 1995; Smith ve Fast, 1994).

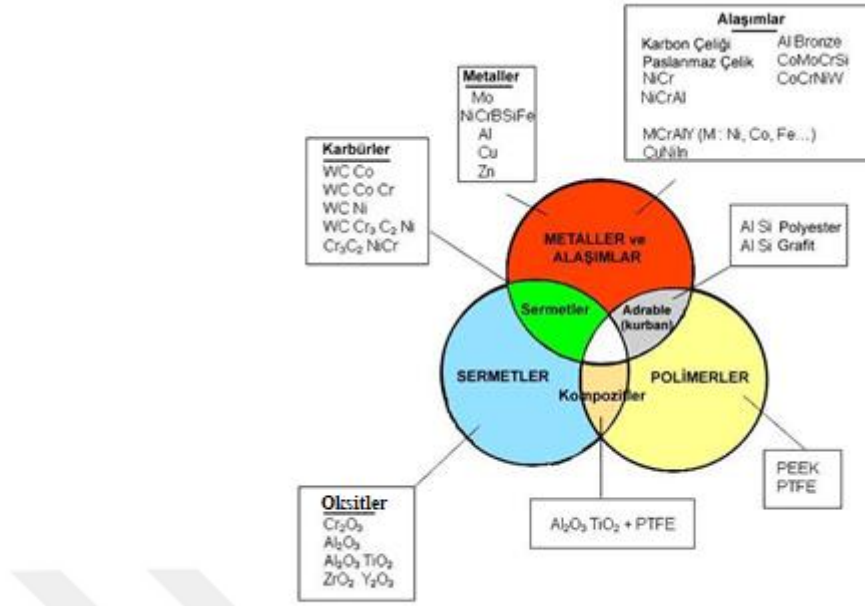
Termal spre y kaplama yöntemleri bir püskürtme tabancasıyla toz ve ya tel halinde bulunan kaplanacak malzemelerinin yanıcı, taşıyıcı ve yakıcı gazlarla birlikte püskürtülmesi sonucu altlık malzemede biriktirilen kaplama tabakasının elde edilmesiyle oluşmaktadır (Şekil 3.2). Termal spre y torcu plazma arkı, elektrik arkı ve plazma arkıyla kaplanacak kaplama malzemesinin ergitmesinde kullanılmaktadır. Altlık malzemeye püskürtülen ergimiş, yarı ergimiş partiküllerin soğuk yüzeye

çarpmasıyla darbe etkisi ve alt malzemeden ısı aktarımı sonucu soğuyarak katılaştır ve yatay bir hal almaktadır. Kaplama yapılacak malzemenin yüzeyinde istenilen kaplama tabakası oluşmakta ve tanecikler birbiriyle temas halinde olmasından kaynaklı poroziteler de meydana gelmektedir. Kimyasal bağ kuvveti sayesinde bölgesel ve mekanik bağlanma şeklinde kaplamalar elde edilir. Püskürtülen malzemenin alt malzemeye bağlanabilmesi için altlık malzemeye genellikle kumlama yardımıyla pürüzlendirme işlemleri yapılmaktadır (Sarıkaya, 2003; Özel, 2009). Termal spreycaplama yönteminin kaplama prensibi şematik olarak Şekil 3.2 'de gösterilmiştir (Sulzer Metco, 2013).



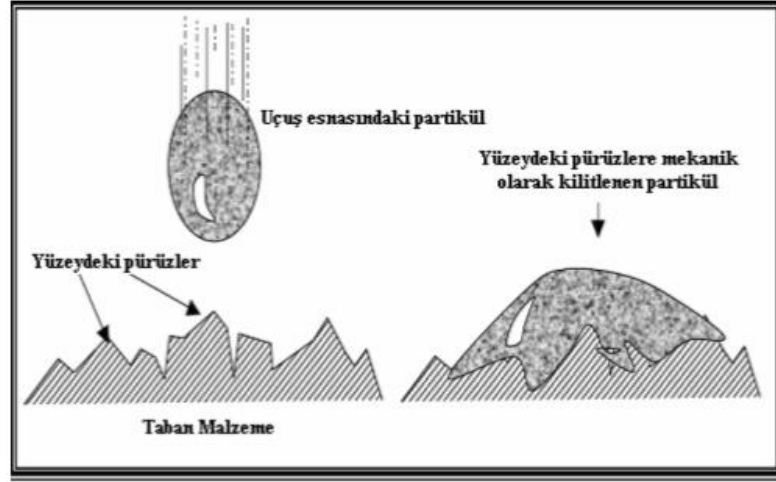
Şekil 3.2. Termal spreycaplama yönteminin şematik olarak gösterimi

Termal spreycaplama yöntemiyle alt malzemenin kaplanması sonucu ısı bir bariyer oluşturulabilmektedir. Bu ısı bariyerlerinin ısı iletkenliği düşük malzemelerden oluşması gerekmektedir. Isı bariyer kaplama uygulamaları oldukça yüksek sıcaklıklarda alt malzemenin kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Termal bariyer olarak karbürler, oksitler ve nitrürler kullanılabilir (Özel, 2013). Termal spreycaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemelerinden bazıları Şekil 3.3' te verilmiştir (URL-2, 2018).



Şekil 3.3. Termal sprey kaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri

Termal sprey kaplamalar tribolojik olayları engelleyerek altlık malzemeyi korumak için, oksidasyonu önlemek, ısı yalıtımının sağlanması için kullanıldıkları gibi dekoratif amaçlar, onarım ve yenilenebilir kaplamaların yapımı gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Ticari olarak beş farklı termal sprey kaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; alevle püskürtme, elektrik arkı ile püskürtme, patlamalı püskürtme, yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme ve plazma ile püskürtmedir. Bunlardan plazma sprey kaplama yüksek sıcaklığa çıktığından dolayı partiküllerin altlık malzemeye daha iyi yapışmasından kaynaklı daha yoğun kaplamalar ve daha yüksek bağ mukavemeti oluşmaktadır. Isıl püskürtme tabakasının oluşumu Şekil 3.4’ de gösterilmektedir (Bunshah, 2001; Stokes, 2003; Islak, 2005; Dorfman, 2012).



Şekil 3.4. Partikülün mekanik bağlanması

3.2. Isıl Püskürtme Yöntemlerinin Gelişimi Ve Esası

1900'lü yılların başında İsveçli mühendis M. U. Skopp tarafından termal püskürtme yöntemlerinin ilk uygulaması gerçekleştirilmiştir. 1908 yılında M. U. Skopp dolgu işlemlerinde başarılı olmuştur. Birçok metali bu amaçla kullanmış ve aynı yıl patentini almıştır. Termal püskürtme yöntemleri 1970'li yıllarda plazma spreyi geliştirmek, kaplamaların daha iyi birleşmesini sağlamak ve aşınmaya karşı dirençli kaplamalar üretmek gibi birçok amaçlarda kullanmak için yaygınlaşmıştır. 1980'lerde termal püskürtme yöntemlerinin asıl gelişimi toz partiküllerinin hızlarını arttırmak yönünde olmuştur. (Islak, 2005).

Termal püskürtme yöntemi özellikle aşınma, korozyon gibi istenmeyen yüzey olaylarına karşı endüstride yaygın bir şekilde kullanılan kaplama yöntemlerinden biridir (Mishra vd., 2005; Yılbaş ve Arif, 2007). Bu yöntem diğer kaplama yöntemlerine göre son 20 yılda kullanılan daha yeni kaplama yöntemidir. Termal sprej kaplamaların en geniş kullanım alanı makine ve otomotiv sektörüdür (Barbezat, 2005; Lin, Jean ve Chou, 2007).

Termal sprej kaplamalar kaplanacak malzemenin kombinasyonları değişmeden ergitilmesi, mevcut ölçüleri değiştirmeden hasarlanmış kaplama tabakasının sökülüp yerine tekrar kaplama yapılabilmesi ve kaplama esnasında altlık malzemenin çok fazla

ısıtılmadan uygulanması avantajları arasında sayılabilir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise boyutlarının kısıtlı olması ve görüş açısı darlığıdır (Davis, 2004).

Termal püskürtme yöntemleri ile kaplanmış malzemelerde geliştirilebilecek özelliklerden bazıları; aşınma dayanımı, elektrik iletkenlik veya elektriksel direnç, ısı yalıtımı, oksidasyon direnci, korozyon dayanımı olarak sayılabilir (Bilgin, 2008).

Isıl püskürtme yöntemiyle polimerler, saf metaller, metal alaşımları, kompozitler, karbürler ve sermetler kaplanabilir. Farklı sürtünme katsayısına sahip, farklı tokluğa sahip çok sayıda farklı özelliği bulunan 200'den çok malzeme kaplanabilmektedir. Bütün termal püskürtme yöntemlerinin en önemli özelliği kaplanacak malzemenin elektrik enerjisi ve/veya kimyasal enerji ile ısıtılması ve hızlandırılmasından sonra kaplama yapılacak altlık malzeme yüzeyine püskürtülmesi işlemidir. Termal püskürtme yöntemleri, tercih edile atmosfer, kullanılan enerji kaynağı ve kaplama malzemesi bakımından farklılıklar gösterebilmektedir (Evkaya, 2003).

3.3. Isıl Püskürtme Kaplamalarda Bağlanma

Korozyon, aşınma gibi yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi esnasında mukavemetli ve yoğun bir kaplama tabakası elde edebilmek için yapılan kaplamaların alt malzemeye iyi bir şekilde bağlanması ve meydana gelen tribolojik olaylar sırasında kaplama tabakasının altlık malzemedan ayrılmasının yerine kaplama tabakasının aşınması gerekmektedir. Bu nedenle termal püskürtme ile yapılan kaplamaların endüstriyel uygulamalarında yapılan kaplama ile altlık malzeme arasında oluşan bağın kalitesi oldukça önemlidir (Samur vd. 2003).

3.3.1. Bağlanma Mekanizması

Mekanik Bağlanma

Mekanik bağlanma ergimiş haldeki parçacığın alt malzemeye yada daha önceden katılmış olan parçacığa çarpıp yayılmasıyla oluşur. Ergimiş olan parçacıklar pürüzlendirilmiş yüzeye ya da kaplanmış halde olan malzemeye mekanik olarak kilitlemesi sonucu mekanik bağlanma gerçekleşir (Bilgin, 2008).

Difüzyon veya Alaşımılama ile Bağlanma

Difüzyon veya alaşımılama ile bağlanma alt malzeme ile kaplama malzeme bileşimlerinin hepsinde gözlenmez. Kaplama sırasında sıcaklığın alt malzemenin ergime noktasını aşması durumunda ara yüzeyde meydana gelen mikro boyutlardaki bağlanma şeklidir (Bilgin, 2008).

Adhesif Bağlanma

Adhesif bağlanma mikro temasın olduğu yerlerde görülmektedir ve atomik çekim kuvvetinin etkisi altında oluşur. Atomik bağın yapısına göre Van Der Waals, Kohesif kuvvet veya valans elektronların değişimi şeklinde oluşmaktadır (Samur vd. 2003).

Kaplama malzemesinin alt malzemeye bağlanması bağlanma mekanizmalarının birini ya da hepsini içerebilir. Alevle püskürtme yönteminde genellikle metalürjik bağlanma, plazma püskürtme yönteminde genellikle mekanik kilitlenme şeklinde bağlanma görülmektedir (Bilgin, 2008).

3.3.2. Bağ (Ara) Tabakanın Kullanılması

Kaplama yapılacak altlık malzemeyle kaplama tabakası arasındaki bağlantı termal sprey kaplamaların en zayıf bağlantı noktasıdır. Yapılacak kaplamanın kolaylıkla atmasını engellemek ve kullanım süresini uzatmak için alt malzemeyle kaplama tabakası arasında bir bağlayıcı tabaka kullanılır (Bilgin, 2008).

Ara tabaka alt malzemeyle kaplama yüzeyi arasında iyi bir yapışma sağlaması ve termal uzama uyumsuzluklarını ve elastik modülden kaynaklı sorunları en aza indirmek için kullanılmaktadır. En fazla tercih edilen ara tabaka Nikel- Alüminyum bağ kaplamalarıdır (Samur vd., 2003).

3.3.3. Bağ Dayanımını Etkileyen Faktörler

Bağ dayanımını etkileyen faktörlerden bazıları şunlardır; malzeme pürüzlülüğü, partikül hızı ve sıcaklığı, malzeme temizliği, malzemenin kimyası, altlık malzeme

sıcaklığı ve partikül boyutudur. Ayrıca kaplama tabakası ve altlık malzemenin sahip olduğu fiziksel özellikler, ara yüzeyde görülen intermetalik bileşikler de bağ dayanımını etkilemektedir. Bağlanmada artış olması için kaplanacak partiküllerin sıcaklığının ergimesini sağlayacak seviyede olması gerekmektedir (Samur vd., 2003; Bilgin, 2008).

3.4. Termal Sprey Kaplamaların Uygulama Alanları

Genellikle metalik altlık üzerine uygulandığı bilinen termal spreycaplamalar karbon, polimerik veya metal matriksli kompozitlere de uygulanmaktadır. Termal spreycaplamaların oldukça geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; tribolojik ve korozif etkilerden korunmak için, radyasyon düzenleyicisi olarak, boyutsal tamirat, elektrik yalıtkanı veya iletkeni olarak, ısı iletken veya ısı koruyucudur. Termal püskürme kaplamalarının en çok kullanıldığı endüstriler havacılık, otomotiv, metalürji, gemi inşaatı gibi sektörlerdir (Heimann, 1996; Barbezat, 2005; Lin vd., 2007).

Otomotiv endüstrisinde piston, piston segmanları, valfler, disk gibi parçaların termal püskürtme yöntemiyle kaplanması standart uygulama haline gelmiştir. Bunun yanısıra deniz taşıtlarında, pervaneler, turbo motorlar, şaftlar ısı püskürtme kaplamalarının uygulama alanlarındandır. Termal spreycaplamalarının yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alan ise ortopedik olan implant malzemesinin de bu yöntemle kaplanmasıdır (Samur vd. 1995).

Termal spreycaplamalarının amaçlarından bazıları şunlardır; abrasif aşınmaya karşı direnç, termal bariyer oluşturma, oksidasyona karşı koruma, korozyon direnci, elektriksel iletkenlik ya da yalıtkanlık, yağlama, implant malzemesidir (Kwin, 1989; Smith ve Novak, 1991; Kaya, 2007).

4. KOMPOZİT MALZEMELER

Mühendislerin çeşitli uygulamalarda ürünlerin dizaynında ve üretiminde kullanabileceği 50.000'den fazla uygun malzeme çeşidi vardır. Kullanılan malzemeler yüzyıllardır kullanılan bakır, dökme demir gibi temel malzemelerden yeni nesil ileri teknolojik ürünlere kadar değişiklik göstermektedir. Malzemeler temel olarak üç'e ayrılır. Bunlar; metaller, polimerler ve seramiklerdir. Bu malzemelerin birbirlerine göre zayıf ve üstün özellikleri bulunmaktadır. Bir malzemede istenilen özellikler kullanıldığı yere göre şekil alır. Bu özelliklerin en önemlilerinden bazıları; yüksek sıcaklık direnci, yoğunluğu, elastik modülü, kırılma tokluğu ve akma dayanımıdır (Şahin, 2000; Mazumdar, 2002).

Metaller yüksek mukavemet, ısı kararlılık, ısı ve termal iletkenlik gibi özelliklere yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılamamaktadır. Polimerlerin yoğunluğunun düşük olması, karmaşık şekilli parçaların üretiminin daha kolay olması ve talaş kaldırma işlemlerinin kolay olması avantajları arasında sayılırken düşük ısı kararlılıkları ve mekanik özelliklerinin düşük olması kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Seramiklerde ise kuvvetli iyonik bağa sahip olmaları nedeniyle yüksek ısı kararlılıkları ve yüksek mukavemetleri vardır ancak metallere göre sünek değildirler. Genellikle kimyasal etkilere karşı ve ısı etkilere karşı dirençlidirler. Yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle üretim sonrası işlenmesi oldukça zordur. Gevrek olmaları seramiklerin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır (Şahin, 2000; Mazumdar, 2002).

Bu üç temel malzeme grubu günümüz teknolojisinin hızla ilerlemesi sonucu malzeme ihtiyaçlarına yetersiz kalmıştır ve yeni nesil üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyacını doğurmuştur. Sürekli gelişen endüstri ve teknolojinin sonucu olarak malzemelerin kullanım yerlerine göre istenilen özelliklerde üretilebilmesi için teknolojik olarak ilerleme zorunlu hale gelmiştir. Malzeme bilimciler yeni nesil üstün özelliklere sahip malzemeleri araştırmaya yönelmişler ve geleneksel malzemelerden farklı daha üstün özelliklere sahip Kompozit Malzemeler adı altında yeni malzeme üretmişlerdir. Bu

grup malzeme türleri arasında dördüncü grup olarak sayılmaktadır (Şahin, 2000; Akdaş, 2007).

Kompozit malzemelerin tarihçesi aslında dünyanın ve insanlığın oluşumuna dayanmaktadır. Örneğin diş, kemik, ağaç gibi materyallerin hepsi kompozit malzemedir ve doğal kompozit olarak adlandırılmaktadır. İnsanların çamurla samanı karıştırıp kerpiç tuğlalar ürettiklerinde ilk kompozit malzemeyi de üretmişlerdir. Kompozit teriminin anlamı doğal ya da sentetik en az iki bileşenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemedir. Doğada birçok yapının kompozit olduğunu gözlemleyen araştırmacılar gelişen teknolojiyle birlikte malzeme ihtiyaçlarını karşılamak için bu konular üzerine yoğunlaşmışlardır (Akbulut, 1994).

Kompozit malzemeler hakkındaki araştırma ve geliştirme çalışmaları 2. Dünya savaşı sırasında mevcut malzemelerin yetersiz kalması sonucu hızlandırılmıştır ve genişleyerek halen devam etmektedir (Şahin, 2000). Kompozit malzemeler hayatımızın tüm alanlarında karşımıza çıkmaktadır. Otomotivden inşaat sektörüne, spor malzemelerinden denizcilik malzemelerine uzay ve uçak parçalarından kurşun geçirmez yeleklere ve elektronik sektörüne kadar her yerde kullanılmaktadır (Mazumdar, 2002; Gay vd. 2003).

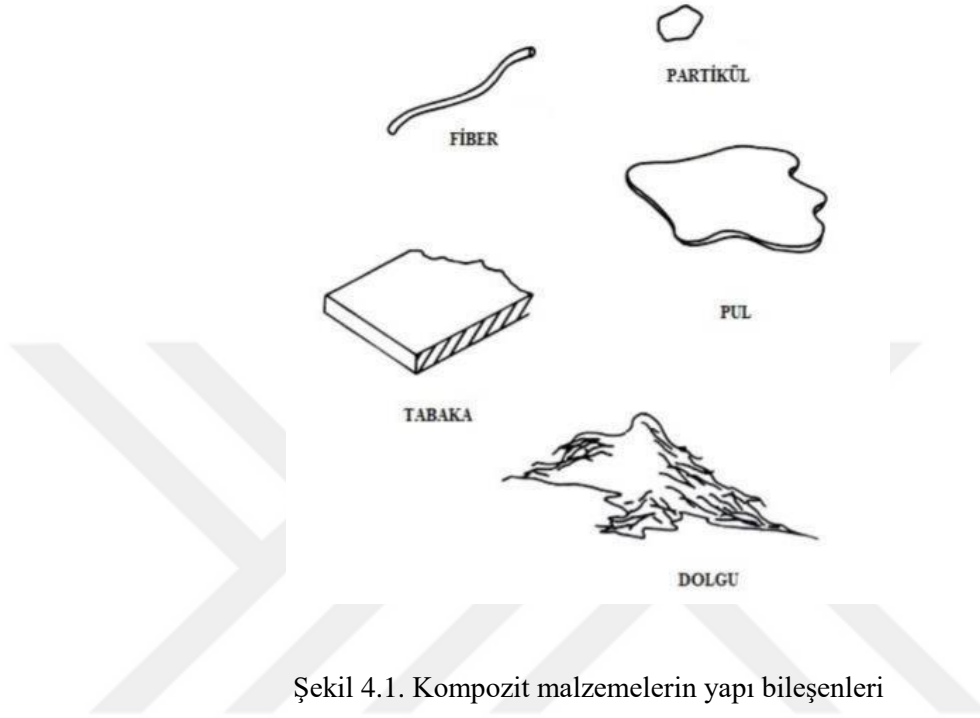
Son yıllardaki gelişmelerle birlikte bu malzemelerin kullanımlarının hızla yaygınlaştığı ve kullanımlarının da giderek artacağını söyleyebiliriz. Kompozit malzemelerin en önemli özellikleri yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modül/yoğunluk oranıdır. Bu nedenle özel uygulamalarda bu malzemeler kullanılmaktadır (Şahin, 2000; Mazumdar, 2002).

4.1. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

Kompozit malzemeler, kimyasal bileşenleri farklı, birbiri içerisinde çözünmeyen ya da aralarında bileşik oluşturmayan en az iki malzemenin birleşmesinden oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir.

Bir malzemenin kompozit malzeme sayılabilmesi için insanlar tarafından üretilmesi gerekmektedir, farklı bileşenleri bulunan ve kimyasal olarak birbirinden farklı en az

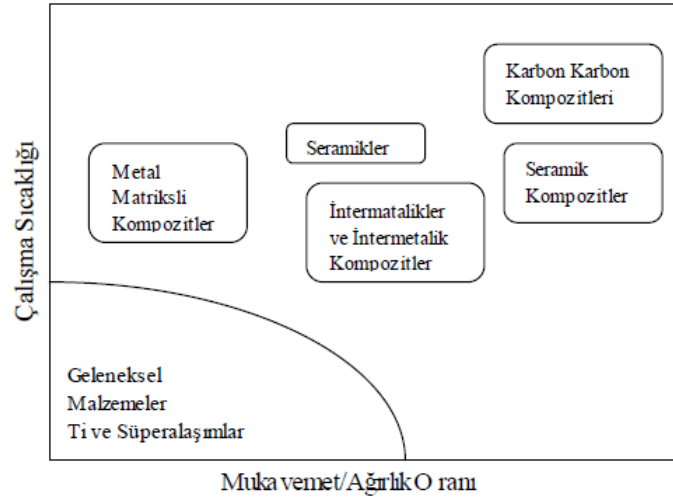
iki malzeme birleşiminden oluşmalıdır, malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidir ve kompozit malzeme kendisini oluşturan bileşenlerin özelliklerinden daha iyi olmalıdır. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Akbulut, 1994).



Şekil 4.1. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri

Kompozit malzemeler iki önemli kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; matriks fazı ve takviye elemanı olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak matriks fazları sünek, hafif ve dayanımı düşüktür, takviye elemanları ise yüksek dayanımlı ve rijittir. Hem takviye fazının hem de matriks fazının ayrı ayrı görevleri bulunmaktadır. Matriks fazının, takviye elemanlarını bir arada tutmak ve dışarıdan gelen yükleri takviye elemanına transfer etmek, iyi bir yüzey kalitesi sağlar ve malzemeyi kimyasal etkilere karşı korumak gibi görevleri bulunmaktadır. Takviye fazının ise yük taşımak, malzemeye tokluk, mukavemet, ısı kararlılık, elektrik iletkenliği ya da yalıtkanlık sağlamak gibi görevleri bulunmaktadır (ASM Handbook, 2001; Mazumdar, 2002).

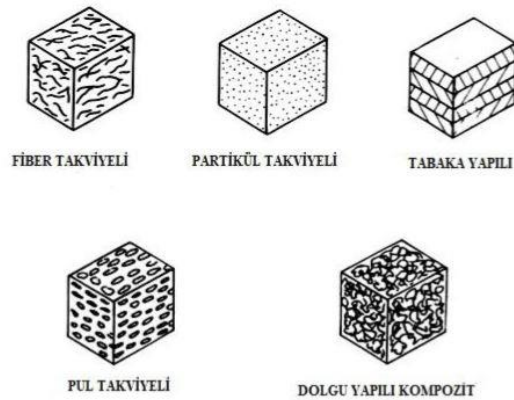
Kompozit malzemelerde geliştirilmesi gerekli en önemli parametreler mukavemet/ağırlık ya da spesifik mukavemettir. Çeşitli malzemelerin kullanım sıcaklıkları ve spesifik mukavemetleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir (Haris, 1999).



Şekil 4.2. Malzemelerinin mukavemet/ağırlık oranları ve çalışma sıcaklıkları

4.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler için birden fazla sınıflandırma yapılmaktadır. Malzeme kombinasyonları (metal-organik veya metal-inorganik), bileşen fazların karakteristikleri (matris sistemleri), bileşenlerin dağılımları (sürekli, süreksiz), fonksiyonları (elektiriksel veya yapısal) gibi sınıflandırmaları arttırabiliriz. Yapısal bileşenlerin şekline göre kompozitlerin sınıflandırılması Şekil 4.3’de gösterilmiştir (Akbulut, 2013).



Şekil 4.3. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması genellikle matris bileşenine göre yapılmaktadır. Bunlar; organik matrisli kompozitler (OMK), metal matrisli kompozitler (MMK), ve seramik matrisli kompozitler (SMK) olarak adlandırılır. Organik matrisli kompozitler iki kompozit türünü kapsamaktadır. Bunlardan birincisi polimer matrisli kompozitler (PMK) diğeri ise karbon matrisli kompozitler (bunlar genellikle karbon-karbon kompozitleri olarak ifade edilir) olarak adlandırılır.

➤ **Polimer Matrisli Kompozitler:**

Metal ve seramiklere göre çok daha fazla kompleks olan polimerler genellikle ucuz ve kolay işlenebilen malzemelerdir. Düşük elastite modülüne ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Karbon, aramid veya cam gibi takviyelerle üretilen polimer matrisli kompozitler oldukça yaygın kullanılmaktadır. Polimer kompozitlerin en büyük hedefleri çelik kadar sağlam, oldukça hafif, yüksek kullanım sıcaklığına sahip ve ekonomik malzeme üretimidir (Jones, 1999; Şahin, 2000; ASM Handbook, 2001)

Günümüzde ileri teknolojik malzemeler denildiğinde akla ilk gelen hiç şüphesiz taşıtlar ve elektronik sektörüdür. Bilhassa otomotiv sektöründe plastik malzeme kullanımı %10 civarındadır ve polimer kompozitlerin tamponlardaki özel uygulamaları neredeyse rakipsizdir. Polimer kompozitlerin insan dokuları ile uyum sağlayan yapay doku ve organlar gibi uygulamarda optik elyaf ve basıçla elektrik üretimi yapılabilen piezoelektrik sistemlerinde birçok malzemenin yerine kullanabilmektedir.

Günümüzde maliyetin pek fazla önemli olmadığı (uçak, füze, yapay kemik gibi) yerlerden günlük hayatımızda her gün kullandığımız malzemelere (beyaz eşyalar, lastik gibi) kadar her yerde polimer kompozitler karşımıza çıkmaktadır. Önümüzdeki yıllarda uzay havacılık, robotik ve tıp alanında polimer kompozitlere daha çok önem verileceği düşünülmektedir. Bu nedenle polimer kompozitler üzerine yapılan çalışmalar artarak devam edecektir (Demirkesen, 1995; Jones, 1999; Şahin, 2000; ASM Handbook, 2001).

➤ **Seramik Matrisli Kompozitler:**

Seramik malzemeler düşük yoğunluğa iyi dayanıklılığa sahip ve sert olmalarına rağmen oldukça gevrekler. Seramikler yalıtkan olup, kimyasal etkilere karşı ve termal etkilere karşı oldukça dirençlidirler. Ancak ergime sıcaklıklarının yüksek olması ve sert olmalarından dolayı işlenmeleri neredeyse imkansızdır. Kullanımları sırasında ani hasara yol açtıklarından dolayı faciaya yol açabilecek özelliktedirler (Demirkesen, 1995; Jones, 1999; Şahin, 2000; ASM Handbook, 2001; Chawla, 2003).

➤ **Metal Matrisli Kompozitler:**

Metal matrisli kompozitlerin kullanımı son 30 yılda yaygınlaşmış olsa da bu kompozitler hakkındaki bilgiler çok eski yıllara dayanmaktadır. Metal matrisli kompozitler son yıllarda endüstriyel ve mühendislik uygulamalara önemli katkılar sağlamıştır (Kumar, 1987; Çalın, 2006; Gültekin; 2007).

Metal matrisli malzemelerde oldukça yaygın olarak kullanılan matris düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özellikleri olan ve hafif metal ya da alaşımlardır. Genellikle alüminyum, titanyum, magnezyum, nikel, bakır gibi malzemeler matris malzemesi olarak seçilirken silisyum karbür, bor karbür, alümina, grafit gibi malzemeler takviye elemanı olarak seçilir (Şahin, 2000; ASM Handbook, 2001; Çalın, 2006; URL-3, 2008; Chung, 2010).

Metal matrisli malzemelerin yerlerine kullanıldıkları malzemelere göre üstünlükleri mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır; yüksek elastik modüle sahip olmaları, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmeleri, yüksek mukavemete sahip olmaları, yoğunluklarının düşük olmaları, termal şok direnci, yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikleridir. 1960'lardan beri metal matrisli kompozitler mekanik, elektrik ve ısı özelliklerinden dolayı uzay ve havacılık sektörü, otomotiv sektörü ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır (Haris, 1999; Şahin, 2000; ASM Handbook, 2001).

4.3.Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemenin avantajlarına bakacak olursak; hafif olmalarına rağmen yüksek sertliğe sahiptirler ve mukavemeti daha yüksektir. Korozyon dirençleri oldukça iyidir ve yüksek ısı dayanımına sahiptirler. Titreşim ve gürültü dirençleri yüksektir. Bu nedenle uçak ve helikopterlerde oldukça fazla kullanılır. Şekillendirilebilmesi kolaydır ve elektiriksel özellikleri isteğe ve kullanım yerine göre değiştirilebilir yani iletken ya da yalıtkan yapılabilir. Yoğunluğu düşüktür dolayısıyla hafiftirler.

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise kullanım yerine göre üretildiğinde üretimi zor ve maliyeti yüksektir. Sıcaklık ve kimyasal dirençleri matris malzemeye bağlıdır. Nem emebilir dolayısıyla şişme yapabilir ve geri dönüşümleri yoktur. Aynı kompozit malzeme için farklı mukavemet değerleri görülebilir. Kompozit malzemelerin kalitesi üretim yöntemine ve malzemelerin kalitesine bağlıdır ve onarılması kolay değildir (Yıldızhan 2008; Yüksek 2011).

5. BAKIR VE ÇEŞİTLİ KARBÜRLERİN ÖZELLİKLERİ

5.1. Bakır

Bakır, yaklaşık 7000 yıldır insanların kullandığı ve sanayinin de temellerinden birisi olan soğuk şekillendirme ile istenilen şekli ve biçimi alabilen kırmızımsı kahverengi bir renkte bulunan önemli bir metaldir (Richard, 2001). Yeryüzünde ortalama %0,01 oranında bulunan bakır en çok bulunan elementler sıralamasında 25. Sıradadır (URL-4, 2018). Tabiatta birçok yerde dağınık olarak bulunan bakır, kaya ve topraktan ziyade okyanus çamuru, nehir kumu, deniz mercanlarında ve hatta insan karaciğerinde salyangoz gibi yumuşakçalarda da bulunmaktadır (Efe, 2010).

Demirin keşfinden önce ilkel çağlarda bakır kalayla karıştırılır ya da alaşımladılarak bronz elde edilir ve çeşitli silah ve aletler yapılırdı. Günümüzde bakır ve bakır bileşikleri birçok alanda kullanılmaktadır. Renginden dolayı dekoratif amaçlarla, süs eşyası, el sanatları, madeni para, iletkenliğinden dolayı elektrik iletkenliği istenilen yerlerde esnek kablo yapımı, jeneratör bobinleri gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır (Richard, 2001, Efe, 2010).

Bugün en çok kullanılan üçüncü metal olan bakırın tüketimi 15 milyon tonun üzerindedir. Sanayideki gelişmeler, ilerlemelerle bakıra olan talep doğru orantılıdır. Ülkede ki bakır kullanımı ülkenin gelişmişlik seviyesiyle doğrudan orantılıdır. Az gelişmiş ülkeler de kişi başına düşen yıllık bakır kullanımı yaklaşık 1-2 kg iken, gelişmiş ülkelerde ise yaklaşık 10 kg'dır (Efe, 2010).

Günümüzde elektrik enerjisi tüketimi insanların refahlık seviyesiyle doğru orantılıdır. Elektrik enerjisi çoğu faaliyetlerin en önemli hammaddesi ve ana girdisidir. Bakır kullanımının yaklaşık %75'i iletkenliğinden yararlanılmak için kullanılmaktadır. Hayat standartlarının sürekli yükseldiği dünyamızda bakıra olan talebin gün geçtikçe artacağı düşünülmektedir. Bakırın yerine başka malzemeler kullanılmaya çalışılsa bile bakırın güncelliğini kaybetmeyeceği düşünülmektedir (Efe, 2010).

5.1.1. Bakır Mineralleri

Bakır, endüstriyel öneme sahip birçok mineralin oldukça önemli bir bileşenidir. Dünyada bakır üretiminde kullanılan minerallerin yaklaşık %50'sini kalkozit (Cu_2S), %25'ini kalkopirit (CuFeS_2), %15'ini de oksit mineralleri, %6- 7'sini nabit (doğal) bakır, %3'ünü enargit (Cu_3AsS_4), %1'ini diğer sülfür mineralleri oluşturur. Bakır içeren yaklaşık 200 civarında mineral olduğu bilinmektedir ve bu minerallerden 30-40 kadarının doğada daha yaygın bir şekilde bulunduğu bilinmektedir (Cankurt, 1973; Gülfen, 2002; Efe, 2010).

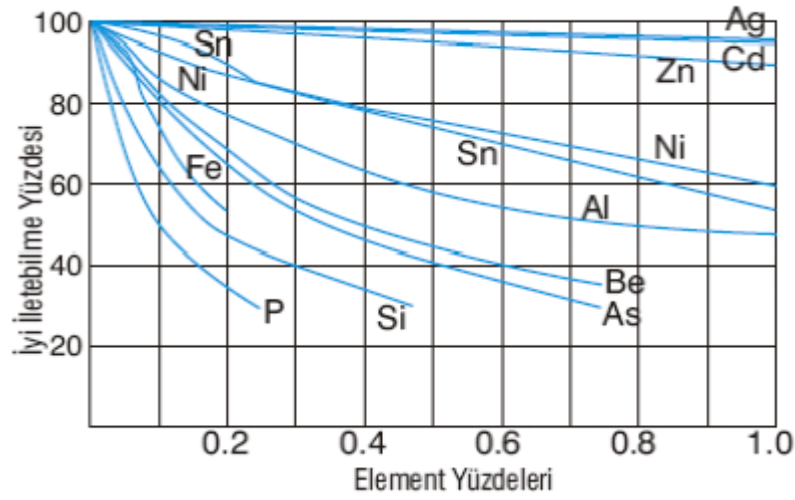
Bakır mineralleri dünyanın her tarafına dağılmış ve her çeşit maden yatağında rastlanan minerallerdir. Bakır üretiminin belirli bölgelerde yapılmasının nedeni bakır maden yataklarının dünyadaki dağılımının her tarafta eşit olmamasıdır. Bilinen bakır cevherlerinin %85'lik kısmı sülfürlü %15'lik kısmı oksitli minerallerdir (Cankurt, 1973; Efe, 2010; URL-5, 2018).

5.1.2. Ticari Saf Bakır Çeşitleri

Ticari bakır çeşitleri içerdiği oksijen miktarına göre sınıflandırılabilir;

- İçerisinde % 0,04- 0,05 oksijen bulunan bakır
- Deokside edilmiş bakır. İçerisinde oksijen bulundurmaz. Fakat deoksidan madde içerebilir.
- Oksijensiz elektrolitik bakır. Oksijen ve deoksidan kalıntıları içermez.

Yukarıda belirtilen bakırların tümünde %99'dan fazla bakır bulunmaktadır. Deoksidan katkı elementleri bakırı oksijenden arıtmak için kullanılır ve bunlar genellikle; alüminyum (Al), silisyum (Si), Çinko (Zn), magnezyum (Mg), berilyum (Be), fosfor (P), kalsiyum (Ca) gibi elementlerdir. Oksijen giderici elementlerin bakırın bünyesinde fazla olması elektrik iletkenliğini düşürmektedir. Bu nedenle bu elementlerin fazla kullanılması tercih edilmez. Şekil 5.1'de elementlerin bakırın elektrik iletkenliğine etkisine dair grafik verilmiştir (Koçak, 2006).



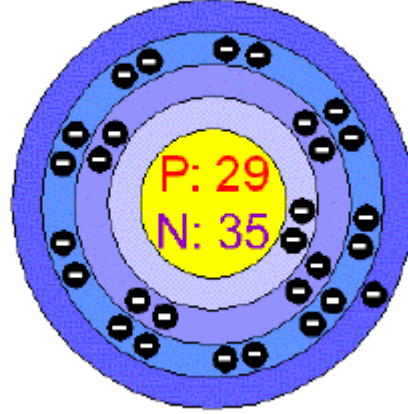
Şekil 5.1. Elementlerin bakırın elektrik iletkenliğine etkisi

5.1.4. Bakırın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Etrafımızda, dünyamızda ve hatta evrende gördüğümüz her şey atomlardan oluşmaktadır ve bu atomlarda proton, nötron ve elektronlar bulunmaktadır. Atomun merkezinde çekirdek bulunur ve çekirdekte proton ve nötronlar bir arada bulunurlar. Elektronlar ise çekirdeğin etrafında elektron kabukları olarak bilinen tabakalarda dönerler. Elektron ve proton sayılarının her zaman bir birine eşit olacağından dolayı her bir bakır atomunun negatif yüklü 29 elektronu ve bakır çekirdeğinde pozitif yüklü 29 proton vardır. Bir atomun atom numarası o atomun proton sayısına eşittir ve böylelikle bakırın atom numarası 29'dur.

Farklı yapılar oluşturmak amacıyla diğer atomlar ya da moleküllerle nasıl kombine olacağı elektron hareketleriyle doğrudan ilişkilidir. Elektronlar merkezden başlayarak elektron kabuklarının elektronla doldurmaktadırlar. Merkezden doldurulmaya başlanan kabuklar dolduğunda hemen dışındaki kabuğa geçmektedir. Elementlerin çoğunda dıştaki kabuk tam dolmamıştır. Yalnızca dolu kabuklar kararlı olduğundan dolayı elementler tam dolu bir dış kabuk elde edebilmek için en dış kabuklarındaki elektronları paylaşmaktadırlar.

Bir bakır atomu en dış kabuktaki elektronlarının birini veya ikisini vermeye çalışır, verdiği durumda pozitif yüklenir. Şekil 5.2’de bakır atomunun elektron dizilimi verilmiştir (Richard, 2001; Koçak, 2006; Efe, 2010; URL-5, 2018).



Şekil 5.2. Bakır atomunun elektron dizilimi

Bakırın kimyasal simgesi “Cu” olup, kırmızımsı kahverengi renklidir. Bakır, tel ve levha haline getirilebilir, kullanım alanı oldukça geniş, ısı ve elektrik iletkenliği yüksek bir metaldir (Efe, 2010).

Çağlar boyunca bakırın önemli bir metal olmasını sağlayan ve popülerliğini kaybetmemesini sağlayan özellikleri şunlardır :

- Yüksek elektriksel iletkenlik,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Korozyon direnci,
- Dekoratif rengi,
- Orta derecedeki mukavemet
- Kolay şekillendirilebilirlik (Efe, 2010).

Tablo 5.1’de bakırın bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir (Efe, 2010).

Tablo 5.1. Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Simgesi	Cu
Sınıfı	Geçiş Elementleri
Grup, periyot, blok	11, 4, d
Görünüş	Metalik kahverengi
Kristal Yapısı	Kübik (YMK)
Atom Ağırlığı	63,546 g/mol
Yoğunluğu	8.96 gr/cm ³
Mohs sertliği	3
Vickers sertliği	369MPa
Brinell sertliği	874MPa
Ergime Noktası	1083.0 °C (1356.15 K, 1981.4 F)
Kaynama Noktası	2567.0 °C (2840.15 K, 4652.6 F)
Ergime ısısı	43 k.cal (1 kg'ının ergimesi için gerekli ısı)-13,26kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	300,4 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,440 (25°C)J/(mol.K)
Elektrik iletme özelliği	%99.95
Elektrik direnci	16,78 nΩ.m(20°C'de)
Isıl iletkenlik	401 W/(m.K)
Isıl genleşme	16,5 mm/(m.K) (25°C'de)
Atom Numarası	29

Bakırın tercih edilmesindeki en büyük etken, yüksek elektrik iletkenliği sayesinde enerji ve telekomünikasyon kabloları, mıknatıslı teller gibi çok sayıdaki elektriksel uygulamalarıdır. Bakır 100°C civarında yeniden kristalleşmeden dolayı mukavemeti ve sertliğini kaybetmektedir. Daha yüksek sıcaklık uygulamaları için daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmalı aynı zamanda yüksek işlem sıcaklıklarında elektriksel özellikleri ile birlikte mukavemetini de korumalıdır (Efe, 2010).

5.1.5. Bakırın Elektriksel İletkenliği

Bir malzemedeki elektrik yükünün rahat hareket edebilme ölçütüne elektriksel iletkenlik denir. Birimi siemens per meter yani Simens/Metre' dir. Elektriksel iletkenlik değerleri çoğunlukla %IACS olarak verilmektedir. Bakırın elektrik iletkenliği %IACS (International annealed copper standart) birimi ile ifade edilmektedir ve tavlanmış saf bakırın iletkenliği 20°C'de %100 olarak

tanımlanmaktadır. IACS değeri yüksek olması o malzemenin iletkenliği ile doğru orantılıdır (Schwartz, 2002; Efe, 2010).

5.1.6. Bakırın Kullanım Alanları

Endüstride bakır yüksek elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve kolay işlenebilmesi nedeniyle çok fazla tercih edilmektedir. Saf bakırın başlıca kullanım alanlarını şöyle sıralayabiliriz: tel, motor bobini, jeneratörler, transformatörler, elektrikli trenlerin havai hatları, endüstrilere ve evlere elektrik enerjisi nakleden iletim hatlarında, radyatörler ve yağ soğutucuları, yüksek fırın tüyeri, yastık radyatör ve monkilerin yapımında, ark ocaklarının elektrod tutucu ve kollarının yapımıdır (Koçak, 2006).

Bakırın yüksek elektrik ve ısı iletkenliği sebebiyle elektrik santralleri ve iletken malzeme kullanılacak yerlerdeki malzemelerin vazgeçilmezi olmuştur. Soğuk hava makineleri ve teçhizatlarında, dış kaplamalarda bakırın önemli kullanım alanları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kaynak işlerinde, bronz üretiminde büyük önemi vardır. Bakırın en geniş kullanım alanları sırasıyla elektrik üretim ve iletimi ile ilgili işletmelerde, inşaatlarda, ulaşım makine ve teçhizatlarıdır (Efe, 2010).

Bakır metali elektriğin üretilmesinde (jeneratör, trafo gibi) , nakledilmesinde (enerji nakil hatları) ve kullanılmasında (elektrik motorları, elektrikli makineler v.b.) en iyi ekonomik iletkenidir. Günlük yaşantımızda kullandığımız birçok ürün, aydınlatmalar, radyo, televizyon, buzdolabı, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, gibi birçok ürün bakır sayesinde hayatımızın içindedir. Bunun yanında uzun ömürlü çatı kaplamaları, bakır levhalar, mobilya malzemesi olarak kullanılan bakır ve pirinçler gibi kullanım alanları da mevcuttur. Üretim araçlarında torna, matkap, kaynak makineleri, freze gibi makinelerde elektriğin tüketimi ve iletimi amacına hizmet eder. Dahası otomobil, tren, gemi gibi ulaşım araçlarında, kimya sektöründe, radyatör, boru gibi parçalarda, soğutucu donanımlarda bakır karşımıza çıkmaktadır. Kısaca bakır elektrik üretiminin, iletiminin ve tüketiminin olduğu her yerde kullanılmaktadır. Bakırın kullanım alanlarının %80'i elektrik-elektronik sektöründe diğer %20 kısmı ise pirinç, bronz gibi

alaşım halinde genellikle makine sektöründe, inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Efe, 2010, URL-4, 2018).

5.1.7. Bakırın Mukavemetinin Arttırılması

Tüm metaller arasında en yüksek elektrik iletkenliğe sahip malzeme gümüştür. Gümüştten sonra bakır gelmektedir. Gümüşün yüksek maliyeti, zor tedarik edilmesi gibi nedenlerden dolayı genellikle bakır kullanımını tercih edilmektedir. Bakırın başka bir rakibi ise alüminyumdur, ancak alüminyumun hem iletkenliğinin hem de mukavemetinin bakırdan düşük olması alüminyumu ikinci plana atmaktadır. Bakırın iletkenlik konusunda gümüştten sonra en iyi iletken metal olması elektrik iletkenliğinin arandığı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur (Efe, 2010).

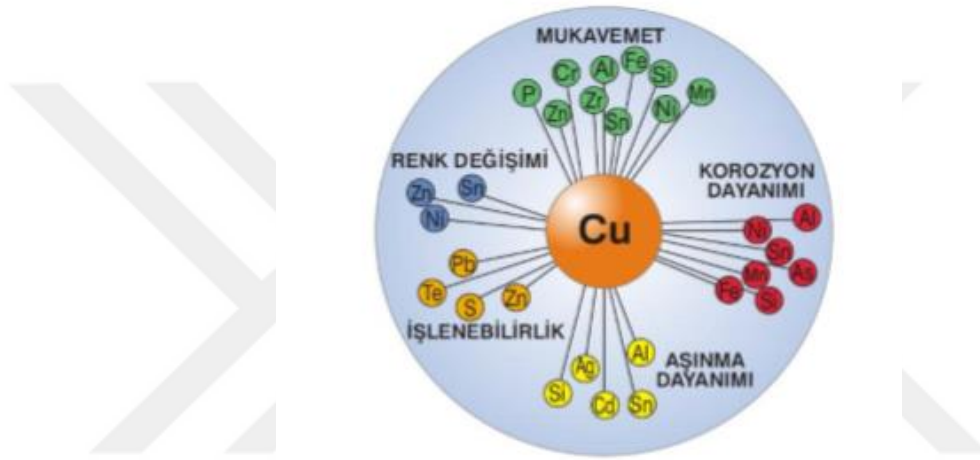
Bakır yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci, dekoratif rengi, orta düzeydeki mukavemeti ve kolay şekillendirilebilmesi sebebiyle tarih boyunca önemli bir metal olmuştur ve birçok mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan yapısal ve işlevsel metaldir (Xu vd., 2003; Dobrzanski, 2006; Zhu vd., 2007, Efe, 2010).

İletkenler, açma kapama kontakları, elektrotlar gibi elektrik iletkenliğinin ön planda olduğu uygulamalarda kullanılacak bakır malzemelerde aşağıdaki özellikler aranmaktadır.

- Yüksek elektrik iletkenliği
- Oda sıcaklığında yüksek mukavemeti
- Yüksek sıcaklıkta mukavemetini koruması

Elektrolitik bakır yüksek elektrik iletkenliği açısından rakipsizdir. Ancak sınırlı bir mukavemeti vardır. Bakırın düşük mukavemeti ve özellikle yüksek sıcaklıklarda yumuşaması daha yaygın bir şekilde kullanılmasını kısıtlamaktadır (Xu, 2003, Ahmed, 2004). Bakır soğuk deformasyonla sertleştirildiğinde elektrik iletkenliği ile ilgili önemli bir kayıp yaşanmaz fakat yaklaşık 100 °C’de yeniden kristalleşmesi sonucu sertlik ve mukavemetini kaybeder (Zhan ve Zhang, 2003; Xu vd., 2003; Ahmed ve Ramesh, 2004; Dobrzanski, 2006; Efe, 2010; URL-6, 2018).

Alaşımlama, bakırın mukavemetini arttırmanın diğeri bir yoludur, katı eriyik sertleştirmesi ve ya çökelti sertleştirmesi ile mukavemet arttırılabilir fakat elektrik iletkenliğinde kayıp çok fazla olur. Bu nedenle alaşım ilavesi sınırlı tutulmalıdır. Aksi takdirde mukavemet artarken iletkenlik düşmektedir. Bu nedenle genellikle alaşım elementi yaklaşık %2 civarında kullanılmaktadır (Zhan ve Zhang, 2003; Dobrzanski, 2006; Efe, 2010; URL-6, 2018). Şekil 5.3'te alaşım elementlerinin bakıra etkileri verilmiştir (Koçak, 2006).



Şekil 5.3. Alaşım elementlerinin bakıra etkileri

Bakırın mukavemetini arttırmanın diğeri bir yolu ise bakır matriks içerisine seramik partikülleri ile kompozit oluşturmaktır. Bu nedenle bakır matrikse çeşitli seramik partiküller ilave edilmiştir. Bunlar arasında Al_2O_3 , B_4C , SiC , WC , TiC , ve TiB_2 gibi seramik tozlar sayılabilir (Xu, 2003). Partikül miktarının artmasıyla elektrik iletkenliği azalacağından kompozitin mukavemeti ve iletkenlik arasında bir denge sağlanmalıdır yani kullanılmak istenilen yere göre üretim yapılmalıdır. Günümüzde ağırlıkça %1.1'e kadar alümina parçacıkları içeren kompozit malzemeler ticari olarak bulunmaktadır. Bu kompozitlerin iletkenlikleri az alaşımlı bakırın iletkenliğinden yüksektir (Ying ve Zhang, 2000; Jena vd., 2001). Aşağıda Tablo 5.2'de bakır matriksli kompozitler için kullanılan bazı seramik tozlar ve özellikleri verilmiştir (Efe, 2010).

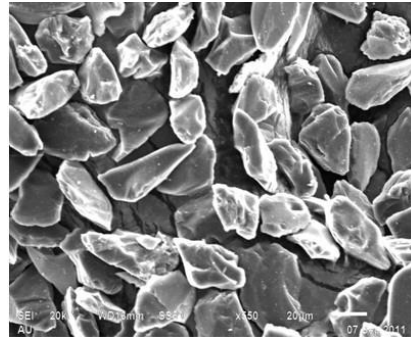
Tablo 5.2. Bazı seramik tozlar ve özellikleri

Malzeme	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	MgO	TiC	TiB ₂	SiC	Cu
Molekül ağırlığı, g/mol	102	123,2	40,3	59,9	69,5	40,08	
Elastik modül, GPa	390	200	300	491	550	410	
Sertlik, GPa	16	12	9	26	20-27	28	
Yoğunluk, g/cm ³	3,98	5,7-6	3,58	4,9	4,25	3,2	
Ergime sıcaklığı, °C	2050	2710	2800	3170	2980	~2700*	
Isıl iletkenlik (W/m.K)	28	2,2-2,7	48	9	25	120	400
Elektrik iletkenliği, %IACS							100

*SiC 2300°C’de dekompoze olur.

5.2. Bor Karbür (B₄C)

Bor karbür, ileri teknoloji seramikleri arasında önemli bir yere sahiptir. Elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert üçüncü malzeme olan bor karbür üretilebilirlik bakımından en sert malzeme olarak kendine yer bulmuştur. Ridgway tarafından ilk kez 1934 yılında bor karbürün iç yapısı ve bileşimi tanımlanmıştır. Bor-karbon sistemindeki en kararlı bileşik olan bor karbür yaklaşık %9 - %20 gibi geniş bir çözünürlükte tek faz olarak bulunmaktadır. Asit ve bazlarla kolay kolay tepkimeye girmeyen bor karbür dünyadaki en kararlı bileşiklerden biridir. Diğer karbür ve nitrürlerin çoğu ergimeden buharlaşma yoluyla bozulmaktadır. Bor karbür, 2450 °C’de ergiyerek sıvı faz oluşumu göstermektedir (Pierson, 1996; Conte vd., 2000; Karabaş, 2006; Alp, 2015). Şekil 5.4’te bor karbürün SEM fotoğrafı verilmiştir (Rama Rao, 2012).



Şekil 5.4. Bor karbürün SEM fotoğrafı

Ticari bor karbürde bor/karbon oranı 4/1 olup 1300°C üzerinde elmastan daha sert bir malzemedir. Silisyum karbür ve grafit gibi düşük ısıl iletkenlik değerine sahip olan bor

karbürün ısıl ve elektriksel iletkenlikleri B:C oranı ve safsızlık miktarı ile değişmektedir. Ergime noktası 2450 °C, kaynama noktası 3500 °C, yoğunluğu 2.51 g/cm³ olan bor karbür, hidroflorik asit, sülfürik asit, nitrik asit gibi çok kuvvetli asit karışımlarında yavaş yavaş olsa da çözünebilmektedir ve bazı metal, metal hidrür, metal oksit ve borürler oluşturmaktadır Bor karbürde bor içeriği %78-%85 aralığında değişmektedir. Ticari bor karbürde ikinci faz grafitir ve mukavemeti sınırlamaktadır (Ergün, 2006; Tellioglu, 2007; Alp, 2015).

Bor karbür için literatürde vickers sertlik değer aralığı 2000-7800 Hv arasında olup, genel kabul gören sertlik değeri 3200 Hv civarındadır. Bor karbürün yüksek sertliğinden dolayı aşınma direnci de oldukça yüksektir. Bor karbürün mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında yüksek sertliğin yanında yüksek ergime noktasına da sahip olması ve mekanik özellikleri bakımından da ideal bir malzeme olduğu görülmektedir. Bor karbürün kristal yapısındaki atomların birbirlerine kovalent bağlarla bağlanması yüksek mukavemetin diğer bir göstergesidir. Tablo 5.3'te bor karbürün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir Bor karbür tozlarında nemli havada oksitlenme gözlemlenebilir ve B₂O₃, HBO₃ veya H₃BO₃ gibi oksit filmleri oluşturabilir (Lee vd., 2000; Sarıkaya, 2003; Raman vd., 2005; Karabaş, 2006; Mori, 2007).

Tablo 5.3. Bor karbürün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Elastiklik Modülü E, (GPa)	306-460
Tokluk Kic, (MPa m ^{1/2})	2,9-3,7
Sertlik H (HV)	3200
Yoğunluk ρ, (gr/cm ³)	2,5-2,52
Poisson Oranı (ν)	0,14-0,22
Isıl Genleşme Katsayısı α (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	4,73x10 ⁻⁶
Isı İletim Katsayısı χ, (W/mK)	2
Young's Modülü (GPa)	460
Özgül Isı Q, (J/gK)	1,13

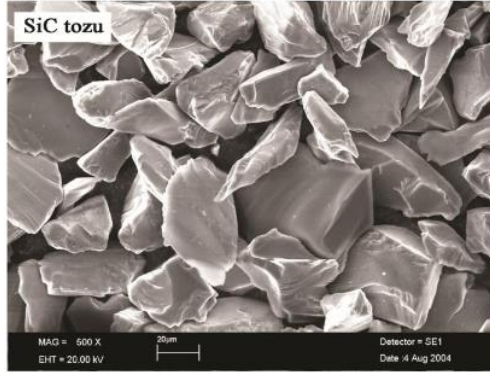
Bor karbür tozu üretimi borik asitten yapılmaktadır ve en ekonomik bu yöntemdir. Bor karbürün sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikler onu özellikle metalürji sektöründe aşındırıcı toz olarak kullanılmasının önünü açmıştır. Tungsten karbür ve

diğer seramiklerin taşlanması ve parlatılması için boyutu 1-100 mikron arasında değişen bor karbür tozları kullanılmaktadır. Bor karbürün mukavemet/yoğunluk oranı ve yüksek sertliği sebebiyle bilhassa askeri amaçlı uygulamaların ve zırh malzemelerinin vazgeçilmezi olmuştur. Bor karbür içeren bir zırh malzemesinin diğerlerine göre %20 hafif olması tank ve ya helikopterlerde kolay manevra ve hareket sağlamaktadır. Çelik yüzeyine bor difüzyonu sağlamak için bor karbür tozları florürle aktive edilmektedir. Bu işlemle çelik yüzeyine 100-200 mikron bor karbür difüze edilmektedir ve bu kaplamada aşınma direnci ve sertlik oldukça yüksektir. Nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunmak için ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımı bor karbürün yaygın kullanıldığı alanlardandır (Sarıkaya, 2003; Özel, 2009).

5.3. Silisyum Karbür (SiC)

İlk olarak 1891 yılında Acheson karbon tozu-kil karışımından elektrik akımı geçirmiş ve silisyum karbür sentezlemiştir. Silisyum karbür 1970'li yıllardan günümüze kadar kendine birçok uygulama alanı bulmuştur ve en çok kullanılan yapısal seramiklerdendir. Silisyum karbür sahip olduğu mekanik ve fiziksel özellikler sebebiyle birçok uygulamada aşınmaya karşı dirençli yerlerde tungsten karbürün yerini almıştır. Diğer seramik ürünlere oranla üretim maliyetinin düşük olması sebebiyle diğer seramiklerle rakabet etmektedir (Van Vlack, 1980; Shaffer, 1991; Pierson,1996).

Doğada bileşik halde bulunmamaktadır fakat bileşenleri olan silisyum ve karbon doğada bol miktarda bulunur. Silisyum karbürün yoğunluğu $3,21 \text{ gr/cm}^3$, sertliği 27.4 GPa, Molekül ağırlığı 40.1, ısı genleşme katsayısı $5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, ısı iletkenliği $126 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ ve kullanılabilir bir elektriksel direnci bulunmaktadır. Silisyum karbür (SiC) Al_2O_3 'ten daha sert ve ısıya daha dayanıklı olup korozyona karşı dirençlidir. Silisyum karbür çok sert olup aşındırıcı özellikte bir malzeme olup yüksek sürünme mukavemeti bulunmaktadır (Shaffer, 1991, Spohn, 1994, Pierson,1996, Sepin, 2004). Şekil 5.4'te silisyum karbürün SEM fotoğrafı verilmiştir (Eski vd., 2013).



Şekil 5.5. Silisyum karbürün SEM fotoğrafı

Silisyum karbür mükemmel termal iletkenlik ve düşük termal genişleme katsayısına sahiptir. Tablo 5.4'te Silisyum karbürün bazı özellikleri verilmiştir. Silisyum karbür mükemmel termal şok dayanımına sahip bir malzemedir. Kristal yapıdaki safsızlıklar termal iletkenliği etkilemektedir. Silisyum karbürün ticarileşmesini sağlamış en önemli özelliği sertliğidir. Bor karbür kadar sert olmamasına rağmen ondan ucuz olması ve kabuksal bir bileşim sergilemesi sonucu malzeme sıyırma işlemlerinde etkilidir. Silisyum karbürün sertliği safsızlıklara, kristolografik yönlere, parlatılmış yada çizikli yüzeylere ve hatta ölçme ortamına bağlı olarak değişebilmektedir (Spohn, 1994)

Tablo 5.4. Silisyum karbürün bazı özellikleri.

Yoğunluk, gr/cm ³	3.1-3.22
Elastiklik Modülü E (GPa)	4,6
Ergime sıcaklığı	2730
Poisson Oranı (ν)	0,14
Isı İletkenliği (W/cm°C)	3,6-4,9
Isıl genişleme katsayısı(10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	3,8-4,8x10 ⁻⁶
Young's Modülü (GPa)	400
Özgül ısı (j/KgK)	750
Eğme mukavemeti, Mpa: Oda sıcaklığında	400-410
Sertlik, kg/mm ² , Vickers	3100

Silisyum karbür genel olarak saflık seviyelerine göre farklı yerlerde kullanılmaktadır. Yüksek saflıktaki silisyum karbür mühendislik seramiklerinde sinterleme amaçlı

kullanılırken saflık %97.5 'in altına düşmesiyle abrazif ve refrakter amacıyla kullanılır. Silisyum karbürdeki saflık %90'ın altındaysa metalürjik uygulamalarda kullanılabilir. Yüksek performans seramiklerinde sertlik, kimyasal saflık ve aşınma direnci aranmaktadır. Bu uygulamalar kimyasal işlem endüstrisi için yapılan kaplamalar ve valfler, hidrosiklonlar, lens kalıpları, roket memeleri ve sprey kurutma için aşınma plakalarıdır.

Aşınma direnci için kullanılan silisyum karbürler ise havacılık endüstrisinde pompa, yakıt deposu, taşıma, yağ ve kalıplarda kullanılmaktadır. Isı dayanımından dolayı uzay teknolojisinde ısı değişim tüplerinde, yüksek sıcaklık roket meme bağlantılarında ve difüzyon fırını parçalarında kullanılmaktadır. Dahası türbin motorlarında, bilgisayar çiplerinde kullanılmakta olup birçok uygulamada deneme aşamasındadır. Silisyum karbürün seramik zırh malzemesi olarak da uygulamaları mevcuttur (Weimer,2012; URL-7, 2018).

5.4. Tungsten Karbür Kobalt (WC-Co)

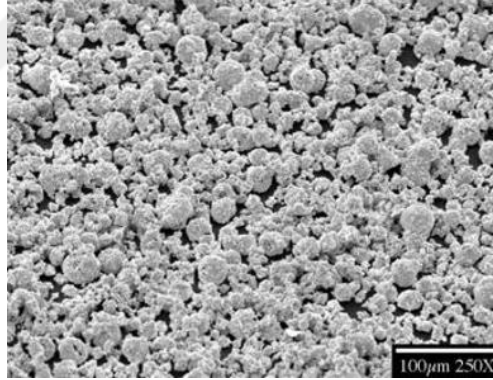
Tungsten (volfram) elementi periyodik tabloda 74 numaralı elementtir ve sembolü "W" ile gösterilmektedir. Yüksek sıcaklık mekanik özellikleri mükemmel seviyede olup en düşük genleşme katsayısına sahiptir. Yoğunluğu 19.25 g/cm^3 'tür ve en ağır metaller arasındadır (Lassner ve Wolf-Dieter, 2009) Şekil 5.5'te tungsten elementi verilmiştir (URL-8, 2018).



Şekil 5.5. Tungsten (Wolfram) elementi

1781 yılında tungsten elementinin keşfedilmesinden sonra tungsten karbürün kullanılmaya başlaması yaklaşık 150 yılı bulmuştur. Tungsten karbür yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik ve ergime sıcaklığı ile aranan malzemeler arasındadır (Human ve Exner, 1997).

Sinterlenmiş karbür üretimi tungstenin ana kullanım alanlarından biridir. Genel olarak sert metal olarak adlandırılır ve kobalt bağlayıcı matris içerisinde sıvı faz sinterlemesi ile çok sert mono karbür (WC) taneciklerinin birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Tungsten karbür ve bağlayıcı olarak kullanılan metalik kobalt hem özellikleri hemde sinterleme davranışı sebebiyle oldukça iyi bir sistemdir. Tungsten karbürün sıvı faz sinterlemesi sırasında bağlayıcı kobalt tarafından iyi ıslatılması sonucunda mükemmel yoğunlaşma ve gözeneksiz yapılar oluşmaktadır. Sıvı faz sinterlemesi sonucunda dayanıklı yüksek mukavemet ve sertliğe sahip malzemeler elde edilir (Davis, 2004). Şekil 5.6' da WC-12Co tozunun SEM görüntüsü verilmiştir (URL-9, 2018).



Şekil 5.6. WC-12Co tozunun SEM görüntüsü

Tungsten karbür üretiminin başlangıcı 1920'li yılların başında bir elektrik şirketinin tungsten tel üretiminde kullanılan elmas çekme kalıplarına alternatif aramasına dayanmaktadır. Tungsten karbür kobalt 1930'lu yılların başlarında dökme demirin kesilmesi ve işlenmesi işlemlerinde başarılı olarak kullanılmıştır (Davis, 2004).

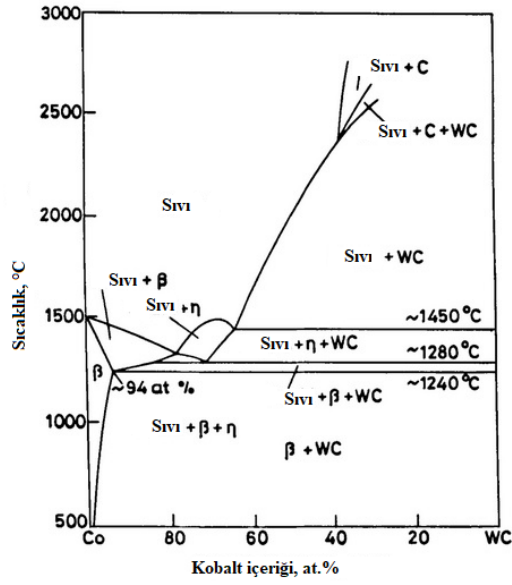
Günümüzde aşınmanın ve sürtünmenin var olduğu uygulamalarda gelişmiş malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Yumuşak malzeme üzerine uygulanan sert kaplamalar oldukça faydalı bir kombinasyon olup, sert bir parçacıktan gelebilecek

çizilmelere karşı iyi bir koruma sağlayabilir. Bu nedenle abrasif ve erozif aşınma içeren uygulamalarda genellikle karbür kaplamalar kullanılmaktadır (Lovelock, 1998, Bonny vd., 2004).

Termal sprej işlemleri ile yapılan kaplamalarda erozyon, aşınma ve sürtünme direnci için genellikle tungsten karbür kobalt esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Sert tungsten karbür partikülleri aşınmaya dirençli ana bileşeni oluştururken kobaltta bağlayıcı tokluk ve kohezyon sağlamaktadır. Mukavemet, aşınma direnci ve sertlik tungsten karbürün tane boyutu, karbür faz ile bağlayıcı matriksin hacimsel oranı gibi olaylardan etkilenirken termal sprej kaplamalarda ise porozitelerden etkilenmektedir. Tungsten karbürün tane boyutunu değiştirerek mukavemet, sertlik, aşınma direnci, tokluk, termal iletkenlik gibi özellikleri değiştirilebilir. Tungsten karbür malzemeler küçük parçalar ile sınırlıdır ve seri üretim için oldukça pahalıdır. Pek çok tribolojik olayda sadece temas yüzeyi önemlidir. Bu nedenle termal sprej kaplamalarında aşınma dirençli parça üretiminde pek çok avantajı bulunmaktadır (Voyer ve Marple, 1999, Lovelock, 1998).

WC-Co partikülleri yüksek sıcaklıkta ısıya maruz kaldığında WC'ün çözünmesi ve bozunması artmaktadır. Kaplamalar Tungsten karbürün W_2C ve W olan diğer fazları, amorf ve kırılğan kobalt esaslı bağlayıcı fazlar içermektedir (Sanchez vd., 2010).

Tungsten karbür kobalt faz diyagramında (Şekil 5.7) tungsten karbür tanelerini bir arada tutan, poroziteyi azaltıp tungsten karbürün tokluğunu arttıran kobalt sürekli bir yapıya sahiptir. Faz diyagramında kobalt miktarına bağlı olarak sistemin sıvı faza geçtiği sıcaklıkta bir düşüş meydana gelmektedir ve 1320 °C'de ötektik nokta görülmektedir. Sıvı faz sinterlemesinde bu ötektik nokta oldukça önemlidir.



Şekil 5.7. WC-Co faz diyagramı

Plazma sprej gibi termal sprej işlemlerinde işlem sıcaklığının yüksek olmasından dolayı WC-Co de oksidasyon/dekarbürizasyon meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen uygulamalarda bazı karbürlerin kobalt matris içerisinde çözünmesiyle bileşimde değişimler olabilmektedir (Lovelock, 1998).

Kaplamalarda tungsten karbür miktarı arttıkça akma mukavemeti düşmekte, aşınma direnci artmaktadır. Uygulanan spreje bağlı parçacık sıcaklığı ve hızı değişmektedir. Plazma sprejde yüksek sıcaklık nedeniyle partiküllerin neredeyse tamamı ergimiştir. Bu olay daha iyi yapışma sağlarken kalıntı gerilmelere de neden olmaktadır. Tablo 5.5'te tungsten karbür kobalta ait bazı özellikler verilmiştir (Lovelock, 1998; Voyer ve Marple, 1999, Sanchez vd., 2010; URL-10 2018).

Tablo 5.5. Tungsten Karbür Kobaltın bazı özellikleri.

Sertlik HV	1580
Basma Mukavemeti ($N \times mm^{-2}$)	5400
Çekme Mukavemeti (GPa)	600
Yoğunluk g/cm^3	14,5
Kopma Mukavemeti ($N \times mm^{-2}$)	2000
Kırılma Tokluğu ($MPa \times m^{1/2}$)	9.6
Termal Genleşme Katsayısı ($10^{-6} \times K^{-1}$)	5.6

6. KOROZYON

6.1. Korozyon ve Önemi

Korozyon çok farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Asıl olan malzemelerin buldukları ortam ile etkileşerek doğadaki ilk hallerine dönme isteğidir. Düzgün bir ifadeyle maddenin çevresel etkilerle termodinamik olarak doğadaki kararlı bileşiklerine dönme eğilimi göstermesi olayına korozyon denmektedir. Bu durum malzemelerin mekanik, elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler ve hasara yol açar. Kullanılan malzemelerin yaklaşık 1/3'ü korozyon nedeniyle kullanılamaz hale gelmektedir. Korozyon için önlem alınmazsa yapılan yatırımların, harcanan enerjinin, emeklerin boşa gitmesi demektir. Korozyon birçok maddi ve manevi zararın yanında insan sağlığına ve hayatına zararlı olan bir olaydır (ASM Handbook, 2003; Uluengin, 2006; Palta, 2009; Erbil, 2012.).

6.2. Korozyona Etki Eden Parametreler

6.2.1. Ortamın Etkisi

Metallerin bulunduğu ortamlar korozyon hızını doğrudan etkilemektedir. Ortamın nem miktarı, asit-baz durumu, oksijen, hava, ve ya suyun ortam tarafından geçirilebilme yeteneği ve hatta kaçak akımların bulunması ya da ortamda çeşitli bakterilerin bulunması korozyonun başlamasına ve hızla devam etmesine katkı sağlamaktadır (Er, 2012).

6.2.2. Sıcaklığın Etkisi

Ortamdaki sıcaklığın artmasıyla iyon hareketleri artmakta ve dolayısıyla korozyon hızlanmaktadır. Örnek olarak toprak sıcaklığı -50°C ve +50°C arasında değişmektedir. Toprak donduğunda iyon hareket hızı minimum seviyededir. Sıcaklığın artmasıyla oksijen konsantrasyonu azalmakta yani korozyon hızı azalmaktadır. Fakat bu etki iyon hareketliliğinin artışından kaynaklı reaksiyonların yanında çok zayıf kalmaktadır (Er, 2012).

6.2.3. Malzeme Seçiminin Etkisi

Metalik malzemelerde korozyona neden olan en önemli etkenlerin başında potansiyel farkı fazla olan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Malzeme seçiminin korozyona etki eden parametreler arasında yer almasının en önemli sebeplerinden biri potansiyel farktan dolayı korozyon başlatıcı ya da hızlandırıcı etken olmasıdır (Perez, 2004).

6.2.4. Taneler Arası Özellik Farkları

Metallerde istenmeyen bazı elementlerin tane sınırlarında birikmesi ve farklı konsantrasyonlar sonucu safsızlıkların oluşması korozyonun başlaması için uygun ortam oluşturmaktadır. Örneğin kaynak bölgelerindeki korozyonun meydana gelmesi ve bu korozyonun galvanik anodlu katodik koruma sistemi ile önlenmesi mümkündür (Perez, 2004).

6.2.5. Sistem Dizayını

Korozif malzemenin taşınması ve depolanması sırasında korozif ortamın dökülmesini, birikmesini engelleyecek tasarımların tercih edilmesi gerekmektedir. Sıvı birikmesine neden olacak boşluklar, çok ince aralıklardan kaçınılmalıdır (Er, 2012).

6.2.6. Sistemin Bulunduğu Ortamın Oksijen Konsantrasyonu

Toprak içerisinde çözülmüş hava derişimi her yerde aynı olmayabilir bu nedenle farklı havalandırma şartlarında yan yana duran sistemlerde bir bölge katot görevi görürken diğer bölge anot görevi görür ve elektrokimyasal korozyona neden olmaktadır (Er, 2012).

6.2.7. Zemin Elektriksel Özgün Direncinin Etkisi

İyonik ortamın aktif olmasının diğer bir sebebi ise düşük elektriksel özgül dirençli bölgelerde iletkenliğin yüksek olmasıdır. Bu nedenle korozyon mekanizması daha hızlı gelişmektedir (Er, 2012).

6.3. Korozyon Mekanizması

6.3.1. Fiziksel Korozyon

Korozyon genelde ya doğrudan fiziksel çözünme yoluyla ya da katı hal değişimiyle gerçekleşmektedir. Organik sıvılar ya da ergiyik metaller fiziksel korozyona neden olmaktadır. Örnek olarak cıvanın ya da sıvı alüminyumun metal yüzeyini etkilemesiyle oluşan hasar verilebilir (Doruk, 1972).

6.3.2. Kimyasal Korozyon

Kimyasal korozyon için en iyi örneklerden biri metal ve alaşımlarının kuru korozyonu yani atmosferik şartlardaki oksidasyonudur. Genellikle metal ve ya metalik yüzeylerde oksit ve ya sülfür türü korozyon ürünleri oluşmaktadır ve buna neden olan en önemli koroziv maddeler O_2 , H_2S ve Halojenlerdir. Kimyasal korozyonun diğer bir adı da yüksek sıcaklık korozyonudur. Kazanların sıcak gazla ya da alevle temas ettiği bölgede kimyasal korozyon oluşmaktadır. Bunun dışında türbin kanatlarında da kimyasal korozyon meydana gelmektedir. Demirin en bilinen kimyasal korozyon ürünleri Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO yani demirin oksit halleridir (Doruk, 1972; Palta, 2009; Yazan, 2014).

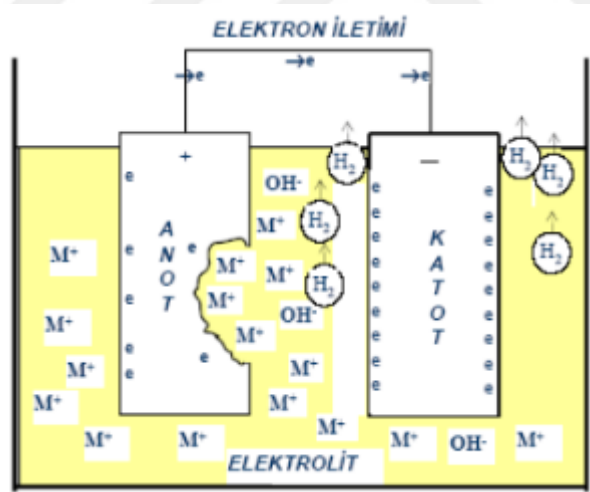
6.3.3. Elektrokimyasal Korozyon

Elektrokimyasal korozyon veya diğer adıyla ıslak korozyon metal ve alaşımlarının sıvı ortamlarda korozyona maruz kalmalarıdır. Elektrokimyasal korozyon için aralarında potansiyel fark bulunan iki malzemenin aynı ortamda olması ve elektron akışının sağlanması için sıvı bir elektrolit ortamının olması gerekmektedir. Asit, baz ve tuzların sıvı çözeltilerine elektrolit denmektedir. Örneğin bir metal elektrot kendi tuzunun sulu çözeltisine daldırılırsa atomların en dış kabuğundaki (son yörüngelerindeki) elektronlar serbest hale geçer ve bunun sonucunda eşitlik 6.1' de görülen yüklü metal iyonu ortaya çıkmaktadır (Palta, 2009; Yazan, 2014).



Korozyon esnasında katodik ve anodik reaksiyonlar birlikte gerçekleşmektedir. Reaksiyonun gerçekleşmesi için elektrolitik ortamda elektron verecek madde olması gerekmektedir. Metallerin termodinamik kararsızlığı ve ya dış akımların etkisi sonucunda korozyon tepkimeleri ilerlemektedir. Metalin korozyonu katodik ve ya anodik tepkimelerle denetlendiğinde, korozyon hızı çoğu durumda yük aktarım basamağı ile sınırlanmaktadır. Metal iyonları oluştuğunda elektrik devresi tamamlanmış olur ve sürekli bir akım yolu sağlar (Doruk, 1972; Palta, 2009; Yazan, 2014).

Elektrokimyasal Korozyonda elektron alışverişini gerçekleştiren bir elektrolit, iki de elektrot bulunmaktadır. Katot reaksiyonu bir indirgenme reaksiyonu olup anot reaksiyonu ise yükseltgenme reaksiyonudur. Sonuç olarak anodik davranış gösteren malzeme korozyona uğrar, katodik davranış gösteren malzeme ise korunur (Doruk, 1972; Palta, 2009; Yazan, 2014). Şekil 6.1’de korozyon hücresi verilmiştir (URL-11, 2018).

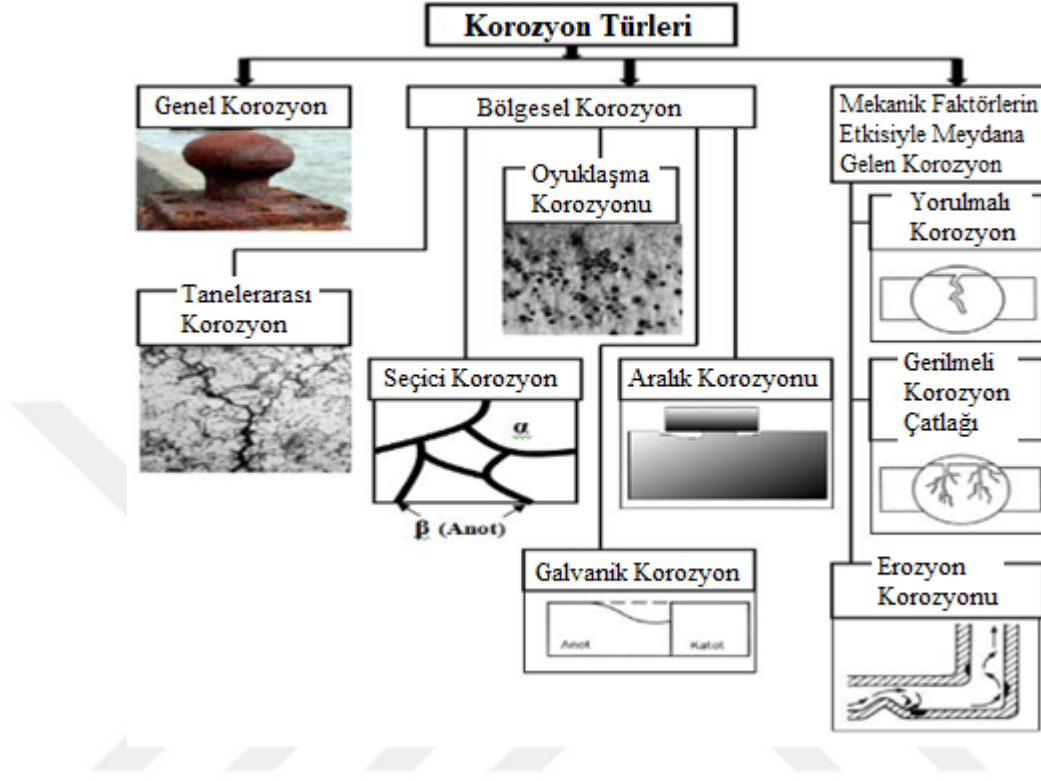


Şekil 6.1 Korozyon Hücresi

6.4. Korozyon Türleri

Metaller içinde buldukları ortamlarda mekanik ve ya fiziksel özelliklerine göre çeşitli korozyon hasarına uğrayabilirler. Korozyon türleri çok farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Genel olarak üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; Genel

korozyon, Bölgesel korozyon ve mekanik faktörlerin etkisiyle meydana gelen korozyondur. Şekil 6.1’de Korozyon türleri verilmiştir (Barut, 2018, URL-12, 2018).



Şekil 6.1 Korozyon Türleri

6.5. Korozyon Hızı Belirleme Yöntemleri

Korozyon hızını ölçebilmek için doğrudan ölçüm yöntemleri yerine deneysel çalışmalar yapılarak korozyon hızı ölçülebilir. Korozyon sorunu ortam şartlarına ve metale bağlı olarak değişebilmektedir. Korozyonun ne kadar sürede gerçekleştiği ve hangi şekilde olduğu birçok farklı faktörlere bağlıdır. Metalin ne kadar süre içerisinde ne kadar çözüldüğü aslında korozyon hızını vermektedir. Korozyon hızını ölçmeye yarayan farklı yöntemler vardır. Bunlardan birincisi kimyasal yöntemler olup kimyasal yöntemler olarak akım yoğunluğu, ağırlık kaybı ve penetrasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok bilinen ve tercih edilen yöntem ağırlık kaybı yöntemidir. İkinci korozyon ölçme yöntemi ise elektrokimyasal yöntemlerdir. Elektrokimyasal yöntemler olarak lineer polarizasyon, Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi ve Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi bulunmaktadır. Korozyon

metal yüzeyinde homojen bir şekilde dağılmış ise ağırlık kaybı yöntemiyle korozyon hızı belirlenebilmektedir. Fakat bu yöntem çok hassas ve çok uzun sürdüğü için her zaman tercih edilmeyen yöntemlerden biridir. Bunun yerine kısa sürede yapılabilecek elektrokimyasal yöntemlerle yapılacak hızlı ölçümler sonucu korozyon hızının belirlenmesi günümüzde daha fazla tercih edilen bir yöntemdir (Erbil, 1984; Üneri, 1998; Perez, 2004; Özdemir, 2008; Çiftçi, 2009; Barut, 2018; Eken, 2018).

Korozyon hızını ölçmek için kullanılan yöntemler kimyasal yöntemler ve elektrokimyasal yöntemler olarak iki grupta incelenmektedir.

1) Kimyasal Yöntemler

- a) Ağırlık Kaybı ile Korozyon Hızı Ölçüm Yöntemi
- b) Akım yoğunluğu
- c) Penetrasyon

2) Elektrokimyasal Yöntemler

- a) Lineer Polarizasyon Yöntemi
- b) Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi
- c) Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

Yukarıda bahsettiğimiz korozyon hızını ölçmek için kullanılan yöntemlerden en çok kullanılanları hakkında detaylı bilgi verilecektir (Erbil, 1984; Üneri, 1998; Perez, 2004; Özdemir, 2008; Eken, 2018).

6.5.1. Kimyasal Yöntemler

6.5.1.1. Ağırlık Kaybı ile Korozyon Hızı Ölçüm Yöntemi

Korozyon homojen dağılımlı olduğunda metal yüzeyindeki ağırlık kaybı kütledeki tüm kayıpla eşdeğer olacağından yüzeyin tamamındaki incelme yüzey alanı ve yoğunlukla belirlenebilmektedir. Fakat homojen dağılım göstermeyen korozyonda ağırlık kaybı

ile korozyon hızı ölçümü mantıklı değildir. Yerel korozyonda malzemede küçük bir nokta şeklinde korozyon meydana gelip malzemeyi o noktadan delinmeye kadar götürebilirken yüzeyin diğer kısımlarında hiç korozyona rastlanmaması da olabilir. Bu sebeple ağırlık kaybı ile korozyon hızı belirlerken öncelikle korozyonun homojen dağılımlı yoksa yerel korozyon mu olduğu hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir (Barut, 2018).

Ağırlık kaybı yöntemi korozyon hızı ile ilgili ilk araştırmalar yapılırken çok kullanılan bir yöntemdir. Basit ve ucuz olan bu yöntemde malzeme ASTM G1, G4 ve G31 standartlarına göre temizlenmekte ve kuru ağırlığı ölçülmekte daha sonra ise korozyona açık bir ortamda belirli bir süre bekletilmektedir. Son olarak malzeme korozyon ortamından alınmakta ve temizlenerek ağırlık kaybı hesaplanmaktadır. Bu yöntemde eşitlik 6.2' deki korozyon hızı formülü kullanılmaktadır (Eken, 2018).

$$\text{Korozyon Hızı} = \frac{W(g)*K}{d\left(\frac{g}{cm^3}\right)*A(cm^2)*t(sa)} \quad (6.2)$$

Eşitlik 6.2' de W ağırlık kaybı (gram), K bir sabit, d malzemenin yoğunluğu (g/cm³), A malzemenin yüzey alanı, t malzemenin korozyon ortamında kalma süresi (saat) olarak tanımlanmaktadır. K sabiti yüzey alanına göre değişmektedir, korozyon hızı mpy (miles per year) olarak elde edilmek istenirse 3,45x10⁶ olarak alınabilir (Eken, 2018).

$$mpy = \frac{534*W(mg)}{d\left(\frac{g}{cm^3}\right)*A(in^2)*t(sa)} \quad (6.3)$$

Eşitlik 6.3'te W: ağırlığın azalmasını d: malzemenin yoğunluğunu, A: malzemenin yüzey alanı, in² (1 inç = 2.54 cm) T: malzemenin korozyon ortamdaki süresi (Pınarbaşı 1999; Barut, 2018), korozyon hızı mpy cinsinden verilirse eşitlik 6.4 ile metrik sisteme çevrilebilir (Üneri, 1998; Gerengi 2008).

$$1mpy = \frac{0,0254mm}{yil} = \frac{25,4\mu m}{yil} \quad (6.4)$$

Ağırlık kaybı yönteminde korozyon akımı Faraday yasası ile eşitlik 6.5 ile hesaplanabilir.

$$I_{corr} = \frac{\Delta m * F * n}{\Delta t * M} \quad (6.5)$$

Eşitlik 6.5' te Δm = Kütle kaybı, F = Faraday sabiti, n = malzemenin çözeltiye geçme değeri, M = malzemenin mol kütlesi, Δt = zaman aralığını gösterir (Çiftçi 2009; Barut, 2018).

Günümüz endüstrisinde korozyon hızı için mpy(yılda mil) tanımı kullanıldığından dolayı her yerde mpy karşımıza çıkmaktadır. Kullanılan malzemelerde korozyon hızı 1-200 mpy arasında değişmektedir. Korozyon hızının mpy cinsinden verilmesindeki en büyük sebep ondalıklı sayılardan kaçınmaktır (Üneri, 1998).

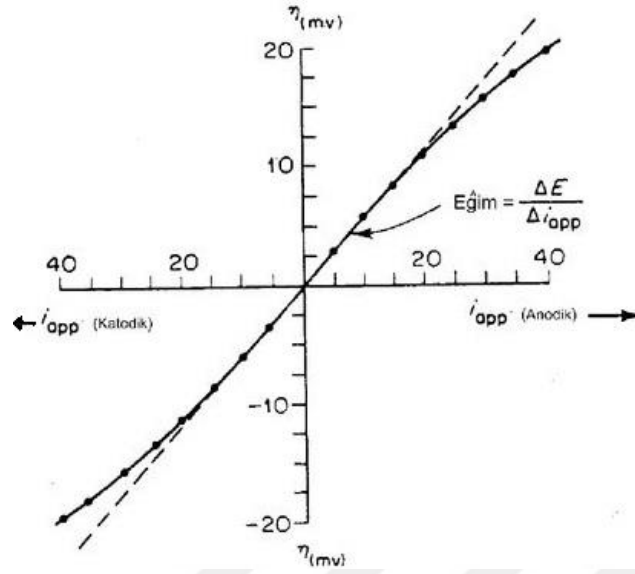
Tablo 6.1. *Bağlı Korozyon Direnci*

Bağlı Korozyon Direnci	Yaklaşık Metrik Eşdeğerler		
	mpy	mm/yıl	µm/yıl
Çok Çok İyi	<1	<0,02	<25
Çok İyi	1-5	0,002-0,1	25-100
İyi	5-20	0,1-0,5	100-500
Orta	20-50	0,5-1	500-1000
Zayıf	50-200	1-5	1000-5000
Kabul Edilemez	200+	5+	5000+

6.5.2. Elektrokimyasal Yöntemler

6.5.2.1. *Lineer Polarizasyon Yöntemi*

Lineer polarizasyon yöntemi ve ya diğer adıyla polarizasyon direnci yöntemi son zamanlarda korozyon hızını belirlemek için çok fazla kullanılan yöntemler arasındadır. Lineer polarizasyon yöntemiyle elde edilen grafik Şekil 6.2' de verilmiştir (Er, 2012).



Şekil 6.2. Lineer polarizasyon yöntemi ile R_p bulunması

Lineer polarizasyon yöntemi ilk defa 1955 yılında Simmons ve 1957 yılında Skold ve Larson tarafından ortaya atılmış ve 1957 yılında Stern ve Geary tarafından lineer polarizasyon yönteminin kuramsal temelleri geliştirilmiştir. Stern ve Geary aktivasyon polarizasyonu ile denetlenen bir sistemin, korozyon potansiyeline yakın bir bölgede ($\pm 10\text{mV}$) potansiyel farkıyla (ΔE) devreden geçen akım (Δi) arasında eşitlik 6.6 ile verilen çizgisellik bulunmaktadır (Er, 2012).

$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303 i_{kor} (\beta_a + \beta_c)} \quad (6.6)$$

Eşitlik 6.6'da β_a anodik tafel sabiti β_c ise katodik Tafel sabitidir. Korozyon akım yoğunluğunun i_{kor} , Δi uygulanan akımdır. Çok küçük potansiyel aralığında çalışıldığında geçen akımda çok küçük olacağından çözelti içerisindeki direnç polarizasyonu $E_a = IR$ ihmal edilebilmektedir. Bu denklemden korozyon hızını bulmak için ayrı ayrı β_a anodik tafel değeri β_c katodik Tafel değeri belirlenmesi gerekmektedir. Aynı malzemede ve ortamda bu sabitler değişmeyeceğinden dolayı hepsi başka bir sabit olan B ile gösterilebilir (Perez, 2004; Çatal, 2007; Revie ve Uhlig, 2008).

B sabiti eşitlik 6.8'de verilmiştir.

$$B = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c)} \quad (6.7)$$

B sabiti ile Stern ve Geary denklemi tekrardan eşitlik 6.8 deki gibi yazılabilir.

$$i_{kor} = B * \frac{\Delta i}{\Delta E} \quad (6.8)$$

Eşitlik 6.8'e göre korozyon hızı polarizasyon direncinin tersi ile orantılıdır. Korozyon hızını denklemden hesaplayabilmek için anodik ve katodik tepkimelerdeki tafel sabitleri (β_a ve β_c) gerekmektedir (Perez, 2004). Hassas ölçümler söz konusu değilse literatürden $\beta_a = \beta_c = 0.12V$ alınabilir ve B sabiti, $B = 0.026$ olarak kabul edilebilir. Eğer hassas ölçümler söz konusu ise sabitler polarizasyon eğrilerinden bulunmalıdır (Berkem, 1984; Üneri, 1998; Gerengi 2008; Revie and Uhlig, 2008).

Lineer polarizasyon yöntemi hem alternatif akım hem de doğru akımla uygulanabilmektedir. Korozyon akımı ile ağırlık azalması arasındaki bağıntı Faraday kanuna göre eşitlik 6.9' da verilmiştir.

$$i_{kor} = \frac{\Delta P * F * n}{\Delta t * M} \quad (6.9)$$

Eşitlik 6.9'da ΔP ; ağırlık azalması, F; Faraday, n; malzemenin çözültüye geçme değeri, M; malzeme gramının kütlesi, Δt ; zaman. Eşitlik 6.7 ile eşitlik 6.9 birleştirilirse eşitlik 6.10 elde edilir.

$$\Delta P = \frac{B * \Delta i * \Delta t * M}{\Delta E * F * n} \quad (6.10)$$

Lineer polarizasyon yöntemiyle ölçüm öncesi potansiyel denge sağlanması gerektiğinden açık devre potansiyeli ölçmek gerekmektedir. Kullanılmakta olan referans elektrotla metal ve yardımcı elektrot arasındaki potansiyel değişimin tespit edilmesi gerekmektedir. Yöntemin uygulaması oldukça basit ve kolaydır ve numune yüzeyini biraz tahrip etmektedir (Revie ve Uhlig, 2008; Popov, 2015; Choudhary vd., 2016).

Lineer polarizasyon direnci yöntemiyle günümüzde yapılan araştırmalar bu yöntemin diğer yöntemlerden üstün olarak kullanıldığını göstermektedir. Uygulaması basit ve kolay olan bu yöntem diğer yöntemlere göre daha ucuzdur ve diğer yöntemlerle belirlenmesi mümkün olmayan çok küçük korozyon hızlarını ölçebilmektedir. Sadece korozyon hızını değil bağıl korozyon hızını da çok hassas sonuçlarla kısa zamanda ölçebilmektedir (Üneri, 1998).

6.5.2.2. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi Yöntemi

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ilk olarak 1940 yılında Dolin ve Ershler tarafından bulunmuş ve 1952 yılında Randles ve Somerton tarafından geliştirilmiştir. EIS Hücre içerisinde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonların mekanizması ve kinetiği hakkında bilgi vermektedir. EIS yöntemiyle kaplama, pil, korozyon ve yarı iletken malzemeler çalışılmaktadır. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri yük transferi, elektrot kapasitansı hakkında bilgi vermektedir. Toparlayacak olursak Korozyon sisteminin 100 MHz -100 KHz frekans aralığındaki akıma verdiği yanıtın ölçülmesi elektrokimyasal empedans spektroskopisidir (Lorenz ve Mansfeld, 1981; Scully vd., 1991, Lasia, 2002; Instruments, 2007; Revie ve Uhlig, 2008).

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi(EIS) korozyon çalışmalarında sık karşımıza çıkan yöntemlerden biridir. Yüzey kaplamalarını değerlendirmek için ya da metallerin pasifliklerini ölçerek korozyon hızları hakkında fikir sahibi olmak için kullanılmaktadır. EIS ile yapılan ölçümlerde bir devrede bulunan bütün dirençler göz önünde bulundurulur ve hem doğrusal akım hem de alternatif akım kullanılarak mikrosaniye seviyelerinde ölçümler yapılmaktadır. Malzemelerin arayüzeylerindeki değişimleri belirlemek için kullanılan bu yöntem denge durumundaki bir hücrede düşük frekanslarla gönderilen sinyallerdeki değişimlerin ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır (Roberge, 2000; Revie ve Uhlig, 2008; Popov, 2015).

EIS ile analizden önce üçlü elektrot sisteminde açık devre potansiyeli yöntemiyle çalışma elektrotu ile referans elektrot arasında denge durumu oluşması gerekmektedir. Üçlü elektrot sisteminde EIS yöntemiyle korozyon hızı hakkında bilgi edinebilmek

için çözeltili direnci, sistem polarizasyon direnci ve sistem çift tabaka kapasitans değerinin kullanılması gerekmektedir (Popov, 2015).

Alternatif akımdaki frekans sıfırdan farklıdır ve ohm kuralı eşitlik 6.11'deki gibi gösterilmektedir (Popov, 2015).

$$V = I * Z \quad (6.11)$$

Eşitlik 6.11'de Z empedans değerini V ile I değerleri potansiyel ve akım için dalga genliği değerlerini temsil etmektedir (Popov, 2015).

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi sonucunda gerekli olan veriler alındıktan sonra korozyon hızı eşitlik 6.12 ile hesaplanabilmektedir.

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{I_{kor} * K * EW}{d * A} \quad (6.12)$$

Eşitlik 6.12'de göre i_{kor} korozyon akım yoğunluğunu, A numune yüzey alanını K korozyon hızını tanımlayan bir sabiti, d yoğunluğu, EW eşdeğer ağırlığı göstermektedir. Korozyon hızı mpy olarak bulunmak istenirse K sabiti $1,288 \times 10^5$ olarak alınabilir (Lasia, 2002; Instruments, 2007; Revie ve Uhlig, 2008; Popov, 2015).

EIS yöntemi boya, kaplama gibi yüksek dirence sahip malzemelerin dirençlerini bulmak için en etkili yöntemlerden biridir. Deney sırasında malzemeye diğer yöntemlere göre çok çok az hasar vermektedir (Gerengi 2008).

6.5.2.3. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

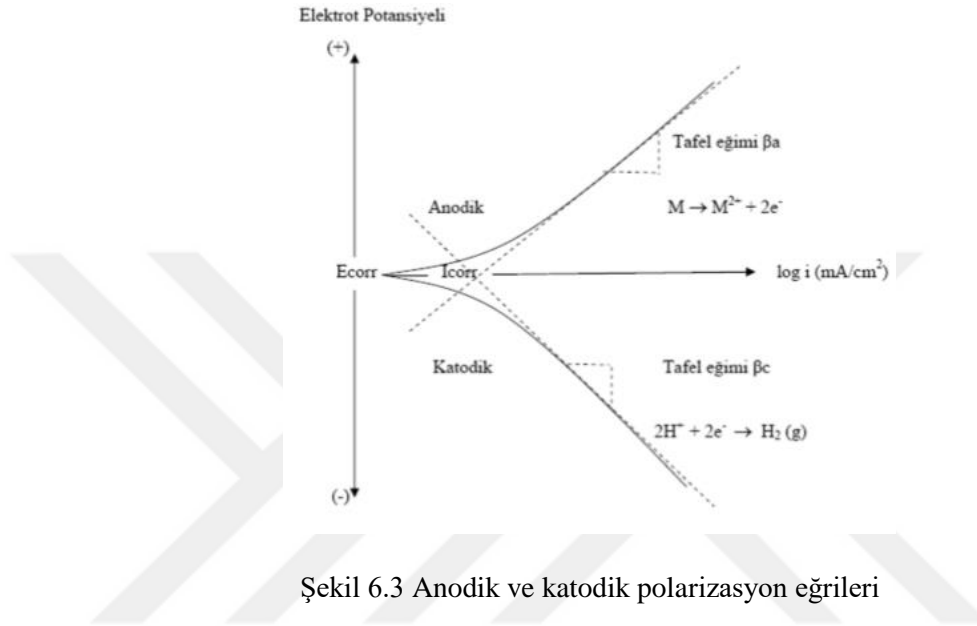
Akım çekmez iken çözeltili ortamındaki malzemenin potansiyeli açık devre potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Açık devre potansiyeli negatif ya da pozitif yapılan taramalar malzeme yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar hakkında bilgi vermektedir. Bu reaksiyonlar incelenerek malzemenin elektrokimyasal özellikleri ve korozyonu hakkında yorumlar yapılabilmektedir (Palta, 2009).

Tafel bölgesinde anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızı belirlenmektedir. Tafel bölgesinde anodik ve katodik eğriler birlikte elde edilemezse sadece bir tanesinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızı hesaplanmaktadır. Korozyon elektrotların yüzeyinde birden çok indirgenme ve yükseltgenme tepkimeleriyle birlikte meydana gelmektedir ve birçok çözünme tepkimesi oluşmaktadır. Bilhassa alaşımlardaki tepkimeler çok daha karmaşıktır. Bu nedenle elektrokimyasal yöntemlerde korozyon incelenirken tüm sistemin davranışını gösteren karma potansiyel kuramından faydalanılmaktadır (Instruments, 2007; Popov, 2015).

Denge potansiyeli elektrokimyasal bir olayda indirgenme akımının yükseltgenme akımına eşit olması demektir. Korozyon potansiyeli (E_{kor}) iki ya da daha fazla indirgenme ve yükseltgenme tepkimesinin birlikte ilerlerken toplam indirgenme akımının toplam yükseltgenme akımına eşit olduğu potansiyeldir. Anodik reaksiyonlarda açığa çıkan elektronlar katodik reaksiyonlarda indirgenme için kullanılmaktadır. Bu yöntemle korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akım ölçülmekte ve korozyon hızı belirlenmektedir. Korozyon potansiyelinde net bir akım bulunmaktadır ancak toplam anodik akımla toplam katodik akımın eşit olmasından dolayı akım okunamamaktadır. Korozyon akımı (I_{kor}) doğrudan ölçülemeyen bu akımdır. Elektrot yüzey alanının korozyon akımına bölünmesiyle bulunan akım yoğunluğu malzemenin korozyon hızını vermektedir. Akım potansiyel ölçümü bu yöntemde de mevcuttur. Akım ve ya potansiyelden biri denetimli olarak uygulanırken diğerinin değişimleri kaydedilmektedir. Akım değerlerinin sabit potansiyelde ölçülmesi potansiyostatik yöntem, akım şiddetlerinin değiştirilen potansiyellerle ölçülmesi potansiyodinamik yöntemdir (Topaktaş, 2005; Palta, 2009).

Korozyona uğrayan malzemenin anodik ve katodik tafel eğrileri deneysel olarak belirlenmektedir. Bu eğrilerin çizilebilmesi için çalışılması gereken potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle göre seçilmektedir. Elde edilen $E - \log i$ polarizasyon eğrisi şekil 6.3'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere dış akım belirli bir değere ulaştıktan sonra polarizasyon eğrisinde lineer bölge oluşmaktadır. Tafel bölgesi uygulanan bu dış akımın lineer olarak değiştiği bölgelerdir. Korozyon

potansiyelinden başlanarak anodik ve ya katodik yönde çizilen bu yarı logaritmik akım potansiyel eğrilerine tafel eğimleri denmektedir. Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alınırsa kesişen noktalardaki potansiyel korozyon potansiyeli olarak adlandırılır ve buna karşılık gelen akıma ise korozyon akımı denmektedir. Korozyon akımı doğrudan korozyon hızı hakkında bilgi vermektedir (Palta, 2009).



Korozyon hızı tafel doğrusunun eğiminin deneysel olarak elde edilmesiyle bulunmaktadır. Yani tafel ekstrapolasyon yöntemiyle anodik ve katodik tafel eğrilerinin çizgisel olan kısımları azaltılıp kesişim noktalarından korozyon potansiyeli ve korozyon hızı bulunmaktadır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Deneysel Yöntem

Bu tez çalışmasında, elektrolitik bakır yüzeyine Plazma Sprey yöntemi ile çeşitli kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bakır yüzeyine yapılacak kaplamalar ile bakırın aşınma özelliklerinin iyileştirilip, elektriksel özelliklerinin en az etkilenmesi hedeflenmiştir.

7.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada yurtiçi firmalardan temin edilen bakır, alt malzeme olarak kullanılmıştır, plazma sprej yöntemi ile üretilecek kaplamalarda kaplama tozu olarak, yurtiçi ve yurt dışı firmalardan temin edilen üç farklı kaplama tozu kullanılmış olup, kaplamaların üretilmesinde plazma sprej yöntemi kullanılmıştır. Elektrolitik bakır altlık ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimi Tablo 7.1’de gösterilmiştir. Kaplamada kullanılan tozların karışım oranları ve numune kodlamaları ise Tablo 7.2 de verilmiştir.

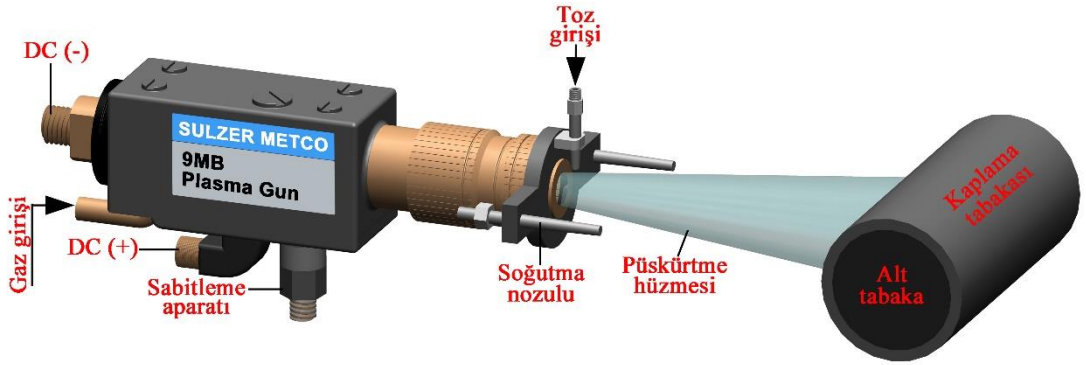
Tablo 7.1. Elektrolitik bakır ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri

Bileşim (% ağı.)	Elektrolitik Bakır	SiC	WC-Co	B ₄ C
C	-	34-39	6	20-22
B	-	-	-	78-80
Cu	100	-	-	-
Si	-	61-66	-	-
W	-	-	82	-
Co	-	-	12	-
Toz boyutu (µm)	-	-90+45	-63+11	-45+15

Tablo 7.2. Kaplamada kullanılan tozların karışım oranları ve numune kodlamaları

Numune adı	Bakır tozu	SiC	WC-Co	B ₄ C
Cu	-	-	-	-
B5	95	-	-	5
B10	90	-	-	10
B20	80	-	-	20
S5	95	5	-	-
S10	90	10	-	-
S20	80	20	-	-
W5	95	-	5	-
W10	90	-	10	-
W20	80	-	20	-

Alt tabaka olarak kullanılan 20mm x 5mm x 130 mm ölçülerinde elektrolitik bakır aseton çözeltilisinde temizlendikten sonra kaplama tabakasının daha iyi bağlanması için 24-35 mesh arasındaki tane boyutuna sahip Al₂O₃ kumu ile kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kaplamaların üretiminde Sulzer Metco 9-MB model plazma sprej kaplama sistemi kullanılmıştır. Plazma sprej kaplama işleminin şematik görüntüsü Şekil 7.1’de verilmiştir. Kaplama işleminde kullanılan püskürtme parametreleri Tablo 7.3’de verilmiştir. Toz taşıyıcı gaz olarak argon kullanılmış, kaplama işleminden sonra alt tabakalar yüksek basınçlı hava jetleri ile soğutulmuştur.

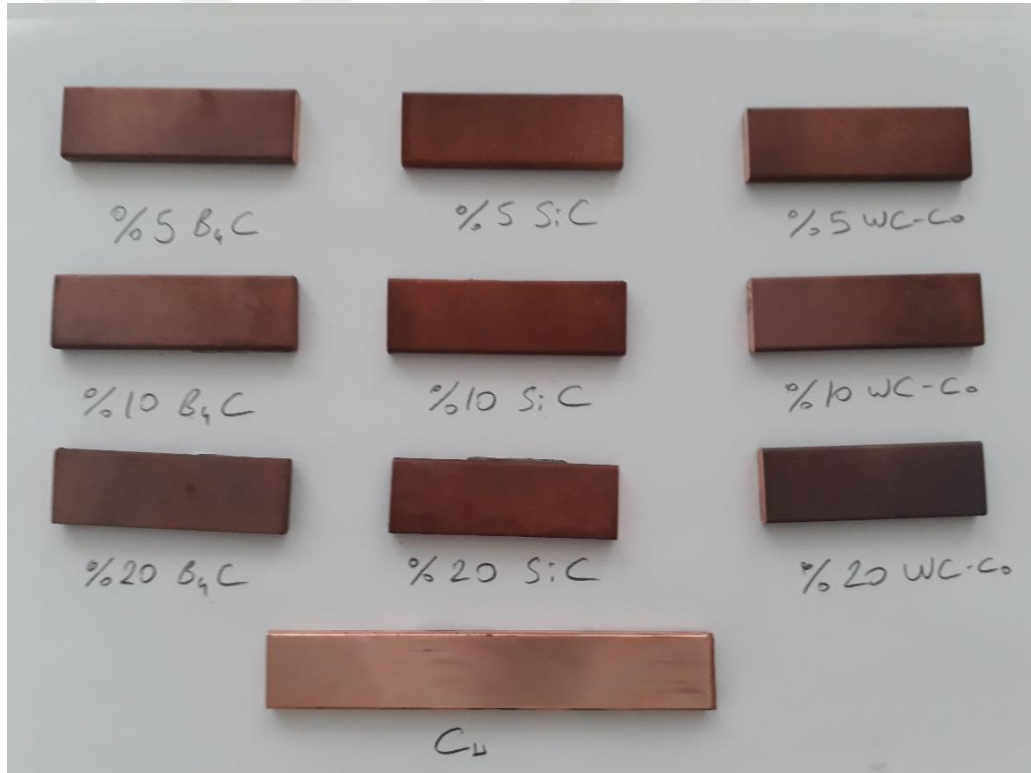


Şekil 7.1. Plazma sprej kaplama işleminin prensip şeması

Tablo 7.3. Püskürtme parametreleri

Püskürtme Mesafesi	70mm
Amper	550-580
Voltaj	65-70
Argon	2,55 m ³ /saat
Hidrojen	3,54 m ³ /saat
Toz Besleme Oranı	22,68 gr/dk
Kaplama Kalınlığı	350-400 µm
Yüzey pürüzlülük	6,5-7,5 Ra

Plazma sprej kaplamayla kaplanmış numunelerin makro fotoğrafları Şekil 7.2 'te verilmiştir.

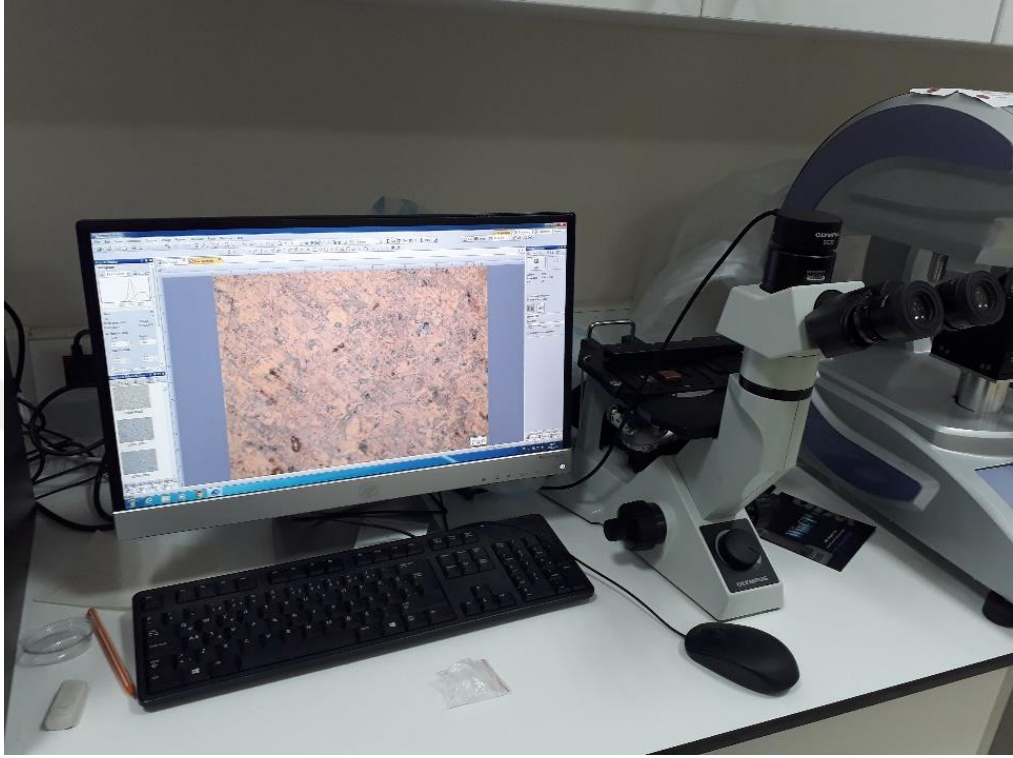


Şekil 7.2. Kaplanmış numuneler

7.3. Mikroyapı İncelemesi

Çalışmada üretilen kaplamaların mikroyapı ve faz bileşimi incelemesi, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarın da bulunan taramalı elektron

mikroskobu (SEM), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS), X-ışını difraksiyonu (XRD) ve bölümümüz laboratuvarında bulunan optik mikroskop (OM) ile yapılmıştır. Şekil 7.2’de mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop görülmektedir.

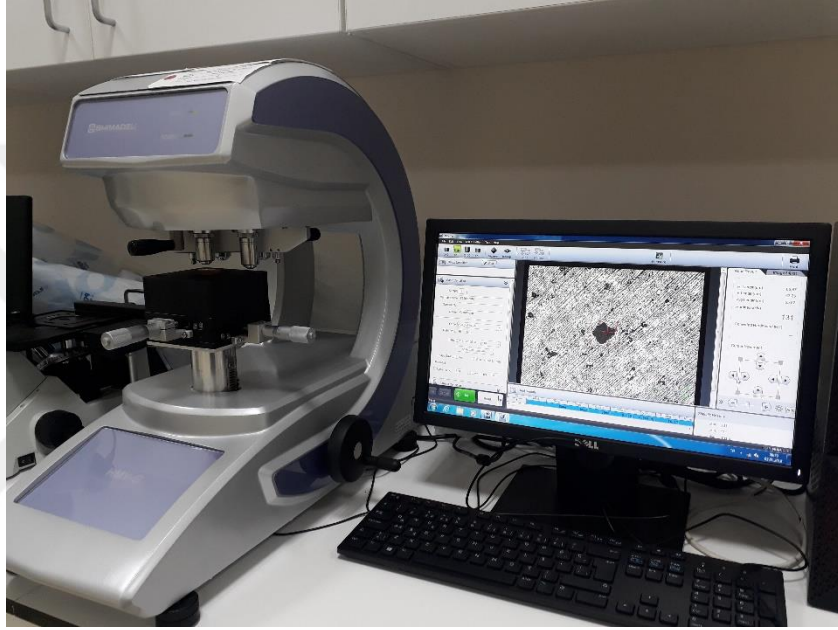


Şekil 7.2. Optik Mikroskop

Plazma sprey yöntemiyle kaplanan numuneler bakalite alınmış ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek zımparalanmış, daha sonra sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak metalografik olarak hazırlanmıştır. Numunelerin dağlanması ise 30ml HCl, 10ml FeCl₃, 120ml su çözeltisi kullanılmıştır. Böylece kaplama tabakası kesiti ve kaplama tabakası-ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskopi ve SEM için hazır hale getirilmiştir. SEM analizleri için ise FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı kullanılmıştır. SEM ile birlikte, kaplama tabakası ve ara bölgesinde oluşması muhtemel fazların kimyasal bileşimi için EDS analizleri de yapılmıştır. Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit etmek amacıyla XRD analizi yapılmıştır. XRD analizleri, Bruker D8 Advance XRD marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

7.4. Sertlik Deneyi

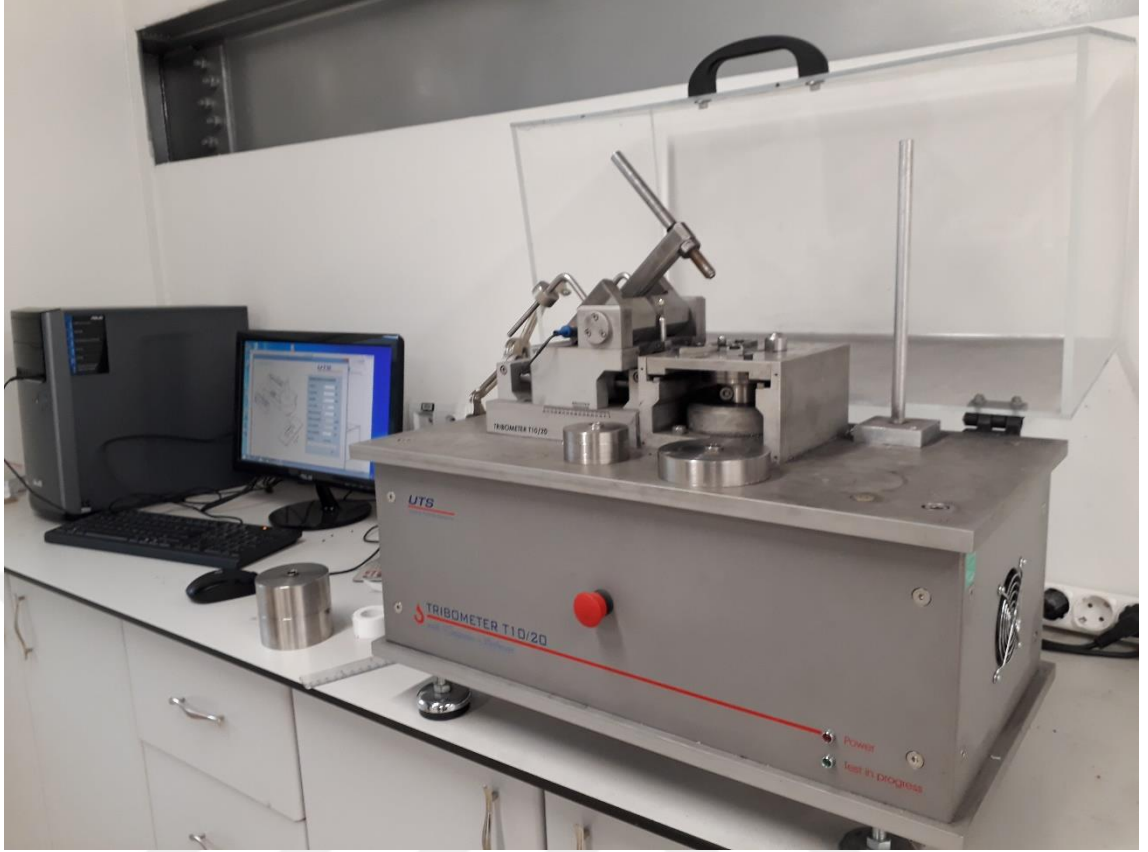
Sertlik ölçümü öncesi numuneler metalografik olarak hazırlanmış ve kaplamaların sertlikleri Shimadzu HVM-G model mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür ve sertlik ölçümü yapılan cihaz Şekil 7.3'te görülmektedir. Kaplamaların sertlikleri numunelerin üst yüzeyinden 300 gr yükte ve 15 sn sürede toplam 10 değer olarak alınmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 7.3. Mikrosertlik cihazı

7.5. Aşınma Deneyi

Aşınma testlerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan UTS Tribometer T10 test cihazı ile ASTM G133 standardına uygun olarak ileri geri aşınma testi numunelerin hem alt tabakalarına hem de kaplama tabakalarına uygulanmıştır. Testler 5N, 10N, 15N yükte, 350 metre kayma mesafesinde oda şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bilgi toplama oranı 3 Hz olarak seçilmiştir. Aşındırıcı bilye olarak 100Cr6 malzemeden üretilmiş çapı 6 mm olan çelik küre bilyeler kullanılmıştır. Küre bilyeler her deney için değiştirilmiştir. Kimyasal bileşim ve aşınma yüzeylerinin morfolojisi SEM-EDS analizleri ile incelenmiştir. Şekil 7.4' te aşınma deneylerinde kullanılan aşınma test cihazı verilmiştir.

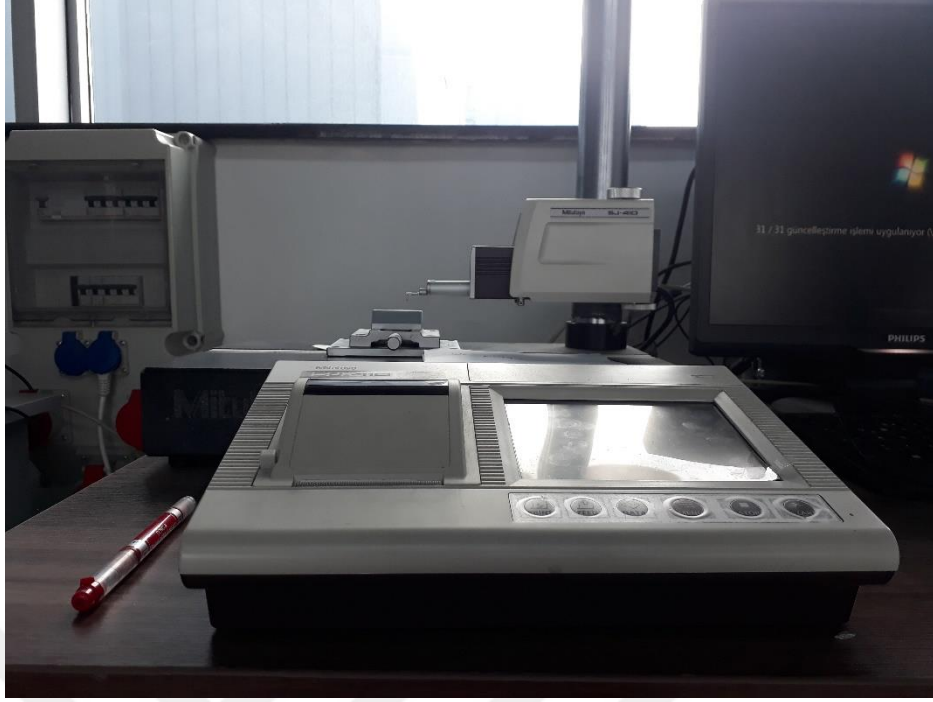


Şekil 7.4. Aşınma test cihazı (UTS 10/20 Tribometer)

Yüzey profilometre cihazı ile aşınma yüzeylerinin profilleri belirlenmiştir. Şekil 7.5'te Yüzey profilometre cihazı gösterilmektedir. Aşınma profilleri kullanılarak yüzey alanı hesaplanmış ve strok mesafesi ile çarpılıp aşınma hacimleri bulunmuştur. Hacimler hesaplandıktan sonra archard kanununa göre aşınma oranları hesaplanmıştır. Archard kanununa göre malzemenin sertliği doğrudan aşınma direncini etkilemektedir. Aşınma oranları Eşitlik 7.1' e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{V}{WL} \quad (7.1)$$

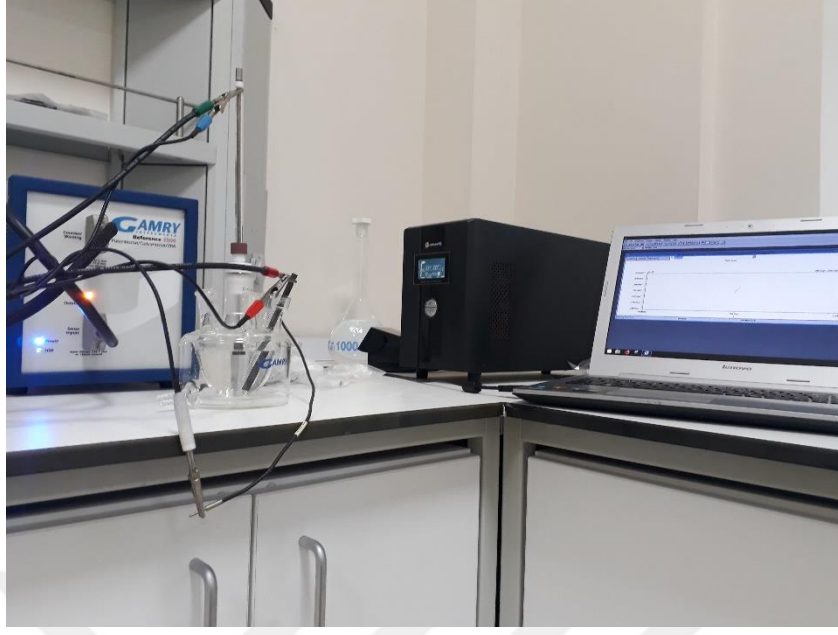
Bu formülasyonda V hacimsel aşınma kaybını, W uygulanan yükü, L ise aşınma yolunu temsil etmektedir.



Şekil 7.5. Yüzey profilometre cihazı

7.6. Korozyon Deneyi

Korozyon testleri Üniversitemiz Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Araştırma Laboratuvarında bulunan Reference 3000 Potansiyostat / Galvanostat / ZRA cihazında ölçülmüştür. Deney düzeneği ve kullanılan cihaz Şekil 7.6' da gösterilmiştir. Korozyon deneylerine başlamadan önce hazırlanan numuneler 35°C'de 15 dk aseton, 15 dk distile edilmiş su ve 15 dk etanol ile ultrasonik temizlendikten sonra 60°C'de Etüv de 45dk kurutulmuştur.

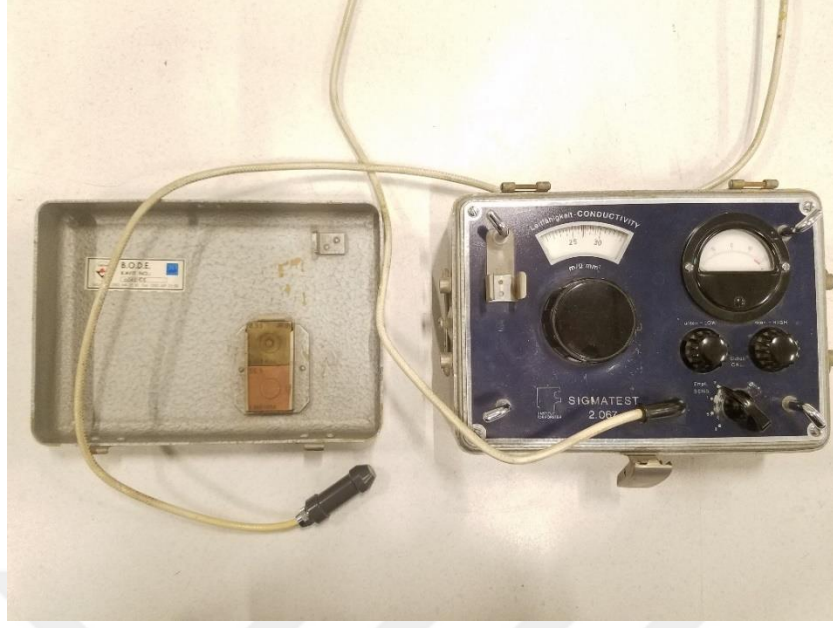


Şekil 7.6. Korozyon Ünitesi

Çözelti için 35 gr NaCl 1 litre distile suyla manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Temizlenmiş numuneler ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde kararlı hale gelmesi için yaklaşık 1 saat bekletilmiştir. Yapılan deneyler sonucu akım yoğunluğu, potansiyel eğrilerinden korozyon potansiyeli, korozyon akımı ve korozyon hızı bulunmuştur. Her bir numune için 3 deney yapılmış her deneyde yeni solüsyon kullanılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Doğrudan cihazdan okunan eğrilerden korozyon akım yoğunluğu, korozyon potansiyeli ve korozyon hızı ASTM-G102 standardına göre hesaplanmıştır. Korozyon tesleri sonrasında numune yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

7.7. Elektriksel İletkenlik ve Porozite Deneyleri

Elektrik iletkenlik deneyleri TUBITAK Marmara Araştırma Merkezinde (MAM) sigmatest 2.067 test cihazıyla $m/\Omega \cdot mm^2$ cinsinden ölçülmüş ve elektriksel iletkenlik değerleri ASTM B193 standardına göre hesaplanmıştır. Elektrik iletkenlik deneylerinde kullanılan cihaz Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Elektriksel iletkenlik deneylerinde kullanılan cihaz

Porozite deneylerinde Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Quantachrome marka Poremaster 33 model civalı porozimetre cihazı kullanılarak, cihazdan toplam porozite değerleri alınmıştır. Porozite deneyinde kullanılan cihaz Şekil 7.8’de gösterilmiştir.

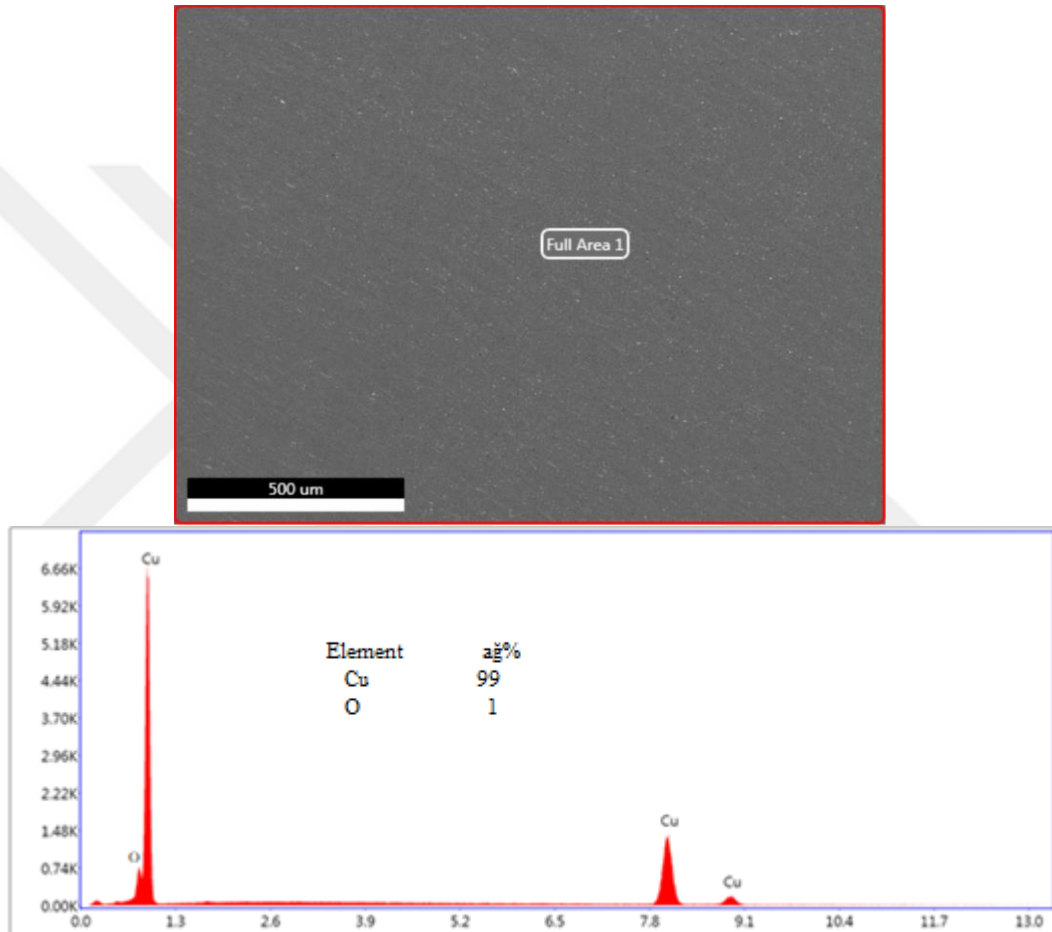


Şekil 7.8. Porozite deneylerinde kullanılan cihaz

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

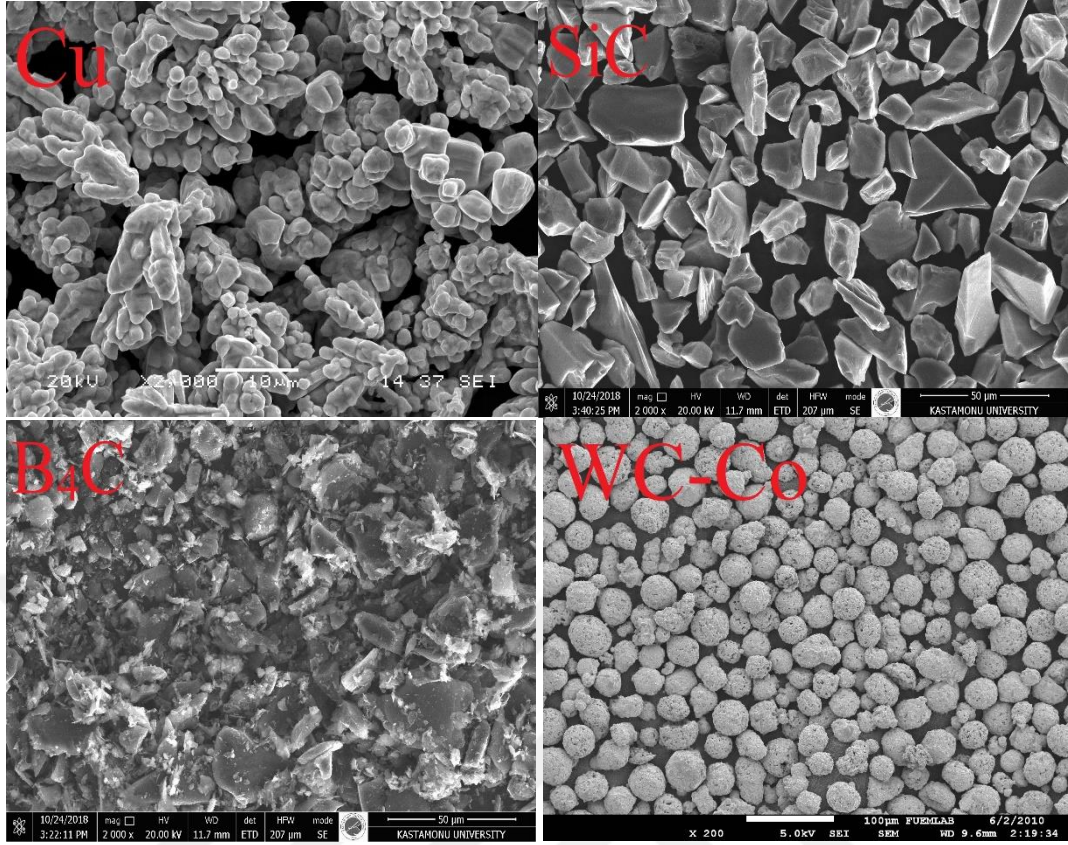
8.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Kullanılmış olan bakır altlık malzemenin SEM-EDS analizleri Şekil 8.1'den incelendiğinde malzemenin %99 bakır ve %1 oksijenden oluştuğu anlaşılmaktadır.



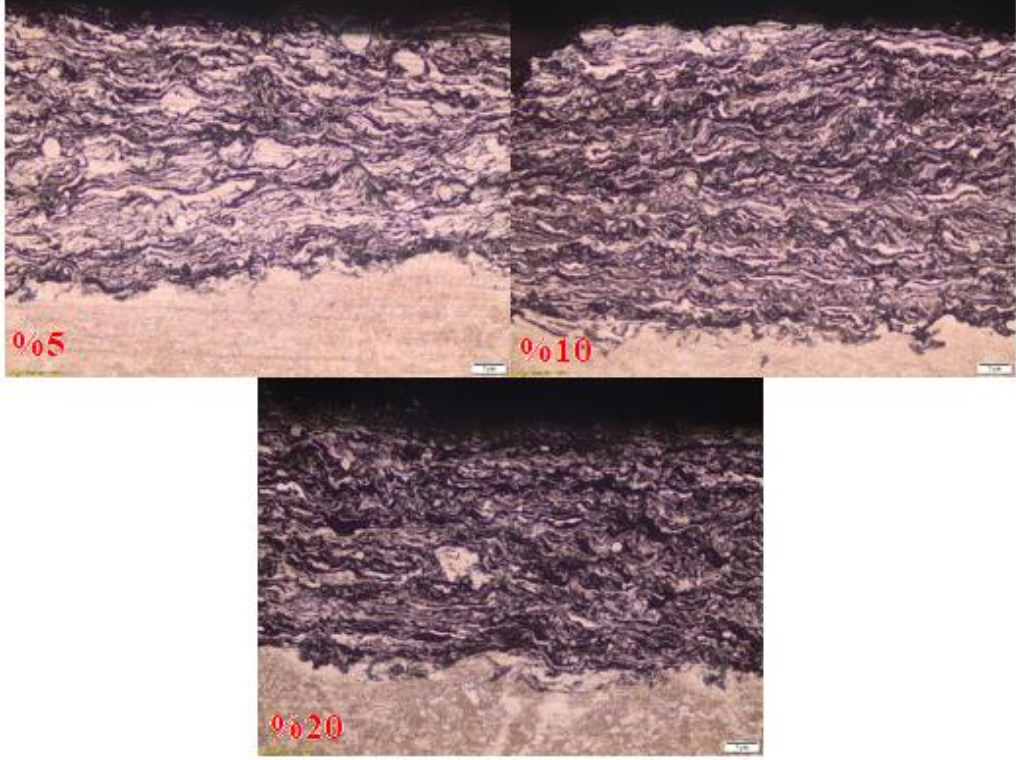
Şekil 8.1 Altlık malzemenin SEM-EDS analizi

Altlık malzeme üzerine kaplama için kullanılacak tozların SEM görüntüleri Şekil 8.2'de verilmiştir. Tozların morfolojisi incelendiğinde bakır ve WC-Co tozlarının daha küresel oldukları, B₄C ve SiC tozlarının daha sivri ve keskin köşeli oldukları görülmektedir.

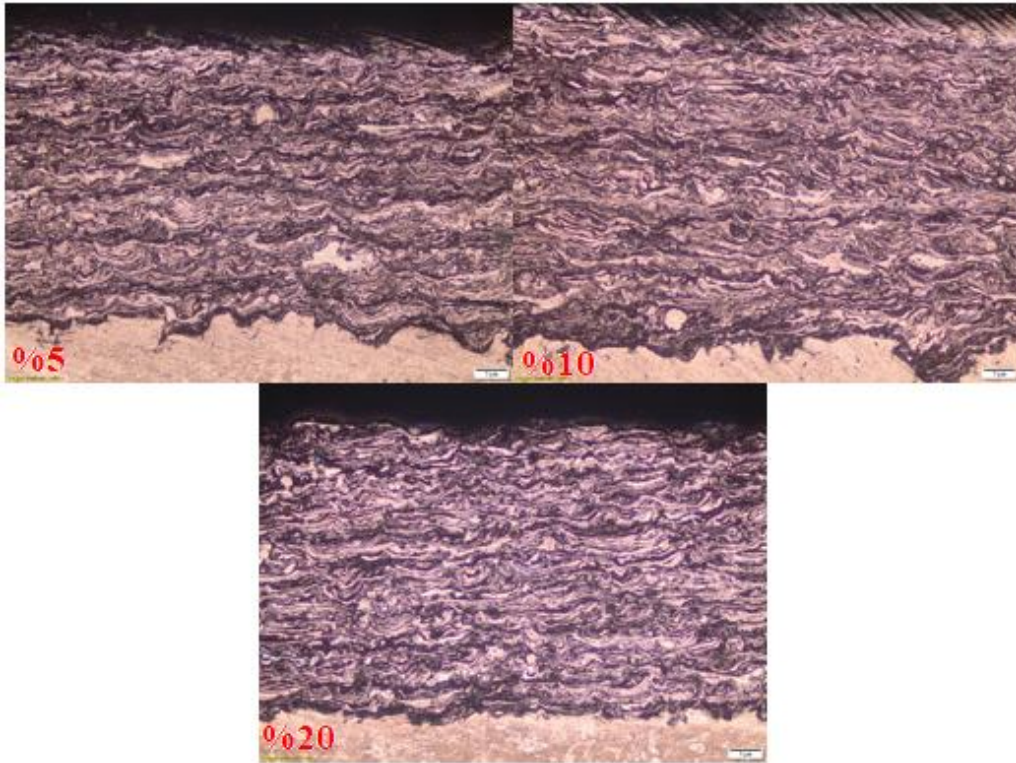


Şekil 8.2 Kaplamada kullanılan tozların SEM görüntüleri

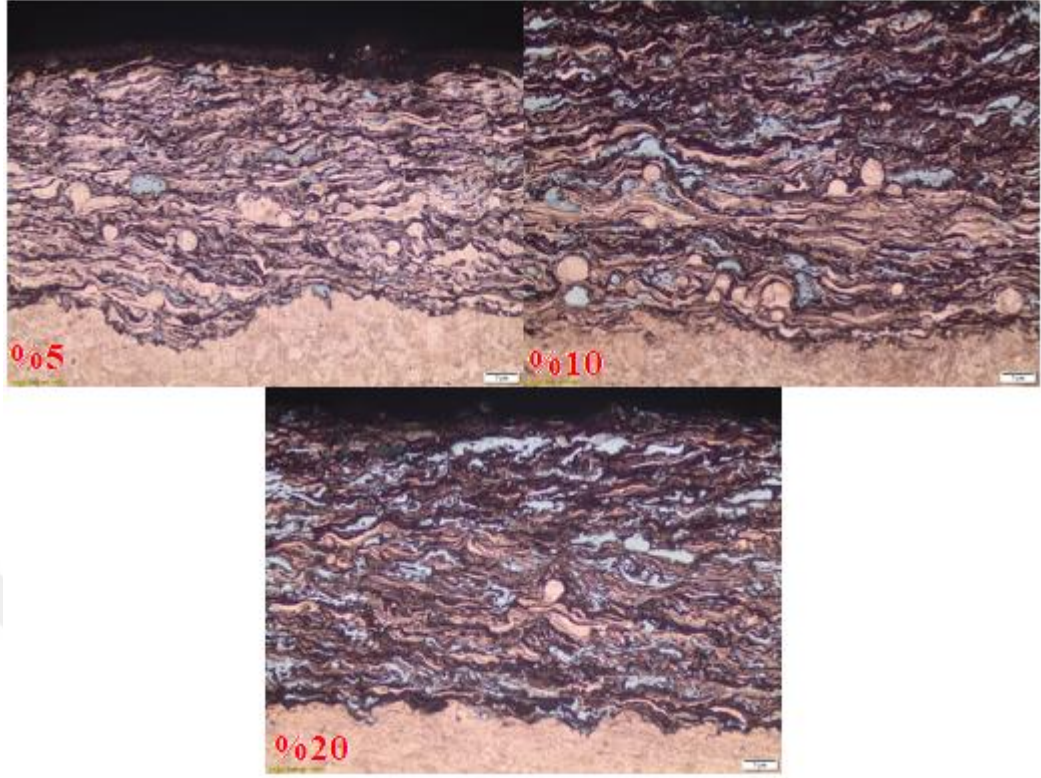
Şekil 8.3, Şekil 8.4 ve Şekil 8.5 incelendiğinde plazma sprej yöntemiyle kaplama yapılmış numuneler görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi plazma sprej kaplamalar bakır altlık üzerine başarıyla kaplanmıştır. Plazma sprej kaplama ile üretilmiş kaplamaların birbirine göre paralel konumlanmış yapılar yani lamelli yapılar sahip olduğu açıkça görülmektedir. Plazma sprej kaplamada ergiyik ve yarı ergiyik partiküllerin alt malzemeye çarpmasıyla deformasyona uğraması ve orada partiküllerin katılması sonucu lamelli yapılar meydana gelmektedir. Partiküllerin alt malzemeye çarpması ve orada katılması sonucu oluşan lamellerin orta kısımları kalın olup, uç kısımlara doğru ise kalınlıklar azalmakta ve birbirlerine paralel konumda oluşmaktadır (Islak ve Buytoz; 2013, Niu vd.; 2015, Bogdanovich ve Giorbelidze; 2017, Shahien vd.; 2018).



Şekil 8.3 Bor karbür kaplamaların optik görüntüleri

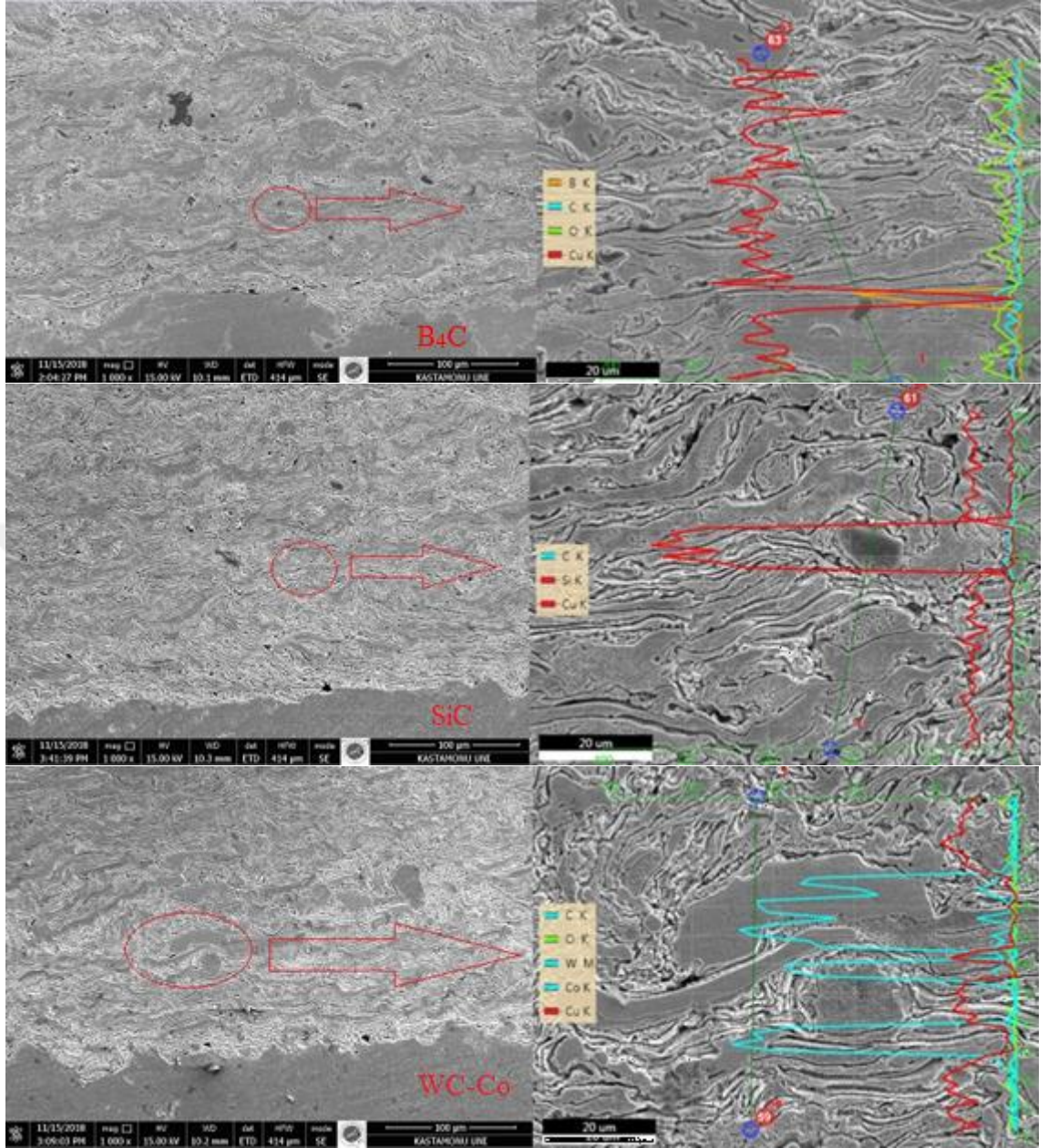


Şekil 8.4 Silisyum karbür kaplamaların optik görüntüleri



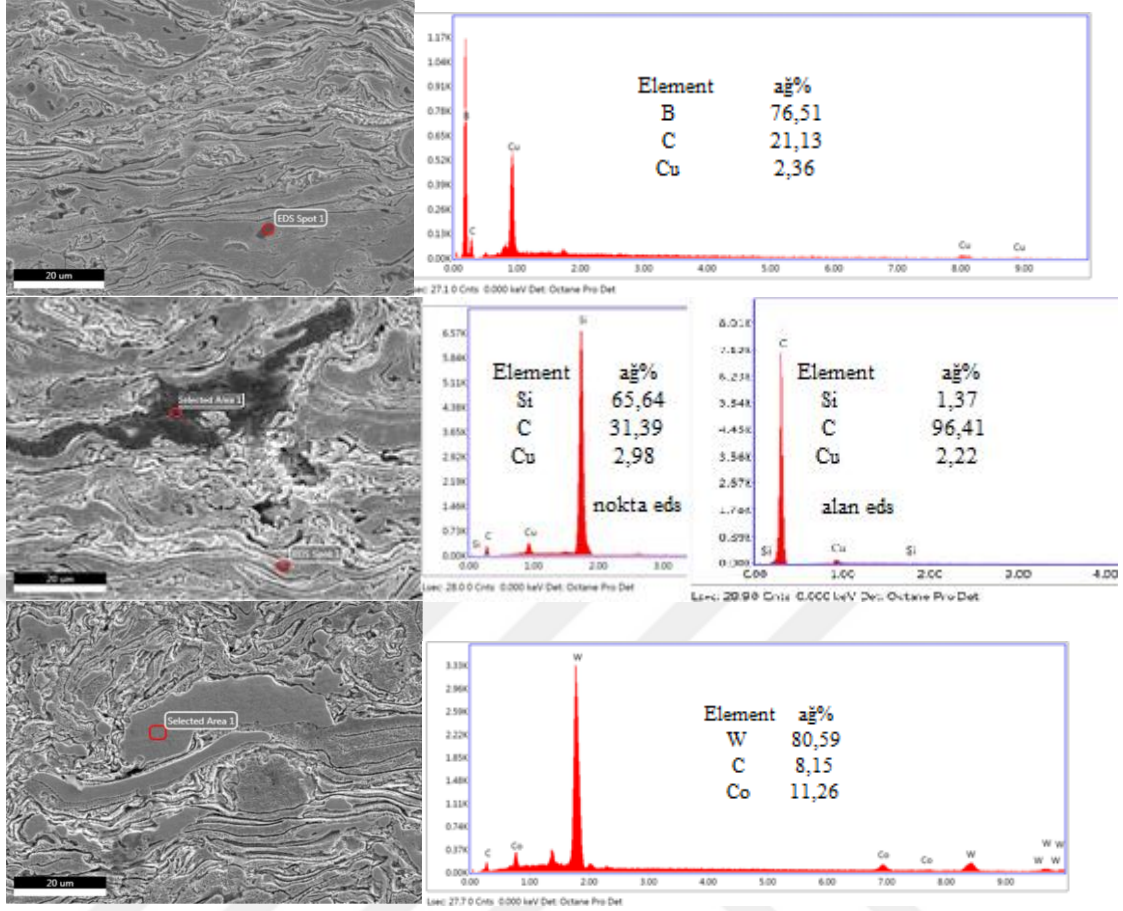
Şekil 8.5 Tungsten karbür kobalt kaplamaların optik görüntüleri

Şekil 8.6 'da %20 katkıli numunelerin SEM ve çizgi EDS görüntüleri verilmiştir. Plazma sprey ile kaplama yapılan yüzeyde gözenekler ve mikroçatlaklar göze çarpmaktadır. Çizgi EDS sonuçları incelendiğinde kaplama da mevcut olan B_4C , SiC ve $WC-Co$ piklerine rastlanmıştır ve bakır ile kaplamada bulunan diğer karbürlerin pikleri açıkça görülmektedir. Altlık malzeme ve kaplama tabakalarının oksijene karşı yüksek afinitesinden kaynaklanan oksitlere de rastlanmıştır.



Şekil 8.6. Kaplama tabakalarının SEM-EDS görüntüleri

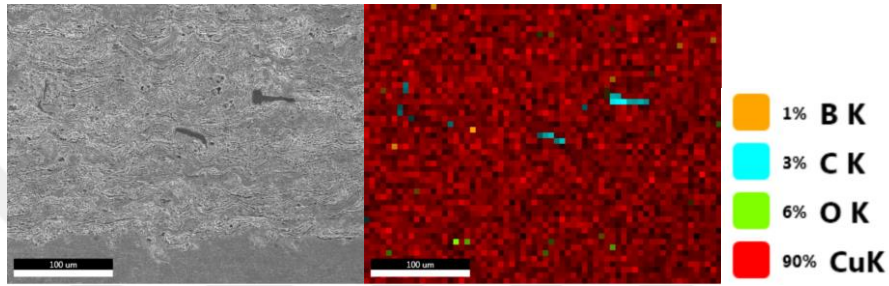
Şekil 8.7 'de %20 katkıli numunelerin SEM görüntüleri ve noktasal EDS analizleri verilmiştir. Noktasal EDS sonuçları incelendiğinde bor karbür partikülü, silisyum karbür partikülü ve tungsten karbür kobalt görülmektedir.



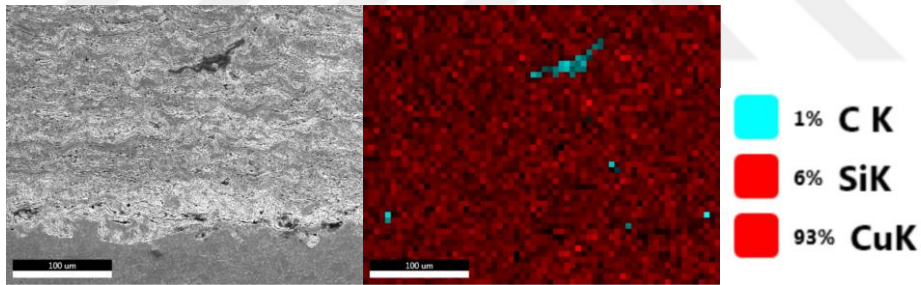
Şekil 8.7. Kaplama tabakalarının noktasal EDS analizleri

Şekil 8.8 - 8.9 ve 8.10'da %20 katlı kaplama tabakalarının mapping analizleri verilmiştir. Mapping analizleri incelendiğinde özellikle bor karbür ve silisyum karbür içeren kaplamalarda karbon elementinde belirli noktalarda yığılmalar görülmektedir. Bor karbür ile silisyum karbürün dekompoze sıcaklığının yaklaşık 2500°C olması ve plazma sprej tabancasının ucundaki sıcaklığın 12000-16000°C (Wolfe vd.; 2006) olmasından dolayı karbon yığılmalarının sebebinin bor karbür ve silisyum karbürün dekompoze olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Hildenbrand ve Hall; 1964, Kang ve Kang; 2006). Diğer bir dikkat çeken olay ise mapping analizindeki kaplamalar %20 karbür içeren kaplamalar olmasına rağmen kaplamalardaki karbürlerin oranlarının düşük olmasıdır. Yani Şekil 8.8 incelendiğinde püskürtülen bor karbür %20 olmasına rağmen incelenilen alan dikkate alındığında yaklaşık %5-6 bor karbür olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Şekil 8.9'a bakıldığında incelenilen alan dikkate alındığında silisyum karbür içeriğinin yaklaşık %7-8 olduğu görülmektedir.

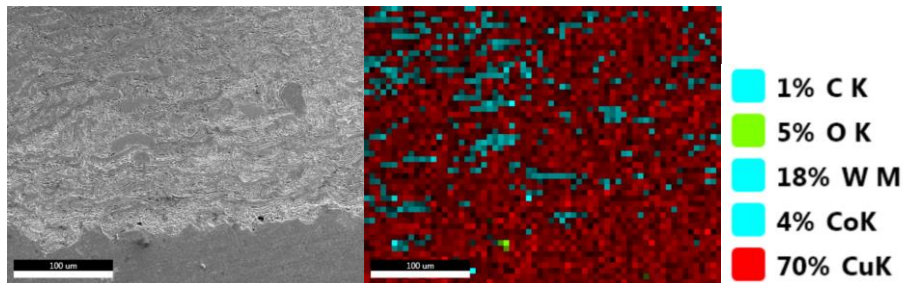
Püskürtülen tozların yoğunluklarına bakıldığında bor karbürün yoğunluğu 2,51, silisyum karbürün yoğunluğu 3,21, tungsten karbür kobaltın yoğunluğu 14,5 ve bakırın yoğunluğu 8,96'dır. Püskürtülen karbürlerin, yoğunluk farklarından dolayı püskürtme aşamasında etrafa saçılması sebebiyle %20 oranında karbür içeren kaplama yapılmak istenirken daha düşük oranlarda karbür içeren kaplamalara sebep olduğu düşünülmektedir (Biancanello; 1998, Gilmore vd.; 2000, Davis; 2004, Stanisic vd.; 2006).



Şekil 8.8 %20 katkılı bor karbür kaplamasının MAP analizi



Şekil 8.9 %20 katkılı silisyum karbür kaplamasının MAP analizi

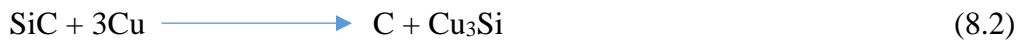


Şekil 8.10 %20 tungsten karbür kobalt kaplamasının MAP analizi

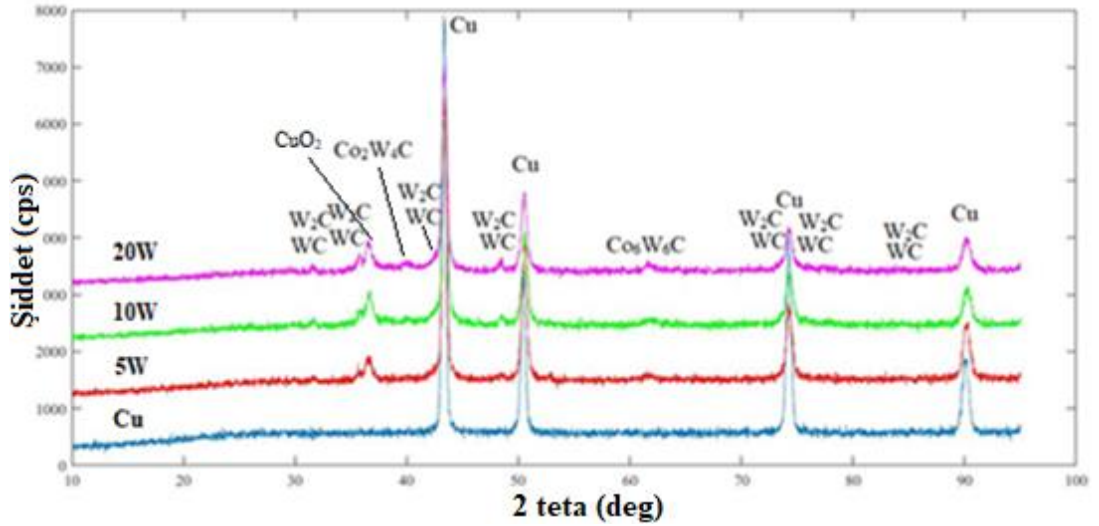
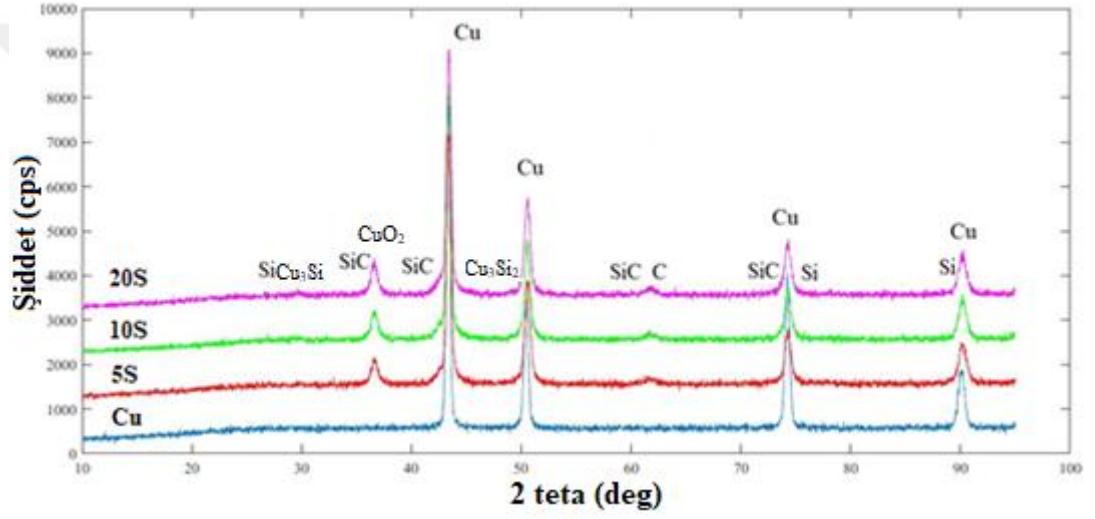
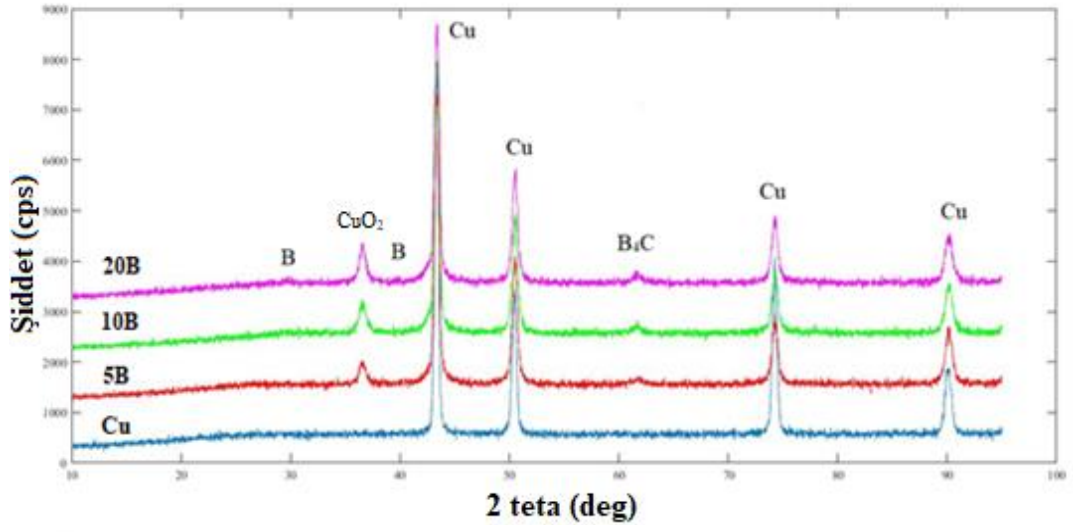
Şekil 8.10'da incelenilen alan dikkate alındığında tungsten karbür kobalt oranının yaklaşık %23 civarında olduğu görülmektedir. Tungsten karbür kobaltın yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle püskürtülen karbürlerin kaplanacak olan malzemeye ulaştığı yani bor karbür ve silisyum karbürdeki gibi karbür oranlarında azalma görülmemektedir. EDS analizleri ve mapping analizleri göz önünde bulundurulduğunda Karbon oranının mapping analizinde düşük çıkması plazma sprey sıcaklığının kobaltın ergime sıcaklığından (1495 °C) yüksek olmasından dolayı tungsten karbür kobalt tozunun da püskürtme sırasında dekompoze olduğu ya da C_nW_mC , $(C_nW_m)C$ formlarına dönüştüğü düşünülmektedir (Heimann; 2008, Sartwell ve Matthews; 2016).

8.2 XRD Analizi Sonuçları

Şekil 8.11'de XRD grafikleri incelendiğinde bor karbür, silisyum karbür, tungsten karbür, kobalt, silisyum, bor ve tungsten piklerine ayrı ayrı rastlanmıştır. Tüm kaplamalar incelendiğinde katkının artmasıyla bakır faz şiddetlerinde azalmalar meydana gelmiş ve püskürtülen karbür tozları püskürtme sırasında kısmen dekompoze olmuştur. Bor karbürün dekompoze olması sonucu bor ve karbon elementlerine ayrışmaktadır (Hildenbrand ve Hall; 1964). Dekompoze olan silisyum karbür partiküllerinin 842 °C 'de maksimum çözünürlüğü atomikçe %11,25 olmasından dolayı Cu_3Si fazı oluşmuştur. Eşitlik 8.1 ve 8.2 'de silisyum karbürün oksitlenmesi ve Cu_3Si fazının oluşum reaksiyonu verilmiştir (Kang ve Kang; 2006).



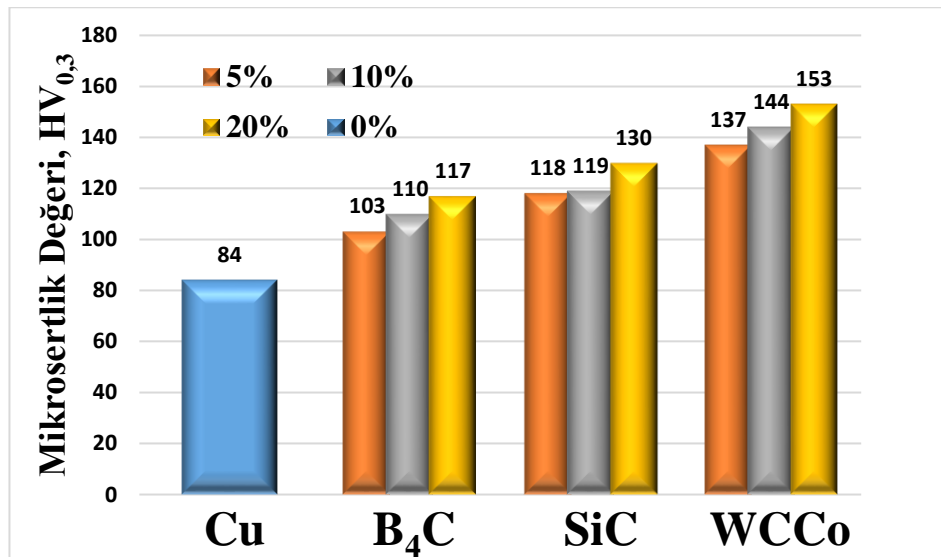
XRD grafiklerinde kobaltın tungsten ve karbonla bileşik oluşturduğu görülmekte olup, sadece kobalt fazına rastlanmamıştır. Plazma sprey alevinin yüksek sıcaklığı nedeniyle sıvı kobalt içerisinde tungsten karbürdeki karbon çözülmüş ve karbonun oksitlenmesiyle karbon monoksit veya karbon dioksit oluşmuştur. Karbonun oksitlenmesi sonucu WC fazı W_2C fazına dönüşmüştür. W_2C fazının oluşması termal püskürtme işlemlerinde dekarbürizasyon ürünü olarak kabul edilmektedir (Alonso vd; 1987, Ban and Shaw; 2003, Korpiola; 2004).



Şekil 8.11. Alt malzeme ve yapılan kaplamaların XRD grafikleri

8.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

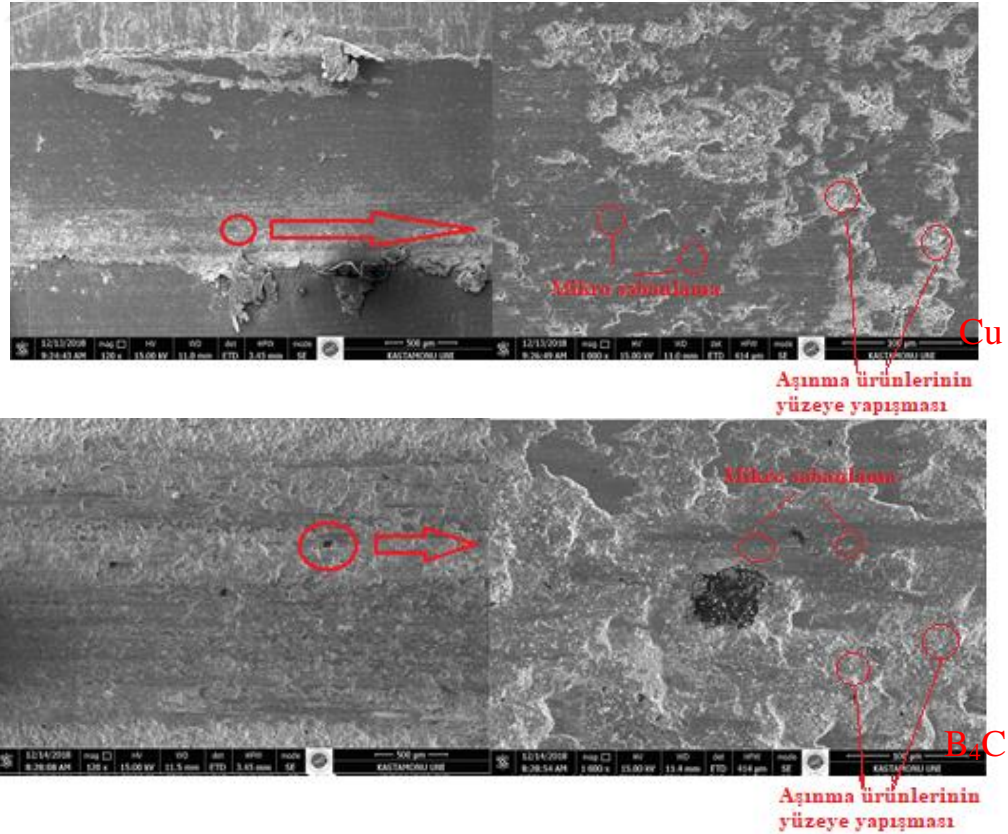
Alt malzeme ve plazma spreyle kaplanmış numunelerin üst yüzeylerinden alınmış mikrosertlik değerleri Şekil 8.12’de verilmiştir. Kaplama tabakalarının kalınlığı yaklaşık 350 μm ’dir. Alt malzemenin sertliği 84 $\text{HV}_{0,3}$ olarak ölçülmüştür. Tüm kaplamaların sertlik değerleri alt malzemenin sertlik değerinden yüksektir. Her bir kaplama da katkı oranının artmasıyla sertlikler artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerinin tungsten karbür kobalt katkısında olduğu görülmektedir. Normal şartlarda en yüksek sertliğe sahip toz, bor karbür tozu ardından silisyum karbür tozu ve son olarak tungsten karbür kobalt tozudur. Fakat SEM-EDS, Mapping analizi ve XRD analizleri incelendiğinde yoğunluk farkından dolayı kaplama sırasında tozların yoğunluk farkından dolayı saçılması nedeniyle istenilen oranda kaplamaların yapılamaması ve tüm tozların kısmen dekompoze olması sertlik değerlerinde değişikliklere neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum Şekil 8.3-8.5’te verilen optik görüntülerde, Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de verilen SEM görüntülerinde ve Şekil 8.8-8.10 da verilen mapping analizleriyle açıklanabilmektedir. Kaplama tabakasında bulunan karbürler ve oluşan sert fazların varlığı sertlik değerlerini arttırmıştır (Islak ve Buytoz; 2013, Baiamonte vd.; 2016). En yüksek sertlik değeri 137-153 $\text{HV}_{0,3}$ ile tungsten karbür kobalt katkısında olduğu ve yaklaşık olarak alt malzemenin sertlik değerinin 1.8 katıdır. Sertlik sonuçlarının Şekil 8.25’te verilen gözeneklilik oranlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



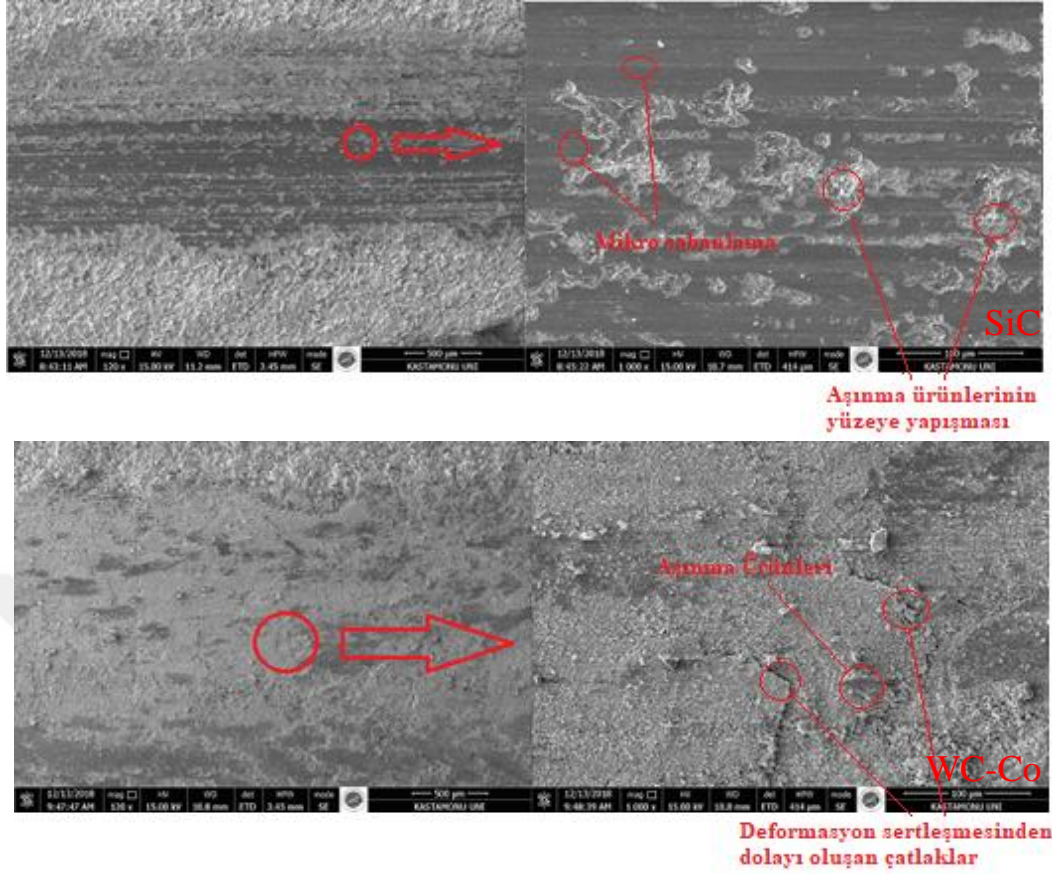
Şekil 8.12 Alt malzeme ve Kaplamaların Mikrosertlik Değerleri

8.4. Aşınma Deneyi Sonuçları

Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'te 15N yük altındaki alt malzeme ve kaplama tabakalarının aşınmış yüzeylerinin morfolojileri görülmektedir. Bakır altlık ve kaplama tabakalarında hem abrasif hem adhesif aşınma türleri gözlenmiştir. Tüm kaplamalarda aşınma sonrası malzeme kaybı, yoğun plastik deformasyon, takoz oluşumu, mikro sabanlama ve debrisler (yamalar) görülmektedir. Tungsten karbür kobalt içeren kaplamanın aşınma yüzeyinde mikrosabanlama ve plastik deformasyon diğer kaplamalara göre daha azdır. Bunun sebebi kaplama tabakasının sert olmasından dolayı aşınma oranları ve sürtünme katsayıları düşüktür. Bu olay kaplama tabakasının bir aşındırıcı tarafından çizilmesine karşı dirençli olmasına sebep olmaktadır. Alt malzeme, bor karbür ve silisyum karbür içeren kaplamalarda abrasif aşınma daha fazla görülmektedir. Bunun nedeni ise sert olan bor karbür ve silisyum karbür partiküllerinin yük altında altlık malzemeye batarak sürtünme katsayısını ve malzeme kaybının arttırmasıdır. Aşınma yivlerinin oluşumu daha fazladır. Tüm numunelerde yükün artmasıyla malzeme kaybı da artmaktadır (Nieto vd; 2017, Xiao vd.; 2018).

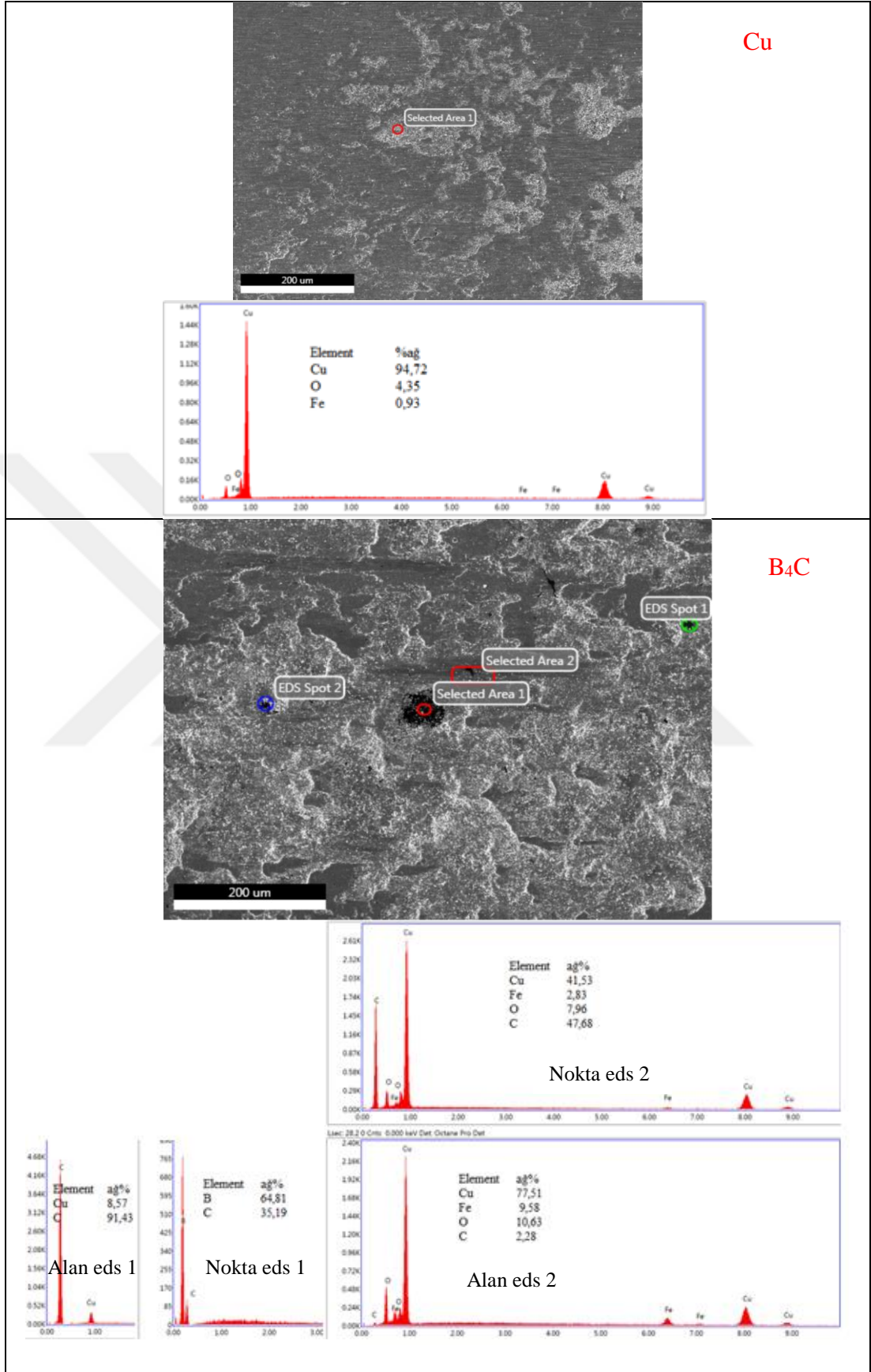


Şekil 8.13. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin morfolojileri

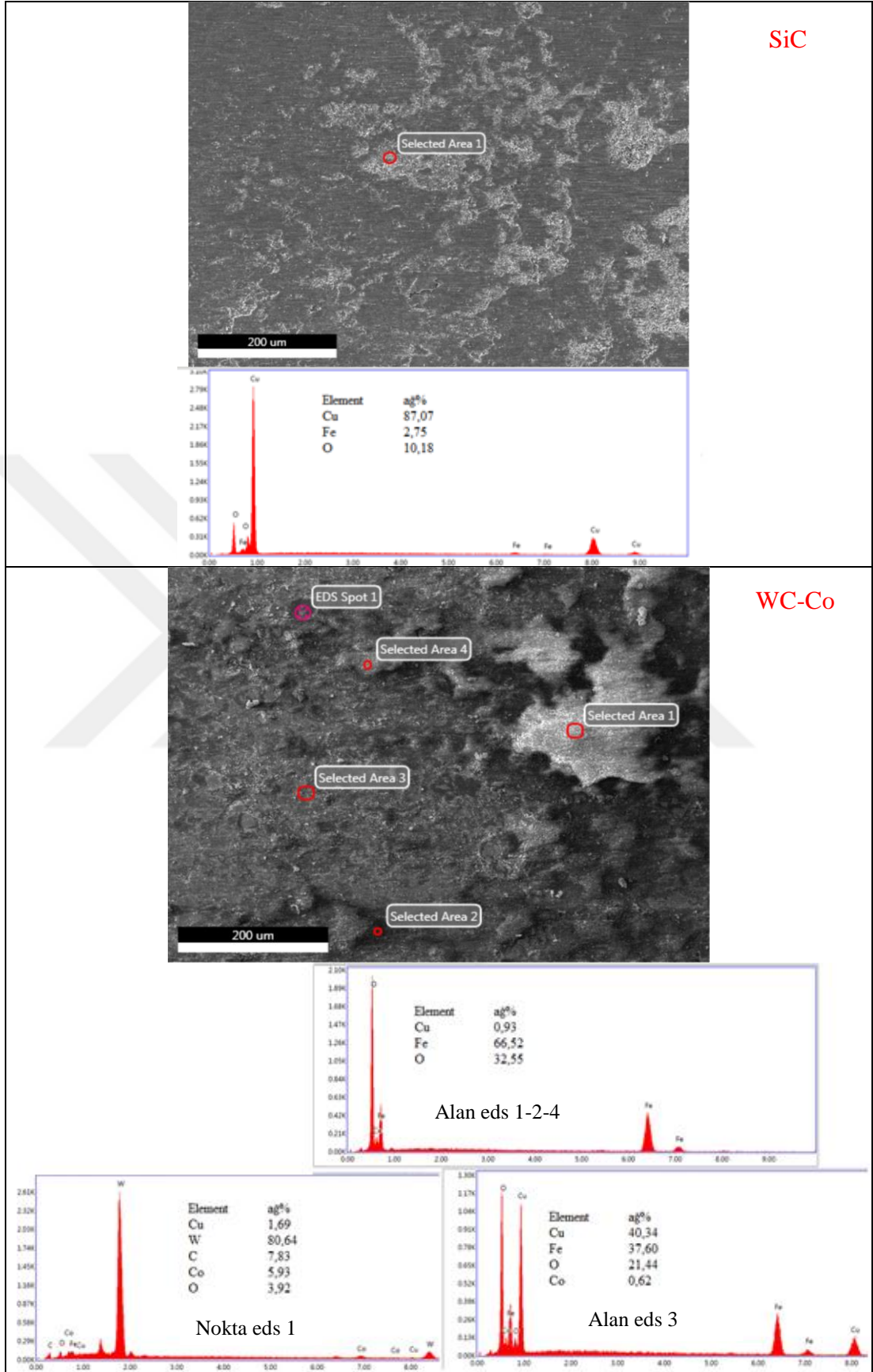


Şekil 8.14. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin morfolojileri

Şekil 8.15 ve Şekil 8.16'da 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin EDS analizleri verilmiştir. Tüm numunelerde oksit oluşumu gözlenmiştir. Oksit tabakasının yağlayıcı etkisi göstermesiyle sürtünme katsayılarının düşmesine neden olmuştur. Yüksek yük altında oksit tabakalarının kırılmasıyla 2 cisimli ve 3 cisimli aşınma mekanizmalarının oluşmasına neden olmuştur (Togerson vd.; 2018). Tüm numunelerde demire rastlanmıştır. Bunun en önemli nedeni aşınmada kullanılan çelik bilyenin aşınma sırasında kaplama tabakasına bulaşmış olmasıdır.

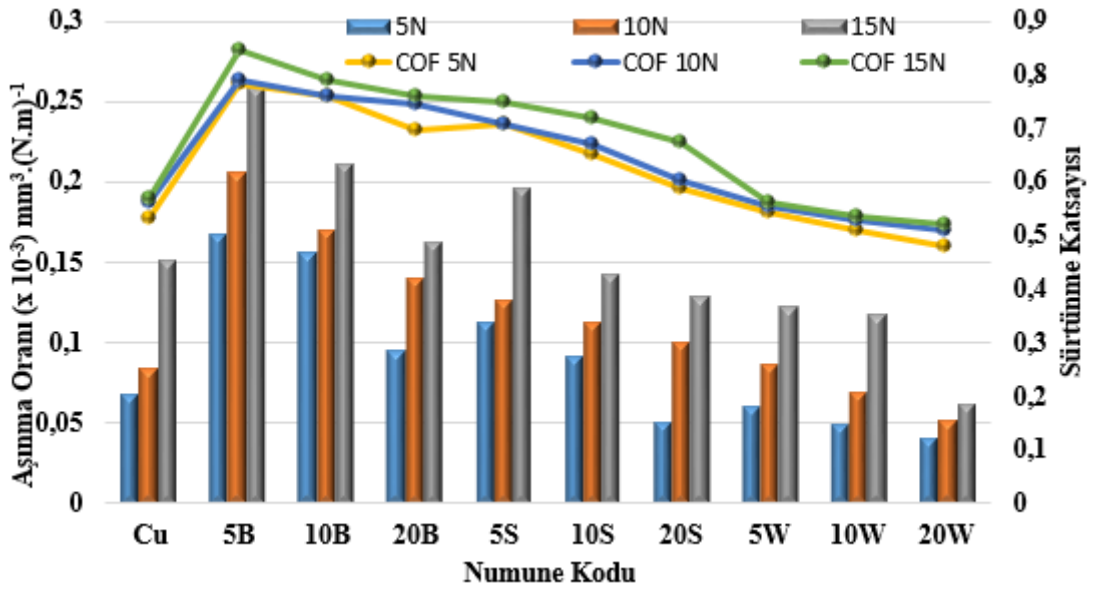


Şekil 8.15. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerin EDS analizleri



Şekil 8.16. 15N yük altındaki aşınmış yüzeylerinin EDS analizleri

Tüm numunelerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları Şekil 8.17’ de verilmiştir. Bakır altlık için uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı 0,533-0,569 arasında değişmektedir. Bor karbür katkılı numunelerde bor karbür katkısına ve uygulanan yüke bağlı olarak 0,695-0,847 aralığında değişirken, silisyum karbür katkılı numunelerde bu değer 0,597-0,751, tungsten karbür kobalt numunesi için ise 0,481-0,563 aralığında değişmektedir. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere silisyum karbür ve bor karbür partikülleri abrasif aşınma özelliği göstererek altlık malzemeye göre sürtünme katsayısını arttırmıştır. Şekil 8.12’deki sertlik sonuçları incelendiğinde tungsten karbür kobaltın sertliğinin yüksek olmasından dolayı sürtünme katsayısında azalmalar görülmüştür. Yükün artmasıyla sürtünme katsayısında artışlar görülmektedir. Bu artışlar aşınan malzeme ile aşındırıcı arasında daha fazla temas alanı olmasından dolayı bölgesel sıcaklık yükselmelerine de sebep olmuş ve Şekil 8.12’de verilen sertlik sonuçları ile Şekil 8.25’te verilen gözeneklilik sonuçları göz önünde bulundurulduğunda sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarındaki uyumluluk görülmektedir (Akbarpour vd., 2018).



Şekil 8.17. Her bir numunenin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları

Tozların şekillerinin sürtünme katsayısının artmasında ya da azalmasında etkisi bulunmaktadır. Keskin ve sivri köşeli tozların abrasif etkiyle sürtünme katsayısını arttırdığı, yuvarlak şekilli tozların sürtünme katsayısını azalttığı bilinmektedir (Ji vd.;

2006, Shockley vd.; 2015). Şekil 8.2 'de verilen kaplama yapılan tozların SEM görüntüleri incelendiğinde incelendiğinde silisyum karbür ve bor karbür tozunun keskin ve sivri köşeli olduğu, tungsten karbür kobalt tozunun ise yuvarlak yapıda bir toz olduğu görülmekte ve sürtünme katsayılarında değişikliklere neden olmaktadır.

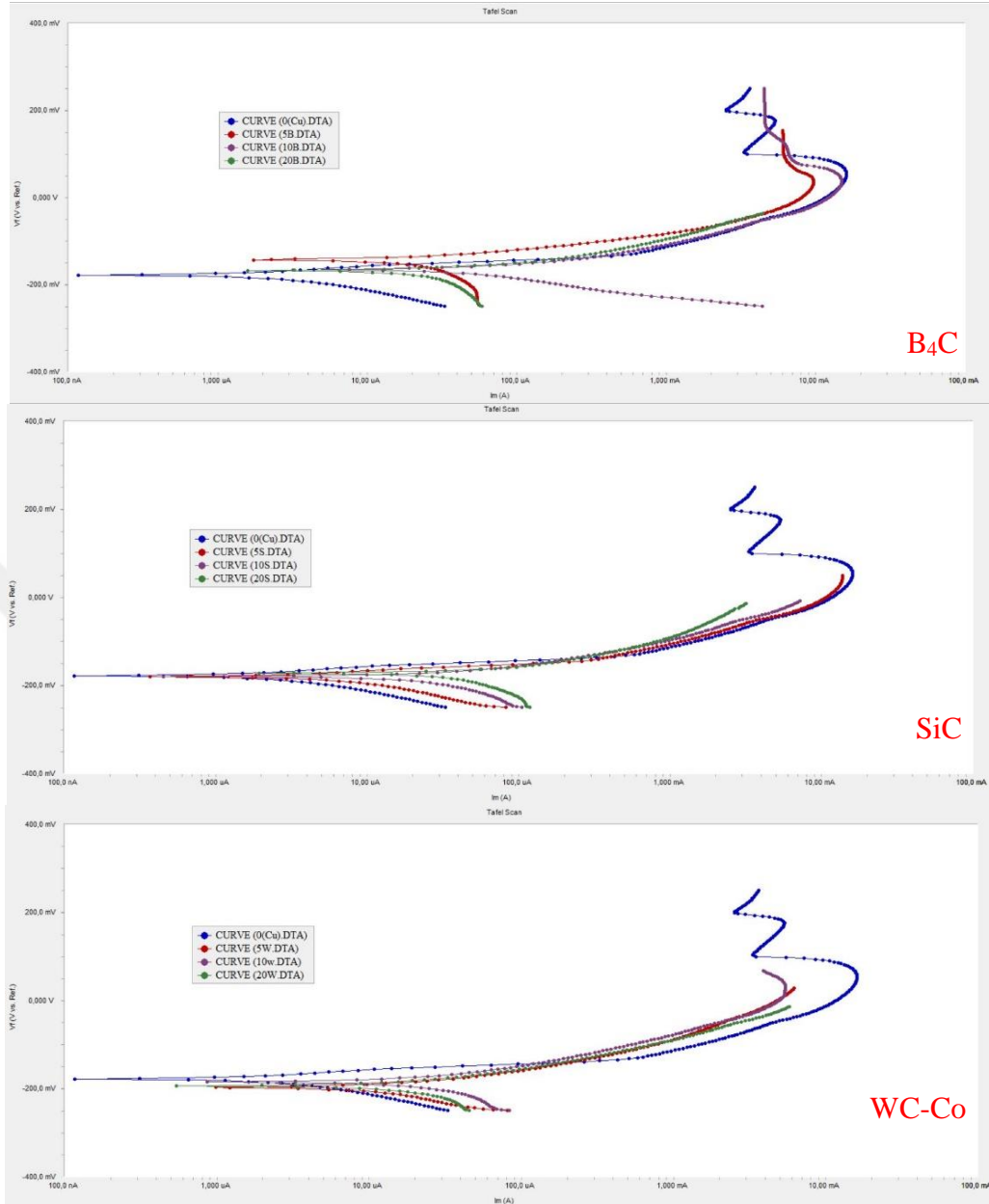
Hem kaplama tabakaları hem de alt tabaka için uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranları artmaktadır. Aşınan malzeme, karşı malzeme karşısında plastik deformasyona maruz kalmaktadır. Yükün artmasıyla birlikte malzeme yapısında mikro çatlaklar, sert fazların matriksten ayrılması ve parçalanmalar meydana gelmekte ve Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'te aşınma sonrası SEM görüntülerinde görülmektedir. Yükün derecesine göre bu hasarların derecesi de artmaktadır (Rajkumar, 2017). Bakır alt malzeme için aşınma oranları $\sim 0,068 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ ile $\sim 0,151 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ arasında değişirken, bor karbür içeren numune için bu değer $\sim 0,095 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ ile $\sim 0,258 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$, silisyum karbür içeren numune için bu değer $\sim 0,051 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ ile $\sim 0,196 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ ve tungsten karbür kobalt içeren numune için $\sim 0,412 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ ile $\sim 0,123 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ arasında değişmektedir.

8.5. Korozyon Deneyleri

Alt malzeme ve kaplamaların elektrokimyasal sonuçları Tablo 8.1'de verilmiştir. Akım yoğunluğunun kaplanmış ve kaplanmamış malzemelere göre $1,96- 51,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ arasında olduğu, korozyon oranlarının ise $1,195-31,34 \text{ mpy}$ arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 8.1. Alt malzeme ve kaplamaların elektrokimyasal sonuçları

Numuneler	Ecor (mV)	Icor (μAcm^{-2})	β_a (V/decade)	β_c (V/decade)	Korozyon Hızı (mpy)
C0	-177	1,96	$24,5 e^{-3}$	$55,2 e^{-3}$	1,195
B5	-167	17,5	$15,7 e^{-3}$	$73,7 e^{-3}$	10,66
B10	-143	31	$37,7 e^{-3}$	$290,8 e^{-3}$	18,93
B20	-165	51,5	$32,6 e^{-3}$	$58,1 e^{-3}$	31,34
S5	-179	5,13	$25,7 e^{-3}$	$60 e^{-3}$	10,12
S10	-179	29,2	$35,3 e^{-3}$	$126,8 e^{-3}$	17,8
S20	-172	43,9	$29,3 e^{-3}$	$153,7 e^{-3}$	26,77
W5	-197	18,1	$49,7 e^{-3}$	$114,3 e^{-3}$	9,188
W10	-193	27,5	$61,1 e^{-3}$	$157,7 e^{-3}$	16,75
W20	-184	39,5	$72,5 e^{-3}$	$170,8 e^{-3}$	24,13

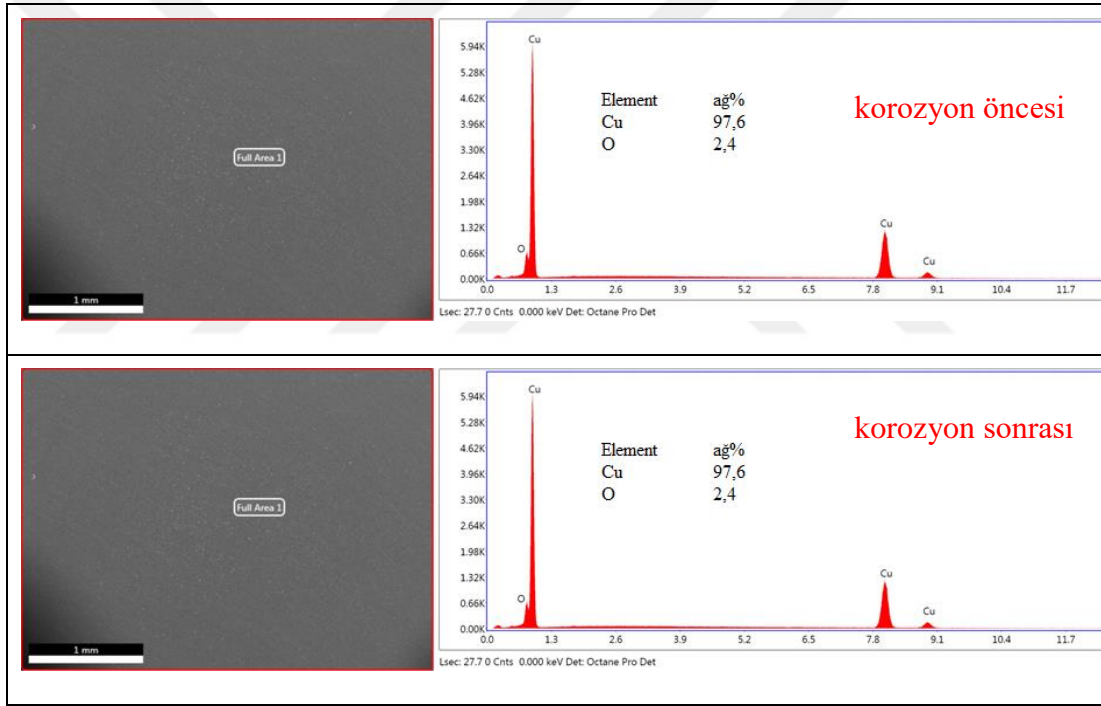


Şekil 8.18. Alt malzeme ve kaplanmış malzemelerin Tafel Eğrileri

Şekil 8.18’de alt malzeme ve kaplanmış numunelerin tafel eğrileri verilmiştir. Şekil 8.18 ve Tablo 8.1 incelendiğinde en düşük akım yoğunluğunun kaplanmasız altlık malzemede olduğu görülmektedir. Numunelerin kaplanmasıyla birlikte akım yoğunluğu artmaktadır. Bunun sebebi plazma püskürtmeyle kaplamada oluşan gözeneklere ve fazların termal gerilme farklılıklarından dolayı oluşan mikro çatlaklara saldırgan klor iyonlarının daha derinlere rahatlıkla ulaşması olabilir. Kaplamalarda korozyon oranları genelde kaplamaların karakteristik özelliklerinden meydana gelen

porozite ve mikroçatlakların miktarına bağlıdır. Poroziteler ve mikroçatlaklar kaplamaların korozyon direncini önemli derecede azaltmaktadır. Bu durum Şekil 8.3-8.5'te verilen optik fotoğraflarla, Şekil 8.25'te verilen gözeneklilik oranlarıyla ve Tablo 8.1'de verilen korozyon hızlarıyla uyum göstermektedir. (Kariofillis vd.; 2006, Zhang ve Kong; 2018).

Elektrokimyasal korozyon deneylerinden önce ve sonra SEM-EDS analizleri yapılmış ve korozyon sonrası tüm numunelerde Na^+ , Cl^- , O^{2-} iyonlarına rastlanmıştır. Şekil 8.19 incelendiğinde korozyon öncesi oksit oranı %2-3 civarında iken korozyon sonrası oksit oranının %6-7 civarında olduğu görülmektedir. Yüzeydeki bozunma açıkça görülmektedir.



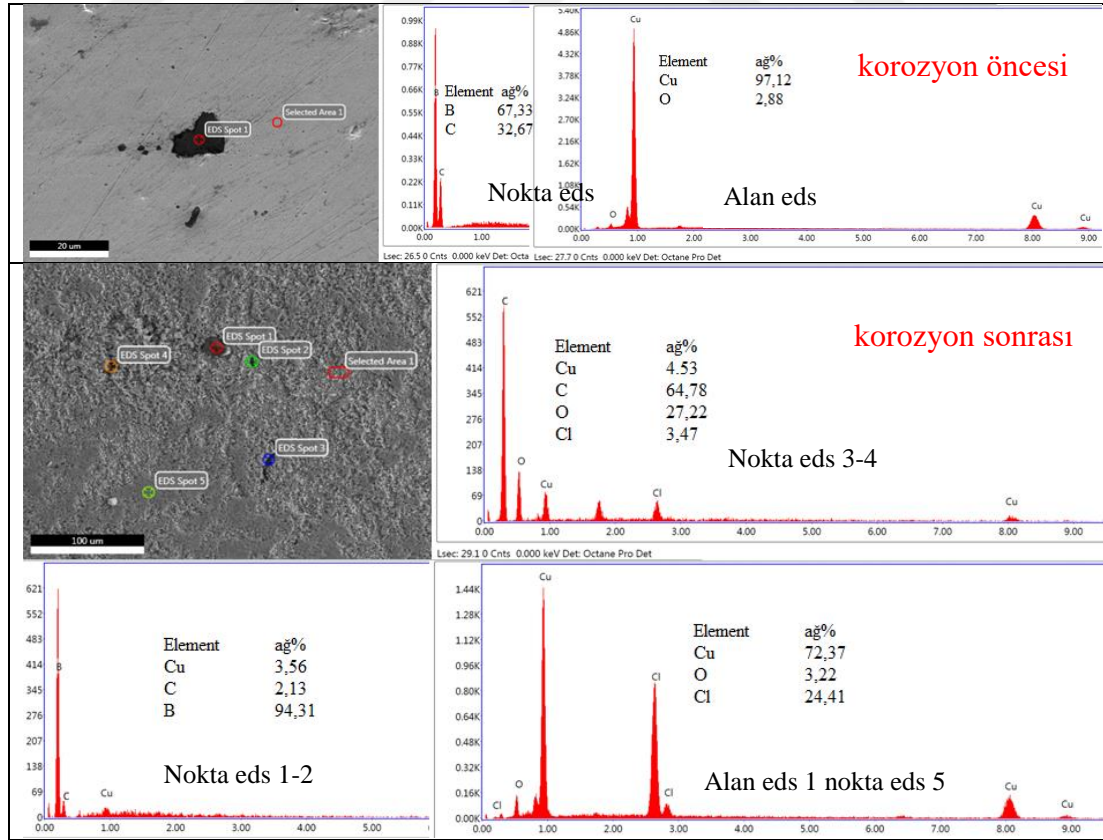
Şekil 8.19. Bakırın korozyon öncesi ve korozyon sonrası EDS analizleri

Şekil 8.20 bor karbür katkılı numunenin korozyon öncesi ve korozyon sonrası verilmiştir. Korozyon öncesi ve sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde bor karbür partikülünün etrafında bozunma görülmemektedir. Korozyonun partikül etrafında daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.



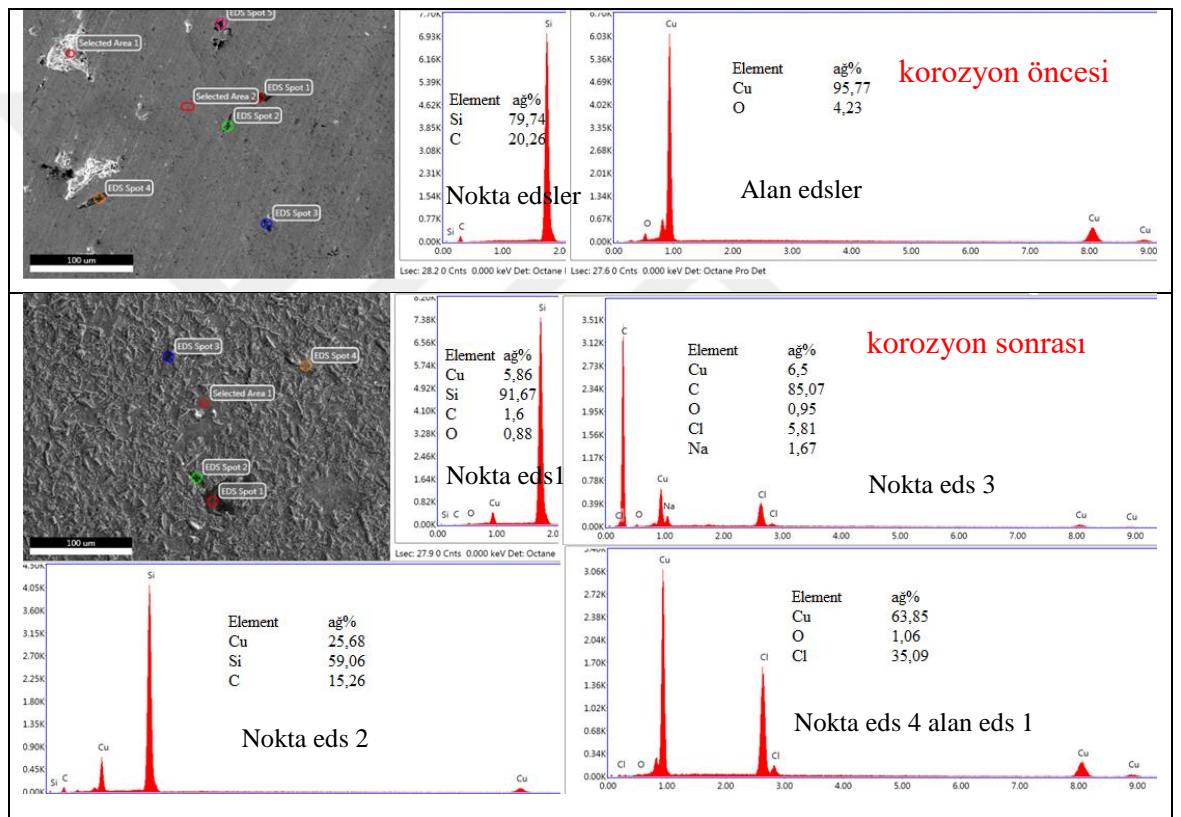
Şekil 8.20. Bor karbürün korozyon öncesi ve korozyon sonrası SEM görüntüsü

Şekil 8.21 de korozyon öncesi ve sonrası SEM-EDS analizi incelendiğinde korozyon öncesi bakırda oksitlenme oranının %2-3 civarında olduğu görülmektedir. Korozyon sonrası SEM görüntülerinde korozyonun porozitelerde, mikro çatlaklarda daha yoğun olduğu ve kaplamanın korozyon direncini azalttığı görülmektedir. Korozyon sonrası EDS analizlerinde oksijen ve klor iyonlarında artışlar görülmüştür. Çözeltilerden gelen saldırgan klor iyonları kaplamayı hasara uğratmıştır.



Şekil 8.21. Bor karbür içeren numunenin EDS analizleri

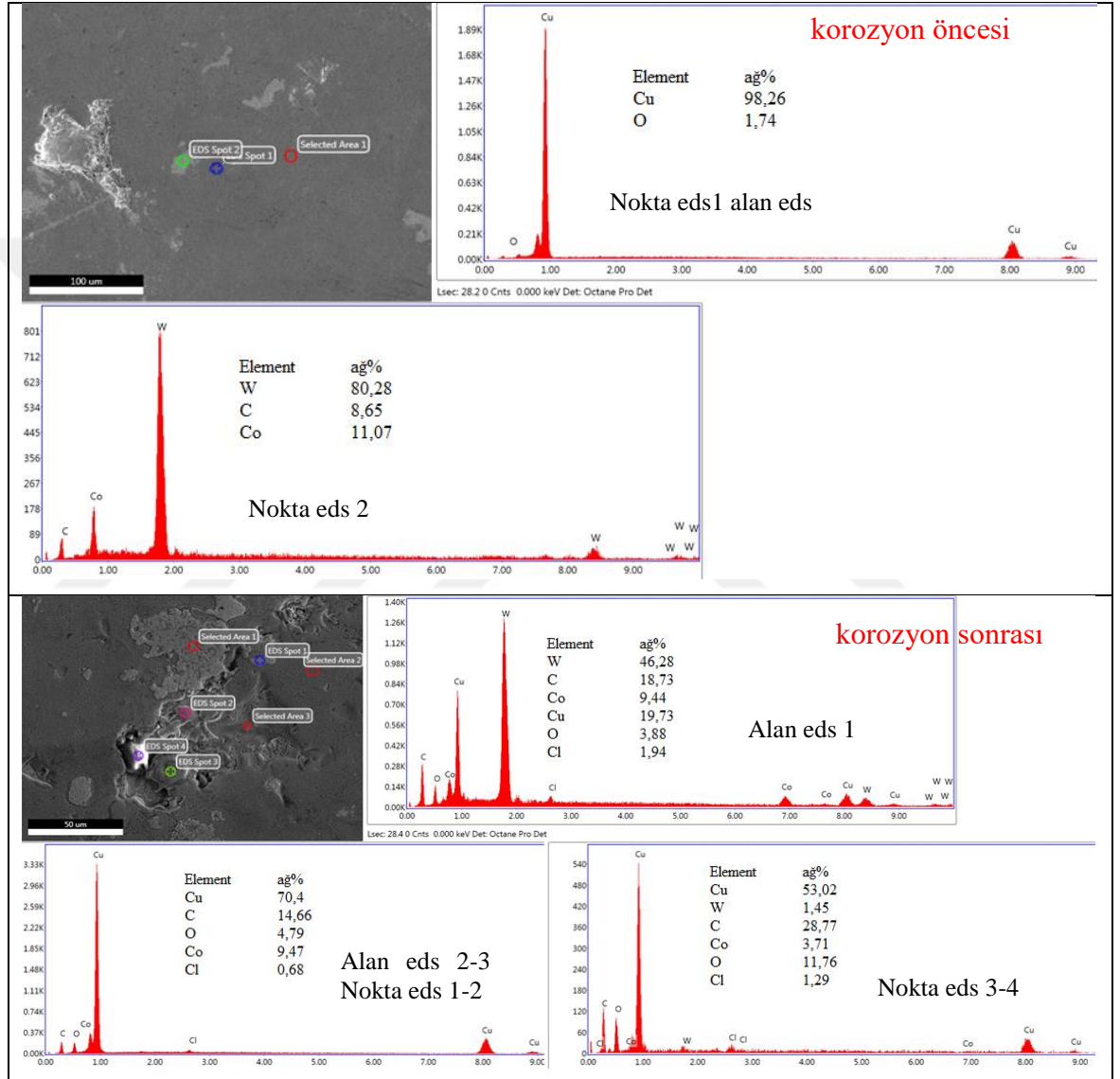
Şekil 8.22 'de silisyum karbür içeren kaplamanın korozyon öncesi ve korozyon sonrası SEM-EDS analizleri verilmiştir. Korozyon öncesi SEM-EDS analizleri incelendiğinde silisyum karbür partikülleri görülmektedir. Buna göre bakırın oksitlenme oranının yaklaşık %4-5 civarı olduğu tespit edilmiştir. Korozyon sonrası SEM-EDS analizleri incelendiğinde çözüldüden gelen Na^+ , Cl^- , O^{2-} iyonları nokta ve alan EDS lerinde görülmektedir. Korozyon partiküller etrafında, porozitelerde ve mikroçatlaklarda daha yoğunudur. Püskürtme sırasında silisyum karbürün dekompoze olduğu korozyon sonrası nokta EDS 1 ve 3'te görülmektedir.



Şekil 8.22. Silisyum karbür içeren numunenin EDS analizleri

Şekil 8.23' te tungsten karbür kobalt içeren numunenin korozyon öncesi ve korozyon sonrası SEM EDS analizleri verilmiştir. Korozyon öncesi bakırın oksitlenme oranı %1-2 civarında olduğu görülmektedir. Korozyon sonrası SEM-EDS analizleri incelendiğinde çözüldüden oksijen ve klor iyonlarının geldiği nokta ve alan eds analizlerinde görülmektedir. Alan EDS 3 ve Nokta EDS 2-3-4' ün sonuçları incelendiğinde oradaki çukurcukta az miktarda tungsten karbür kobalt ve %50 den

fazla bakıra rastlandığından dolayı oradaki çukurcukta korozyon öncesi tungsten karbür kobalt tanesi olduğu ve korozyon deneyi ile birlikte o tanenin oradan düştüğü anlaşılmaktadır. Alan EDS 2 ve Nokta EDS 1' de ise bir çukurcuk yada partikül gözükmediğinden tungsten karbür kobalt ve bakırın oralara bulaşmış olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8.23. Tungsten karbür kobalt içeren numunenin EDS analizleri

Tüm bu sonuçlar göz önünde bulundurularak Şekil 8.18-23 incelendiğinde ve Tablo 8.1 ile karşılaştırıldığında en iyi korozyon direnci kaplama yapılmamış bakır alt malzemede olduğu ve en kötü korozyon direncinin ise bor karbür içeren kaplamada

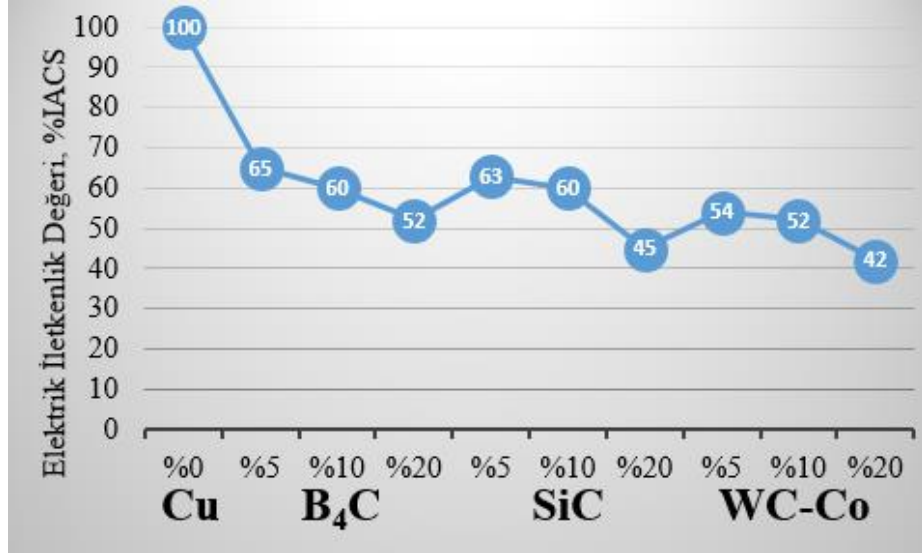
olduğu tespit edilmiştir. Buna en önemli sebep olarak ise kaplamada oluşan gözenekler ve mikroçatlakların korozyon direncini düşürmesi gösterilebilir (Juan Li, 2018).

8.6. Elektriksel İletkenlik ve Porozite Deneyleri

Şekil 8.24'de alt malzeme ve kaplamaların elektriksel iletkenlik sonuçları %IACS olarak verilmiştir. Alt malzemenin elektrolitik bakır olmasından dolayı IACS değeri %100 çıkmıştır.

Plazma sprej kaplama yöntemi ile yapılan kaplamalarda oluşan gözenekler, mikro çatlaklar ve bakır üzerine yapılmış kompozit kaplamadaki karbürler elektriksel iletkenliği azaltmıştır. Elektriksel iletkenlik sonuçları irdelendiğinde en iyi iletkenlik bor karbür ilavesinde görülürken en kötü elektriksel iletkenlik ise tungsten karbür kobalt katkısında görülmektedir. Normal şartlarda en yüksek iletkenlik en yoğun malzeme olmaktadır fakat karbürler iletkenliği düşürdüğünden dolayı en yüksek iletkenlik en yoğun malzeme görülmemiştir. Elektriksel iletkenliğin azalmasında etkili olan faktörler hem gözeneklilik hem de karbürlerin elektriksel iletkenliğidir. Tüm karbürleri yüzde 20 oranında ilave etmemize rağmen yoğunlukla orantılı olarak kaplama tabakalarında en fazla tungsten karbür kobalt, sonrasında silisyum karbür ve en az ise bor karbür partiküllerine rastlanmıştır ve Şekil 8.8-8.10 da verilen mapping analizlerinde görülmektedir.

Şekil 8.24'te verilen elektriksel iletkenlik değerlerindeki azalmada hem gözeneklilik oranının artması hemde kaplamada bulunan karbür oranının artması etkili olmuştur. Dolayısıyla Şekil 8.8-8.10 da verilen mapping analizleriyle ve Şekil 8.25'te verilen gözeneklilik oranlarıyla Şekil 8.24'teki elektriksel iletkenlik sonuçları uyumaktadır (Meher ve Chaira; 2017, Prajapati ve Chaira; 2018).



Şekil 8.24. Alt malzeme ve kaplamaların elektriksel iletkenlik sonuçları

Ohm yasasına göre potansiyel (V) ve akım (I) arasındaki ilişki Eşitlik 8.1’de verilmiştir.

$$V = IR \quad (8.1)$$

Eşitlikte yer alan potansiyel volt, akım ise amper birimindedir. Orantı katsayısı olan R ise ohm (Ω) biriminden direnci gösterir, direncin tersi iletkenliktir.

Ohm yasasına uygun şekilde elektriği ileten maddelerin dirençleri örnek uzunluğu (l) ile doğru, kesit alanı (A) ile ters orantılıdır.

$$R = \rho l/A \quad (8.2)$$

Bağıntıdaki ρ , Ω cm biriminden öz dirençtir, öz direncin tersine öz iletkenlik denilmektedir.

$$\sigma = 1/\rho \quad (8.3)$$

Öziletkenlik birimi bu durumda $1/\Omega$ cm’dir. $1/\Omega$ birimi için ayrıca simens (S) tanımı kullanılır ve öziletkenlik birimi S türünden S/cm olur.

Bir maddenin iletkenliğinin büyüklüğü, örgüsündeki yük taşıyıcılarının sayısı (n) ve bunların hareket yetenekleriyle (μ) yakından ilişkilidir. Bu ilişki, e elektron yükünü göstermek üzere,

$$\sigma = n\mu e \quad (8.4)$$

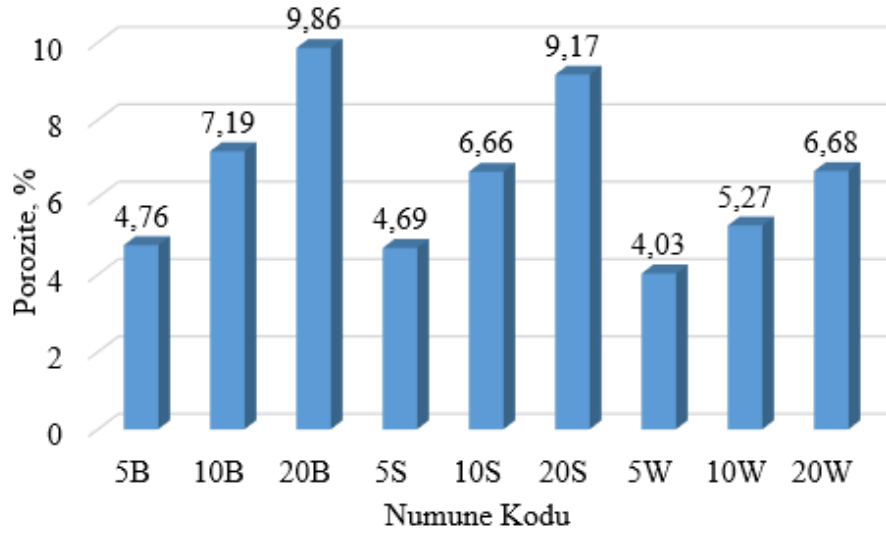
şeklindedir.

Sıcaklığın yükselmesiyle metallerin iletkenliği azalmaktadır. Bazı metaller yeterince düşük sıcaklıklarda süper iletken davranışına geçerler (URL-13, 2019).

Metallerde çekirdek ile serbest elektronlar arasındaki etkileşim zayıf olduğundan dolayı elektronlar kolayca hareket edebilir. Bu nedenle metallerin elektriksel iletkenliği iyidir. Karbürlerde ise elektronlar çekirdek etrafına sıkıca bağlanır ve rahatlıkla hareket edemezler. Bunun sonucunda ise karbürlerin elektriksel iletkenlikleri zayıftır (Pierson; 1996, Buytoz vd.; 2014). Bu nedenle karbür ilavesiyle elektriksel iletkenliğin düşmesi beklenen bir sonuçtur.

Kaplama tabakasındaki kompozit malzemede seramik toz ilavesiyle bakır matrisi oranı azalmaktadır. Elektriksel iletkenlik sonuçlarının seramik toz ilavesiyle azalacağı beklenen bir sonuçtur. Kaplama tabakasında kompozit içindeki seramik toz partikülleri, bakır elektronlarının hareketini engelleyen bir etki göstermektedir. Seramik toz katkısının artırılmasıyla elektrik iletkenliğinin azalması, birkaç sebeple ilişkilendirilebilir. Bunlardan birincisi, seramik tozlarının kendinden yüksek elektriksel direnç sahibi olması nedeniyle seramik toz katkısının artması elektrik iletkenliğinin azalmasına yol açabilir. İkincisi ise seramik toz katkısının artırılmasıyla, seramik ve bakır matrisi arasındaki termal genişleme katsayılarının farkından dolayı dislokasyon yoğunluğu artmaktadır. Artan dislokasyon yoğunluğu, elektron saçılmasını yoğunlaştırır ve elektrik iletkenliğinin azalmasına neden olur.

Şekil 8.25 incelendiğinde alt malzeme ve alt malzeme üzerine yapılmış kaplamaların toplam poroziteleri yüzde olarak verilmiştir. Katkı maddesinin artmasıyla gözenek oranının arttığı görülmektedir. Kaplama tabakalarında en fazla %10 civarı gözenekliliğe rastlanmıştır. Gözeneklilik oranları Tablo 8.1'deki korozyon hızlarıyla ve Şekil 8.12'deki sertlik sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumluluk göstermektedir (Balamurugan vd.; 2012, Di Girolamo vd.; 2013).



Şekil 8.25. Alt malzeme ve kaplamaların porozite oranları

9. SONUÇLAR

Bakır üzerine Plazma Sprey yöntemiyle çeşitli bakır-karbür kompozit kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmış olup, aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Bakır üzerine plazma sprej yöntemiyle bakır-karbür kompozit kaplamalar başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Plazma sprej yöntemiyle üretilmiş kaplamaların birbirlerine paralel şekilde lamelli yapıya sahip oluşu optik mikroskop ve SEM analizlerinde görülmektedir. Kaplamaların SEM analizlerinde gözenekler ve mikro çatlaklar gözlenmiş gözlenmiştir.
- ✓ Seramik katkıların dekompoze olduğu XRD analizlerinden ve SEM-EDS, Mapping analizlerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca bor karbür içeren kaplamada B_4C , B fazları, silisyum karbür içeren kaplamada SiC, Si, Cu_3Si fazları, tungsten karbür kobaltta dekarbürizasyon sonucu Co_6W_6C , W_2C ve WC fazları oluşmuştur.
- ✓ Kaplama tabakalarının kalınlığı yaklaşık $350 \mu m$ 'dir. Alt malzemenin sertliği $84 HV_{0,3}$ olarak ölçülmüştür. Tüm kaplamaların sertlik değerleri alt malzemenin sertlik değerinden yüksektir. Her bir kaplama da katkı oranının artmasıyla sertlikler artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerine %20 tungsten karbür kobalt katkısıyla ulaşılmış ve bu değer $153 HV_{0,3}$ olarak ölçülmüştür.

- ✓ Bakır altlık ve kaplama tabakalarında hem abrasif hem adhesif aşınma türleri gözlenmiştir. Tüm kaplamalarda aşınma sonrası malzeme kaybı, yoğun plastik deformasyon, takoz oluşumu, mikro sabanlama ve debrislere rastlanmıştır. Tüm numunelerde yükün artmasıyla malzeme kaybı da artmaktadır.
- ✓ Sürtünme katsayısının artmasında ve azalmasında toz şekillerinin de etkisi bulunmaktadır. Bor karbür ve silisyum karbür gibi keskin ve sivriköşeli tozların sürtünme katsayısını arttırdığı, tungsten karbür kobalt gibi yuvarlak toz şekillerinin sürtünme katsayısını azalttığı görülmektedir.
- ✓ Tüm numunelerde oksit oluşumu gözlenmiştir. Oksit tabakasının yağlayıcı etkisi göstermesiyle sürtünme katsayılarının düşmesine neden olmuştur. Tüm numunelerde demire rastlanmıştır. Bunun en önemli nedeni aşınmada kullanılan çelik bilyenin aşınma sırasında kaplama tabakasına bulaşmış olmasıdır.
- ✓ Yükün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında artışlar görülmektedir. Bu artışın nedeni ise aşınan malzeme ile aşındırıcı arasında artan yük ile daha fazla temas alanı oluşmasıdır.
- ✓ Hem kaplama tabakaları hem de alt tabaka için uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranları artmaktadır. Yükün derecesine göre bu hasarların derecesi de artmaktadır.
- ✓ Elektrokimyasal korozyon deneylerinden önce ve sonra SEM-EDS analizleri yapılmış ve korozyon sonrası tüm numunelerde Na^+ , Cl^- , O^{2-} iyonlarına rastlanmıştır. Korozyon partiküller etrafında, porozitelerde ve mikroçatlaklarda daha yoğundur. Tüm numuneler karşılaştırıldığında korozyon direnci en iyi kaplama yapılmamış bakır alt malzemede olduğu ve en kötü korozyon direncinin ise bor karbür içeren kaplamada olduğu tespit edilmiştir.

- ✓ Alt malzemenin elektrolitik bakır olmasından dolayı IACS değeri %100 çıkmıştır. Plazma sprey kaplama yöntemi ile yapılan kaplamalarda oluşan gözenekler, mikro çatlaklar ve bakır üzerine yapılmış kompozit kaplamadaki karbürler elektriksel iletkenliği azaltmıştır. En iyi iletkenlik bor karbür ilavesinde görülürken en kötü elektriksel iletkenlik ise tungsten karbür kobalt katkısında görülmektedir. Hem porozite oranının artması hemde karbür ilavesinin artması iletkenliğin azalmasında etkili olmuştur.
- ✓ Kaplama yapılmasıyla gözenek oranının arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda kaplamadaki katkı miktarının artması da gözenekliliğin artmasına neden olmuştur.

10. ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarının neticesinde şu öneriler yapılabilir:

1. Kaplanan numunelerin daha yoğun olması için ısıtım işlemi yapılabilir.
2. Kaplama tabakalarına ikinci bir işlem olarak PTA, TIG ve ya Lazerle ergitme yapılabilir.
3. Bakırın aşınma dayanımını geliştirmek için farklı kaplama yöntemleri denenebilir.
4. Bakır üzerine farklı katkıları ve farklı katkı oranları ile kaplamalar yapılabilir.
5. Yoğunluğu düşük olan karbürlerin, yoğunluğu daha yüksek olan metallerle kaplanıp, termal sprey yöntemlerle püskürtülebilirliği ve bunla ilgili ticari toz üretimi araştırılabilir.

11. KAYNAKLAR

- Ahmed, R. N., & Ramesh, C. S. (2004). Tribological properties of cast copper-SiC-Graphite hybrid composites. *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*.
- Akbarpour, M. R., Mirabad, H. M., & Alipour, S. (2018). Microstructural and mechanical characteristics of hybrid SiC/Cu composites with nano-and micro-sized SiC particles. *Ceramics International*.
- Akbulut, H. (1994). Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı-özellik ilişkilerinin incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Akdaş, H. (2007). Alüminyum matrisli Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Alonso, F. N., Morales, M. Z., Salas, A. U., & Becerril, J. B. (1987). Tungsten trioxide reduction-carburization with carbon monoxide-carbon dioxide mixtures: kinetics and thermodynamics. *International Journal of Mineral Processing*, 20(1-2), 137-151.
- Alp, E., (2015). Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.
- ASM Handbook, (2001). Composites, 21, pp.1-20.
- Baiamonte, L., Marra, F., Gazzola, S., Giovanetto, P., Bartuli, C., Valente, T., & Pulci, G. (2016). Thermal sprayed coatings for hot corrosion protection of exhaust valves in naval diesel engines. *Surface and Coatings Technology*, 295, 78-87.
- Balamurugan, G. M., Duraiselvam, M., & Anandkrishnan, V. (2012). Comparison of high temperature wear behaviour of plasma sprayed WC-Co coated and hard chromium plated AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 35, 640-646.
- Ban, Z. G., & Shaw, L. L. (2003). Characterization of thermal sprayed nanostructured WC-Co coatings derived from nanocrystalline WC-18wt.% Co powders. *Journal of thermal spray technology*, 12(1), 112-119.

- Barbezat, G. (2005). Advanced thermal spray technology and coating for lightweight engine blocks for the automotive industry. *Surface and Coatings Technology*, 200(5-6), 1990-1993.
- Barut, N. (2018). Mikro Dalga Fırınında Borlanmış P20 Çeliğinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyon.
- Berkem, A.R. (1984). Elektrokimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Biancanello, F. S. (1998). Thermal spray coatings workshop: sensors, modeling and control strategies. <http://www.metallurgy.nist.gov/reports/nistir6460/nistir6460.html>.
- Bilgin, S. (2008). Isıl Püskürtme Yöntemi İle Oluşturulan Martenzitik Paslanmaz Çelik Kompozit Toz Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Bloyce, A. (1995). How surface treatments can help the designer. *Design Engineering-London*, 32-38.
- Bogdanovich, V. I., & Giorbelidze, M. G. (2017, December). Analysis of the ceramic layer microstructure influence on plasma spray thermal barrier coating performance. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 286, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Bonny K., P.De Baets, B.Lauwers, J.Vleugels, O.Van Der Biest, (2004). Characterization of Tribological Behaviour of Hardmetals, Proceedings of the 8th International Symposium on Tribology, p. 168-175
- Bunshah, R. F. (2001). HANDBOOK OF HARD COATINGS Deposition Technologies, Properties and. New York: Noyes Publication. USA. 77-107.
- Buytoz, S., Dagdelen, F., Islak, S., Kok, M., Kir, D., & Ercan, E. (2014). Effect of the TiC content on microstructure and thermal properties of Cu–TiC composites prepared by powder metallurgy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(3), 1277-1283.
- Cankut, S. (1973). *Estraktif metalürji uygulaması: bakır*. Dağ Matbaacılık.
- Charles, P. H. (1994). Thermal Spraying: Process, Preparation, Coatings and Application. *Welding Journal*, 73(4), 47-51.
- Chawla, K.K., (2003). Ceramic matrix composites, Kluwer Academics Publishers.

- Chen, X., Li, X., Yan, H., Wang, X., & Miao, Y. (2017). Explosive compact-coating of tungsten–copper alloy to a copper surface. *Materials Research Express*, 4(3), 036502.
- Chen, X., Li, X., Yan, H., Wang, X., & Zeng, X. (2017). Factors affecting explosive compaction–sintering of tungsten–copper coating on a copper surface. *Journal of Alloys and Compounds*, 729, 1201-1208.
- Choudhary, S., Garg, A., & Mondal, K. (2016). Relation between open circuit potential and polarization resistance with rust and corrosion monitoring of mild steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(7), 2969-2976.
- Chung, D. D. (2010). *Composite materials: science and applications*. Springer Science & Business Media.
- Conde, O., Silvestre, A. J., & Oliveira, J. C. (2000). Influence of carbon content on the crystallographic structure of boron carbide films. *Surface and Coatings Technology*, 125(1-3), 141-146.
- Çalın, R. (2006). Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Çatal, S. (2007). Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakasının fosforik asit (H₃PO₄) anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Çiftçi, N. (2009). Sol-Gel Yöntemi ile 316 L SS ve Ti İmplant Malzemelerin Üzerine Hidroksiapatit (Hap) Kaplamaların Üretilmesi ve Korozyon Davranışlarının Elektrokimyasal Yöntemle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar*.
- Davis, J. R. (Ed.). (2004). *Handbook of thermal spray technology*. ASM international.
- Demirkesen, E., (1995). Kompozit malzemeler, İ. T. Ü. Kimya Fakültesi, 1. Baskı.
- Di Girolamo, G., Marra, F., Pilloni, L., Pulci, G., Tirillò, J., & Valente, T. (2013). Microstructure and Wear Behavior of Plasma-Sprayed Nanostructured WC–Co Coatings. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 10(1), 60-71.
- Dobrzanski, L.A. (2006). Significance of materials science for the future development of societies, *Journal of Materials Processing Technology*, 175, pp.133-148.
- Dorfman, M. R. (2012). 19 - Thermal Spray Coatings, in *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)*, Oxford: William Andrew Publishing, 569–596.

- Doruk, M. (1972). Korozyon Olayının Elektrokimyasal İlkeleri. *Güzel İstanbul Matbaası, Ankara*, 1-47.
- Efe, G.F. (2010). Sic Takviyeli İletken Bakır Kompozitlerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*.
- Eken, T.Y. (2018). İkiz Merdane Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilen Hadde Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışı Ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa*.
- Er, Ö. (2012). Bor katkılı 316L paslanmaz çeliklerin korozyon davranışlarının elektrokimyasal yöntemle incelenmesi, *Y. Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Erbil, M. (1984). Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması Segem.
- Erbil, M. (2012). Korozyon, İlkeler-Önlemler. *Korozyon Derneği Yayını, Ankara*.
- Ergün, N. (2006). Borkarbür-Silisyumkarbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme İle Üretilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- Eski, Ö., Islak, S., & Buytoz, S. (2013). FeW-SiC Esaslı Kompozit Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özellikleri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ.
- Evkaya, M. (2003). Metallere Aşınmaya Karşı Yapılan Kaplamada Uygun Toz Materyali ve Kaplama Yönteminin Bilgisayar Destekli Seçimi. *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Fiedler, T., Groß, R., Rösler, J., & Bäker, M. (2017). Damage mechanisms of metallic HVOF-coatings for high heat flux application. *Surface and Coatings Technology, 316*, 219-225.
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai S.W., (2003). Composite materials design and applications, CRC Press, Washington.
- Gerengi, H. (2008). Tafel polarizasyon (TP), lineer polarizasyon (LP), harmonik analiz (HA) ve dinamik elektrokimyasal impedans spektroskopisi (DEIS) yöntemleriyle düşük karbon çeliği (AISI 1026), pirinç-MM55 ve nikelium-118 alaşımlarının yapay deniz suyunda korozyon davranışları ve pirinç alaşımlarına benztotriazol'ün inhibitör etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*.

- Gilmore, D. L., Neiser Jr, R. A., Wan, Y., & Sampath, S. (2000). Process maps for plasma spray: Part 1: Plasma-particle interactions (No. SAND2000-0286C). Sandia National Labs., Albuquerque, NM (US); Sandia National Labs., Livermore, CA (US).
- Gülfen, M., (2002). Kalkopirit Cevherindeki Bakırın Sülfürik Asit Çözeltisinde Çözünürlüğünün İncelenmesi. *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.*
- Gültekin, D. (2007). Metal matriksli kompozit fren diski balatası üretimi ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*
- Handbook, A. S. M. (2003). Corrosion, Fundamentals, Testing, and Protection, Vol. 13A. *ASM International, The Materials Information Society, Materials Park, Ohio.*
- Haris, B. (1999). Engineering Composite Materials, second edition.
- Heimann, R. B. (1996). Applications of plasma-sprayed ceramic coatings. In *Key Engineering Materials* (Vol. 122, pp. 399-442). Trans Tech Publications.
- Heimann, R. B. (2008). *Plasma-spray coating: principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Hildenbrand, D. L., & Hall, W. F. (1964). The Decomposition Pressure of Boron Carbide and the Heat of Sublimation of Boron. *The Journal of Physical Chemistry*, 68(5), 989-993.
- Human, A. M., & Exner, H. E. (1997). The relationship between electrochemical behaviour and in-service corrosion of WC based cemented carbides. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 15(1-3), 65-71.
- Instruments, G. (2007). Basics of electrochemical impedance spectroscopy. G. Instruments, Complex impedance in Corrosion, 1-30.
- Islak, S. (2005). 45Mn5 Islah Çeliğinin Isıl İşlem ve Ergitme Yöntemleri İle Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.
- Islak, S., & Buytoz, S. (2013). Microstructure properties of HVOF-sprayed NiCrBSi/WCCo-based composite coatings on AISI 1040 steel. *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, 7(11-12), 900-903.
- Islak, S., Çalgülü, U., Hraam, H. R., Özorak, C., & Koç, V. (2018). . Electrical Conductivity and Microstructure Properties of Cu-Mo Coatings, *1st*

International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18),
March 22-24, 2018 Karabük, Turkey

- Islak, S., Kır, D., & Buytoz, S. (2014). Effect of sintering temperature on electrical and microstructure properties of hot pressed cu-tic composites. *Science of Sintering*, 46(1).
- Jena, P. K., Brocchi, E. A., & Motta, M. S. (2001). In-situ formation of Cu–Al₂O₃ nano-scale composites by chemical routes and studies on their microstructures. *Materials Science and Engineering: A*, 313(1-2), 180-186.
- Ji, G. C., Li, C. J., Wang, Y. Y., & Li, W. Y. (2006). Microstructural characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr₃C₂–NiCr coating. *Surface and Coatings Technology*, 200(24), 6749-6757.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials*. Taylor and Francis. Inc., USA.
- Kahraman, N., Gülenç, B., & Durgutlu, A. (2005). Alevle spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki aşınma davranışının incelenmesi, 1. *Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, İstanbul-Türkiye*, 1392-1399.
- Kang, H. K., & Kang, S. B. (2006). Thermal decomposition of silicon carbide in a plasma-sprayed Cu/SiC composite deposit. *Materials Science and Engineering: A*, 428(1-2), 336-345.
- Karabaş, K. (2006). Bor Karbür Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 75s. İzmir.
- Karabaş, K. (2006). Bor Karbür Üretimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, 82.
- Kariofillis, G. K., Kiourtsidis, G. E., & Tsipas, D. N. (2006). Corrosion behavior of borided AISI H13 hot work steel. *Surface and Coatings Technology*, 201(1-2), 19-24.
- Kaya, A.Ö. (2007). Plazma Püskürtme Ve Hvof Yöntemleri Kullanılarak, Cr₃C₂NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı Ve Yüzey Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Gebze.
- Khobragade, N., Sikdar, K., Kumar, B., Bera, S., & Roy, D. (2019). Mechanical and electrical properties of copper-graphene nanocomposite fabricated by high pressure torsion. *Journal of Alloys and Compounds*, 776, 123-132.

- Koçak, H. (2006). Bakır alaşımları el kitabı. yonca ajans- Ofset Matbaacılık, III. Baskı, Yayın No:6. *Sağlam Metal*. 105s.
- Korpiola, K. (2004). *High temperature oxidation of metal, alloy and cermet powders in HVOF spraying process*. Helsinki University of Technology.
- Kumar, C.K. (1987). *Composite Materials*, Socorro, New Mexico.
- Küstü, C. (2008). Asitli Ortamdaki Korozyona Karşı Schiff Bazı Temelli Bazı Yeni İnhibitörlerin Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kwin, B.F. (1989). How to Apply Thermal-Spray Coatings. *Welding Design & Fabrication*, May 43-46.
- Lasia, A. (2002). Electrochemical impedance spectroscopy and its applications, in *Modern aspects of electrochemistry*. Springer, 143-248.
- Lassner E., Wolf-Dieter Schubert, (2009). *Tungsten: Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds*, p.7
- Lee J.H., Won, C.W., Joo, S.M., Maeng Y.D. (2000). Preparation of B₄C Powder From B₂O₃ Oxide By SHS Process, *Journal of Materials Science Letters*, 19, 951-954.
- Li, Y. J., Luo, X. T., Rashid, H., & Li, C. J. (2018). A new approach to prepare fully dense Cu with high conductivities and anti-corrosion performance by cold spray. *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 406-413.
- Li, Y. J., Luo, X. T., Rashid, H., & Li, C. J. (2018). A new approach to prepare fully dense Cu with high conductivities and anti-corrosion performance by cold spray. *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 406-413.
- Lin, B. T., Jean, M. D., & Chou, J. H. (2007). Using response surface methodology for optimizing deposited partially stabilized zirconia in plasma spraying. *Applied Surface Science*, 253(6), 3254-3262.
- Liu, H., Teng, X., Wu, W., Wu, X., Leng, J., & Geng, H. (2017). Effect of graphene addition on properties of Cu-based composites for electrical contacts. *Materials Research Express*, 4(6), 066506.
- Liu, M., Yang, K., Deng, C. M., Deng, C. G., & Zhou, K. S. (2016). Microstructure and Properties of Cu Coating Fabricated onto Diamond-Cu Substrate by Low-Temperature HVOF Process. *Journal of Thermal Spray Technology*, 25(8), 1516-1525.

- Lorenz, W. J., & Mansfeld, F. (1981). Determination of corrosion rates by electrochemical DC and AC methods. *Corrosion Science*, 21(9-10), 647-672.
- Lovelock, H. L. (1998). Powder/processing/structure relationships in WC-Co thermal spray coatings: A review of the published literature. *Journal of thermal spray technology*, 7(3), 357-373.
- Lu, C., Tian, Y., Shen, Y., Feng, X., & Jiang, J. (2018). Thermal shock resistance and thermal conductivity of diamond-Cu composite coatings on Cu substrate via mechanical milling method. *Surface and Coatings Technology*, 352, 529-540.
- Matthews, A., & Rickerby, D. S. (Eds.). (1991). *Advanced surface coatings: a handbook of surface engineering*. Glasgow: Blackie.
- Mazumdar, S. (2001). *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press.
- McGrann, R. T. R., Greving, D. J., Shadley, J. R., Rybicki, E. F., Kruecke, T. L., & Bodger, B. E. (1998). The effect of coating residual stress on the fatigue life of thermal spray-coated steel and aluminum. *Surface and Coatings Technology*, 108, 59-64.
- Meher, A., & Chaira, D. (2017). Effect of Graphite and SiC Addition into Cu and SiC Particle Size Effect on Fabrication of Cu–Graphite–SiC MMC by Powder Metallurgy. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70(8), 2047-2057.
- Metco, S. (2014). An introduction to thermal spray. *Company Brochure*, (5).
- Mishra, S. B., Chandra, K., Prakash, S., & Venkataraman, B. (2005). Characterisation and erosion behaviour of a plasma sprayed Ni₃Al coating on a Fe-based superalloy. *Materials letters*, 59(28), 3694-3698.
- Mori, T. (2007). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Chapter 238 Higher Borides, Volume 38, 105-173.
- Nazeer, F., Ma, Z., Gao, L., Wang, F., Khan, M. A., & Malik, A. (2019). Thermal and mechanical properties of copper-graphite and copper-reduced graphene oxide composites. *Composites Part B: Engineering*, 163, 77-85.
- Ni, J., Li, J., Luo, W., Han, Q., Yin, Y., Jia, Z., ... & Xu, Z. (2018). Microstructure and properties of in-situ TiC reinforced copper nanocomposites fabricated via long-term ball milling and hot pressing. *Journal of Alloys and Compounds*, 755, 24-28.

- Nieto, A., Kim, J., Penkov, O. V., Kim, D. E., & Schoenung, J. M. (2017). Elevated temperature wear behavior of thermally sprayed WC-Co/nanodiamond composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 315, 283-293.
- Niu, Y., Lu, D., Huang, L., Zhao, J., Zheng, X., & Chen, G. (2015). Comparison of W-Cu composite coatings fabricated by atmospheric and vacuum plasma spray processes. *Vacuum*, 117, 98-103
- Özdemir, O.K. (2008). Çesitli Ftalosiyeninlerin İnhibitör Olarak Asidik Ortamda Alüminyumun Korozyonuna Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Özel, S. (2009). Alüminyum Alaşımı Ve Bronzu Yüzeyine Oksit Ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanmasının Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.
- Özel, S. (2013). Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1). 88-97.
- Özel, S., Turhan, H., & Sarsılmaz, F. (2008). AA2024 Alüminyum Alaşımı Yüzeyine Al₂O₃/Al₂O₃+ TiO₂ Tozunun Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 503-508.
- Palta, A. (2009). Yerinde oluşturulmuş magnezyum silisit partikül takviyeli alüminyum-magnezyum-silisyum matrisli kompozitlerin aşınma ve korozyon davranışlarına titanyum ve bakırın etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Perez, N. (2004). *Electrochemistry and corrosion science* (Vol. 412). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Pınarbaşı, M.A. (1999). Saf Alüminyumun 0.1 M Hidroklorik Asit Çözeltisindeki Korozyonuna Bazı Heterosiklik Bileşenlerin İnhibitör Etkisi, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Pierson, H.O. (1996). Handbook of Refractory Carbides and Nitrides, William Andrew Pub., Noyes.
- Pierson. O.H., (1996). Characteristics and Properties of Silicon Carbide and Boron Carbide. *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides.*, Noyes Publications, New Jersey, s.142-144.
- Popov, B. N. (2015). Corrosion engineering: principles and solved problems. Elsevier.
- Prajapati, P. K., & Chaira, D. Fabrication and Characterization of Cu-B 4 C Metal Matrix Composite by Powder Metallurgy: Effect of B 4 C on Microstructure,

Mechanical Properties and Electrical Conductivity. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 1-12.

Rajkumar, K., & Aravindan, S. (2017). Mechanical, Electrical, and Tribological Properties of Copper–Graphite Composites. In *Composite Materials* (pp. 433-455). Springer, Berlin, Heidelberg.

Rama Rao, Sadineni. (2012). Fabrication and mechanical properties of aluminium-boron carbide composites. *International Journal of Materials and Biomaterials Applications*. 2. 15-18.

Raman, V., Bhatia, G., Mishra, A., Sengupta, P.R., Saha, M., Rashmi (2005). Development of Carbon–ceramic Composites. *Materials Science and Engineering: A* 412(1–2): 31–36.

Revie, R. W., Uhlig, H. H. (2008). Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. John Wiley & Sons.

Richard, B. (2001). The elements copper, Marshall Cavendish Corporation, Newyork.

Roberge, P. R. (2000). Handbook of corrosion engineering. McGraw-Hill,.

Salman, S. (1995). Plazma ve Alev Püskürtme Tekniğiyle Al_2O_3 - %13 TiO_3 ve Cr_2O_3 - %5 SiO_2 - %3 TiO_2 Seramik Kaplanan Malzemelerin Özellikleri, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul

Salvo, C., Mangalaraja, R. V., Udayabashkar, R., Lopez, M., & Aguilar, C. (2019). Enhanced mechanical and electrical properties of novel graphene reinforced copper matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 777, 309-316.

Samur, R., Mindivan, H., Yıldırım, S., Çimenoglu, H. (2003). *6.Uluslararası kırılma konferansı bildirileri el kitabı*. 263-270, Konya –Türkiye

Samur, R., Salman, S., Kaya, A.A. (1995). Seramik kaplamalarda bağ mukavemeti üzerine deneysel gözlemler, *8..Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 397-406. İstanbul, Türkiye.

Sánchez, E., Bannier, E., Salvador, M. D., Bonache, V., García, J. C., Morgiel, J., & Grzonka, J. (2010). Microstructure and wear behavior of conventional and nanostructured plasma-sprayed WC-Co coatings. *Journal of thermal spray technology*, 19(5), 964-974.

Sarıkaya, Ö. (2003). Al-% 12Si malzemesi üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+ B_4C kaplama, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

- Sarıkaya, Ö. (2003). Al-12Si Malzeme üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+B₄C kaplama, *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 141 s, Sakarya.
- Sartwell, B. D., & Matthews, A. (Eds.). (2016). *Surface & Coatings Technology: Papers Presented at the 20th International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, San Diego, CA, USA, April 19–23, 1993*. Elsevier.
- Sathwara, N., Jariwala, C., Chauhan, N., Raole, P. M., & Basa, D. K. (2015, August). The effect of spraying parameters on micro-structural properties of WC-12% Co coating deposited on copper substrate by HVOF process. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1675, No. 1, p. 030057). AIP Publishing.
- Schwartz, M. (2002). *Encyclopedia of materials, parts and finishes*. CRC press.
- Scully, J. R., Silverman, D. C., Kending, M. W. (1991). *Electrochemical impedance: analysis and interpretation*. ASTM special technical publication, San Diego CA.
- Sepin O. A., (2004). Bor Karbür – Titanyum Diborür Kompozitlerinin Sıcak Presleme ile Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ*, İstanbul.
- Shaffer P. T., (1991). *Handbook of Advanced Ceramic Materials*, Advanced Refractory Technologies Inc., Buffalo, NY.
- Shahien, M., Suzuki, M., & Tsutai, Y. (2018). Controlling the coating microstructure on axial suspension plasma spray process. *Surface and Coatings Technology*, 356, 96-107.
- Sharma, P., & Majumdar, J. D. (2012). Surface Characterization and Mechanical Properties' Evaluation of Boride-Dispersed Nickel-Based Coatings Deposited on Copper Through Thermal Spray Routes. *Journal of thermal spray technology*, 21(5), 800-809.
- Shockley, J. M., Descartes, S., Vo, P., Irissou, E., & Chromik, R. R. (2015). The influence of Al₂O₃ particle morphology on the coating formation and dry sliding wear behavior of cold sprayed Al–Al₂O₃ composites. *Surface and Coatings Technology*, 270, 324-333.
- Smith, R. W., & Fast, R. D. (1994). The future of thermal spray technology. *Welding Journal (Miami);(United States)*, 73(7).
- Smith, R.W., Novak. R. (1991). Thermal Spraying, *Powder Metallurgy International*. 147-155.

- Sobolev, V. V., Guilemany, J. M., & Calero, J. A. (1999). Heat transfer during the formation of an HVOF sprayed WC–Co coating on a copper substrate. *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), 1-8.
- Spohn M. T., (1994). Boron Carbide, Minerals Review.
- Stanisic, J., Kosikowski, D., & Mohanty, P. S. (2006). High-speed visualization and plume characterization of the hybrid spray process. *Journal of thermal spray technology*, 15(4), 750-758.
- Stokes, J. (2003). Production of coated and free-standing engineering components using the HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) process (Doctoral dissertation, Dublin City University).
- Şafak, H. E. (2008). Yüzeyi PVD Yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Ege Üniversitesi).
- Şahin, Y. (2000). *Kompozit malzemelere giriş*. Gazi Yayınevi.
- Tellioglu, Ş.K. (2007). Seramik Zırh Plakası Üretimi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyon.
- Topaktaş, M. (2005). Alüminyum-bakır-silisyum alaşımlarının sulu ortamlardaki korozyonuna lantanitlerin etkisi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara
- Torgerson, T. B., Harris, M. D., Alidokht, S. A., Scharf, T. W., Aouadi, S. M., Chromik, R. R., ... & Voevodin, A. A. (2018). Room and elevated temperature sliding wear behavior of cold sprayed Ni-WC composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 350, 136-145.
- Tuşek, J., & Suban, M. (2003). High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition. *Journal of materials processing technology*, 133(1-2), 207-213.
- Uluengin, B., “Mimari Metaller Özellikleri, Bozulma Nedenleri, Koruma Ve Restorasyon Teknikleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2006).
- Upadhyaya, G. S. (1998). Cemented tungsten carbides: production, properties and testing. William Andrew.
- URL-1. 21/11/2018 tarihinde <https://docplayer.biz.tr/714372-Termal-sprey-kaplamalar.html> adresinden alınmıştır

URL-2. 21/11/2018 tarihinde
<http://www.teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10729/42142/termal-sprey-nedir>
adresinden alınmıştır.

URL-3. 09/12/2018 tarihinde
<http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMKson.pdf>
adresinden alınmıştır.

URL-4. 10/12/2018 tarihinde
http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi133/d133_3444.pdf
adresinden alınmıştır.

URL-5. 16/12/2018 tarihinde <http://www.chemicalelements.com/elements/cu.html>
adresinden alınmıştır.

URL-6. 17/12/2018 tarihinde <http://www.matweb.com/reference/copper-alloys.aspx>
adresinden alınmıştır.

URL-7. 19/12/2018 tarihinde <http://www.dynacer.com/materials/silicon-carbide/>
adresinden alınmıştır.

URL-8. 19/12/2018 tarihinde <http://nanografi.com.tr/blog/volfram-diger-adyla-tungsten/>
adresinden alınmıştır.

URL-9. 19/12/2018 tarihinde http://www.buffalotungsten.com/html/WCT_12Co.html
adresinden alınmıştır.

URL-10. 19/12/2018 tarihinde <http://www.goodfellow.com/E/Tungsten-Carbide-Cobalt.html>
adresinden alınmıştır.

URL-11. 20/12/2018 tarihinde
http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70503/39076/11._ders_notu.pdf
adresinden alınmıştır.

URL-12. 20/12/2018 tarihinde <https://docplayer.biz.tr/14745295-Korozyonun-onemi-korozyon-ozellikle-metallerde-buyuk-ekonomik-kayiplara-sebep-olur.html>
adresinden alınmıştır.

URL-13. 04/02/2019 tarihinde <https://slideplayer.biz.tr/slide/9827463/>
adresinden alınmıştır.

Üneri, S. (1998). *Korozyon ve Önlenmesi*. Korozyon Derneği.

Van Vlack L. H., (1980). *Element of Materials Science & Engineering*, 4th Ed., Addison-Wesley, Reading, MA.

- Verdian, M. M., Raeissi, K., & Salehi, M. (2012). Characterization and electrochemical properties of Ni (Si)/Ni₅Si₂ multiphase coatings prepared by HVOF spraying. *Applied Surface Science*, 261, 493-498.
- Voyer, J., & Marple, B. R. (1999). Sliding wear behavior of high velocity oxy-fuel and high power plasma spray-processed tungsten carbide-based cermet coatings. *Wear*, 225, 135-145.
- Wang, C., Lin, H., Zhang, Z., & Li, W. (2018). Fabrication, interfacial characteristics and strengthening mechanisms of ZrB₂ microparticles reinforced Cu composites prepared by hot-pressed sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 546-552.
- Weimer, A. W. (Ed.). (2012). *Carbide, nitride and boride materials synthesis and processing*. Springer Science & Business Media.
- Wolfe, D. E., Eden, T. J., Potter, J. K., & Jaroh, A. P. (2006). Investigation and characterization of Cr₃C₂-based wear-resistant coatings applied by the cold spray process. *Journal of thermal spray technology*, 15(3), 400-412.
- Xiao, J. K., Wu, Y. Q., Zhang, W., Chen, J., Wei, X. L., & Zhang, C. (2018). Microstructure, wear and corrosion behaviors of plasma sprayed NiCrBSi-Zr coating. *Surface and Coatings Technology*.
- Xu, Q., Zhang, X., Han, J., He, X., & Kvanin, V. L. (2003). Combustion synthesis and densification of titanium diboride–copper matrix composite. *Materials letters*, 57(28), 4439-4444.
- Yazan, A. (2014). Pirinç Alaşımının Çinkosuzlaşma Korozyonuna Alüminyum, Nikel Ve Kalay Alaşım Elementlerinin Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*,
- Yenera, T., Altinsoya, I., Yenerb, S. C., Efea, G. C., Ozbeka, I., & Bindala, C. (2015). An Evaluation of Cu-B₄C Composites Manufactured by Powder Metallurgy. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 1045-1047.
- Yıldırım, M.M., Doğantan, Z., Çakan, A., Pakdil, M., (2001a), Mühendislik Malzemeleri -II-, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 10/4, Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi, İskenderun, (ISBN 975-798915-0).
- Yıldırım, M.M., Doğantan, Z., Pakdil, M. Çakan, A., (2001b), Mühendislik Malzemeleri -III-, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 11/5, Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi, İskenderun, (ISBN 975-798916-9).

- Yıldızhan, H. (2008). Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.*
- Yilbas, B. S., & Arif, A. F. M. (2007). Residual stress analysis for hvof diamalloy 1005 coating on Ti-6Al-4V alloy. *Surface and Coatings Technology*, 202(3), 559-568.
- Ying, D. Y., & Zhang, D. L. (2000). Processing of Cu-Al₂O₃ metal matrix nanocomposite materials by using high energy ball milling. *Materials Science and Engineering: A*, 286(1), 152-156.
- Yüksek, M. (2011). Cam Lifi Esaslı Polyester Reçineli Çok Eksenli Çözümlü Örme Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi. *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- Zhan, Y., & Zhang, G. (2003). The effect of interfacial modifying on the mechanical and wear properties of SiCp/Cu composites. *Materials Letters*, 57(29), 4583-4591.
- Zhang, D., & Kong, D. (2018). Microstructures and immersion corrosion behavior of laser thermal sprayed amorphous Al-Ni coatings in 3.5% NaCl solution. *Journal of Alloys and Compounds*, 735, 1-12.
- Zhu, J., Liu, L., Zhao, H., Shen, B., & Hu, W. (2007). Microstructure and performance of electroformed Cu/nano-SiC composite. *Materials & design*, 28(6), 1958-1962.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cihan ÖZORAK

Doğum Yeri ve Yılı : Çorlu - 02.01.1987

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : cihanozorak@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Mimar Sinan Lisesi, 2004

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal Öğretmenliği, 2012
Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
2014

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji
ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2014

Bilimsel Yayınlar

Makale :

1. S. Islak, E. Çelik, D. Kır and **C. Özorak**, Characterization of hot pressed CuAl-TiC composites with different TiC grain sizes, Russian Journal of NonFerrous Metals, 2016, Vol. 57, No. 4, pp. 374–380
2. S. Islak, **C. Özorak**, C.T. Sezgin, M. Akkaş, Effect of boron on microstructure properties of Mo-Si-B based coatings produced via TIG process, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 61 (2016), No 3, p. 1169–1174
3. Islak Serkan, **Özorak Cihan**, Sezgin Cihangir Tefvik, Akkaş Mehmet, TRD yöntemiyle supap çeliği yüzeyinde üretilen kaplamaların mikroyapı ve aşınma özellikleri, Technological Applied Sciences, 11(3), 75-85, 2016.
4. Küçük, Ö.; Elfarah, T.T.K.; Islak, S.; **Özorak, C.** Optimization by Using Taguchi Method of the Production of Magnesium-Matrix Carbide Reinforced Composites by Powder Metallurgy Method. Metals 2017, 7, 352
5. Serkan Islak, Özkan Küçük, Özkan Eski, **Cihan Özorak**, Mehmet Akkaş, The Effect of CNT Content and Sintering Temperature on Some Properties of CNT-reinforced MgAl Composites, Science of Sintering, 49 (2017) 347-357

6. Serkan Islak and **Cihan Özorak**, Microstructure, Corrosion and Wear Properties of FeCrNiMo Based Coating Produced on AISI 1040 Steel by Using Laser Coating Technique, Hittite Journal of Science and Engineering, 2018, 5 (3) 219-223

Tebliğ :

1. S. Islak, D. Kır, **C. Özorak**, M. Akkaş, S. Buytoz, U. Çalığülü, M.M. Yıldırım, Microstructure characterization of WCCo-Mo based coating produced using HVOF, 15th International Materials Symposium (IMSP'2014), Denizli, Turkey, 15-17 October 2014
2. S. Islak, **C. Özorak**, D. Kır, Ö. Küçük, M. Akkaş, C. T. Sezgin., The effect of different carbon content on the microstructural characterization of high chromium white cast irons, 2nd International Iron and Steel Symposium (IISS'15), April 1-3, 2015, Karabuk, Turkey
3. Uygunoğlu T., Güneş İ., Doğan E., **Özorak C.**, Effect of particle size of wastes including boron on mechanical properties of epoxy based polymer composites, Frontiers in Polymer Science, 20-22 May 2015, Riva del Garda, Italy
4. S. Islak, **C. Özorak**, C. T. Sezgin, M. Akkaş, D. Kır, Microstructure characterization of Mo-Si-B based coatings, 1st International Conference on Tribology, 7-9 of October 2015, İstanbul, Turkey.
5. **C. Özorak**, S. Islak, Synthesis Of FeCrNiTiMo High Entropy Alloy Coatings By TIG Process, International Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, Nevsehir, Turkey
6. S. Islak, **C. Özorak**, Sübap Çeliği Yüzeyinde TRD Yöntemiyle Üretilen Karışık Nitrür Esaslı Kaplamaların Mikroyapı Özellikleri, International Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, Nevsehir, Turkey
7. S. Islak, Ö. Eski, **C. Özorak**, U. Çalığülü, Plazma sprey yöntemi ile üretilen Ti₃SiC₂ MAX fazlı kaplamanın mikroyapı özellikleri, 16th International Materials Symposium (IMSP'2016), Denizli, Turkey, 12-14 October 2016
8. S. Islak, **C. Özorak**, U. Çalığülü, TIG yüzey ergitme işleminin HVOF püskürtme yöntemi ile üretilen WCCoCr-Mo kaplamaların mikroyapısı üzerine etkisi, 16th International Materials Symposium (IMSP'2016), Denizli, Turkey, 12-14 October 2016
9. S. Islak, **C. Özorak**, Microstructure synthesis of HVOF sprayed NiCr coating, International Science Symposium (ISS2016), September 1-4, 2016, İstanbul, Turkey
10. S. Islak, **C. Özorak**, Production of Cr₂AlC MAX phase coatings using TIG process, International Science Symposium (ISS2016), September 1-4, 2016, İstanbul, Turkey
11. S. Islak, **C. Özorak**, Synthesis and microstructure properties of Fe/Cu+TiC based hybrid composite coatings, International Science Symposium (ISS2016), September 1-4, 2016, İstanbul, Turkey
12. Serkan Islak, Khlad F.G. Awath, Ertuğrul Çelik, Ugur Caligulu, **Cihan Özorak**, Hardness and microstructure properties of AlCu-B₄C/hBN hybrid composites, 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17), October 19-21, 2017, Elazığ, Turkey
13. S. Islak, **C. Özorak**, Microstructure and wear properties of FeNiCrMo based coating produced on AISI 1040 steel via laser welding, 2th National Defense

- Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
14. S. Islak, **C. Özorak**, H.R. Husain HRAAM, Effect of addition of B on the corrosion properties of Mo-Si-B based coatings, 2th National Defense Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
 15. Serkan Islak, Ugur Caligulu, Vahdettin Koç, **Cihan Özorak**, Ebru Özorak, Microstructure and Wear Properties of WCCo Based Coating Produced by HVOF on Weldon 700 Steel, 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17), October 19-21, 2017, Elazığ, Turkey
 16. S. Islak, **C. Özorak**, H.R. Husain HRAAM, Effect of sintering temperatures on transverse rupture strength of MgAl-cNT composites, 2th National Defense Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
 17. S. Islak, **C. Özorak**, H.R. Husain HRAAM, Effect on corrosion properties of TiC grain size in CuAl-TiC composites, 2th National Defense Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
 18. S. Islak, E. Özorak, **C. Özorak**, V. Koç, Wear properties of Ni based coating produced on Weldon 700 steel, 2th National Defense Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
 19. S. Islak, **C. Özorak**, Production of Mg5Al matrix reinforced with carbon nanotubes composites produced by hot press method, 2th National Defense Industry Symposium (IDEFIS 2017), Kırıkkale, Turkey, April 6-8, 2017
 20. Serkan Islak, Uğur Çalığülü, Husain R.H. Hraam, **Cihan Özorak** and Vahdettin Koç, Electrical Conductivity and Microstructure Properties of Cu-Mo Coatings, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18), March 22-24, 2018 Karabük, Turkey
 21. Serkan ISLAK, **Cihan ÖZORAK**, Ebru ÖZORAK, Corrosion Properties of Coatings Produced on Surface of Weldon 700 Steel, International Congress on Engineering and Life Sciences, 26-29 April 2018, Kastamonu, Turkey.
 22. Serkan Islak, Nuray Emin, **Cihan Özorak** and Husain R.H. Hraam, Investigation of Microstructure and Biocompatibility Properties of Ceramic Based Coatings Produced by Plasma Spray Method, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18), March 22-24, 2018 Karabük, Turkey
 23. Serkan ISLAK and **Cihan ÖZORAK**, Corrosion and Mechanical Properties of AlCu Matrix Hybrid Composite Materials, The International Conference on Materials Science Mechanical and Automation Engineerings and Technology in ÇEŞME/İZMİR (IMSMATEC'18), April 10-12 2018
 24. Serkan ISLAK, Özkan ESKİ and **Cihan ÖZORAK**, Wear Properties of Cu-Mo Coatings Produced by Plasma Spray Technique, The International Conference on Materials Science Mechanical and Automation Engineerings and Technology in ÇEŞME/İZMİR (IMSMATEC'18), April 10-12 2018
 25. Serkan ISLAK, **Cihan ÖZORAK**, Mehmet AKKAŞ, Mustafa BOZ, Wear and Corrosion Properties of MgAl-CNT Composites Produced by Using Hot Pressing Method, International Congress on Engineering and Life Sciences, 26-29 April 2018, Kastamonu, Turkey.