



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**ELEKTRODEPOLAMA YÖNTEMİ  
KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ  
Ni-W/hBN KOMPOZİT  
KAPLAMALARIN MEKANİK  
VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Gözde ZÜBARIÖĞLU**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2023**





**ELEKTRODEPOLAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ Ni-  
W/hBN KOMPOZİT KAPLAMALARIN MEKANİK VE KOROZYON  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Gözde ZÜBARIÖĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2023**

Gözde ZÜBARİOĞLU tarafından hazırlanan “Elektrodepolama yöntemi kullanılarak üretilmiş Ni-W/HbN kompozit kaplamaların mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç, Dr, Erdogan KANCA

İSTE Müh,ve Doğa Bil, Fak, Makine Müh, ABD

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**İkinci Danışman:** Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

Hatay MKU, Fen Edebiyat Fak, Fizik, ABD

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof, Dr, Ahmet YAPICI

İSTE Müh, ve Doğa Bil, Fak, Makine Müh, ABD

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Unvanı Doç. Dr. Ali GÜNEN

İSTE Müh, ve Doğa Bil, Fak, Metalurji ve Malzeme Müh, ABD

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Dr, Öğr, Üyesi Mehmet DEMİR

İSTE Müh,ve Doğa Bil, Fak, Makine Müh, ABD

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 05 / 05 / 2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Gözde ZÜBARİOĞLU

05/05/2023

ELEKTRODEPOLAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ Ni-W/hBN  
KOMPOZİT KAPLAMALARIN MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Gözde ZÜBARİOĞLU

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2023

ÖZET

Nikelin (Ni) korozyona karşı dayanıklılığı, sertliği, manyetik alanda boyut değiştirmesi ve adezyon kuvveti olduğu bilinmekte olup, Tungstenin (W) sert sağlam, yüksek erime sıcaklığı ve çatlak giderme yönteminde kullanıldığı yapılan incelemelerde görülmüştür. Buna ek olarak Hekzagonal Bor Nitrürün (hBN) yağlayıcılığı, sertliği ve korozyon direncini artırması kullanılarak elektrodepolama yöntemiyle Ni-W/hBN alaşımlı yeni bir kompozit kaplama malzemesi oluşturulmuştur. Bu çalışmada elektrodepolama yöntemi kullanılarak elde edilen Ni-W alaşımlı kaplamalarının Poly Etilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilmesi ile tek bir banyo içerisinde dört ayrı numune elde edilmesi ve Ni-W/hBN kaplamalarının Hekzagonal bor Nitrid (hBN) miktarı değiştirilmesi ile tek bir banyo içerisinde dört ayrı numune elde edilmesi ve bu numuneler arasındaki mikrosertlik, yüzey pürüzlülüğü, korozyon direnci, optik mikroskop ve XRD görüntüleri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda yapışma testinde PEG miktarı değiştirilen Ni-W alaşımlı kaplamalarda üçüncü ve dördüncü numunelerdeki yapışmanın birinci ve ikinci numuneye göre daha iyi olduğu ve aynı banyo içerisinde elde edilen dört ayrı Ni-W numunesinden ilk iki numunenin yapışmasının üçüncü ve dördüncü numuneye göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ni-W/hBN banyosunda ise hBN miktarının artırılmasıyla üçüncü ve dördüncü numunelerin yapışma kabiliyetinin birinci ve ikinci numune göre daha iyi olduğu ile aynı banyo içerisinde elde edilen dört ayrı Ni-W/hBN numunesinden ilk üç numunenin dördüncü numuneye göre yapışma kabiliyetinin daha iyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda Ni-W banyosu içerisine eklenen hBN parçacıklarının sertliği arttırmada da büyük rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Elektro depozisyon, Ni-W, Ni-W/hBN, kaplama

Sayfa Adedi : 84

Danışman : Doç. Dr. Erdoğan KANCA

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF Ni-W/hBN COMPOSITE COATINGS PRODUCED USING THE ELEKTRODEPOSITION METHOD.

(M. Sc. Thesis)

Gözde ZÜBARİOĞLU

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

MAY 2023

ABSTRACT

It is known that nickel (Ni) has resistance to corrosion, hardness, ability to change size in magnetic field and adhesion force, and it has been seen in the examinations that tungsten (W) is used in hard, high melting temperature and crack removal method. In addition, a new Ni-W/hBN alloy composite coating material was formed by electrodeposition method using Hexagonal Boron Nitride (hBN) to increase its lubricity, hardness and corrosion resistance. In this study, by changing the amount of Poly Ethylene Glycol (PEG) of Ni-W alloy coatings obtained by using the electrodeposition method, four separate samples were obtained from a single bath and Ni-W/hBN coatings were obtained from a single bath by changing the amount of Hexagonal boron nitride (hBN). Four different samples were obtained and microhardness, surface roughness, corrosion resistance, optical microscope and XRD images between these samples were compared. As a result of these comparisons, it was observed that the adhesion of the third and fourth samples of Ni-W alloy coatings with changed PEG amount in the adhesion test was better than the first and second samples, and the adhesion of the first two samples from four different Ni-W samples obtained in the same bath was better than the third and fourth samples. has been observed. In the Ni-W/hBN bath, by increasing the amount of hBN, the adhesion ability of the third and fourth samples was better than the first and second samples, and the adhesion ability of the first three samples from four different Ni-W/hBN samples obtained in the same bath was better than the fourth sample. . It has also been observed that hBN particles added to the Ni-W bath play a major role in increasing the hardness.

Key Words : electro deposition, Ni-W, Ni-W/hBN, coating

Page Number : 84

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Erdoğan KANCA

## TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmamın yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasından bana yol gösteren ve desteğini benden eksik etmeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya ve çalışmam süresince yaptığım deneylerde bana destek olan ve her türlü imkanı sağlayan ikinci danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN'a

Tez çalışmamda tez konusu tespitinden, planlanması ve sonuölanmasına kadar olan süreçte her türlü konuda yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahmet DEMİR'e

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini bana her zaman gösteren, beni hiç yalnız bırakmayan, bugünlere gelememde en büyük katkıyı sağlayan ve her zaman arkamda duran aileme ve en çokta babam Ferit ve annem Sibel ZÜBARIÖĞLU'na

Teşekkürlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Ni-W Alaşım Kaplamaları .....	4
2.2. Ni-W-X ve hBN Takviyeli Kaplamalar .....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	16
3.1. Altlık Malzemesi 2024 Alüminyum.....	16
3.2. Altlığın Hazırlanması .....	17
3.3. Elektrodepolama Yöntemi .....	18
3.4. Nikel .....	20
3.5. Tungsten .....	21
3.6. Hegzagonal Bor Nitrür (hBN) .....	22
3.7. Potansiyostat / Galvanostat .....	24
3.8. Yapışma Testi .....	24
3.9. Mikrosertlik .....	26
3.10. Yüzey Pürüzlülüğü .....	28
3.11. X-Işını Kırınımı (XRD) .....	29
3.12. Taramalı Elektron Mikroskobu .....	29

	<b>Sayfa</b>
3.13. Korozyon .....	30
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>31</b>
4.1. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamaları.....	31
4.1.1. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özelliklerin İncelenmesi.....	32
4.1.2. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi .....	37
4.1.3. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelenmesi .....	40
4.2. Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamaları.....	42
4.2.1. Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....	43
4.2.2. Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi.....	48
4.2.3. Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelemesi.....	51
4.3. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamaları.....	53
4.3.1. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi .....	55
4.3.2. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi.....	59
4.3.3. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelemesi .....	62
4.4. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamaları.....	64
4.4.1. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özelliklerin İncelenmesi .....	65
4.4.2. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi.....	69

	<b>Sayfa</b>
4.4.3. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelenmesi .....	72
5. SONUÇLAR .....	75
KAYNAKLAR .....	77
EKLER.....	85
EK-1. Anket formları .....	86



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1 2024 Alüminyum Kimyasal Bileşimi.....	16
Çizelge 3.2 2024 Alüminyum Mekanik Özellikleri.....	16
Çizelge 3.3 Ni-W ve Ni-W/hBN banyo bileşenleri .....	18
Çizelge 3.4. Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının akım yoğunluğu, pH, sıcaklık ve karıştırma hızı değerleri .....	19
Çizelge 3.5 Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının kodlanması .....	19
Çizelge 4.1 Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen banyo bileşenleri .....	32
Çizelge 4.2 Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Mikrosertlik değerleri.....	36
Çizelge 4.3 Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri.....	37
Çizelge 4.4 Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri.....	38
Çizelge 4.5 Ni-W elektrokimyasal özellikleri .....	42
Çizelge 4.6 Farklı miktarlarda Poly Ethilen Glikol (PEG) eklenen Ni-W banyo bileşenleri .....	43
Çizelge 4.7 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri.....	47
Çizelge 4.8 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi .....	48
Çizelge 4.9 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi .....	49
Çizelge 4.10 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin elektrokimyasal özellikleri .....	53
Çizelge 4.11 Farklı miktarda hBN eklenen Ni-W/hBN banyo bileşenleri .....	54

Çizelge 4.12 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri .....	58
Çizelge 4.13 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi.....	59
Çizelge 4.14 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi.....	60
Çizelge 4.15 Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin elektrokimyasal değerleri .....	64
Çizelge 4.16 Tek banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyo bileşenleri .....	65
Çizelge 4.17 Tek banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hbN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri .....	68
Çizelge 4.18 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi.....	70
Çizelge 4.19 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi .....	71
Çizelge 4.20 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin elektrokimyasal özellikleri .....	74

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1 Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri .....	34
Şekil 4.2 Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin SEM görüntüleri...	34
Şekil 4.3 Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri .....	35
Şekil 4.4 Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları.....	36
Şekil 4.5 Aynı Ni-W banyosundan (banyo suyu değiştirilmeden) kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri.....	37
Şekil 4.6 Aynı Ni-W banyosundan (banyo suyu değiştirilmeden) kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri .....	39
Şekil 4.7 Aynı Ni-W banyosundan (banyo suyu değiştirilmeden) kaplanmış olan 4 numunenin OCP eğrileri.....	41
Şekil 4.8 Aynı Ni-W banyosundan (banyo suyu değiştirilmeden) kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri .....	41
Şekil 4.9 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri.....	45
Şekil 4.10 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri .....	45
Şekil 4.11 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri .....	46
Şekil 4.12 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları .....	47
Şekil 4.13 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi .....	49
Şekil 4.14 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi .....	50
Şekil 4.15 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin yüzey SEM görüntüleri.....	51

**Sayfa**

Şekil 4.16 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değİltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin OCP değİrleri.....	52
Şekil 4.17 Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değİltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğİrleri.....	52
Şekil 4.18 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri.....	56
Şekil 4.19 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri .....	56
Şekil 4.20 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri .....	57
Şekil 4.21 Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değİltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları.....	59
Şekil 4.22 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değİrlerinin grafik ile gösterimi .....	60
Şekil 4.23 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değİrlerinin grafik ile gösterimi.....	61
Şekil 4.24 Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değİştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin yüzey SEM görüntüleri .....	62
Şekil 4.25 Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değİltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin OCP değİrleri.....	63
Şekil 4.26 Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değİltirilerek kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğİrleri.....	64
Şekil 4.27 Aynı (banyo suyu değİştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri.....	66
Şekil 4.28 Aynı (banyo suyu değİştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri .....	67
Şekil 4.29 Aynı (banyo suyu değİştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri .....	68
Şekil 4.30 Aynı (banyo suyu değİştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları .....	69
Şekil 4.31 Aynı (banyo suyu değİştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değİrleri.....	70

Şekil 4.32 Aynı (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri.....	71
Şekil 4.33 Aynı (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin Yüzey SEM görüntüleri.....	72
Şekil 4.34 Aynı (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin OCP eğrileri.....	73
Şekil 4.35 Aynı (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri .....	74



**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 1.1 Yüzey kaplama yöntemlerinin genel sınıflandırması .....	1
Resim 1.2 Çalışma grafiğinin özeti .....	3
Resim 3.1 Hegzagonal Bor Nitrür (hBN) bağ yapısı .....	23
Resim 3.2 VDI 3198 girinti testi yapışma kalite sınıflandırması.....	25
Resim 3.3 Mikrosertlik ölçüm yüzeyleri.....	27
Resim 3.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm noktaları .....	28

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>A</b>	Amper
<b>A</b>	Alan
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>Ag</b>	Gümüş
<b>AgCl</b>	Gümüş klorür
<b>BN</b>	Bor Nitür
<b>C</b>	Karbon
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b>Co</b>	Kobalt
<b>Cr</b>	Krom
<b>Cu</b>	Bakır
<b>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub></b>	Sodyum Sitrat
<b>F</b>	Kuvvet
<b>Fe</b>	Demir
<b>Gpa</b>	Gigapascal
<b>g</b>	gram
<b>H</b>	Hidrojen
<b>hBN</b>	hekzagonal bor nitür
<b>HCl</b>	Hidroklorik asit
<b>HV</b>	Vickers sertlik birimi
<b>HK</b>	Knoop sertlik birimi
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Su
<b>kg</b>	Kilogram
<b>kgf</b>	Kilogram kuvvet
<b>Kp</b>	Kilopound
<b>l</b>	Litre
<b>m</b>	Metre

<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Mn</b>	Manganez
<b>Mpa</b>	Megapaskal
<b>Min</b>	Minimum
<b>Max</b>	Maksimum
<b>NaBr</b>	Sodyum Bromür
<b>NaCl</b>	Sodyum klorür
<b>NaOH</b>	Sodyum hidroksit
<b>Ni</b>	Nikel
<b>NiSO<sub>4</sub></b>	Nikel sülfat
<b>NH<sub>4</sub>Cl</b>	Amonyum klorür
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>4</sub>W</b>	Sodyum tungstant
<b>O</b>	Oksijen
<b>OH</b>	Hidroksit
<b>P</b>	Pascal
<b>pA</b>	Pikoamper
<b>pH</b>	Asitlik bazlık derecesi
<b>PEG</b>	Poly Ethilen Glikol
<b>Ra</b>	Pürüzlülük parametresi (Aritmetik ortalama)
<b>Rz</b>	Pürüzlülük parametresi ( En büyük yükseklik)
<b>s</b>	Saniye
<b>SDS</b>	Sodyum dedosil sülfat
<b>sin</b>	Sinüs
<b>SO<sub>4</sub></b>	Sülfat
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>V</b>	Volt
<b>W</b>	Tungsten
<b>Zi</b>	Zirkonyum
<b>Zn</b>	Çinko

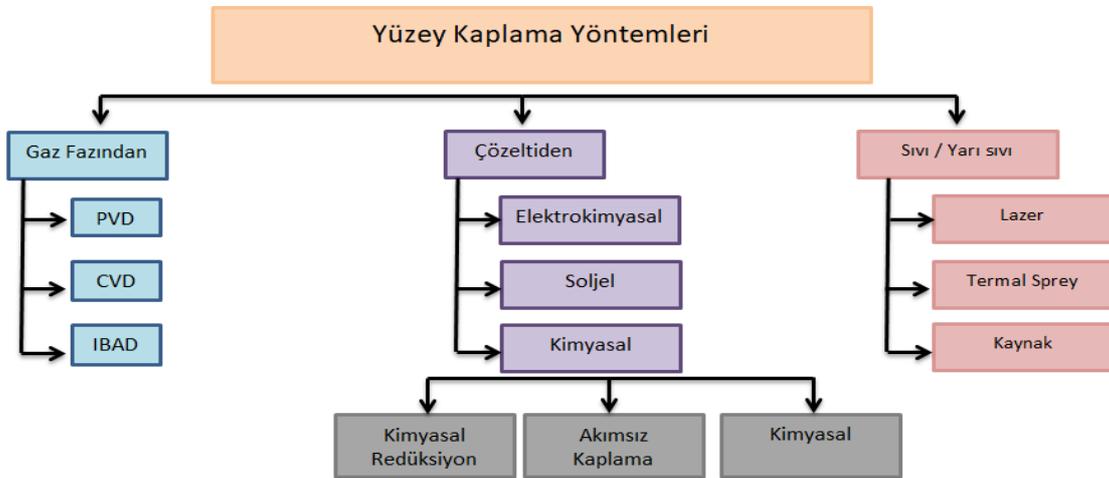
**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>AC</b>	Alternatif Akım
<b>BSE</b>	Geri saçılan elektron
<b>CL</b>	Elektron demeti
<b>DC</b>	Doğru Akım
<b>EDS</b>	Enerji dispersiv X-Işını analizi
<b>hBN</b>	Hekzagonal Bor Nitrür
<b>OCP</b>	Açık Devre Potansiyeli
<b>rpm</b>	Devir/dakika
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskopu
<b>SE</b>	İkincil elektron
<b>RE</b>	Referans elektrot
<b>UV</b>	Ultra Viyole
<b>WE</b>	Çalışma elektrodu
<b>XRD</b>	X-ışınım kırınımı
<b>GM</b>	Tek bir banyodan elde edilen Ni-W kaplaması
<b>GP</b>	PEG miktarı değiştirilen Ni-W kaplaması
<b>G</b>	hBN miktarı değiştirilen Ni-W/hBN kaplaması
<b>GMH</b>	Tek bir banyodan elde edilen Ni-W/hBN kaplaması

## 1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ile beraber malzemelerin çevreye karşı korunması ve geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuş olup yeni malzeme üretme ihtiyacı, ekonomik ve kolay olması ile malzemelerin istenilen özellikleri verebilmesi adına kaplama yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. Çevreye karşı daha duyarlı malzemeleri elde etmek için alaşımlama yapılmış fakat zamanla alaşımlamanın oldukça maliyetli olduğu ve malzemelerin yalnızca dış yüzeylerinin korunmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle kaplama yöntemleri malzemelerin korunması ve gerekli özelliklerin kazandırılması amacıyla ülkemizde çok sık kullanılmaktadır. Kaplama çeşitlerinden birisi olan elektrodopolama yöntemi ile koruma, dekoratif, korozyon direnci, manyetik özellik, ısı direnci, aşınma direnci, yağlayıcılık, elektrik geçirgenliği ve mücevher kaplamalar gibi çok çeşitli amaçlar için kullanılabilir. [1], [2]

Elektrodopolama, bir altlık üzerine elektrolit içerisindeki metal iyonlarının elektrokimyasal indirgenmesi ile oluşturulan film biriktirme işlemine denir. İndirgeme bir çözelti (elektrolit) içerisinde gerçekleşmektedir. Elektrokimyasal depolama işlemi, kaplanacak nesne, elektrolit ve bir karşı elektrodu içeren bir sistemdir. Akımı işlevli kılmak için iki elektrodun harici bir güç kaynağına bağlanması gerekmektedir. Kaplanacak nesne, güç kaynağının negatif ucuna bağlanır ve metal iyonları metal atomlarına indirgenir ve bu da sonunda yüzeyde birikinti oluşturur. [2]

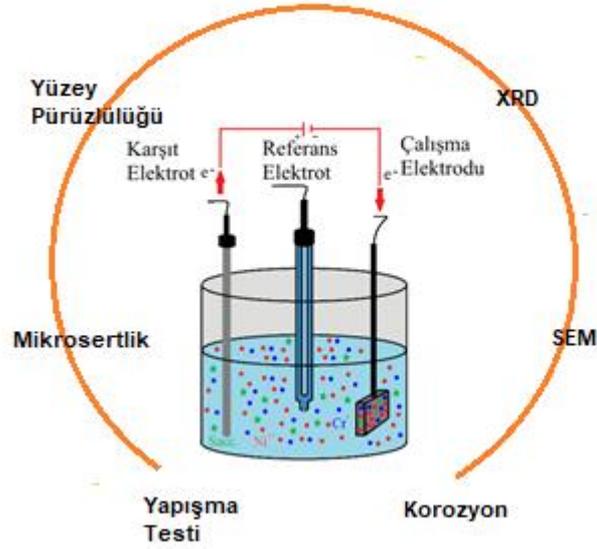


**Resim 1.1** Yüzey kaplama yöntemlerinin genel sınıflandırması

Günümüzde düşük maliyetli ve hafif bir metal olan Alüminyum oldukça çekici bir malzeme olmakla beraber daha kolay imal edilebilen yüksek mukavemet seviyelerine ulaşabilen malzeme olarak da bilinmektedir. Alüminyum alaşımları düşük sıcaklıklarda kırılma eğilimindedir ve sıcaklık düştükçe de daha çok güçlenmektedir. Alüminyum aynı zamanda önemli bir tüketim malzemesidir. Atmosfere ve kimyasal ortamlara karşı korozyona dirençli olmasıyla beraber yüksek elektriksel ve termal iletkenlik ve geri dönüşüm özelliğine de sahiptir. [3] Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk yüksek mekanik özellikleri sebebiyle havacılık, savunma sanayi ve otomotiv sektöründe en çok kullanılan malzemedir. 2024 Al-alaşımı, alüminyum alaşımları arasında en sert, mukavemet ve elastisite modül değeri en yüksek olanlarından biri olmakla beraber akma gerilmesi ve elastisite modülünün önem arz ettiği yerlerde en yaygın olarak kullanılan malzeme olarak ta bilinmektedir. [4]

Elektrodepolama ile biriktirilmiş metal ve alaşımlar çoğunlukla önemli artık gerilmeler göstermektedir. Bu artık gerilmeler elektrodepolama ile biriktirilen birikintilerde mekanik, fiziksel ve elektrokimyasal özellikleri de olumsuz etkilemektedir.[5] Son yıllarda elektrodepolama yöntemiyle elde edilmiş olan alaşım kaplamalarıyla ilgili yapılan araştırmalarda yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ile çok iyi korozyon özellikleri nedeniyle Nikel – Tungsten alaşım kaplamaları tercih edilmektedir. [6]–[8]

Resim 1.2’de çalışma grafiğinin özeti verilmiştir. Yapılan çalışmada 2024 Alüminyum altlık üzerine Ni-W ve Ni-W/hBN kaplamaları yapılmıştır. Yapılan kaplamaların mikrosertlik değerlerine, yüzey pürüzlülüğüne, XRD ve SEM görüntüleri ile korozyon özelliklerine bakılmıştır.



**Resim 1.2** Çalışma grafiğinin özeti

Bu çalışmada tek bir banyodan elde edilen Ni-W ile ayrı banyolardan elde edilen Ni-W kaplamaları ve tek bir banyodan elde edilen Ni-W/HBN kompozit kaplamaları ile ayrı banyolardan elde edilen Ni-W/hBN kompozit kaplamaları arasındaki farklar karşılaştırılmış olup aynı zaman da tek bir banyodan elde edilen kaplamalar ile ayrı banyolardan elde edilen kaplamaların özellikleri de karşılaştırılmıştır. Bu çalışma da tek bir banyo içerisinde elde edilen tüm kaplamaların özelliklerinin karşılaştırılmasının yanı sıra aynı zaman da daha az malzeme ile daha çok kaplama yapılarak çevre kirliliğinin önlenmesi de amaçlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Ni-W ve Ni-W-X Alaşım Kaplamaları

Günümüzde elektrodopolama yöntemi kullanılarak kaplama yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır ve bunlardan bazıları şöyledir:

Farzneh, Co ve W alaşım elementlerinin elektrodpozisyon özellikleri üzerine etkilerini ve nanokristal Ni alaşımlı kaplamaların özelliklerini incelemiş ve yapmış olduğu bu çalışmada elektrodpozisyon banyosu içerisinde Ni-Co-W elementlerini kullanmıştır. Farzneh 36°C sıcaklık ve 13-14 dakikalık bir kaplama süresi ile Ni, Co, W, Ni-Co, Ni-W ve Ni-Co-W metallerini biriktirmiş 13µm kalınlığında bir kaplama elde etmiştir. Elde etmiş olduğu bu kaplama Ni-Co birikiminde rastgele piramidal, Ni-W birikiminde rastgele yönelimli yarım küre piramidal, Ni-Co-W birikiminde ise koloni benzeri morfoloji gösterdiğini görmüştür [9].

Portela, Antikorozyf Ni-W-Co sentezi için devre dışı bırakılmış bir Ni banyosundan elektrodpozisyon ile kaplamayı incelemiş olup Elektrodpozisyon banyosu içerisinde Ni-Co-W elementlerini kullanan Portela, 100°C sıcaklık ve 3.8 pH değerleri altında yüzey morfolojisini korozyon direncini ve biriktirme verimliliğini araştırmıştır. Portela yapmış olduğu bu çalışmada altlık olarak kare bakır levha kullanmıştır. Ni-Co-W alaşımını endüstri atık suyundan üretmiş, biriktirme verimliliğini %86.89 olarak bulmuştur. Alaşımda %30'a yakın W elementi olduğu saptanmıştır ve W'nin çatlak azaltmaya katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Homojen yuvarlak taneler korunmuş, tane boyutları küçültülmüş ve en iyi antikorozyf özelliği elde etmiştir [10].

Olivera, elektrodpozisyon ile elde edilen Ni-Co-W alaşımlarının sıcaklığın ve pH'ın akım yoğunluğuna ve banyo özelliklerine etkisini incelemiştir. Elektrodpozisyon banyosu içerisinde Ni-Co-W elementlerini kullanan Olivera 55°C sıcaklık için 5 pH ve 8 pH ile korozyon direncini, yüzey morfolojisini ve akım yoğunluğunu incelemiştir. Yapılan bu çalışmada pH 8 ile 9.02 için Ni üst seviyelerde, pH 3.98 ile 5 için Co düşük seviyelerde tercih edilmiş olup en yüksek akım verimliliği %71.02 olarak bulunmuştur. Pürüzlü bir

yapı olduğu ve mikro modüllerin varlığının olduğu gözlemlenmiştir. Kaplamaların çoğunda mikro çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir [11].

Donten, elektrodepozisyon yöntemi ile hidroksietan ve difosforik asit banyolarında Ni-W alaşımına Fe ilavesi ile Fe-Ni-W kaplamalarını 120 dakika biriktirme süresi ve 65°C de elde etmiş ve iyi görünümlü pürüzlülüğünü koruyan ve artan sertlikte amorf yapıda kaplamalar elde etmiştir [12].

Choi, Ni-W-TiC kompozit kaplamalarını elektrodepozisyon tekniğini kullanarak kaplama banyosuna farklı miktarlardaki TiC partiküllerini dağıtarak hazırlamıştır. Farklı konsantrasyonlarda TiC partikülleri içeren Ni-W ve Ni-W-TiC kompozit kaplamalar, taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınım tekniği, Vickers mikrosertlik testi, yüzey pürüzlülük testi ve triboloji testini kullanarak karakterize etmiştir. Kaplama banyosuna dağılmış TiC partiküllerinin miktarı, TiC'nin Ni-W matrisiyle birlikte yerleştirme ağırlık yüzdesini önemli ölçüde etkilemiştir. Ni-W-TiC numuneleri, Ni-W kaplamaya kıyasla aşınmanın azaldığı ve yapışkan aşınma için herhangi bir karakteristik özellik gözlenmediği görülmüştür. Aynı şekilde, Ni-W kaplamaya kıyasla Ni-W-TiC kompozit kaplamada sürtünme katsayısında bir iyileşme olduğunu da gözlemlemiştir.[13]

Dilek, Nikel-Tungsten-Titanyum karbür (Ni-W-TiC) kaplamalarını TiC parçacıkları içeren bir Ni-W elektrolitinden darbeli elektrodepozisyon ile üretmiştir. Elektrolitteki TiC konsantrasyonunun, TiC takviyeli Ni-W ile birlikte kaplamaların morfolojisi, kristalin boyutu, mikro gerilim, mekanik, triboloji ve elektrokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. 15 g/L TiC konsantrasyonunda üretilen kaplamada en yüksek sertlik 8,3 GPa ve elastisite modülü 207 GPa olarak gözlemlemiştir. Güçlendirilmiş TiC birlikte biriktirmelerinin nanoindentasyon ve aşınma direnci sonuçları arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu gözlemlemiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon analizi ile TiC parçacıklarının bariyer etkisinden dolayı birlikte biriktirmelerin elektrokimyasal özelliklerini geliştirebildiği de göstermiştir. [14]

Gyawali, saf Ni, Ni-W alaşımı ve Ni-W-TiB<sub>2</sub> kompozit kaplamalarını elektrodepozisyon tekniği ile bakır substrat üzerinde hazırlamıştır. Hazırlanan

numunelerin yüzey morfolojisi ve element bileşimini gözlemlemiş ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ile analiz etmiştir. Numunelerin kristallliğini ve faz bileşimini analiz etmek için X-ışını kırınımı (XRD) tekniğini kullanmıştır.. Ni – W – TiB<sub>2</sub>'nin kompozit kaplamanın Vickers mikrosertliği saf Ni ve Ni-W alaşım kaplamalarına göre önemli ölçüde iyileştiğini gözlemlemiştir. Ni – W – TiB<sub>2</sub> kompozit kaplamanın aşınma ve sürtünme katsayısının da iyileştiği görülmüştür. [15]

Tripathi, Eşit dağılmış ağırlıkça %24 BN (boron nitrür) içeren Ni-Fe alaşım matrisli nano-kompozit kaplamalar mikron boyutunda, bir kaynaktan doğru akım koşulu altında elektrolitik olarak biriktirmiştir. BN parçacıklarının dahil edilmesi ile çeşitli biriktirmelerin etkisini Fe<sup>++</sup> iyon konsantrasyonu, akım yoğunluğu, sıcaklık, karıştırma hızı vb. elektrodepozitlerin bileşimi ve özellikleri ile incelemiş ve maksimum optimum koşullar için belirlemiştir. Alaşım matrisinin içindeki demir içeriği birikmesi anormal davranış göstermiş ve alaşım birikintileri ağırlıkça %7-25 arasında değişmiş olduğunu gözlemlemiştir. . Hesaplanan kristalit boyutu 0,017-0,02 aralığında ve kompozit kaplamalarda hesaplanan gerinim ise 4-13 nm arasında kompozit birikintilerinin olduğunu gözlemlemiştir. [16]

Allahyarzadeh, Fonksiyonel dereceli yapıya sahip Ni-Cu-W-alümina nanokompozit kaplamalarını, sekiz aşamada sürekli bir görev döngüsü/frekans değişimi kullanılarak elektro kaplamaya tabi tutmuştur. Bakır ve alümina içeriğinin arttığını, nikel ve tungsten miktarının ise içerik, görev döngüsünde sürekli bir düşüşle yüzeye doğru azaldığını gösterdi. Bununla birlikte, görev döngüsünden daha az etkili olduğu için darbe frekansının sürekli değişimi farklı bir tarz gösterdi. Gözlenen temas açısı, üretilen kaplamaların hiyerarşik morfolojileri nedeniyle hidrofobik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. [17]

Ataee-Esfahani, elektrolitte sakarin varlığında konvansiyonel elektrodepozisyon yoluyla pürüzsüz ve çatlaksız bir yüzeye sahip Ni-Fe/SiC nanokompozit kaplamaları hazırlanmıştır. SiC nanoparçacıklarının ve sakarinin permalloy nanokompozit kaplamaların yapısı ve özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elektrodepozisyon banyosuna SiC nanoparçacıklarının ve sakarinin eklenmesiyle kaplamaların kristalografik

dokusundaki önemli varyasyonları gözlemlendi. SiC nanoparçacıklarının dahil edilmesinin Ni-Fe matrisinin tercih edilen büyüme yönünü baskıladığını, bunun da lif dokusunun keskinliğinde bir azalmaya ve daha rastgele bir doku oluşmasına neden olduğunu göstermiştir. Metalik matriste SiC nanoparçacıklarının varlığı, Ni-Fe kaplamadan daha iyi korozyon direncine ve daha yüksek mikro sertliğe sahip kompozit filmlerin üretilmesine de yol açtığını söylemiştir. [18]

Lehman, sert koruyucu kaplamaların hazırlanması amacıyla sulu elektrolit çözeltilerinden Ni-W / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokompozit kaplamalar için elektrodpozisyon koşulları geliştirmiştir. İşleme parametrelerinin (alümina tozu tipi, akım yoğunluğu, ultrasonik alan frekansı) metal matris özellikleri ve elektrotun elektrokimyasal davranışı üzerindeki etkisi ve Nano-dağılım fazının yapısının gömülü Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ve dağılımı üzerindeki etkisini de bildirmiştir. Kaplamaların mekanik ve mikroyapısal özelliklerine bağlı olarak, çatlaksız homojen Ni - W/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit kaplamaların elde edilmesi için optimum koşulları belirlemiş ve Nanokristalin (5–12 nm) Ni - W/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitleri, nikel-tungsten matrisinin alümina nanopartiküller ile birlikte biriktirilmesiyle, zorlanmış konveksiyon koşulları altında ve içinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun dağıldığı sulu sitrat elektrolitlerinden doğru akım (DC) ile üretmiştir. Bir süspansiyonda aynı konsantrasyonda (40 g/l) iki farklı tipte alümina nanopartikül içeren elektrokimyasal Ni-W banyolarını incelemiş ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik tozlarının, kristalitlerin yanı sıra şekil ve boyut olarak da farklılık gösterdiğini söylemiştir. [19]

Wasekar, ısıtıl işlemden sonra elektrodpozlanmış Ni-W/SiC nanokompozit kaplamaların kuru kaymalı aşınma davranışı incelemiştir. Değişen oranlarda β-SiC partikül içeriğine sahip Ni-14 W/SiC kompozit kaplamalar, darbeli akım elektrodpozisyon yöntemini kullanılarak biriktirmiş ve ardından vakumda 500 °C'de ısıtıl işleme tabi tutmuştur.. Kuru koşullar altında kayan aşınma testlerini (oda sıcaklığında), pin-on-disk konfigürasyonunu kullanarak WC-Co diske karşı gerçekleştirmiştir. Nanokompozit kaplamaların mekanik özelliklerinin karışım kuralına (ROM) uyduğu gözlemlenmiştir. Nanokompozit sistemin aşınma oranı, Ni-W matrisine gömülü SiC parçacıkları arası ile doğrusal bir ilişki göstermiştir. Nanokompozit kaplamaların özgül aşınma oranı ve sürtünme katsayısı,

karişimların ters kuralına (I-ROM) dayalı bir matematiksel model aracılığıyla rasyonelleştirmiştir. [20]

Li, Ni-W/BN nanokompozit kaplamalarını elektrodpozisyon yöntemini kullanarak doğru akım (DC) ile başarıyla sentezlemiştir. Homojen olarak dağıtılmış ağırlıkça %2-4 BN partikülleri ve ağırlıkça %22-29 Ni-W içeren elektrodpozisyon kaplamalı kaplamaların düzgün ve çatlaksız olduğunu söylemiştir. Ni-W/BN büyüme oranını, 2 A dm<sup>-2</sup>'de yaklaşık 0,4 µm min<sup>-1</sup> idi ve tane boyutunu yaklaşık 11-13 nm ortalama Ni-W/BN'nin pürüzlülük değerlerini Ra = 78-100 nm olarak bulmuştur. Sertlik ve aşınma direnci önce artmış daha sonra BN konsantrasyonunun artmasıyla birlikte azalmıştır. [21]

Jin, darbe ile elde ettiği ince filmlerini Watt tipi bir nikel kaplama solüsyonu kullanılarak akım (PC) ve SiC nanoparçacıkları (NP) içeren Ni-W-SiC elektrodpozisyonu ile hazırlamıştır. İşlenmiş Ni-W-SiC filmlerin yüzeyinin 9 g/L SiC NP'lerin kullanılması, ince taneli, pürüzsüz ve çok düzgün bir yüzeye sahip olduğunu görmüş ve SiC NP'lerin Ni-W-SiC ince filme dahil edilmesi ile metal tanecik boyutlarını etkilediğini belirtmiştir. SiC NP'lerin konsantrasyonu 9 g/L olduğunda, ortalama kristal boyutunun 67 nm ve mikrosertliği 881.7 HV olduğunu ayrıca, 9 g/L konsantrasyonuyla üretilen SiC elde edildiği haliyle mükemmel korozyon direncinin olduğunu belirtmiştir. [22]

Xing, farklı miktarlarda Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları ile birleştirilmiş Ni-W nanokristal alaşım kaplamalarını (elektrolitte 0-20 g/L), 2 A/dm<sup>2</sup> uygulanan akım yoğunluğu ile doğru akım elektrodpozisyon yöntemi kullanılarak başarıyla sentezlemiştir. Kompozit kaplamalarda Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesinin temel etkileri Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıklarının düzgün bir şekilde dahil edildiğini göstermiştir. Dahil edilen Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları, yüzeyde kompakt ve pürüzsüz bir kaplamaya katkıda bulunmuştur. Nanopartikül ilavesinin mikro yapı iyileştirmeleri ile sonuçlanmış ve kompozit kaplama 10 g/L Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları içeren bir elektrolitten biriktirilen en küçük kristalit boyutununun 15,5 nm ve en büyük mikro gerilimin %0,59 olduğu görülmüştür. Konsantrasyon arttıkça mikrosertlik 533'ten 789 HV'ye yükselmiştir. Elektrolitteki Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları 0'dan 20 g/L'ye yükselmiş ve Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıklarının dahil edilmesiyle kompozit kaplamaların korozyon direnci de iyileştirilmiştir. 10 g/L Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

nanoparçacıkları içeren bir elektrolitten elektrodepoze edilen kompozit kaplama, en yüksek korozyon önleyici özelliğini sergilediğini belirtmiştir. [23]

Wasekar, %16–28 tungsten (W) içeriğine sahip Ni-W alaşımlarını çeşitli darbe parametreleri kullanılarak elektrodepozisyon banyosundan elde etmiştir. Darbe parametrelerinin mikro yapısının bileşim ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini sistematik olarak incelemiştir. Korozyon davranışı, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisini kullanılarak 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içinde analiz etmiştir. Nanokristalin Ni-W kaplamaların, dubleks nanokristalin-amorf muadillerine kıyasla üstün korozyon direncine sahip olduğunu bulmuştur. [24]

Zhang, Ni-W alaşımının mekanik özelliklerini ve korozyon önleme kabiliyetini daha da geliştirmek için Ni-W/TiN nanokompozit kaplamaları darbe akımını kullanarak biriktirme yoluyla birlikte biriktirmiştir. TiN nanoparçacıklarının ve çalışma parametrelerinin biriktirilen kaplamanın yapısı ve özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Nanokompozit kaplamaların homojen, yoğun ve çatlaksız olduğunu, kubbe benzeri veya tepe-vadi benzeri yapı sergilediğini söylemiştir. Parçacıklar homojen bir şekilde metalik matrise dahil edilmiş ve Ni-W/TiN'nin tercih edilen yönünün (111) dokuda olduğunu söylemiştir. Kristalit boyutunun 10-16 nm olduğunu bunun da nanokristal yapı oluşumu gösterdiğini belirtmiştir. TiN konsantrasyonu, görev döngüsü ve frekans, kaplamadaki TiN parçacığı ve W elementi miktarını etkileyerek sertliği ve aşınma önleme davranışlarını düzenleyebileceğini söylemiştir. Düşük görev döngüsü ve uzun biriktirme süresi, kaplamanın pürüzlülüğünü azaltmış ve TiN nanoparçacıklarının nikel matrisine dahil edilmesi, taze nikel kristallerinin çekirdeklenmesini teşvik etmiş aynı zamanda Ni-W kristallerinin homojen büyümesini ve tane incelmesini destekleyerek halihazırda oluşturulmuş nikel taneciklerinin büyümesini kısıtlayabildiğini belirtmiştir. [25]

Yuan, elmas parçacıklarının katılmasıyla güçlendirilmiş Ni-W alaşımı incelemiştir. Metalik matris, fcc yapısı sergileyen Ni kafesinde katı bir W çözeltisi sergilemiştir. Ünliform ve kompakt yapılar ile nodüler benzeri morfolojiler sergilediğini ve akım yoğunluğu arttıkça granül boyutlarının da arttığını belirtmiştir. Kaplama ağırlıkça %63,5–

66,5 Ni ve ağırlıkça %23,1–24,7 W içermektedir. Kompozitlerin elmas içeriğini ağırlıkça %6,38'den %8,97'ye çıkartmıştır. [26]

Li, Nikel-tungsten (Ni W) matrisinin performansını artırmak için , Ni-W /ZrO<sub>2</sub> – CeO<sub>2</sub> nanokristal filmler , zirkonya ( ZrO<sub>2</sub>) ve serya (CeO<sub>2</sub>) nanoparçacıklarının varlığıyla elektrodepozisyon yöntemiyle üretmiştir. Yapmış olduğu araştırmalar, üretilen filmlerin yoğun, homojen ve çatlaksız olduğunu, ağırlıkça %23,7–28,7 W, %3,9–4,9 ZrO<sub>2</sub> ve ağırlıkça %0,45–0,68 CeO<sub>2</sub> içerdiğini göstermiştir. Ortalama 6 A dm<sup>-2</sup> akım yoğunluğunda hazırlanmış olduğu film, görev döngüsü ( r ) %70 daha ince yapılı ZrO<sub>2</sub> , CeO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının en yüksek içeriğini içermiştir. 2A dm<sup>-2</sup>'de oluşan film de ortalama pürüzlülüğü Ra = 79.1 nm olarak ölçmüştür. I av = 4 A dm<sup>-2</sup> ve r = % 50'de filmin büyüme hızı yaklaşık 0,48–0,53 µm/dk ve Sertliğin sırasıyla r = %70, I av = 6 A dm<sup>-2</sup> ve biriktirme süresiyle ( t ) 40 dakikadaki maksimum değerle önce arttığını sonra azaldığını belirtmiştir. [27]

Li, Ni-W/TiN nanokompozit kaplamaları, askıda TiN nanopartiküller içeren bir elektrolitten darbeli elektrokaplama yoluyla hazırlamıştır. Akım yoğunluğunun ve biriktirme süresinin, elektrokimyasal biriktirme sürecini ve ardından kompozitlerin yapısını ve özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini söylemiştir. Nanokompozitlerin düzgün, kompakt ve çatlaksız olduğunu ve hazırlanan nanokompozitlerin 20 dakika, ince ve pürüzsüz bir yüzey gösteren en ince yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. Ağırlıkça %2,34 TiN nanopartiküller, Ia = 3,0 A dm<sup>-2</sup>'de Ni –W (ağırlıkça %68,56 Ni ve ağırlıkça %29,1 W) alaşım matrisine görülmüştür. Elektro-birikimli Ni-W/TiN nanokompozitlerin mükemmel sertliğe ve üstün korozyon direncine sahip olduğunu ve agresif ortamlarda koruyucu bir kaplama olarak uygulanabileceğini söylemiştir. [28]

Lou, mükemmel antibakteriyel özelliğe sahip Grafen oksit (GO) yüklü nikel (GNC) hazırlamanın yeni bir yöntemini önermiş ve manyetik alan destekli tarama jeti elektrodepozisyonu ile nikel iyonlarını bir titanyum levha üzerinde hazırlamıştır. GNC'nin imalatına ferromanyetik parçacık taşıyıcı yöntemi ve manyetik alan destekli tarama jeti elektrodepozisyon tekniğini uygulamıştır. Kaplama üzerinde kaplanan büyük miktarda GO, kaplamaya mükemmel antibakteriyel özellikler kazandırmıştır. GO ve nikelin

kombinasyonu, sırasıyla hızlı sterilizasyon ve uzun süreli antibakteriyel etki gerçekleştirmiştir. GNC, yüzeyindeki bakterilerin ölümüne neden olan etkili bir antibakteriyel platform olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. [29]

Li, TiN ve  $Y_2O_3$  nanoparçacıklarını birlikte Ni-W matrisine dahil ederek , bu çalışmada darbeli elektrodepozisyon yöntemini kullanarak Ni – W/TiN –  $Y_2O_3$  nanokristal kaplamanın mikroyapısal, yüzey özellikleri ve korozyon direnci incelemiştir. Elektro kaplamalı kaplamaların yoğun ve nodüler yapıya sahip olduğunu ve hatasız olduğunu görmüştür. TiN ve  $Y_2O_3$  partiküllerinin kompozitlere düzgün bir şekilde gömüldüğünü doğrulamış ve gömülü parçacıkların, elde edilen kaplamanın sertliğini ve korozyon önleyici özelliklerini de geliştirdiğini söylemiştir. Tercih edilen oryantasyon (111) düzlemine göre hesaplanan kristalit boyutu , nanokristal yapının oluşumunu gösteren 14-17 nm ve ortalama Ra değeri yaklaşık 84.6  $\mu m$  olarak bulmuştur. Elektrokimyasal empedans testleri, optimum korozyon direnci için tercih edilen çalışma parametreleri kombinasyonunun %70, 1000 Hz, 40 dakika ve 4 A  $dm^{-2}$  olduğunu ortaya koymuştur. Ancak en iyi sertlik ve aşınma önleme özellikleri %50, 500 Hz, 6 Adm  $dm^{-2}$  ve 60 dk. parametrelerinde elde etmiştir.. Çalışma parametrelerinin tercih edilen kombinasyonu, %70 görev döngüsü, 1000 Hz frekans, 40 dakikalık süre ve 4 Adm- 2 ortalama akım yoğunluğu olacak şekilde optimize etmiştir , bu da elektro kaplamalı kaplamanın optimum korozyon direncine ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamıştır. [30]

Nyambura, Ni – W/ $Cr_2O_3$  nanokompozit kaplamalar, geleneksel elektrodepozisyon tekniği kullanılarak bir çelik yüzey üzerinde  $Cr_2O_3$  nanopartikülleri içeren sulu sülfat-sitrat elektrolitinden sentezlemiştir . Ni-W ikili alaşım kaplamalarını, yüksek kaliteli kaplamalar üretmek için nanoparçacıkların eklenmesinden önce biriktirmiş ve optimize edilmiştir.. Ni – W/ $Cr_2O_3$  nanokompozit kaplamalarda korozyon direnci ve mikrosertlik, saf Ni – W ikili alaşımına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek ve kaplamalardaki  $Cr_2O_3$  nanopartikül içeriğindeki artışla artmıştır ve Ni – W/ $Cr_2O_3$  nanokompozit kaplamalarda aşınma direncini de daha yüksek bulmuştur. [31]

Moein, frekans, görev döngüsü ile titanyum karbür nanopartiküllerin konsantrasyonu gibi darbe akımı elektrokaplama değişkenlerinin, düşük karbonlu bir çelik substrat üzerine

uygulanan Ni-W-TiC nanokompozit kaplamanın morfolojisi üzerindeki etkilerini araştırmıştır.. 909 HV sertliğe sahip optimum nanokompozit kaplama numunesi, 100 Hz frekans, %60 görev döngüsü, akım yoğunluğu 5 g L<sup>-1</sup> ve titanyum karbür nanopartikül konsantrasyonu 20 A dm<sup>-2</sup> darbe akımı altında elde edilmiştir. [32]

Do, Ni-Cu nano alaşımlı kaplamaları, 0, 2.5, 5 ve 7.5 g/L bakır sülfatlı elektrolitten darbeli elektrodepozisyon tekniği ile sentezlemiştir. Kaplamalarda birlikte biriken değişen miktarlarda Cu bulmuştur. Yeterli miktarda Cu, metal/pasif film (m/f) arayüzündeki reaksiyonlara karşı artan direnç ve pasif filmdeki Cu + katkı maddesi tarafından oksijen boşluklarının azaltılmasıyla kaplamanın korozyon direncini önemli ölçüde artırabileceğini belirtmiştir. [33]

## 2.2. Ni - X ve hBN Takviyeli Kaplamalar

Kumar, Termodinamik olarak optimal alanda gerçekleştirmiş olduğu deneylerde, yanma parametrelerinin ve ürün fazı bileşiminin indirgeyiciliği ile hBN tozu miktarına karşı yüksek duyarlılığını göstermiştir. Testler 800 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. 'Mikro-parlatma', döngüsel 'kendini onarma' ve yorulma fenomeni sayesinde, geleneksel yüksek enerjili bilyeli öğütme tekniğiyle üretilen muadillerine kıyasla kendiliğinden yayılan yüksek sıcaklık sentezi ile işlenmiş kompozitler için aşınma davranışında önemli bir gelişme göstermiştir [34].

Ünal, Ni-B/hBN kompozit kaplamasını geleneksel elektrodepozisyon kaplama yöntemini kullanarak kaplanmıştır. hBN'nin ikinci faz partiküllerinin Ni-B alaşım kaplaması ile başarılı bir şekilde biriktirildiğini ve kompozit kaplamaların kompakt ve pürüzsüz bir yüzeye, ayrıca ince taneli kristal yapıya da sahip olduğunu göstermiştir. Ni-B/hBN kompozit kaplamaların mikrosertlik değerlerinin saf Ni kaplamalardan daha yüksek, Ni-B alaşımlı kaplamalardan ise daha düşük olduğunu deneyler sonucunda göstermiştir [35].

Li, Ni-B'nin mikroyapısal yüzey ve elektrokimyasal özellikleri ile birlikte elektrodepozisyon yöntemiyle yeni bir Ni-W/BN dubleks kompozit kaplamasını incelemiş olup elektrodepozisyon banyosu içerisinde Ni-W elementleri ile BN parçacıklarını

kullanmıştır. Li 65°C de 8.0-8.5 pH değerleri arasında 10-30 dakika biriktirme yaparak tek tip kompakt ve çatlaksız yoğun yapılara sahip kaplamalar elde etmiştir. Ni-W/BN dubleks nanokompozitinin kaplaması Ni-W kaplamasından daha yüksek korozyon direnci sergilemiştir. BN parçacıklarının Ni-W matrisine dahil edilmesi Ni ve W'nin sertliğini arttırdığı ve dubleks kompozit kaplamanın aşınma kaybını da azalttığı görülmüştür [36].

Gyawali, Ni-SiC-h/BN kompozit kaplamalarını elektrodpozisyon tekniği ile nikel sülfamat elektrolitik banyosunda SiC (10 g/L) ve h/BN nano-tabakalarının (10 g/L) dağılımı ile hazırlamıştır. Farklı oranlarda ki sodyum dodesil sülfat (SDS) ve setiltrimetil amonyum bromür (CTAB) Sürfaktanların özelliklerinin elektrodpozitlenmiş kaplamaların üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanmıştır. Kaplama numuneleri taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınımı, Vickers mikrosertlik testi, çizik ve triboloji testleri ile karakterize etmiştir. Nanoparçacıkların birlikte birikmesi sırasında yüzey aktif maddelerden elektrodpozisyon süreci önemli ölçüde etkilenmiştir. Rafine yüzey morfolojilerine sahip daha küçük oval taneler daha düşük seviyelerde elde edilirken, piramidal veya çokyüzlü nikel kristalitleri daha yüksek oranda gözlenmiştir. Parçacıkların birlikte biriktirilmesinin ağırlık yüzdesini arttırdığını ve elektrodpozisyon kompozit kaplamaların Vickers mikrosertliği, aşınması ve sürtünme katsayısı sırasında elektrolitte artan CTAB ve azalan SDS içeriklerinde iyileşme olduğunu gözlemlemiştir. [37]

Aghili, mekanik alaşımlama tekniği ile bir Ni(Cr)/hBN kendi kendini yağlayan nanokompozit üretmenin fizibilitesi incelemiştir. Bu amaca ulaşmak için, nanoyapılı Ni(Cr) katı çözeltilisini üretmek için ağırlıkça %20 Ni-20 Cr tozu karışımı ilk olarak 40 saate kadar öğüttü daha sonra hBN parçacıkları Ni(Cr)'ye eklemiş ve 3 saat daha karıştırmıştır. Cr'nin Ni içinde çözünmesinin 5 saat sonra başladığını ve 30 saat mekanik alaşımlamadan sonra tamamlandığını görmüştür. TEM çalışmalarıyla ayrıca 40 saat öğütülmüş Ni(Cr) katı çözeltilisinin ortalama tane boyutunun 50 nm olduğunu görmüştür. Ni-Cr ikili sistemindeki en kararlı fazları tahmin etmek için Miedema'nın yarı ampirik termodinamik modeli kullanmıştır. Katı çözelti oluşumunun Gibbs serbest enerji değişiminin (-8,44 kJ/mol), Ni-20 wt % Cr'nin kimyasal bileşiminde amorf fazından (-1,3 kJ/mol) çok daha düşük olduğunu göstermiştir. Nanoyapılı Ni(Cr) katı çözeltisi, 800°C'de uygun termal kararlılık gösterdiğini ayrıca hBN partiküllerinin 3 saatlik

karıştırmanın ardından imal ettiği Ni(Cr) içinde homojen bir şekilde dağıldığını gözlemlemiştir. [38]

Du, NiCr kaplamanın tribolojik özelliklerini geliştirmek için altıgen BN tozunu (NiCr/hBN), NiCr/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> besleme stoğuna eklemiştir. Kompozit tozun mikro yapısı, akışkanlığı ve görünür yoğunluğu ile plazma püskürtmeli kaplamanın yapısı ve mekanik özelliklerini karakterize etmiştir. NiCr/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> –NiCr/hBN kaplamanın ortam sıcaklığından 800 °C'ye kadar olan sürtünme ve aşınma davranışını, bir bilye üzerinde disk aşınma test cihazında değerlendirmiş ve NiCr/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> kaplamanınkiyle karşılaştırmıştır. NiCr kaplamanın, termal sprey sırasında Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 'nin dekarbürizasyonunu ve hBN'nin oksidasyonunu azaltabildiğini göstermiştir. Katmanlı altıgen BN parçacığı, sürtünme çiftleri arasındaki doğrudan teması ve şiddetli yapışmayı azaltarak sürtünme katsayısını düşürmüştür. [39]

Du, Ni<sub>3</sub>Al – hBN kompozit tozlarını kurutma teknolojisi ile üretmiş ve daha sonra kaplamaları oluşturmak için plazma ile püskürtmüştür. hBN ilave miktarının kompozit tozların akışkanlığı ve görünür yoğunluğu ile püskürtmeli kaplamaların mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Düzgün dağılmış bileşimlere sahip küresel tozların püskürterek kurutma teknolojisi ile başarılı bir şekilde üretmiştir. Ni<sub>3</sub>Al – hBN tozlarının hem akışkanlığı hem de görünür yoğunluğu, ayrıca kompozit kaplamaların bağ kuvveti ve sertliği, hBN içeriğinin artmasıyla azalmıştır. hBN'nin ağırlıkça % 10'dan az eklenmesi sürtünme katsayısını azaltmıştır. Ancak yüksek hBN ilavesi kaplamadaki bağa zarar vererek kaplamanın aşınma direncini de bozmuştur. %10 hBN içeren Ni<sub>3</sub>Al – hBN kompozit kaplama, mukavemet ve sertliği tribolojik özelliklerle birleştiren optimum özelliklerini göstermiştir. [40]

Tozar, Hekzadesiltrimetilamonyum bromür (CTAB) konsantrasyonunun, Ni-B matris nano altıgen bor nitrid (hBN) ile güçlendirilmiş kompozit kaplamaların galvanostatik elektrodepozisyon üzerindeki etkisi araştırmıştır. 900 µ'a kadar artan CTAB konsantrasyonları ile iyileştirilmiş olan düşük konsantrasyonlarda yararlı bir etkiye sahip olduğu ve düşük konsantrasyon aralığında metal matris nano seramik takviyeli kompozit kaplama elektro kaplaması için yararlı olabileceğini söylemiştir. [41]

Dadvand, çatlaksız ve homojen nikel-tungsten (NiW) kaplamalar ve bunların silisyum karbür (SiC) ve altıgen bor nitrid (hBN) gibi seramik parçacıklarla doldurulmuş kompozit kaplamalarını, doğru akım (DC) dalga formları uygulayarak pirinç altlıklar üzerine biriktirmiştir. Tüm kaplamalar arasında, NiW–SiC–hBN kaplamalar en asil korozyon potansiyelini (-0,49 V) ve en düşük akım yoğunluğunu ( $4,36 \times 10^{-6} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) sergilemiştir. Ayrıca, NiW matrisine hBN ve SiC seramik parçacıklarının eklenmesinin, NiW kaplamaların aşınma performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini de göstermiştir. Bununla birlikte, NiW–hBN , hBN parçacıklarının ultra düşük sürtünme katsayısı nedeniyle en düşük aşınma hacmini ( $48.84 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ ) ve 0.1 sürtünme katsayısını sergilediğini söylemiştir. [42]

Ruan, DC elektrodepozisyon ile Ni-Co alaşım kaplamalara dahil edilen hBN (hekzagonal bor nitrid) kullanarak bir Ni-Co/hBN kompozit kaplama hazırlamıştır. Co içeriği arttıkça, Ni-Co/hBN kompozit kaplamaların yüzey morfolojisi yavaş yavaş piramidalden küresel olarak değişmiştir. Co ve hBN ilavesi nedeniyle kaplamaların kristal boyutu 86 nm'den 24 nm'ye düşürmüştür ve mikrosertlik 220 HV'den 575 HV'ye çıkarmıştır. Yapmış olduğu elektrokimyasal analiz sonuçlarına göre Co ve hBN ilavesinin kaplamaların korozyon direnci özelliklerini geliştirdiğini kanıtlamıştır. İncelenen kaplamalar arasında Ni-37Co/hBN kompozit kaplamanın korozyon akımı yoğunluğu, 0,645  $\mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$  olan Ni/hBN kompozit kaplamanınkinden 14 kat daha düşük olarak bulmuştur. [43]

Tozar, Ni-B/hBN kompozit kaplamalarını, trimetilamin-boran kompleksi (TMAB) ve hBN içeren modifiye edilmiş Watt tipi bir nikel elektro-çökeltme banyosundan 50 mA  $\text{cm}^{-2}$  akım yoğunluğuna sahip 304 L kalite çelik alt-tabakalar üzerine 100 nm'lik ortalama parçacık boyutuyla galvanostatik olarak elektro-çökeltmiştir. Heksadesilamin (HDA) konsantrasyonunun iyonik olmayan bir yüzey aktif madde olarak etkisi araştırmıştır. Konsantrasyon aralığı 0–400 ppm olarak bulmuştur. HDA, kaplamadaki hBN hacim fraksiyonu üzerindeki artan etkisinden dolayı elektro kaplamalı kompozit kaplamaların mekanik, tribolojik ve korozyona karşı koruma özellikleri üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. [44]

Yapılan incelemelerin ardından Ni'in korozyona karşı dayanıklılığı, sertliği, manyetik alanda boyut değiştirme kabiliyeti ve adezyon kuvveti W'nin sertliği, sağlamlığı, yüksek erime sıcaklığı ve çatlak giderme özellikleri ile hBN parçacıklarının güçlü termal dayanıklılığı, elektriksel yalıtkanlığı, düşük termal genleşmesi ve yüksek iletkenliği kullanılarak elektrodopolama yöntemiyle yeni bir kaplama malzemesi oluşturmak için Ni-W/hBN kompozit kaplaması yapılmıştır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Altlık Malzemesi 2024 Alüminyum

Her alaşım, baz alüminyuma belirli faydalı nitelikler kazandıran belirli bir oranda alaşım elementleri içermektedir. 2024 alüminyum alaşımında bu element yüzdeleri nominal olarak %4.4 Cu, % 1.5 Mg ve % 0.6 Mn'dir. Bu alaşım, bakırın ana alaşım elementi olduğu bir alüminyum-kobalt alaşımıdır. Diğer alaşım bileşenleri arasında magnezyum, manganez ve bazen de krom bulunabilir. Korozyona karşı direncini büyük ölçüde azaltır. 2024 alüminyum alaşımı, yüksek mukavemet ve iyi işlenebilme özellikleri nedeniyle genellikle havacılık ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Bu alaşım, hafif olmasına rağmen yüksek dayanıklılığa sahiptir ve yüksek gerilme ve çekme mukavemetine sahip bir malzemedir. Bu nedenle uçak parçaları, uzay araçları, yüksek hızlı trenler, bisiklet parçaları ve diğer taşıt bileşenlerinde yaygın olarak kullanılır. Yoğunluğu 2.77g/cm<sup>3</sup>tür (0.100 lb/in<sup>3</sup>), bu da saf alüminyumdan (2,7g/cm<sup>3</sup>, 0,098 lb/in<sup>3</sup>) biraz daha yüksektir. 2024 alüminyum çok kolay işlenir ve iyi işlenebilirliğe sahiptir, bu da gerektiğinde hem kesilebilir hem de ekstrüde edilebilir. Çizelge 3.1'de 2024 Alüminyumun kimyasal bileşimi Çizelge 3.2'de de 2024 Alüminyumun mekanik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** 2024 Alüminyum Kimyasal Bileşimi

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	3,8- 4,9	0,1	0,3- 0,9	1,2- 1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan

**Çizelge 3.2.** 2024 Alüminyum Mekanik Özellikleri

Temper	Akma Mukavemeti (Mpa) Min-Max	Çekme Mukavemeti (Mpa) Min-Max	Uzama (%50) Min- Max	Sertlik(Brinell) Min-Max
0	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T4	315-330	440-465	20	120
T8	450	485	6	130

### 3.2. Altlığın Hazırlanması

Ni-W ince film kaplamalı numuneler 2,5-2 cm olacak şekilde kesilmiş olan 2024 Alüminyum altlıkta depolanmıştır. Kesilen 2024 Al altlıklar kaplama yüzeyinde kesimden kalan pürüzlü yüzey ve ince parçacıkların giderilmesi adına P 400 ile P 1200 aralığındaki zımpara kâğıtları ile birer dakika olacak şekilde zımparalanmış olup Alüminyum altlıkların yüzeyi parlatılmıştır. Yüzey üzerindeki metal tozları önce alkol ile daha sonra da saf su ile temizlenmiştir. Daha sonra metal yüzeyi aseton ile yıkanmış tekrar saf su ile temizlenmiştir. Son olarak temizlenmiş olan 2024 Al malzeme HCl asit içerisinde 10 s daldırılarak dağlanmış ve saf su ile temizlenmiştir. Böylelikle kaplama yapılacak yüzey kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir. Kaplama yapılacak yüzeyin üst kısmı 0,5 cm olacak şekilde oje ile kapatılmış olup daha sonra Ni-W banyosu içerisinde daldırılarak elektrodepolama yöntemi ile kaplanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında ve 3 elektrotlu klasik sistemde yapılmıştır. Elektrokimyasal korozyon hücresinin tamamlayıcısı referans elektrot (RE) olarak Ag/AgCl karşıt elektrot olarak ve çalışma elektrotu (WE) olacak şekilde deney numunelerine tanımlanmıştır.

Bu çalışmada tek bir banyodan elde edilen (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W kaplamaları GM olarak, ayrı banyolardan ve Poly Ethilen Glikol miktarı değiştirilerek elde edilen Ni-W kaplamaları GP olarak adlandırılmıştır. Yine farklı banyolardan elde edilen Ni-W/hBN kaplamaları G ve tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W/hBN kaplamaları GMH olarak adlandırılmıştır. GMH serisinin banyo bileşenleri arasında ek olarak Hekzogonal bor nitrür (hBN), Sodyum Dedosil Sülfat (SDS) ve Polietilen Glikol (PEG) bulunmaktadır.

### 3.3. Elektrodepolama Yöntemi

Gelişen ve hızla ilerlemekte olan teknolojilerle birlikte malzemelerin de geliştirilmesi ve daha dayanımlı malzemeler elde edebilmek adına alaşımlama işlemleri de yapılmaktadır. Ancak alaşımlama işlemi oldukça maliyetli bir yöntem olduğundan mevcut malzemelerin yüzeylerinin korunmasına yönelik işlemlerin yapılmasının daha doğru ve daha az maliyetli olacağı düşünülmüştür. Bu yöntemlerden biri olan kaplama malzemelerin yüzeylerinin korunması ve gerekli özelliklerin kazandırılması için günümüzde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Kaplama çeşitlerinden biri olan elektrodepolama yöntemiyle kaplanacak malzeme yüzeyinde koruma, dekoratif görünüm, korozyon direncinde artış, manyetik özellik kazandırma, ısı direnci, yağlayıcılık, iletkenlik özellikleri de sağlanabilmektedir.

Elektrodepolama, elektrolit banyo içerisindeki bir altlık malzeme üzerine metal iyonlarının elektrokimyasal indirgenmesi ile oluşturulan ince film oluşturma yöntemidir. Elektrokimyasal bir çözeltide kaplama yapmak için 3 farklı elektrot vardır. Bunlardan ilki referans elektrottur. Referans elektrotun reaksiyon ile alakası olmayıp çalışma elektrodunun potansiyelini ölçmede kullanılır. Ayrıca çözelti direncinin, bağlantı ve çözelti içinde oluşan potansiyel kaybının da ortadan kaldırılması için de kullanılmaktadır. Kaplama banyosu içerisinde bulunan karşıt elektrot elektrik alanı sağlayarak devreyi tamamlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma elektrodunda indirgenme olayı gözlenirken karşıt elektrotta yükseltgenme olayı gerçekleşmektedir. [2], [21]

Çizelge 3.3’de tek bir banyo ve ayrı banyolardan elde edilen Ni-W alaşımı ile Ni-W/hBN kompozit kaplamalarının bileşen özellikleri verilmiştir. Tek bir banyodan ve ayrı banyolardan 4 numune çekilmiş olup numuneler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 3.3** Ni-W ve Ni-W/hBN banyo bileşenleri

Bileşen adı	Kullanılan Miktar
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	9,28 g/l
$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	45 g/l
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	41,13 g/l
$NH_4Cl$	26,74 g/l
$NaBr$	15,45 g/l
$NaOH$	40 g/mol
hBN	10 g/l
SDS	0,5 g/l
PEG	40 g/l

Numunelerin akım yoğunluğu, pH , sıcaklık, karıştırma hızı değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4** Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının akım yoğunluğu, pH, sıcaklık ve karıştırma hızı değerleri

Akım Yoğunluğu (A/dm <sup>2</sup> )	pH	Sıcaklık (°C)	Karıştırma hızı (rpm)
0,035	8	70	600

Çizelge 3.5’te Ni-W ve Ni-W/hBN banyoları kodlamaları verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının kodlaması

Numune Adı	Numune Açıklaması
GM	Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W kaplaması
GP	Banyo içerisine eklenen farklı miktardaki PEG ile elde edilen Ni-W kaplaması
G	Banyo içerisine eklenen farklı miktardaki hBN ile elde edilen Ni-W/hBN kaplaması
GMH	Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W/hBN kaplaması

### 3.4. Nikel

Nikel kaplamalar günümüzde en çok kullanılan kaplama türlerinden biri olup dünyada kullanılan toplam nikel miktarının yarısından fazlasını nikel kaplamaları oluşturmaktadır. En yaygın kaplama yöntemlerinden biri olan elektrodopolama yöntemiyle kaplama hem düşük maliyetli hem de birçok korozif ortamdaki direnci sağlaması nedeniyle de kullanılma nedenlerinin başında gelmektedir [1,2].

Avantajları;

- İyi aşınma direncine ve kompozit olarak başka metallerle beraber arttırılabilir aşınma direncine ve yağlayıcılığa sahip olması,

- Altlık olarak kullanılan malzemeye göre nikel daha yüksek sertlik değerlerine ulaşabilir olması,
- Parlatma ve işleme işlemlerinin kolaylıkla yapılabilir olması,
- Altlık olarak kullanılan malzeme ile arasında bariyer oluşturarak çok iyi difüzyon engelleme özelliğine sahip olması,
- Çok iyi elektrik iletkenliği ve temas direncinin olması,
- Düşük iç gerilmelerle kalın tabakalar halinde üretilebilir olması,
- Dekoratif olarak kullanılabilmesi,
- Nemli ortamlarda yüksek korozyon özelliklerine sahip olması ve organik asit çözeltileri ile iyi olması
- Manyetik olmasıdır.

Dezavantajları;

- Çelik altlık üzerine biriktirildiğinde altlık malzemesinin mekanik özelliklerinde düşüşe sebebiyet vermesi,
- Perçinleme ve çekme dayanımına karşı mekanik zorlamalarda düşük direnç göstermesi,
- Çelik altlık üzerine biriktirilen nikel üzerindeki çatlak ve süreksizlikler altlık olarak kullanılmış olan çeliğin korozyon direncini de düşürmesi,
- Banyo içerisinde oluşacak safsızlıklara karşı oldukça duyarlı olmasıdır.

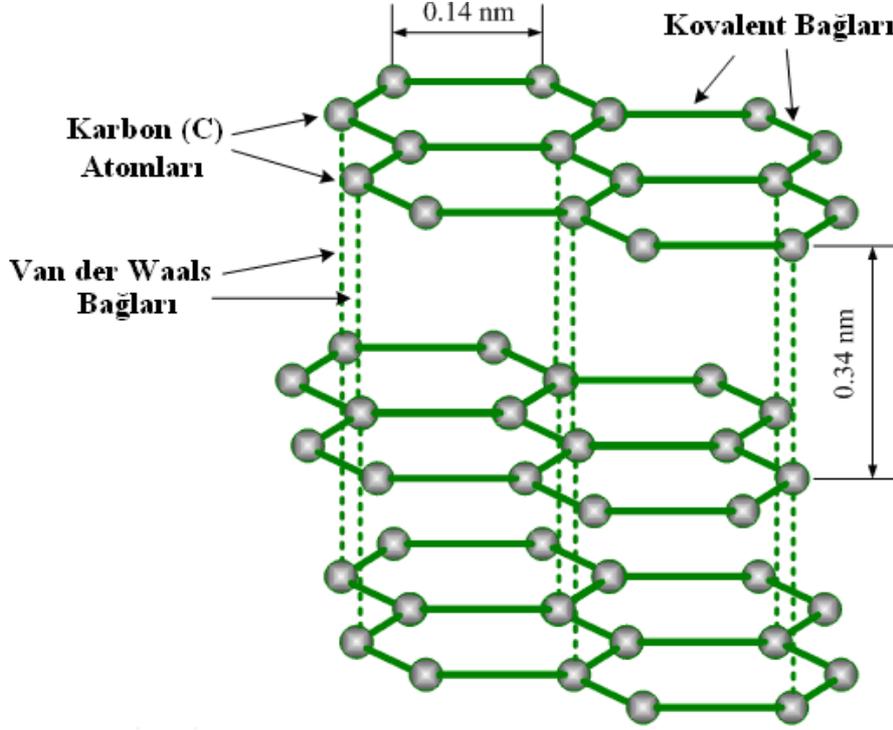
### 3.5. Tungsten

Tungsten, 1781 yılında Carl Wilhelm Scheele tarafından keşfedilmiştir. Tüm alaşımsız metaller arasında en yüksek erime noktasına sahip olan tungsten gerekli olduğu yerlerde ısı direncini, sertlik ve mukavemeti arttırmak için çelik alaşımlarına eklenmektedir [45].

Tungsten parlak beyaz bir metal olup saf halde (%100 saf iken) kolay bir şekilde işlenebilmektedir. Ancak genel olarak içermiş olduğu oksijen (O) ve karbon (C) elementleri nedeniyle günlük hayatta kullandığımız sert ve kırılğan tungsten (W) ortaya çıkmaktadır. Biliminsanları, onlarca yıl boyunca kırılğanlık sorununu ortadan kaldırmak için çalışmalar yürütmüşlerdir. Tungstenin sıradışı bir çok özelliği, yarısı dolu 5d elektron kabuğundan dolayı oluşan yüksek bağlanma enerjisi ile ortaya çıkmış hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki güçlü kovalent bağlar sonucudur. Bu özellikleri sebebiyle, tungsten ve tungsten alaşımları birçok uygulamada alternatifi olmayan malzemelerdir.



Resim 3.1’de Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) bağ yapısı gösterilmiştir.



**Resim 3.1.** Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) bağ yapısı

Avantajları;

- Yüksek ısı iletkenliğe sahip olması,
- Mükemmel yağlayıcılığa sahip olması,
- Üstün elektrik yalıtkanlığının olması,
- UV ışınlarını yansıtabilmesi,
- Zehirsiz olması,
- Yüksek sıcaklıklara dayanabiliyor olmasıdır.

Dezavantajları;

- Hekzagonal Bor Nitrür (hBN)’de çok güçlü düzlemsel bağları ile zayıf düzlemlerarası bağlara sahip olması nedeniyle yüksek anizotropiye sahip bir malzemedir. Isıl ve elektrik özellikleri a ve c yönlerinde farklılıklar göstermektedir.
- Tabakalar arası bağları zayıf olduğundan düzensiz tabakalaşması da çok kolay olmaktadır.. Gelişi güzel ve birbirine paralel veya dik yönde dizilmesi sonucunda

oluşan boşluklar kullanım anında malzemenin ısıl şok direncini artırmaktadır. Gözenekli yapısı, düşük elastisiyet modülü, yüksek ısıl iletkenliği ve ısıl genişleme özellikleri sebebiyle sıcak preslenmiş BN'ün ısıl şok dayanımı oldukça iyidir.

### 3.7. Potansiyostat / Galvanostat

Potansiyostatlar ve galvanostatlar, akü ve yakıt deposu elektrokimya, voltametri, korozyon kontrolü, biyomedikal araştırma, yüzey görüntüleme ve ilgili uygulamalarda kullanılan elektrokimyasal cihazlar olarak bilinmektedir.

Potansiyostatlar, bir referans elektrodu ile bir çalışma elektrodu arasındaki potansiyeli (voltaj) sabit bir değerde tutmak için kullanılmaktadır. Galvanostatlar ise bir elektrolitik hücre boyunca sabit bir akım akışını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

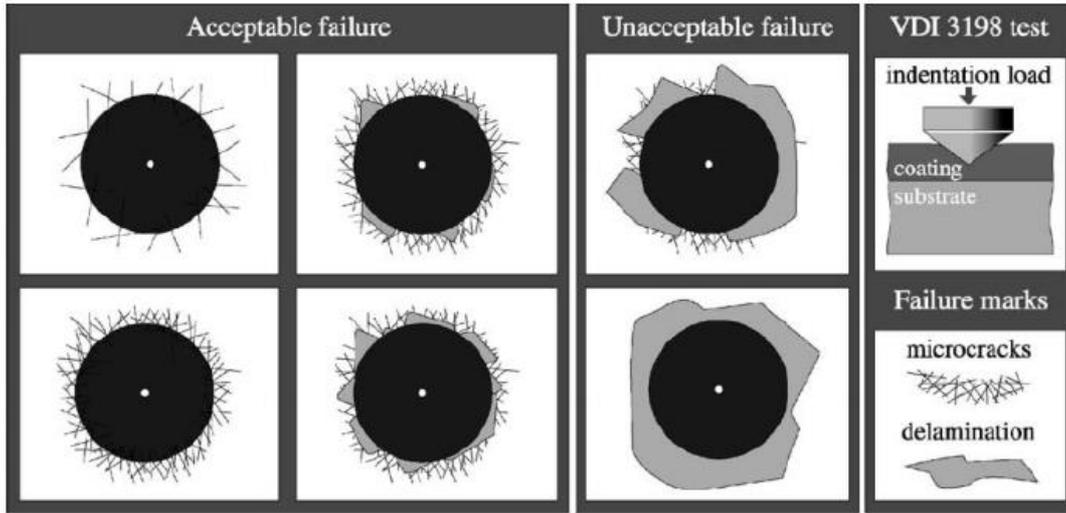
Potansiyostatlar sayesinde referans elektrottan gelen sinyal, giriş akımını güçlendiren fakat voltajı sabit tutan bir empedans transformatöründen beslenmektedir. Tampon, bir giriş direnci ile statik yüklerden korunurken bir kondansatör içsel gürültüyü azaltmaktadır. Potansiyostatlarda olduğu gibi, galvanostatlar da düşük geri beslemeli elektronik amplifikatörler olarak işlev görmektedir. Basit bir galvanostat, seri bağlanmış bir direnç ile sabit bir voltaj üretebilmektedir. Sabit bir akımın bir yük boyunca akışını zorlamak için, bu direncin yük direncinden görünür şekilde daha yüksek seviyelerde çalışıyor olması gerekir. Daha karmaşık bir galvanostat ise birkaç pikoamper (pA) ile birkaç amper (A) arasındaki sabit bir akımı besleyebilmektedir.[48]

### 3.8. Yapışma Testi

Nikel – Tungsten ve Ni-W/hBN kaplama sonrası oluşan ince film tabakası VDI 3198 normu ile Daimler Benz Rockwell-C testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Rocwell-C girinti testi 62,5 kg yük altında her numunenin üç farklı yerinden girinti testi uygulaması yapılmış olup, test sonuçları MMK Metalürji AŞ'nin mekanik test laboratuvarında Nikon-MA200 mikroskop altında görüntülenmiştir.

VDI 3198 normu Daimler Benz Rockwell-C yapışma testi prensibi Şekil-1'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere konik bir elmas uç kaplanmış yüzeye girinti uygulayarak kaplanmış yüzey ve alt tabakada plastik deformasyona neden olmaktadır.

Tüm girinti testlerinde olduğu gibi 1/10 kuralı bu testte de geçerli olup genel numune kalınlığı girinti derinliğinden 10 kat daha büyük olmalıdır [49]. Kaplanmış numune yüzeyi geleneksel optik mikroskop ile 600 büyütme ile görüntülenmiştir.



**Resim 3.2.** VDI 3198 girinti testi yapışma kalite sınıflandırması

Temas geometrisi, yoğun bir yük altında, ara yüz üzerinde aşırı kayma gerilmelerine neden olur. İyi yapışmış olan kaplamalar, bu yüklere dayanmayı başarır kayma gerilmeleri ve çevresel olarak uzatılmış delaminasyonu baskıya karşı önler. Resim 3.2’de sol tarafta görülmekte olan dört girinti yüzeyleri kabul edilebilir yapışmayı gösterirken, sağ tarafta görülmekte olan iki girinti ise kabul edilmeyen yapışmayı göstermektedir. Baskının çevresinde uzun süreli delaminasyon, zayıf bir ara yüzey yapışmasını göstermekte olup, radyal çatlaklar ve zayıf delaminasyon, güçlü bir şekilde yapışan kaplamayı ama aynı zamanda da kırılğan olan kaplamaları göstermektedir [49].

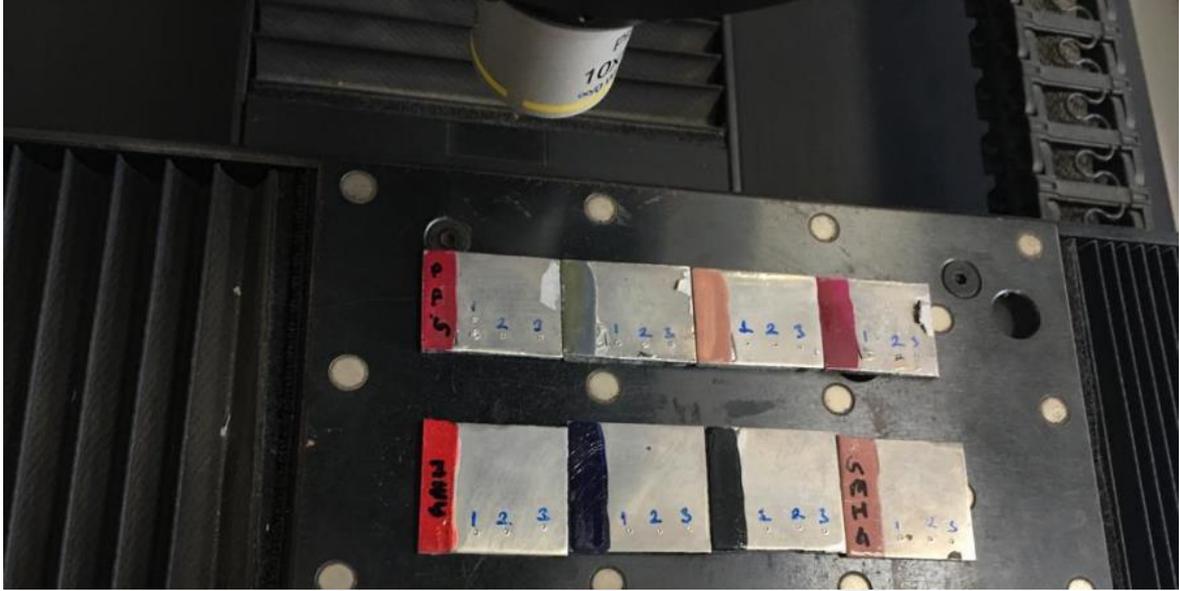
Çalışmada elektrodopolama yöntemi ile elde edilen Ni-W alaşım kaplamalar ve Ni-W/hBN kompozit kaplamalarının altlık üzerine yapışma özelliğini belirlemek için VDI 3198 standartlarına göre kaplamaların yapışma kalitesi ölçülmüştür. Kaplama yüzeyine uygulanan yükün yapışmaya olan etkisi MMK Metalurji A.Ş’de bulunan optik mikroskop altında görüntülenmiştir.

### 3.9. Mikrosertlik

Mikro-sertlik deneyleri kolay ve bir o kadar pratiktir. Bu sebeple tercih edilen mikroskobik boyutlardaki mesafelerin sertlik değişimlerini karşılaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle kesilebilirlik konusu üzerine incelemeler yapan araştırmacıların son dönemlerde mikro-sertlikle ilgili çalışmalar yaptıkları da bilinmektedir. [15], [16] Yüksek yüklemeler altında mikro-sertlik testinin en yaygın olarak kullanılan iki test yöntemi vardır. Bunlar; 1. Vickers sertlik testi (HV = Hardness of Vickers) 2. Knoop sertlik testi (HK= Hardness of Knoop) testleridir. Her iki test tipinde de mikro-sertlik değeri numune üzerinde oluşan çentiğe göre belirlenmekte ve sertlik değeri kgf/mm<sup>2</sup> (kgkuvvet/mm<sup>2</sup>) birimi ile ifade edilmektedir. Burada kilogram-kuvvet, kütlesi 1 kg olan bir cismin, standart ve yerçekimi altında uyguladığı kuvvetin adı olup kgf ya da genellikle sadece kg veya kilopound (kp) olarak da ifade edilmektedir. [50]. Mikro-sertlik testinin pratikte ki avantajlarının dışında ne yazık ki ölçümlerin standart olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bunun en önemli sebebi ölçümü yapan kişinin yapmış olduğu küçük miktarlardaki ölçüm hatalarıdır. Özellikle, seçilen düşük yüklemelerde oluşan görüntülerin köşegen (Knoop) ya da köşegenlerinin (Vickers) kısalmasından dolayı ölçüm sırasında yapılabilecek küçük hatalar yüzeysel olarak daha büyük sapmalara da sebep olmaktadır. Bu nedenle her testte mümkün olan en yüksek yük seçilmelidir [51]. Ayrıca neredeyse tüm malzemelerin mikro-sertlik değerlerinin makro-sertlik değerlerinden (Tek Eksenli Basma Dayanımı) yüksek olduğunu göz önünde bulundurmak ve mikro-sertlik değerinin malzemenin yüke bağlı olarak deformasyon sertleşmesine etkisiyle değişiklik gösterebildiğini bilmekte de fayda vardır [52].

Mikrosertlik ölçümü, malzemenin sertlik değerini belirlemek, mikro yapıları, malzeme karakteristiklerini ve mekanik özellikleri analiz etmek için kullanılır. Bu ölçüm, malzemenin mikro sertlik skalasına göre direncini ifade eder. Mikrosertlik, malzemenin yüzey sertliği, mukavemeti ve aşınma direnci hakkında bilgi sağlar.

Resim 3.3'de görüldüğü üzere ölçümler her numune için üstten ortadan aşağıdan olmak üzere üç farklı noktada dört numune için toplam 12 noktadan alınmıştır.



**Resim 3.3.** Mikrosertlik Ölçüm Yüzeyleri

Bu çalışmada Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Vickers sertlik ölçme yönteminde uzunlamasına kesişim açısı  $136^\circ$  ve her bir kenarının yatayla yapmış olduğu açı  $22^\circ$  olan elmas uç kullanılmıştır.

Deneyin temeline ve hesaplama formülünün de çıkış noktasına baktığımızda, Vickers sertlik (HV) değeri  $F=A$  olmak üzere  $F/A$  oranına bağlıdır. Burada  $A$  değeri;

$$A = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)} \quad (3.1)$$

formülünden türetilerek yaklaşık olarak,

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544} \quad (3.2)$$

Şeklinde sadeleştirilebilir. Burada  $d$  ortaya çıkan şeklin köşegenlerinin ortalama değerini ifade etmektedir. Böylelikle daha da sadeleştirilen formül en sonunda,

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544 F}{d^2} \quad (3.3)$$

şeklini alır. Buradaki  $F$  değeri  $\text{kgf}$  ve  $d^2$  ise  $\text{mm}^2$  birimine sahiptir.

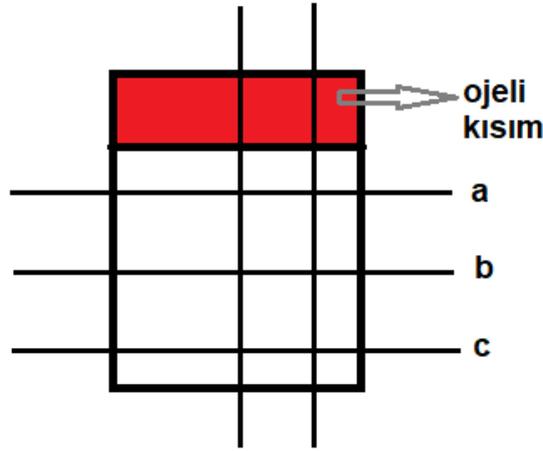
Bu çalışmada elde edilen numanelere  $0.2 \text{ HV}$  yük her nokta için  $5 \text{ sn}$  boyunca uygulanmıştır. Deneylerde NOKSEL Çelik Boru A.Ş de bulunan Qness sertlik ölçme

cihazı kullanılmıştır.

### 3.10. Yüzey Pürüzlülüğü

İşleyici takımın, işlenecek yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan birden çok çizikli ve düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarına pürüzlülük denmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazları yüzeyin profilini grafik olarak çizmektedirler. Yüzeyin uzun dalga boylarında olması, yüzey pürüzlülüğü ölçme parametrelerini de etkilemekte olup bu nedenle çok uzun dalga boylarının etkisi büyük önem arz etmektedir. Ra bütün ölçümlerin aritmetik ortalamasını, Rz en tepe nokta ile en derin nokta arasındaki farkı, Rt tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamını ifade ederken Rq aritmetik ortalama sapmaların karekökünü ifade eder. Standartlarda açıklanmış olan parametrelerden en önemli iki parametre Ra ve Rz'dir [53].

Resim 3.4'te numuneler üzerinden alınan yüzey pürüzlülüğü ölçüm noktaları verilmiştir.



**Resim 3.4.** Yüzey pürüzlülüğü ölçüm noktaları

2024 Alüminyum altlık üzerindeki Ni-W ve Ni-W/hBN ince film kaplamalarının yüzey pürüzlülükleri MMK Metalurji A.Ş'de bulunan Wave system Hommelweke T8000 marka Yüzey Pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Deney parametreleri olarak 0.10 mm/s hız 2 mm tarama uzunluğu ve 400µm ölçüm aralığı seçilmiştir.

### 3.11. X-Işını Kırınımı (XRD)

X-ışını kırınımı kaplamaların yapısal analizini ve karakterizasyonunu belirleyen bir yöntem olup, bu yöntem ile kaplama üzerine gönderilen X-ışını dalgaları kaplamanın atomik yüzeylerinden yansiyarak algılanması ve anlamlandırılması ilkesine dayanır. X-ışınlarının kristal ağdan saçılması Bragg yasası olarak adlandırılmaktadır. Bu yasaya göre kaplama yüzeyine  $\theta$  açısı ile X-ışını demeti göndererek X-ışınlarından birinin üst atomik tabakadan, diğerinin ise alt atomik tabakadan yansıdığı düşünülürse, ikinci ışının birinciye göre  $2a$  kadar daha fazla mesafe aldığı görülecektir. Sonuç olarak;  $2a$  mesafesi gelen X-ışınının dalga boyunun tam katlarına denk gelirse iki ışın da aynı fazda olur. Bilgisayar üzerinde  $2\theta$  grafiği çizildiğinde belirli açılara karşılık pikler elde edilmektedir. Her bir pik açısından Bragg eşitliği kullanılarak atomik düzlemler arası  $d$  mesafesi ve örgü sabitleri bulunabilir ve böylece malzeme üzerindeki fazlar tanımlanabilir. Bragg eşitliği Eş. 3.4'de verilmiştir.

$$2\alpha = n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.4)$$

Burada dalgaboyu sayısı  $n$ , düzlemler arası mesafe  $d$ , gelen X-ışını ile kristal düzlem arasındaki açı  $\theta$  ve dalgaboyu  $\lambda$ 'dır.

2024 Alüminyum yüzeyinde oluşan Nikel-Tungsten fazlarının varlığı Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi'nde bulunan bilgisayar kontrollü bir RIGAKU Smart Lab™ cihazı kullanılarak X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile tespit edilmiştir.

### 3.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden elektron mikroskobu tipine Taramalı elektron mikroskobu veya SEM (scanning electron microscope) denir. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyi üzerindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretmektedir. Elektron demeti raster tarama ile yüzeyi tarayıp elektron demetinin konumunu algılanan sinyal ile eşleştirilerek görüntü oluşturur. SEM ile 1 nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşılabilmektedir. Standart SEM cihazları yüksek vakumda, kuru ve iletken

yüzeyleri incelemek için uygun olup, düşük vakumda ise nemli koşullarda (çevresel taramalı elektron mikroskobu), çok düşük sıcaklıklar ile yüksek sıcaklıklar arasında değişen koşullarda çalışabilen özelleşmiş olan cihazlar da mevcuttur.

SEM'de görüntüyü oluşturmak için en çok, elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarının yaymış olduğu ikincil elektronlardan (SE) faydalanılır. Numunenin farklı bölgelerinden kopmuş olan ikincil elektronların sayısındaki değişim öncelikle elektron demetinin yüzeye buluşma açısına, yani yüzeyin topografisine bağlıdır. İkincil elektronların yanında geri saçılan elektronlar (BSE), ışık (elektron demeti) (CL), karakteristik X-ışınları, numune akımı ve aktarılan elektronlar ile de numuneden çeşitli sinyaller elde ederek amaca uygun topografi ve kompozisyon analizleri yapar.

Ni-W ve Ni-W/hBN ince film kaplamalı numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri İskenderun Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında yer alan Ultra Kuru EDS Dedektörlü Thermo Scientific Apreo S SEM cihazı kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) elektronların malzeme yüzeyine gönderilmesiyle elektron demetinin incelenen malzeme yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşimler sonucu ile toplanan sinyallerden oluşmaktadır.

### **3.13. Korozyon**

Kaplamaların korozyona karşı performansları açık devre potansiyeli (OCP) ve Tafel ekstraspolasyon (potansiyodinamik polarizasyon eğrisi) yöntemleri ile analiz edilmiş olup bütün korozyon deneyleri %3,5 sodyum klorür (NaCl) sulu çözeltisi içerisinde uygulanmıştır.

Yapılan bu çalışmada elektrodpozisyon yöntemi kullanılarak kaplama yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle kaplama yapılacak olan 2024 Al malzeme 2,5-2 cm olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen 2024 Al malzemeler kaplama yüzeyinde kesimden kalan pürüzlü yüzey ve ince parçacıkların giderilmesi adına P 400 ile P1200 zımpara kağıtları ile birer dakika olacak şekilde zımparalanmış olup yüzey parlatılmıştır. Yüzey üzerindeki metal tozları önce alkol ile daha sonra da saf su ile temizlenmiştir. Daha sonra metal yüzeyi

aseton ile yıkanmış tekrar saf su ile temizlenmiştir. Son olarak temizlenmiş olan 2024 Al malzeme HCl asit içerisinde 10 s daldırılarak dağlanmış ve saf su ile temizlenmiştir. Böylelikle kaplama yapılacak yüzey kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir. Kaplama yapılacak yüzeyin üst kısmı 0,5 cm olacak şekilde oje ile kapatılmış olup daha sonra Ni-W banyosu içerisinde daldırılarak elektrodopolama yöntemi ile kaplanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında ve 3 elektrotlu klasik sistemde yapılmıştır. Elektrokimyasal korozyon hücresinin tamamlayıcısı referans elektrot (RE) olarak Ag/AgCl karşıt elektrot olarak ve çalışma elektrotu (WE) olacak şekilde deney numunelerine tanımlanmıştır.

Kaplamaların içerisinde eklenen katkı maddeleri ve seramik partikülleri malzeme yüzeyinde değişiklikler yapmaktadır. Ni-W ve Ni-W/hBN ince film kaplamalı numunelerin korozyon testleri açık devre potansiyeli (OCP) ve Tafel Ekstrapolasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada OCP deneyleri ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde 3600 s olarak yapılmış ve zamanın bir fonksiyonu olarak grafiğe alınmıştır. Tafel ekstrapolasyon deneyi, numunelerden ölçülen serbest korozyon negatifinden ve pozitifinden 250 mV daha büyük seçilerek 0.001 mV/s hızla polarizasyon çalışmaları yapılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamaları

2024 Alüminyum altlık üzerine yapılmış Ni-W alaşım kaplamalar Elektrodepolama yöntemi kullanılarak ve banyo suyu değiştirilmeden ve Çizelge 4.1 de görülen bileşenler kullanılarak 4 ayrı numune elde edilmiştir. Her numune sırasıyla ard arda aynı banyo içerisine ortam koşulları değiştirilmeden daldırılmıştır. Banyo suyunun değiştirilmemesindeki amaç aynı banyo içerisinden elde edilecek farklı kaplamaların sertlik, pürüzlülük ve korozyon özelliklerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Aynı zamanda birden fazla kullanılan banyolardan elde edilebilecek kaplamalarla çevre kirliliğinin önüne de geçilmesi de amaçlanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W banyo bileşenleri

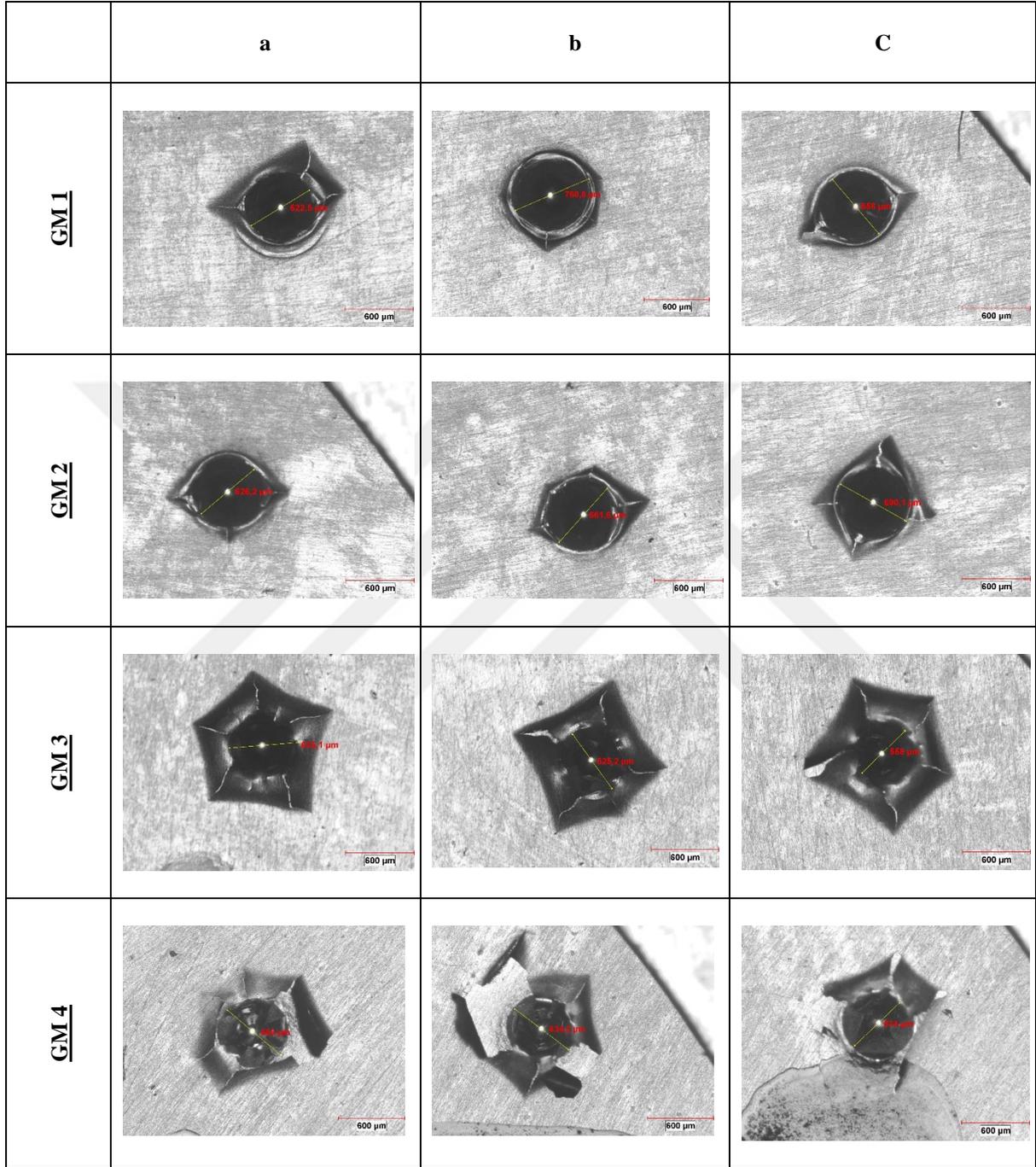
Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W kaplama bileşenleri (GM)		
Bileşen	Bileşen adı	Kullanılan Miktar
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Nikel Sülfat	9,28 g/l
$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Trisodyum Sitrat	45 g/l
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	Sodyum Tungstant	41,13 g/l
$NH_4Cl$	Amonyum Klorür	26,74 g/l
$NaBr$	Sodyum Bromür	15,45 g/l
$NaOH$	Sodyum Hidroksit	40 g/mol
hBN	Hekzagonal Bor Nitrür	- g/l
SDS	Sodyum Dedosil Sülfat	- g/l
PEG	Poly Ethilen Glikol	- g/l

#### **4.1.1. Tek bir banyodan elde edilmiş Ni-W alaşım kaplamalarının mekanik özelliklerinin incelenmesi**

Ni-W banyosunda dört ayrı numune aynı banyo içerisinde banyo suyu değiştirilmeden kaplanmıştır. Altlık malzemesi olarak kullanılan 2024 alüminyum malzeme üzerine kaplanmış ince filmin yapışma kalitesine etkisi VDI 3198 normu Rocwell-C girinti testi kullanılmıştır. Yapışma testinin Şekil 4.1’de Optik mikroskop ile görüntüleri ve Şekil 4.2’de ise SEM görüntülerinin incelenmesi gösterilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2’de de görüldüğü üzere 1. ve 2. Numuneneler de yapılmış olan girinti testlerinin optik mikroskop ve SEM ile incelenmesi sonucunda yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 3. ve 4. Numunelere göre daha az olduğu dolayısı ile 1 ve 2. Numunelerde yapışmanın 3. ve 4. Numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir.

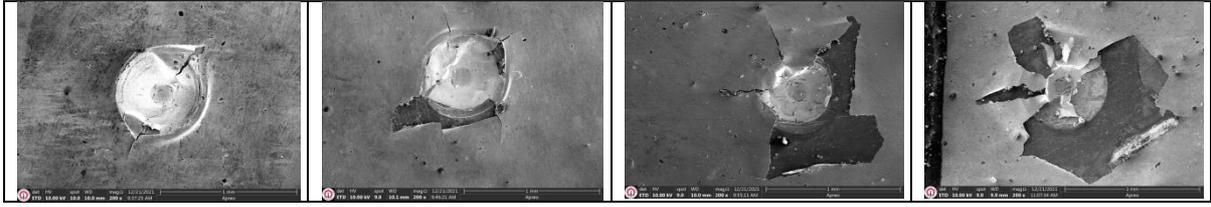
Kaplama işlemi sırasında, tungsten (W) atomlarının bir kısmı, nikel (Ni) atomları ile birlikte kaplamaya dahil edilir. Bununla birlikte, zamanla, W içeren bileşiklerin oluşumu, sürüklenme kayıpları ve W'nin anotlar üzerinde elektrodpozisyon gibi çeşitli faktörler nedeniyle banyodaki W konsantrasyonu azalır. Bu, banyodan biriken kaplamadaki W içeriğinin azalmasına neden olabilir. [54], [55]

Geçiş bağlamında, banyo suyunu değiştirmeden numunelerin aynı Ni-W banyosuna art arda daldırılması, banyodaki W'nin tükenmesi nedeniyle numuneler üzerinde biriken kaplamadaki W içeriğinin azalmasına neden olabilir. Bu, 3. ve 4. numunenin kıyasla 1. ve 2. numunede gözlenen daha düşük plastik deformasyonu ancak daha yüksek yapışmayı açıklayabilir, çünkü numuneler W konsantrasyonu nispeten daha yüksekken daha önce banyoya daldırılmıştır.



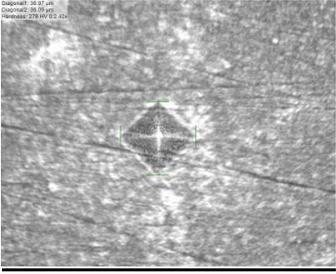
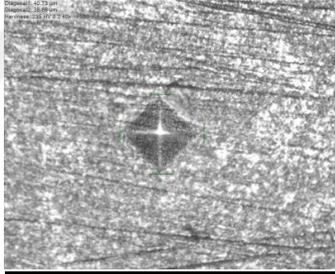
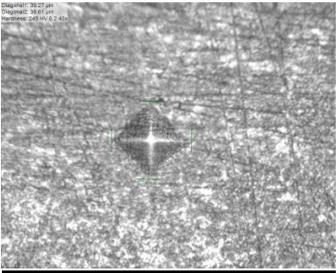
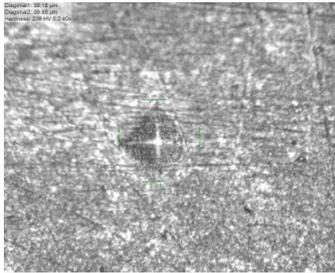
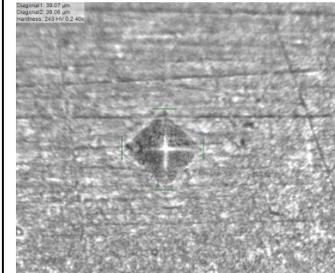
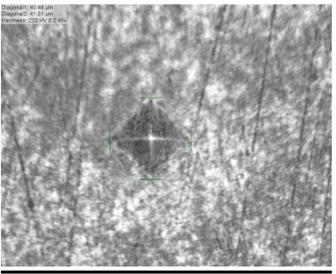
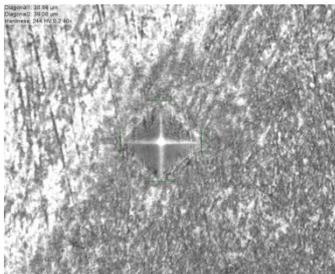
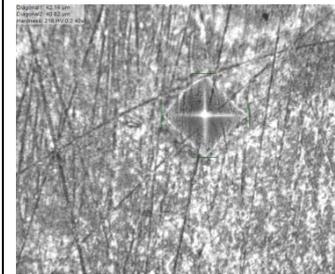
**Şekil 4.1.** Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri

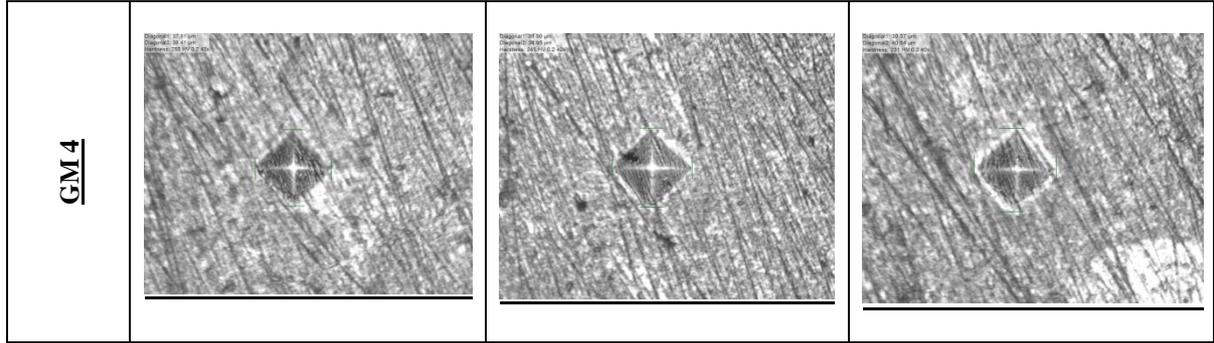
GM1	GM2	GM3	GM4
-----	-----	-----	-----



**Şekil 4.2.** Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin SEM görüntüleri

Şekil 4.3 ve Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere en yüksek sertlik değeri 1 numaralı numunenin a noktasındadır. Bu noktada Ni-W banyosundaki W yoğunluğunun diğer noktalara göre daha çok olduğunu bu yüzden de sertliğin daha çok olduğunu ve daldırma sayısı arttıkça sertliğinde W miktarına bağlı olarak değiştiğini söyleyebiliriz. [56]

	a	b	c
<b>GM 1</b>			
<b>GM 2</b>			
<b>GM 3</b>			

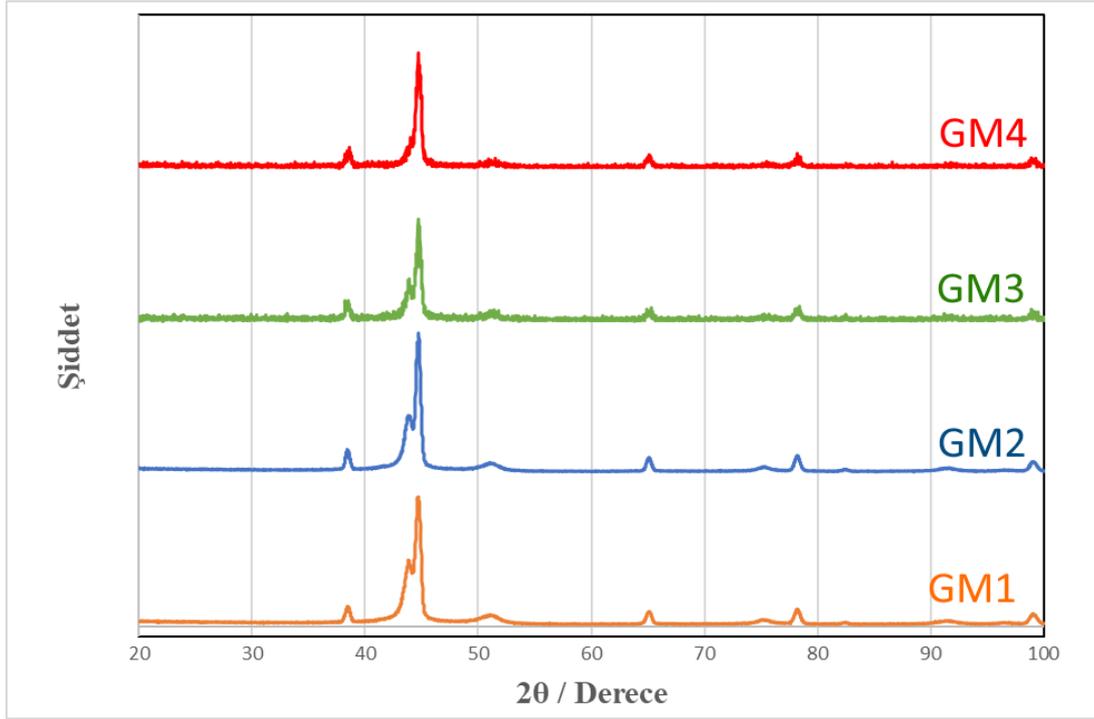


**Şekil 4.3** Aynı Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri

**Çizelge 4.2** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan elde edilmiş olan 4 numunenin Mikrosertlik değerleri

Numune İsmi	GM1	GM2	GM3	GM4
Ortalama Sertlik	251±19	242±3	227±12	243±10

Şekil 4.4'te Ni-W alaşım kaplamalarının X-Işınım kırınım desenleri verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, tek bir banyodan elde edilen 4 farklı numune içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum ile bir banyodan birden fazla numune elde edilmesine rağmen, banyonun işlevselliğini devam ettirdiğini ve alaşım kaplamayı biriktirme istikrarını gösterdiğini açıklamaktadır. Kırınım desenlerinin sunduğu tepe noktaları ve elde edilen grafiklerin eşleştirilmesi sonucunda Ni<sub>17</sub>W<sub>3</sub> alaşımının tepe noktaları olan  $2\theta = 44,71^\circ$ ,  $51,45^\circ$  ve  $78,16^\circ$  açılarak denk geldiği görülmektedir. Bu açılara denk gelen düzlemler sırasıyla (111), (200) ve (220)'dir. Elde edilen bu yapılar literatür ile uyum göstermektedir. [22], [24]



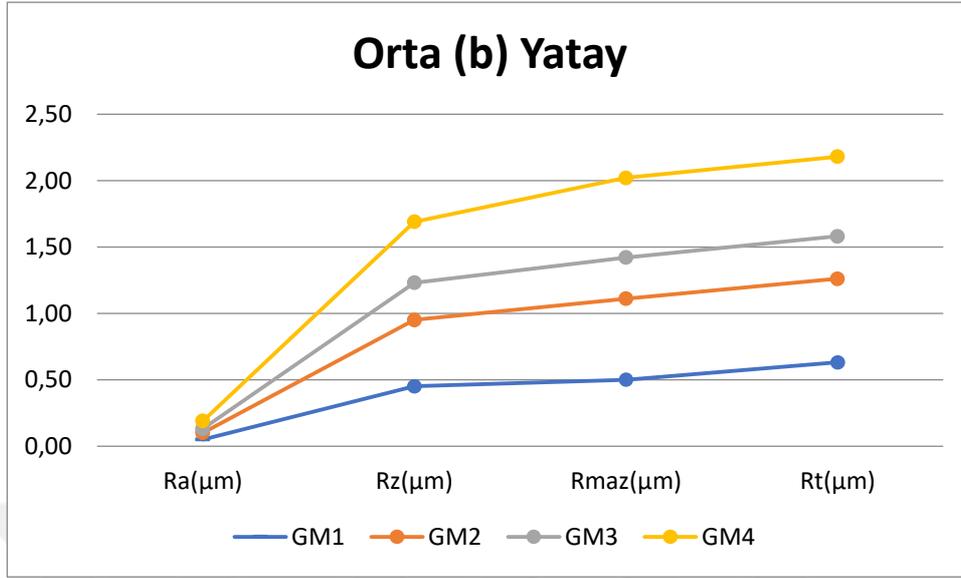
**Şekil 4.4** Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları

#### 4.1.2. Tek bir banyodan elde edilmiş ni-w alaşım kaplamalarının yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması GM2>GM4>GM1>GM3 şeklindedir. Görüldüğü üzere birinci ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ikinci ve dördüncü numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür.

**Çizelge 4.3** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri

	Ra(µm)	Rz(µm)	Rmaz(µm)	Rt(µm)
<b>GM1</b>	0,05	0,45	0,50	0,63
<b>GM2</b>	0,05	0,50	0,61	0,63
<b>GM3</b>	0,03	0,28	0,31	0,32
<b>GM4</b>	0,06	0,46	0,60	0,60

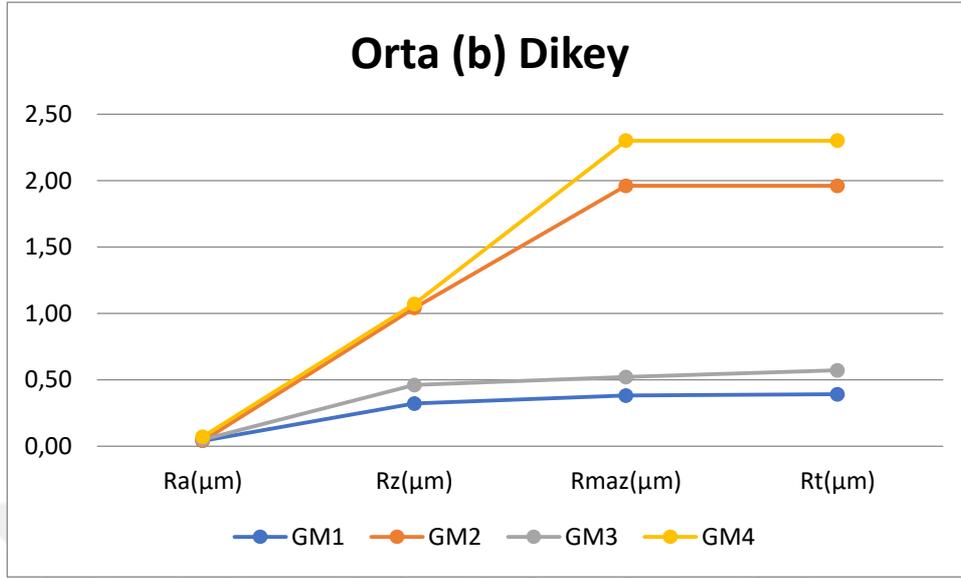


**Şekil 4.5** Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri

Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyinden alınmış değerleri Çizelge 4.4, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması GM4>GM2>GM3>GM1 şeklindedir. Görüldüğü üzere birinci ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ikinci ve dördüncü numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Dolayısı ile numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre birinci ve üçüncü numunelerin pürüzlülük değeri ikinci ve dördüncü numunelere göre daha iyidir.

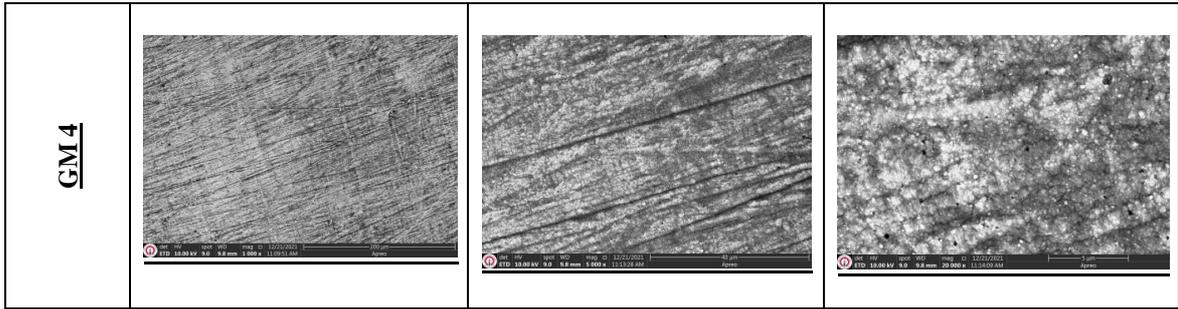
**Çizelge 4.4** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri

	Ra(μm)	Rz(μm)	Rmaz(μm)	Rt(μm)
<b>GM1</b>	0,04	0,32	0,38	0,39
<b>GM2</b>	0,04	1,04	1,96	1,96
<b>GM3</b>	0,05	0,46	0,52	0,57
<b>GM4</b>	0,07	1,07	2,30	2,30



**Şekil 4.6** Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri

	<u>1000 X</u>	<u>5000 X</u>	<u>20000 X</u>
<u>GM 1</u>			
<u>GM 2</u>			
<u>GM 3</u>			

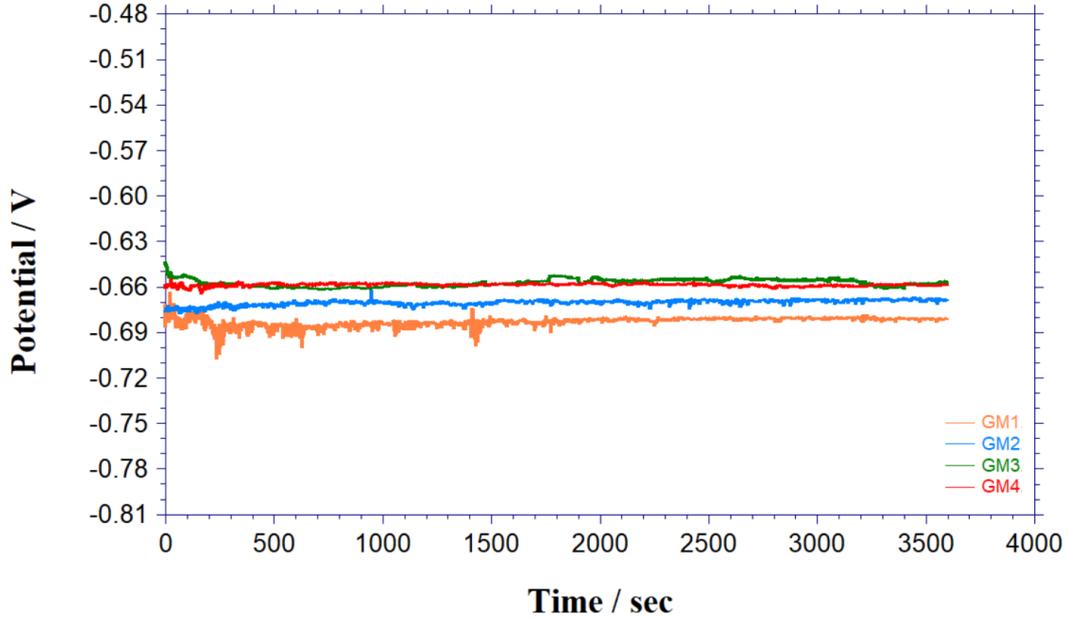


**Şekil 4.7** Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin yüzey SEM görüntüleri

#### 4.1.3. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelemesi

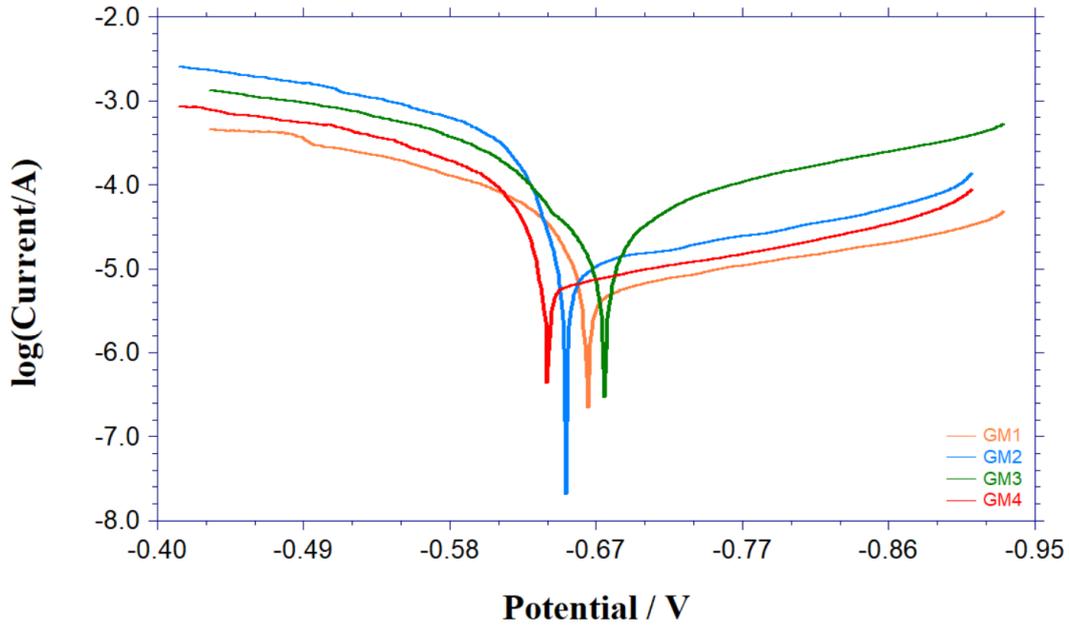
Tek bir banyodan elde edilmiş olan dört ayrı numunenin OCP eğrileri Şekil 4.8’de verilmiştir. OCP eğrileri ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde kararlı bir potansiyel değerleri elde edebilmek için 3600 s boyunca analiz edilmiş olup iyonik bir çözeltide kaydedilen OCP potansiyeli katodik ve anodik reaksiyonların bir denge potansiyelidir. Yani çözelti ortamı için yükseltgenme ve indirgenme aktivitelerini göstermektedir.. Eğer çözelti ortamı korozif bir özellikte ise kaydedilen bu OCP potansiyeli korozyon potansiyeli olarak kabul edilebilir. Birbirleri ile karşılaştırılan kaplamaların açık devre potansiyelleri açısından daha pozitif tarafta olanların daha negatif tarafta olanlara göre korozyona karşı daha dirençli oldukları söylenebilir [57].

Şekil 4.1.3.1 incelendiğinde tüm numunelerin korozyon potansiyelleri birbirine oldukça yakın bir şekilde sıralanmıştır. Dört numunenin korozyon potansiyelleri yalnızca -0,64 V ile -0,69 V arasında yer almıştır. 3. ve 4. banyodan elde edilen numunelerin daha iyi korozyon direnci verdiği görülmektedir. Grafikte sifıra en **uzak olan birinci** banyodan elde edilen numunenin en düşük korozyon direnci verdiği anlaşılmaktadır. Bir banyodan birden çok defa kaplama yapılması, kaplama özelliklerini kaybetmesinden ziyade kaplamanın korozyon direncini daha iyi konuma getirdiğini göstermektedir.



**Şekil 4.8** Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin OCP eğrileri

Tafel deneyleri açık devre potansiyelinin 0,25 V altı ile 0,25 V üstüne kadar olan potansiyel aralığında 1 mV/s tarama hızı ve %3,5 NaCl içeren çözelti içerisinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler Tafel ölçümü yapılmadan önce dengeli bir potansiyel değeri elde edebilmek için %3,5 NaCl içeren çözelti içerisinde bir saat süre ile bekletilmiştir. Şekil 4.9'da aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri, Çizelge 4.5'te Ni-W kaplamaların elektrokimyasal özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.9 Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri

Çizelge 4.5 Ni-W kaplamaların elektrokimyasal özellikleri

	<b>E<sub>corr</sub> (mV)</b>	<b>Korozyon Oranı (mil/yıl)</b>
<b>GM1</b>	-669	20,94
<b>GM2</b>	-655	37,66
<b>GM3</b>	-679	22,97
<b>GM4</b>	-643	34,86

Şekil 4.9. ve Çizelge 4.5. incelendiğinde en iyi korozyon direncini 1 numaralı numune vermiştir.

#### 4.2. Poly Ethilen Glikol (PEG) Miktarı Değiştirilerek Kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamaları

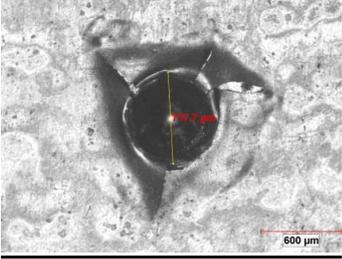
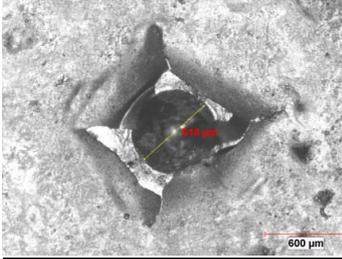
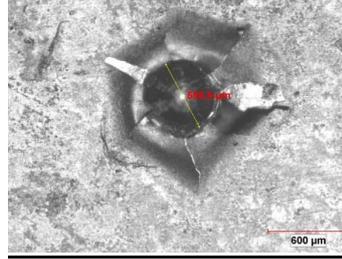
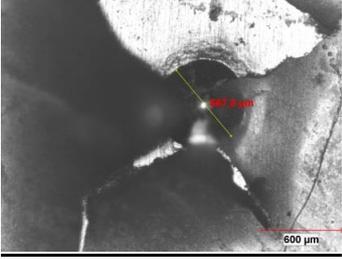
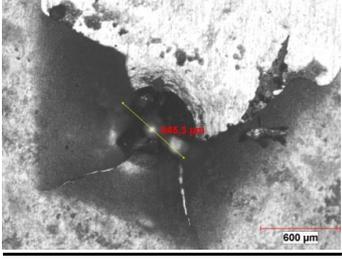
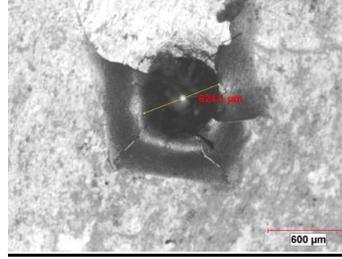
2024 Alüminyum altlık üzerine yapılmış Ni-W alaşımlı kaplamalar Elektrodolama yöntemi kullanılarak ve Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek ( 0,6 g/l – 0,8 g/l – 1,0 g/l ve 2,0 g/l) 4 ayrı numune çekilerek elde edilmiştir. Poly Ethilen Glikol Miktarı (PEG) miktarı artırıldıkça mekanik, yapışma, ve korozyon özelliklerinin iyileştiği de görölmektedir. Poly Ethilen Glikol (PEG), kaplama malzemelerinin çökeltme işlemini kontrol etmek için kullanılan bir katkı maddesidir. PEG, depolama ortamına eklenerek kaplama malzemelerinin daha düzenli bir şekilde çökeltmesini sağlar. Bu sayede kaplama kalitesi ve özellikleri de artar. [58], [59]

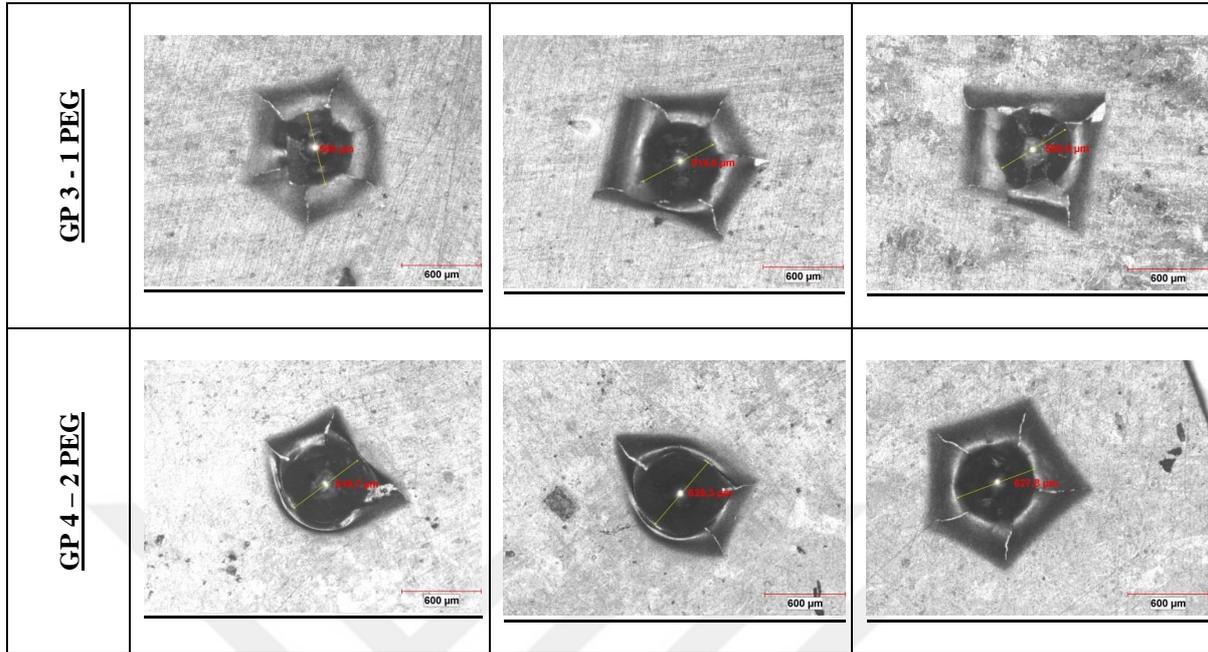
**Çizelge 4.6** Farklı miktarda Poly Ethilen Glikol (PEG) eklenen Ni-W banyo bileşenleri

<b>Banyo içerisine eklenen farklı miktardaki PEG ile elde edilen Ni-W kaplaması (GP)</b>		
<b>Bileşen</b>	<b>Bileşen adı</b>	<b>Kullanılan Miktar</b>
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Nikel Sülfat	9,28 g/l
$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Trisodyum Sitrata	45 g/l
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	Sodyum Tungstant	41,13 g/l
$NH_4Cl$	Amonyum Klorür	26,74 g/l
$NaBr$	Sodyum Bromür	15,45 g/l
$NaOH$	Sodyum Hidroksit	40 g/mol
hBN	Hekzagonal Bor Nitrür	- g/l
SDS	Sodyum Dedosil Sülfat	- g/l
PEG	Poly Ethilen Glikol	0,6 – 0,8 – 1,0 – 2,0 g/l

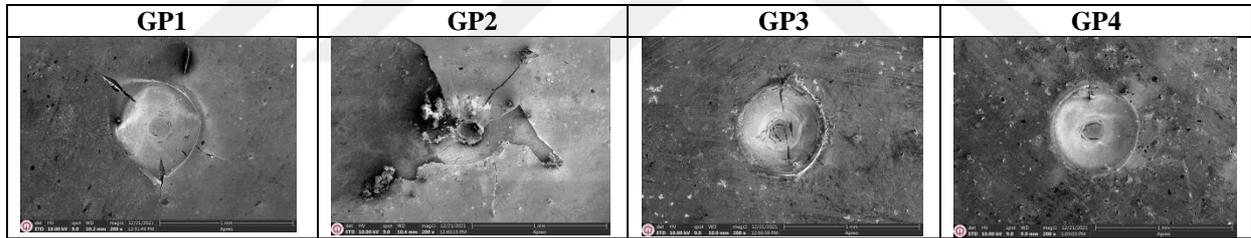
#### 4.2.1. Poly Ethilen Glikol (PEG) Miktarı Değiştirilerek Kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan dört ayrı numune kaplanmış olup altlık malzemesi olarak kullanılan 2024 alüminyum malzeme üzerine kaplanmış ince filmin yapışma kalitesine etkisi VDI 3198 normu Rocwell-C girinti testi kullanılmıştır. Yapışma testinin Şekil 4.10'da Optik mikroskop ile görüntüleri ve Şekil 4.11'de ise SEM görüntülerinin incelenmesi gösterilmiştir. 3. ve 4. Numuneler de yapılmış olan girinti testlerinin optik mikroskop ve SEM ile incelenmesi sonucunda yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 1. ve 2. Numunelere göre daha az olduğu dolayısı ile 3. ve 4. Numunelerde yapışmanın 1. ve 2. Numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir. 3. Ve 4. Numunelerin 1. Ve 2. Numunelere göre plastik deformasyonun daha az yapışmanın ise daha fazla olmasının nedeni Ni-W banyosu içerisindeki PEG miktarının artmasının yapışmaya olan etkisi gösterilebilir. Çünkü polietilen glikol (PEG) kaplama malzemelerinin daha düzenli bir şekilde çökmesini sağlamaktadır. PEG, kaplama malzemeleri arasındaki boşlukları doldurarak kaplama malzemelerinin altlık malzemesine daha sıkı bir şekilde yapışmasını sağlar. Bu nedenle PEG tanecikleri, kaplama malzemelerinin altlık malzemesine daha iyi bir şekilde yapışmasını sağlar. [60]–[62]

	a	b	c
<b>GP1 - 0.6 PEG</b>			
<b>GP2 - 0.8 PEG</b>			



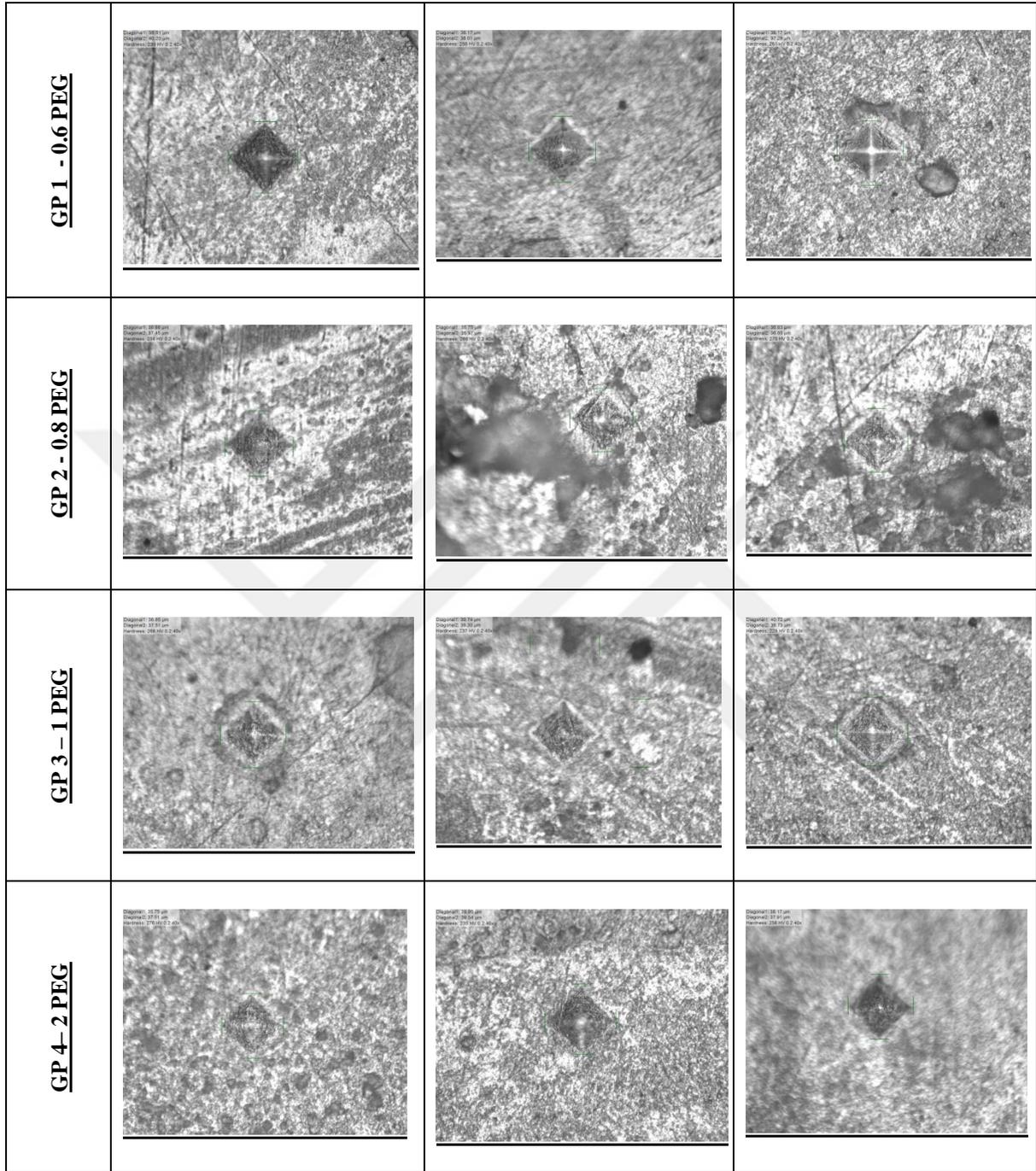
**Şekil 4.10** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri



**Şekil 4.11** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri

Şekil 4.12 ve Çizelge 4.7 de görüldüğü üzere en yüksek sertlik değeri 4 numaralı numunenin a noktasındadır. Bu noktada Ni-W banyosundaki W ve PEG yoğunluğunun diğer noktalara göre daha çok olduğunu bu yüzden de sertliğin daha çok olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Ni-W banyosu içerisindeki PEG miktarı arttıkça kaplama malzemeleri daha düzenli bir şekilde çökme yaptığından sertlik ve yapışmanın da 4 numaralı numunede daha iyi olduğu da görülmektedir. [63], [64]

a	b	c
---	---	---

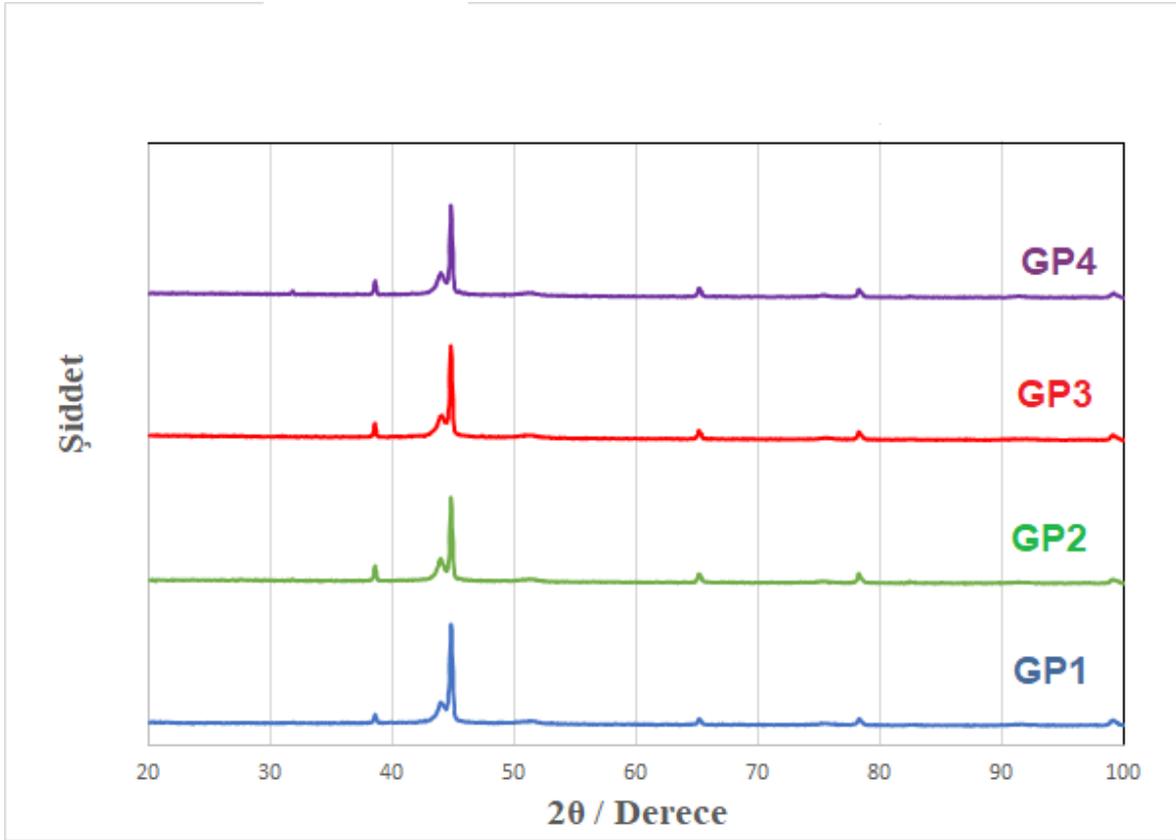


**Şekil 4.12** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Mikrosertlik görüntüleri

**Çizelge 4.7** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri

Numune İsmi	GP1	GP2	GP3	GP4
Ortalama Sertlik	252±2	273±3	244±6	255±6

Şekil 4.13’de kırınım desenlerinin tepe noktaları ve elde edilen grafikler eşleştirildiğinde Ni17W3 alaşımının tepe noktaları olan  $2\theta = 38,29^\circ$ ,  $43,68^\circ$ ,  $64,13^\circ$  ve  $78,03^\circ$  açılarak denk geldiği ayrıca 4 numaralı numunede ek olarak  $2\theta = 31,53^\circ$  de de açılma olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değerler literatür ile uyumludur. [65], [66]



Şekil 4.13 Poly ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları

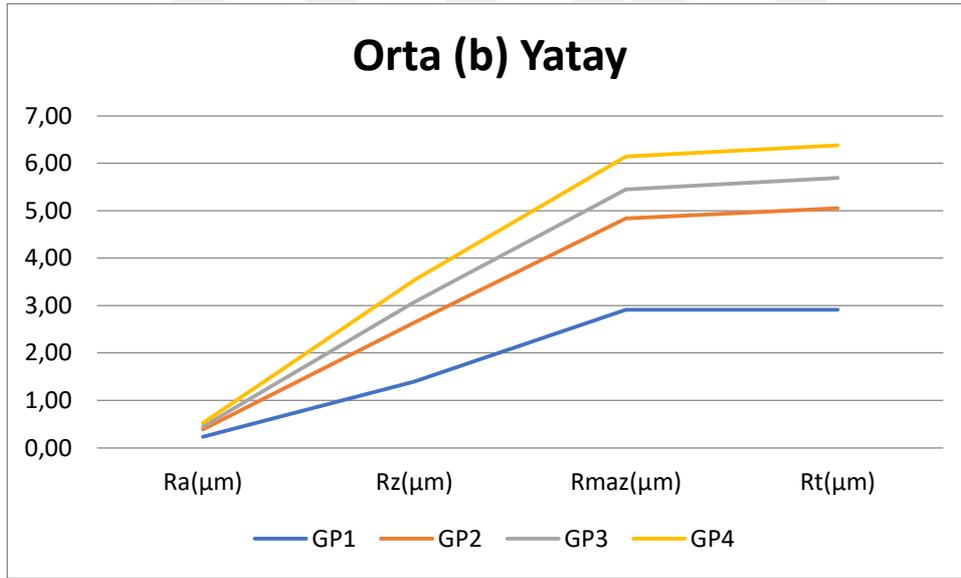
#### 4.2.2. Poly Ethilen Glikol (PEG) Miktarı Değiştirilerek Kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyinden alınmış değerleri Çizelge 4.8 ve Şekil 4.13’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması  $GP4 > GP3 > GP2 > GP1$  şeklindedir. Görüldüğü üzere dördüncü ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ikinci ve

birinci numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Bu durum PEG tüketiminle kaplama malzemelerinin daha düzgün bir şekilde çökmesinin sağlanmasıyla orantılıdır. Daha düzgün bir kaplama yüzeyi, daha az pürüzlülük ve daha homojen bir yapıya sahiptir.

**Çizelge 4.8** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rmaz( $\mu\text{m}$ )	Rt( $\mu\text{m}$ )
<b>GP1</b>	0,23	1,40	2,91	2,91
<b>GP2</b>	0,16	1,24	1,93	2,14
<b>GP3</b>	0,06	0,43	0,61	0,64
<b>GP4</b>	0,07	0,47	0,69	0,69



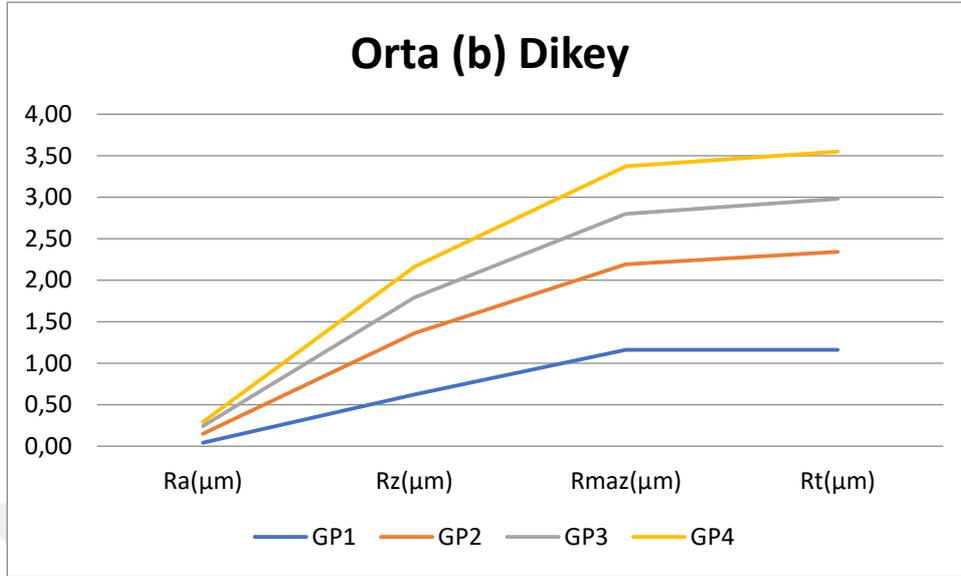
**Şekil 4.13** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi

Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyinden alınmış değerleri Çizelge 4.9, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması GP4>GP3>GP2>GP1 şeklindedir. Görüldüğü üzere dördüncü ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri

ikinci ve birinci numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Dolayısı ile numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre dördüncü ve üçüncü numunelerin pürüzlülük değeri ikinci ve birinci numunelere göre daha iyidir. Poli etilen glikol (PEG) tüketiminin tamamını, kaplama malzemelerinin daha düzenli bir şekilde çökmesini sağlar. Bu düzenli çökme, daha az pürüzlü bir yüzeyin oluşmasına neden olur. PEG, kaplama malzemelerinin alt malzemesine daha iyi yapışmasını sağlayarak kaplama daha pürüzsüz hale gelir. Ayrıca, PEG ortamın unsurlarıyla kaplama malzemelerinin daha homojen bir yapıya sahip olması da sağlanır. Bu da daha az pürüzlü bir yüzey elde etmeye yardımcı olur. Sonuç olarak, PEG tanecikleri kaplanan yüzeyin pürüzlülüğünü azaltan ve daha homojen bir yapıya sahip bir yüzey oluşturmaktadır. [67], [68]

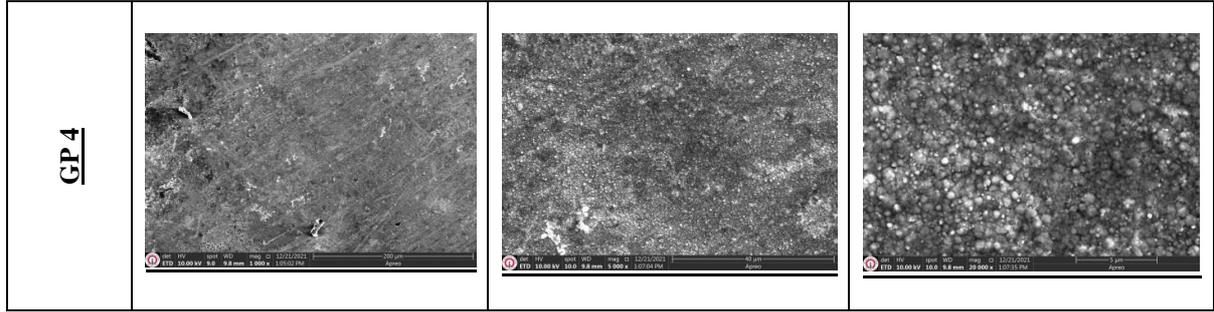
**Çizelge 4.9** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	<b>Ra(μm)</b>	<b>Rz(μm)</b>	<b>Rmaz(μm)</b>	<b>Rt(μm)</b>
<b>GP1</b>	0,04	0,62	1,16	1,16
<b>GP2</b>	0,11	0,74	1,03	1,18
<b>GP3</b>	0,09	0,57	0,88	0,88
<b>GP4</b>	0,05	0,37	0,57	0,57



**Şekil 4.14** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi

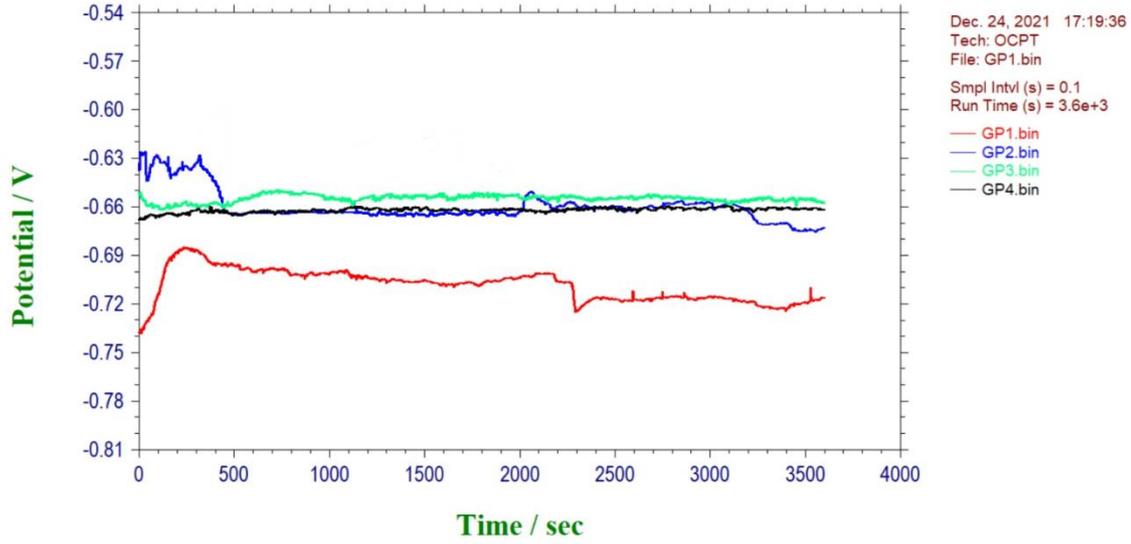
	<u>1000 X</u>	<u>5000 X</u>	<u>20000 X</u>
<u>GP1</u>			
<u>GP2</u>			
<u>GP3</u>			



**Şekil 4.15** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin yüzey SEM görüntüleri

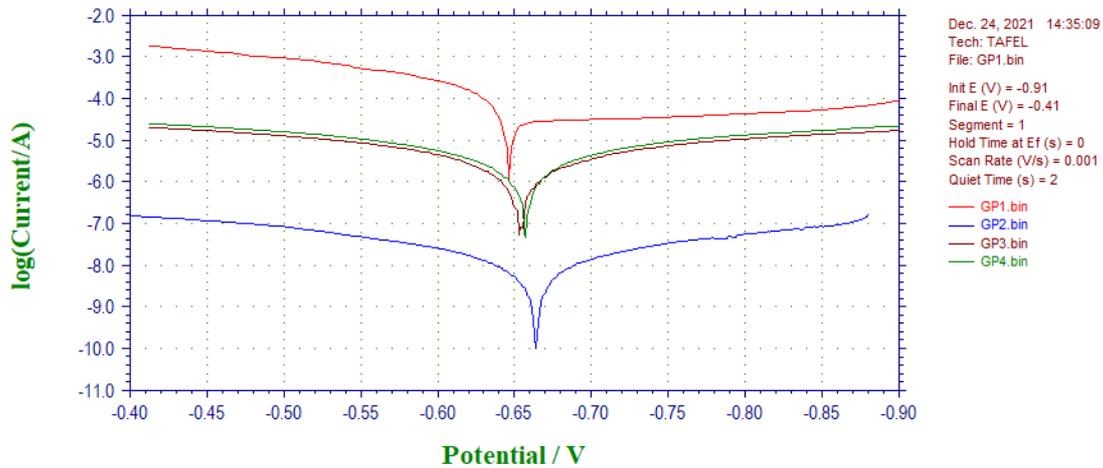
#### **4.2.3. Poly Ethilen Glikol (PEG) Miktarı Değiştirilerek Kaplanmış Ni-W Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelenmesi**

3600 s boyunca kütlece %3,5 NaCl çözeltisinde Poly Ethilen Glikol (PEG) ilaveli Ni-W kaplamalarının açık devre potansiyelleri (OCP) değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Ni-W banyosunda her numune için aynı içerikteki farklı banyolar içerisine PEG miktarı değiştirilerek ( 0,6 – 0,8 – 1,0 ve 2,0 g/l) elde edilmiş 4 ayrı numunenin Açık devre potansiyeli grafiğini göstermektedir. Dört numunenin korozyon potansiyelleri -0,63 V ile -0,74 V arasında yer almıştır.en düşük korozyon direncini 1. numune göstermiş olup, önce yüzey üzerinde tabaka oturarak korozyona karşı direnç gösterdiği daha sonra ise belirli bir süre stabil kaldığı görülmüştür. 2. numunede ise başlarda korozyona karşı olan direncin düştüğü ve sonrasında da stabil hale geldiği görülmektedir. 3. ve 4. numunenin diğer iki numuneye kıyasla daha stabil ilerlediği dolayısıyla daha korozif olduğu görülmektedir. PEG miktarının artırılması ile banyo içerisindeki bileşenlerin daha düzenli olarak çöktüğü ve böylelikle yapışmanın daha iyi aynı zamanda korozyona karşı da daha dirençli numuneler elde edildiği tespit edilmiştir.



**Şekil 4.16** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin OCP değerleri

2024 Alüminyum altlık malzeme üzerine Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek elde edilen kaplamaların korozyon davranışları %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde incelenmiştir. Şekil 4.17’de TAFEL eğrileri, Çizelge 4.17’de korozyon akımları ve korozyon oranları verilmiştir. Şekil 4.17 ve Çizelge 4.17’ye göre PEG miktarı değiştirilerek elde edilen kaplamalar arasında 2 g/l PEG miktarına sahip olan 4 numaralı numune olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.17** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri

**Çizelge 4.10** Ni-W banyosunda Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin elektrokimyasal özellikleri

	<b>Ecorr (mV)</b>	<b>Korozyon Oranı (mil/yıl)</b>
<b>GP1</b>	- 646	55,34
<b>GP2</b>	-664	39,50
<b>GP3</b>	-653	31,69
<b>GP4</b>	-657	21,66

Şekil 4.17 ve Çizelge 4.10 incelendiğinde en iyi korozyon direncini 4 numaralı numune vermiştir.

Poli etilen glikol (PEG) kullanımı, kaplama malzemelerinin daha homojen bir şekilde çökmesini sağlayarak kaplama korumasını ve tutma özelliklerini artırır. Bu da kaplanan yüzeyin korozyona karşı direncini gösterebilir. PEG, kaplama malzemelerinin alt malzemeye daha iyi yapışmasını sağlayarak kaplama korumasını maksimuma çıkarır. Ayrıca PEG kaplama malzemelerinin üzerinde bir koruyucu tabaka yüzey aşınmalarına karşı da korur ve kaplama malzemelerinin porozitesini korumasını sağlar. [69]

Yapılan Poly ethilen Glikol (PEG) miktarı değiştirilerek ( 0,6 – 0,8 – 1,0 ve 2,0 g/l) elde edilen Ni-W kaplama deneyleri arasında en iyi sonuçları veren 2,0 g/l PEG içeren 4 numaralı numune olmuştur. Daha sonrasında yapılmış Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek elde edilen deneyler için **2 g/l PEG** içeren banyo verileri seçilmiştir.

### **4.3. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W/hBN alaşım kaplamaları**

2024 Alüminyum altlık üzerine elektrodopolama yöntemi kullanılarak Poly Ethilen Glikol (PEG) miktarı daha önce yapılmış olan deneylerde en iyi sonuçları veren 2,0 g/l PEG

banyo bileşenlerine ilave edilmiş ve Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek ( 0,3 g/l – 0,4 g/l – 0,5 g/l ve 0,6 g/l) 4 ayrı numune çekilerek Ni-W/hBN alaşımlı kaplamalar elde edilmiştir. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek termal iletkenliği ve birçok kimyasala karşı dirençli olması ile bilinmektedir. [70], [71] Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı artırıldıkça mekanik, yapışma, ve korozyon özelliklerinin iyileştiği de gözlemlenmiştir.

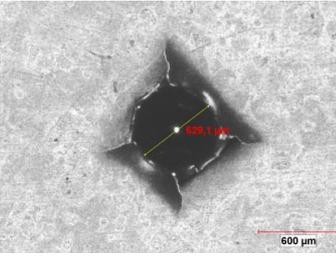
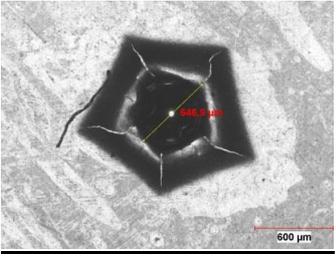
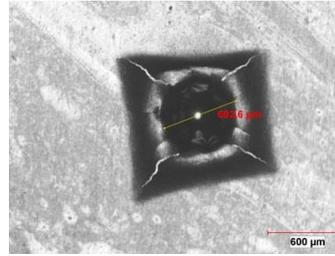
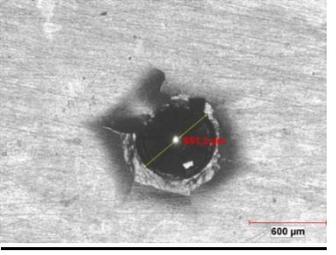
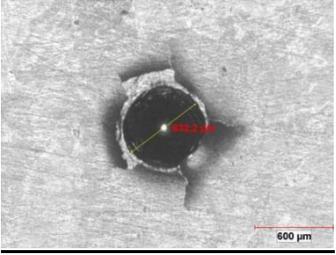
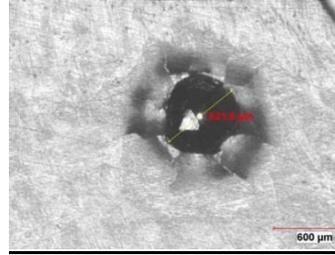
Çizelge 4.11’de farklı miktarda hBN eklenen Ni-W/hBN banyo bileşenleri verilmiştir.

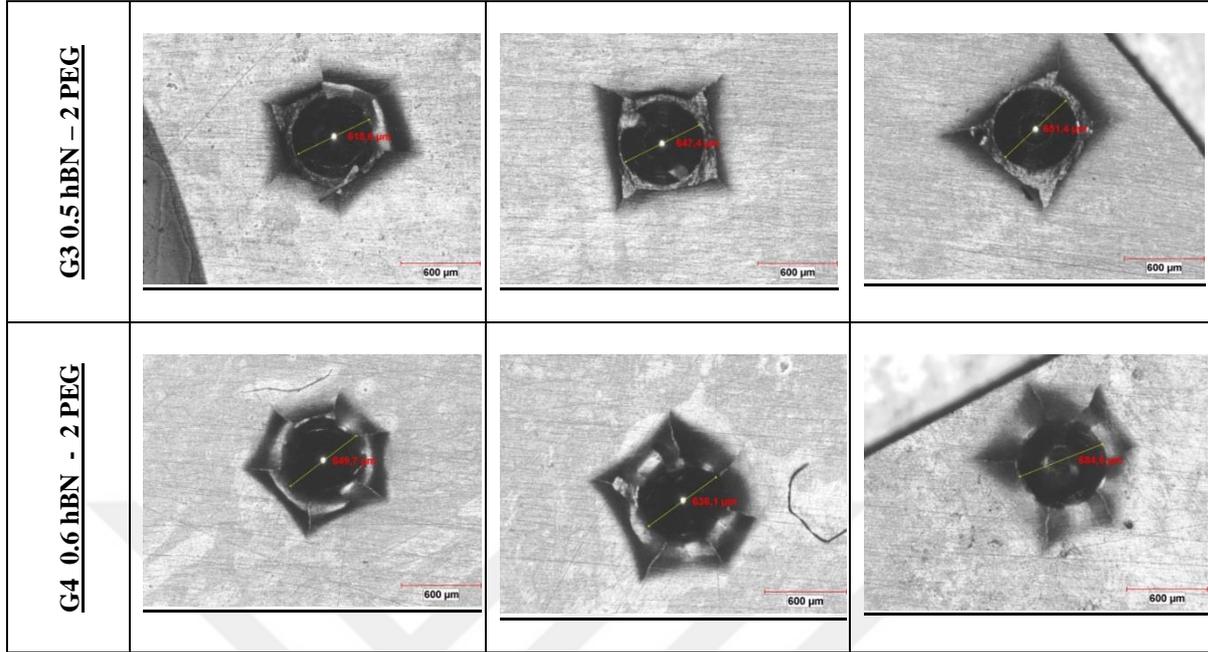
**Çizelge 4.11** Farklı miktarda hBN eklenen Ni-W/hBN banyo bileşenleri

<b>Banyo içerisine eklenen farklı miktardaki hBN ile elde edilen Ni-W/hBN kaplaması</b>		
<b>(G)</b>		
<b>Bileşen</b>	<b>Bileşen adı</b>	<b>Kullanılan Miktar</b>
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Nikel Sülfat	9,28 g/l
$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Trisodyum Sitrat	45 g/l
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	Sodyum Tungstant	41,13 g/l
$NH_4Cl$	Amonyum Klorür	26,74 g/l
$NaBr$	Sodyum Bromür	15,45 g/l
$NaOH$	Sodyum Hidroksit	40 g/mol
hBN	Hekzagonal Bor Nitrür	0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 g/l
SDS	Sodyum Dedosil Sülfat	0,025 g/l
PEG	Poly Ethilen Glikol	2,0 g/l

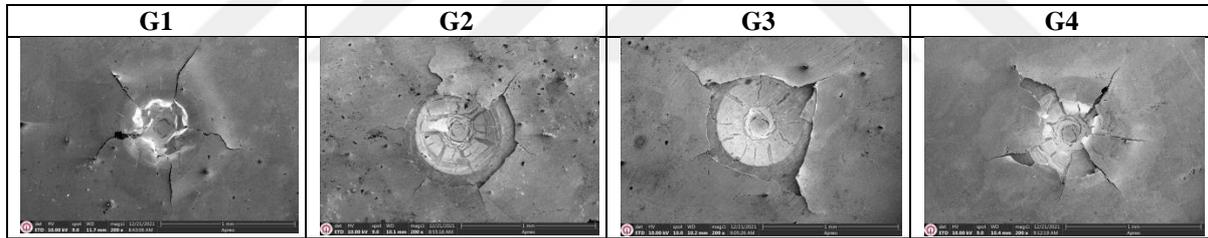
### 4.3.1. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W/hBN alaşım kaplamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek (0,3 g/l - 0,4 g/l - 0,5 g/l - 0,6 g/l) dört ayrı numune kaplanmış olup altlık malzemesi olarak kullanılan 2024 alüminyum malzeme üzerine kaplanmış ince filmin yapışma kalitesine etkisi VDI 3198 normu Rocwell-C girinti testi kullanılmıştır. Yapışma testinin Şekil 4.18’de Optik mikroskop ile görüntüleri ve Şekil 4.19’da ise SEM görüntülerinin incelenmesi gösterilmiştir. 3. ve 4. Numuneneler de yapılmış olan girinti testlerinin optik mikroskop ve SEM ile incelenmesi sonucunda yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 1. ve 2. Numunelere göre daha az olduğu dolayısı ile 3. ve 4. Numunelerde yapışmanın 1. ve 2. Numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir. 3. Ve 4. Numunelerin 1. Ve 2. Numunelere göre plastik deformasyonun daha az yapışmanın ise daha fazla olmasının nedeni Ni-W banyosu içerisindeki hBN miktarının artmasının yapışmaya olan etkisi gösterilebilir. [72], [73]

	a	b	c
<b>G1 0.3 hBN – 2 PEG</b>			
<b>G2 0.4 hBN – 2 PEG</b>			

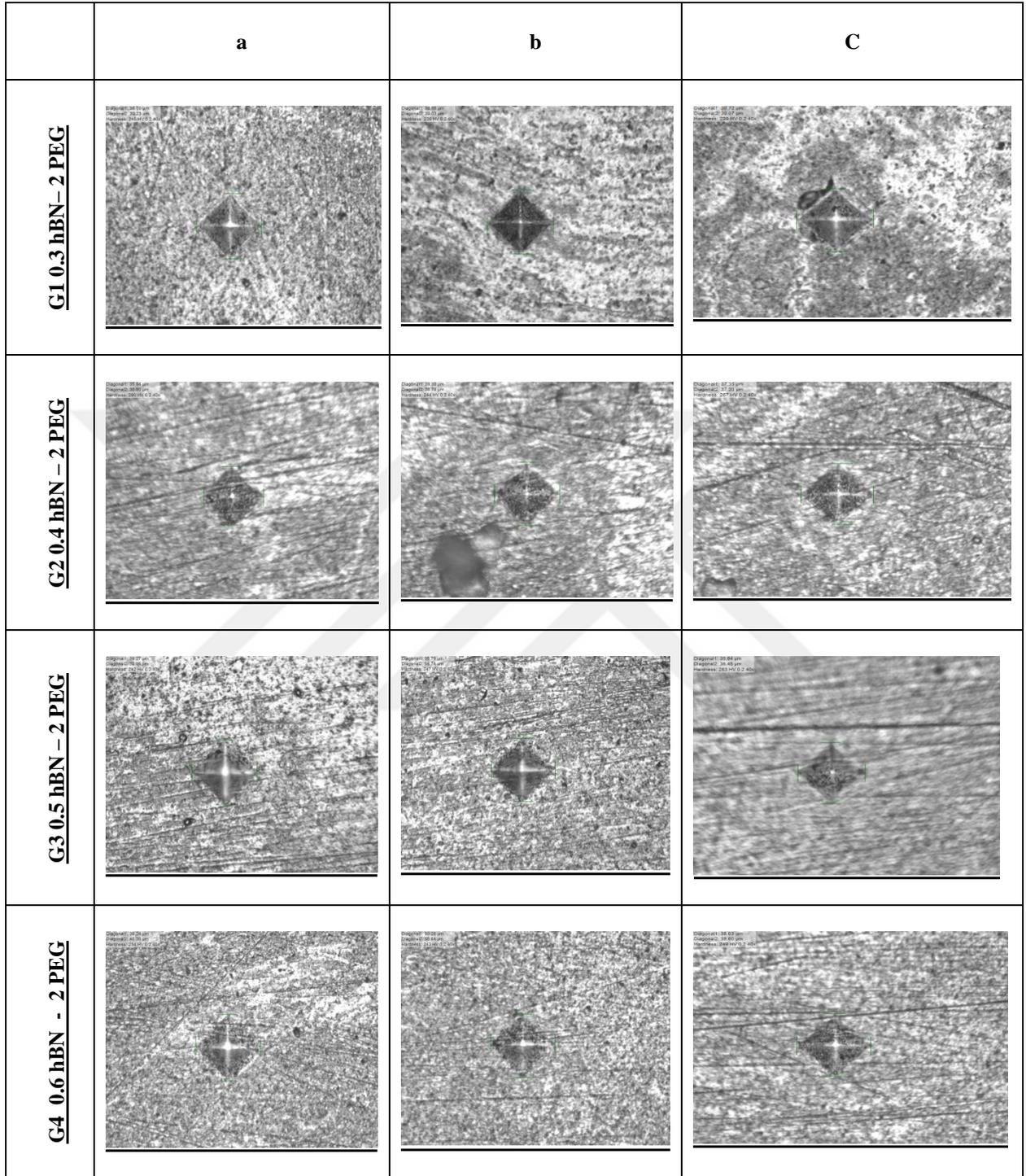


**Şekil 4.18** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin Optik Mikroskop görüntüleri



**Şekil 4.19** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri

Şekil 4.20 ve Çizelge 4.11 de görüldüğü üzere en yüksek sertlik değeri 4 numaralı numunenin a noktasındadır. Bu noktada Ni-W banyosundaki W, PEG ve hBN yoğunluğunun diğer noktalara göre daha çok olduğunu bu yüzden de sertliğin daha çok olduğunu söyleyebiliriz. Ni banyosuna W ve hBN katılması ile sertlikliğinde artmış olduğu görülmektedir. Pek çok araştırma, hBN katkılı kaplamaların hBN katkısız kaplamalara göre daha yüksek verim değerine sahip olduğunu ve sertliğin artmasında da rol oynadığını göstermiştir. [74]–[76]

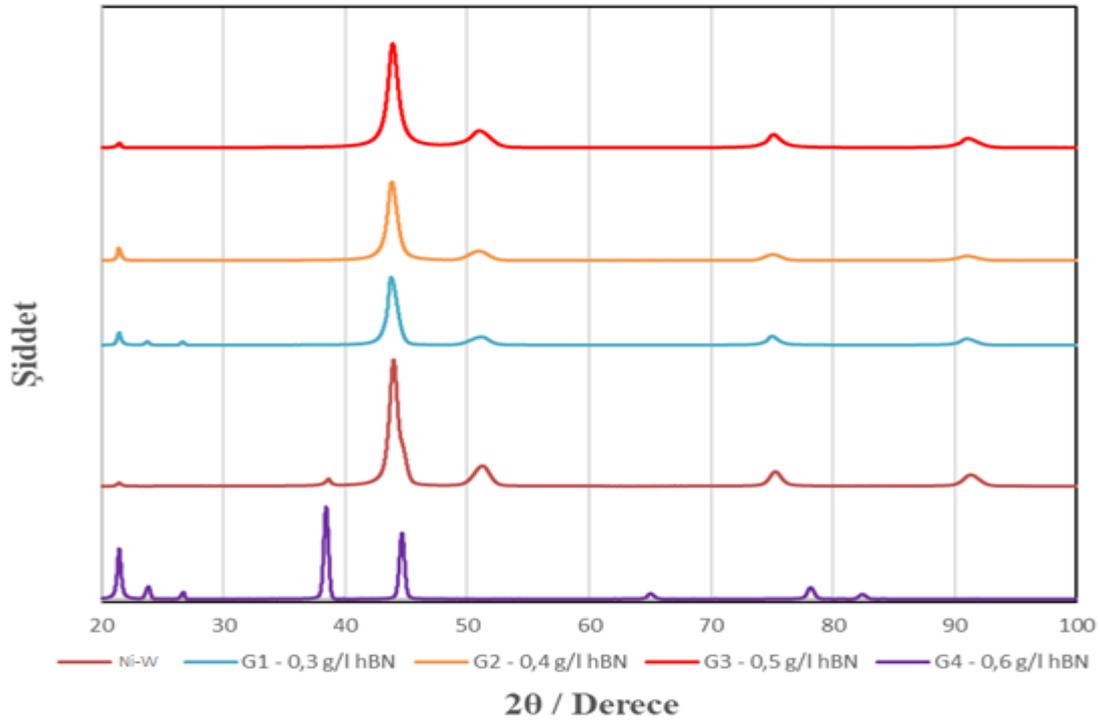


**Şekil 4.20** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numune

**Çizelge 4.12** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri

Numune İsmi	G1	G2	G3	G4
Ortalama Sertlik	241±2	252±3	257±3	267±2

Şekil 4.21’de Ni-W banyosunda her numune için aynı içerikteki farklı banyolar içerisine PEG miktarı (2,0 g/l) ve SDS miktarı (0,025 g/l) sabit tutulmuş hBN miktarı (0,3 – 0,4 – 0,5 ve 0,6 g/l) değiştirilerek elde edilmiş 4 ayrı numunenin X-ışınım kırınım desenleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde hBN miktarı arttırılan 4 farklı numune için benzer sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen 4. Numunede Ni-W pik değerleri diğer üç numuneye göre daha sık olduğu görülmektedir. Bu durum hBN miktarının arttırılmasının kaplama yüzeyindeki W biriktirme miktarını etkilediğini de göstermektedir. Kırınım desenlerinin sunduğu tepe noktaları ve elde edilen grafiklerin eşleştirilmesi sonucunda Ni<sub>17</sub>W<sub>3</sub> alaşımının tepe noktaları olan  $2\theta = 22,54^\circ$ ,  $44,71^\circ$ ,  $65,45^\circ$  ve  $78,16^\circ$  açılara denk geldiği görülmektedir.



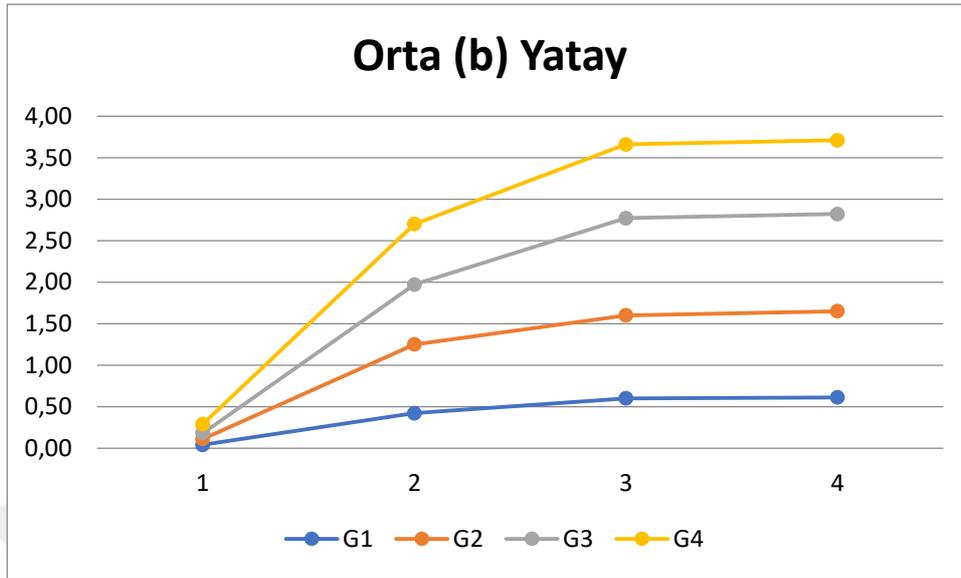
**Şekil 4.21** Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları

### 4.3.2. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W/hBN alaşım kaplamalarının Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yatayından alınmış değerleri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.22’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması  $G4 > G3 > G2 > G1$  şeklindedir. Görüldüğü üzere dördüncü ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ikinci ve birinci numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Bunun sebebi hBN parçacıklarının banyo içerisindeki bileşenlerin kaplama yüzeyine daha sıkı yapışmış olduğunu ve pürüzsüz yüzeyler elde etmede kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Birçok araştırma, hBN içeren kaplamaların yüzey pürüzlülüğünün, hBN içermeyen kaplamalara göre daha düşük olduğunu göstermektedir. hBN içeren nikel kaplamaların, hBN bozulma kaplamalarına göre daha düşük pürüzlülük değerlerine sahip olduğu da belirtilmektedir. [77], [78]

**Çizelge 4.13** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	<b>Ra(μm)</b>	<b>Rz(μm)</b>	<b>Rmaz(μm)</b>	<b>Rt(μm)</b>
<b>G1</b>	0,04	0,42	0,60	0,61
<b>G2</b>	0,07	0,83	1,00	1,04
<b>G3</b>	0,07	0,72	1,17	1,17
<b>G4</b>	0,11	0,73	0,89	0,89

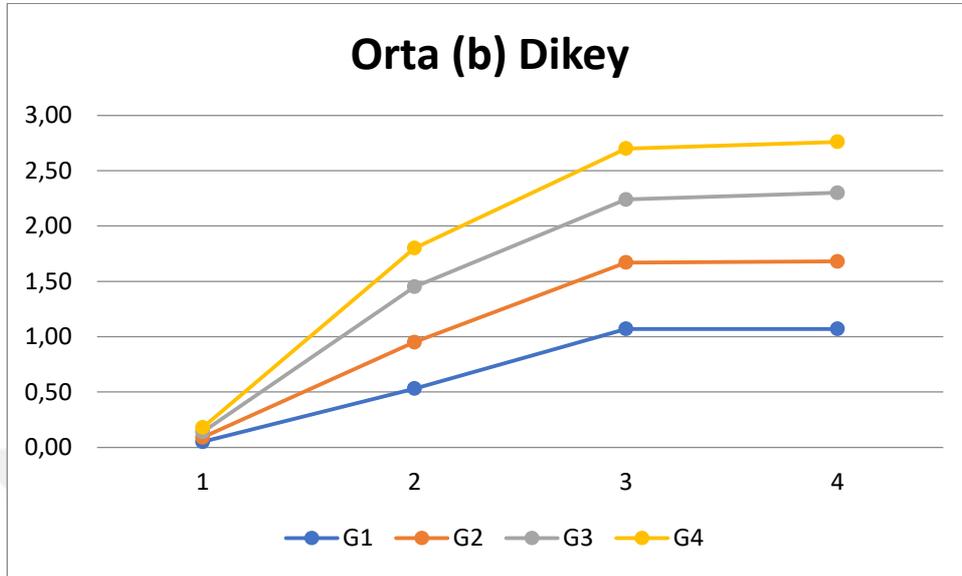


**Şekil 4.22** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi

Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyinden alınmış değerleri Çizelge 4.14, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması  $G4 > G3 > G2 > G1$  şeklindedir. Görüldüğü üzere dördüncü ve üçüncü numunenin yüzey pürüzlülük değerleri ikinci ve birinci numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Dolayısı ile numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre dördüncü ve üçüncü numunelerin pürüzlülük değeri ikinci ve birinci numunelere göre daha iyidir.

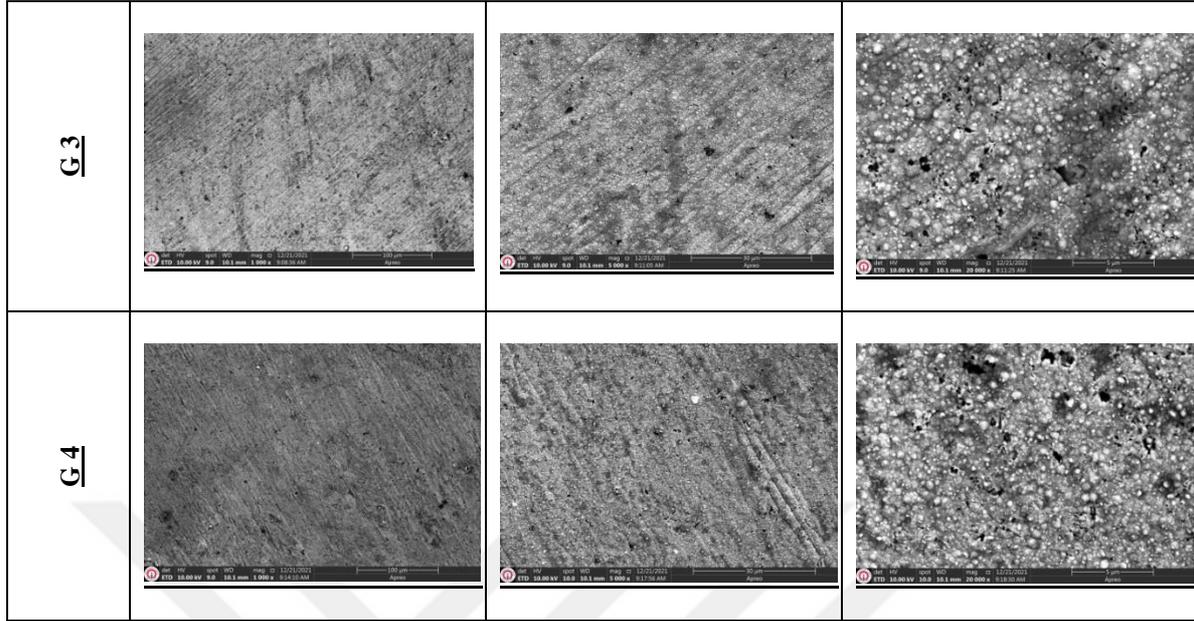
**Çizelge 4.14** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rmaz( $\mu\text{m}$ )	Rt( $\mu\text{m}$ )
<b>G1</b>	0,05	0,53	1,07	1,07
<b>G2</b>	0,04	0,42	0,60	0,61
<b>G3</b>	0,05	0,50	0,57	0,62
<b>G4</b>	0,04	0,35	0,46	0,46



**Şekil 4.23** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin grafik ile gösterimi

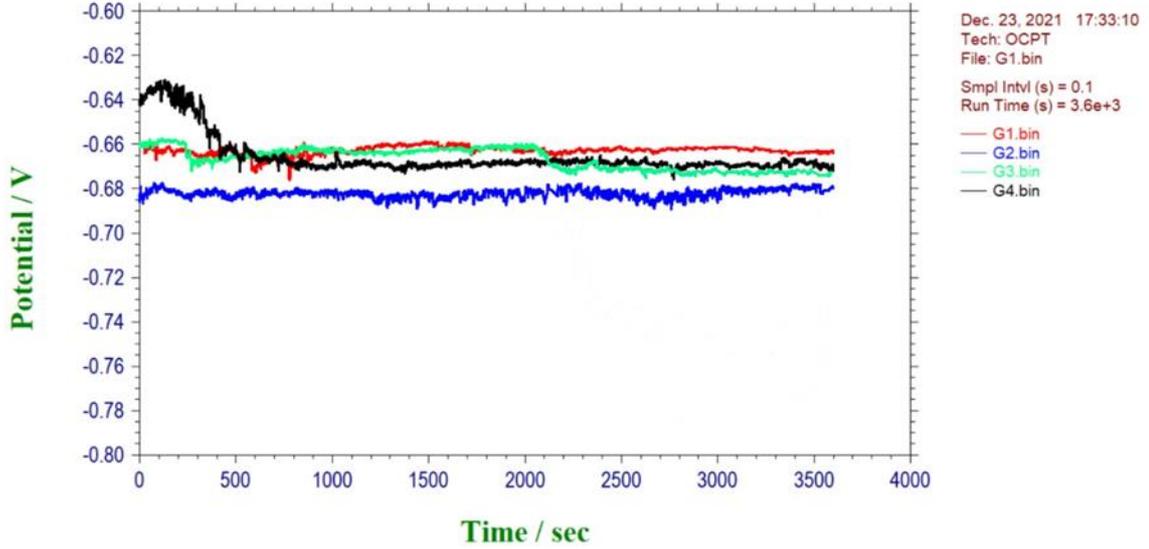
	<b><u>1000 X</u></b>	<b><u>5000 X</u></b>	<b><u>20000 X</u></b>
<b><u>G1</u></b>			
<b><u>G2</u></b>			



**Şekil 4.24** Ni-W/hBN banyosunda hBN miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin yüzey SEM görüntüleri

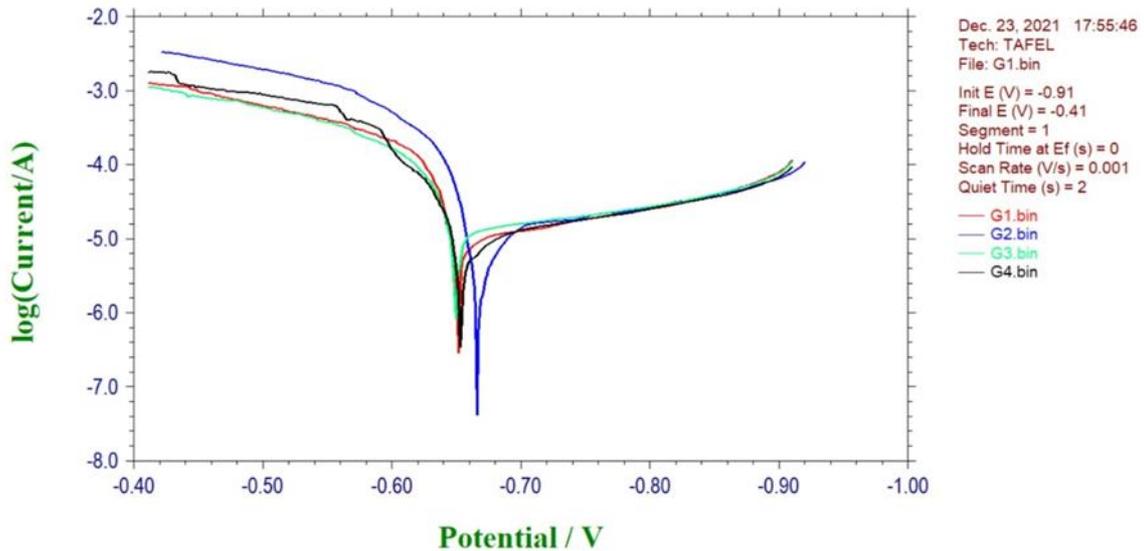
### 4.3.3. Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış Ni-W/hBN alaşım kaplamalarının Korozyon İncelenmesi

3600 s boyunca kütlece %3,5 NaCl çözeltisinde 2024 alüminyum altlık üzerine kaplanmış olan Ni-W/hBN kompozit kaplamaların açık devre potansiyelleri kaydedilmiştir. Şekil 4.25’de Ni-W banyosunda her numune için aynı içerikteki farklı banyolar içerisinde PEG miktarı (2,0 g/l) ve SDS miktarı (0,025 g/l) sabit tutulmuş hBN miktarı (0,3 – 0,4 – 0,5 ve 0,6 g/l) değiştirilerek elde edilmiş 4 ayrı numunenin Açık devre potansiyeli grafiğini göstermektedir. Dört numunenin korozyon değerleri – 0.63 V ile – 0.69 V arasında yer almıştır. İlk üç numunede başlarda korozyona karşı belirli aralıklarla direnç sağlansa da bir süre sonra korozyona karşı direnç stabil hale gelmiştir. 4. Numune de 0,6 g/l hBN içeren Ni-W banyosunda başlarda korozyona karşı ciddi bir direnç sağladığı sonrasında ise stabil hale geldiği görülmektedir. Ni-W banyosu içerisine eklenen hBN miktarının artması ile numunelerin korozyona karşı direncinin artmış olduğu da görülmektedir. En iyi korozyon direncini 4 numaralı numune göstermiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde hBN miktarının artmasının korozyon direncini pozitif yönde etkilediği de görülmüştür. [79]–[81]



**Şekil 4.25** Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin OCP değerleri

Şekil 4.25'te 2024 Alüminyum altlık üzerine kaplanmış Ni-W/hBN ince film kaplamalarının TAFEL ekstrapolasyon eğrileri ve Çizelge 4.15'te de korozyon akımları ile korozyon oranları verilmiştir. Grafik eğrileri ve çizelge incelendiğinde hBN miktarının artırılması ile korozyon direncine önemli katkı sağladığı görülmüştür. En iyi korozyon direncini 4 numaralı numune vermiştir.



**Şekil 4.26** Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri

**Çizelge 4.15** Ni-W banyosunda Hekzagonal Bor Nitrür (hBN) miktarı değiştirilerek kaplanmış olan 4 numunenin elektro kimyasal değerleri

	<b>Ecorr (mV)</b>	<b>Korozyon Oranı (mil/yıl)</b>
<b>G1</b>	-652	53,34
<b>G2</b>	-666	39,50
<b>G3</b>	-650	31,69
<b>G4</b>	-653	21,66

Yapılan deneyler sonucunda en iyi korozyon değerlerini Ni-W banyo alaşım bileşenleri içerisinde 2 g/l Poly ethilen Glikol (PEG) ve 0,6 g/l hBN katkılı 4. Numune vermiştir. Yapılan bir sonraki deney dizisinde en iyi banyo bileşenleri olarak 4 numaralı numunede kullanılan banyo bileşenleri kullanılmıştır.

#### **4.4. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamaları**

2024 Alüminyum altlık üzerine yapılmış Ni-W/hBN alaşım kaplamalar Elektrodepolama yöntemi kullanılarak ve banyo suyu değiştirilmeden (2,0 g/l PEG – 0,6 g/l hBN) 4 ayrı numune çekilerek elde edilmiştir. Banyo suyunun değiştirilmemesindeki amaç aynı banyo içerisinde elde edilecek farklı kaplamaların sertlik, pürüzlülük ve korozyon özelliklerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Aynı zamanda birden fazla kullanılan banyolardan elde edilebilecek kaplamalarla çevre kirliliğinin önüne de geçilmesidir.

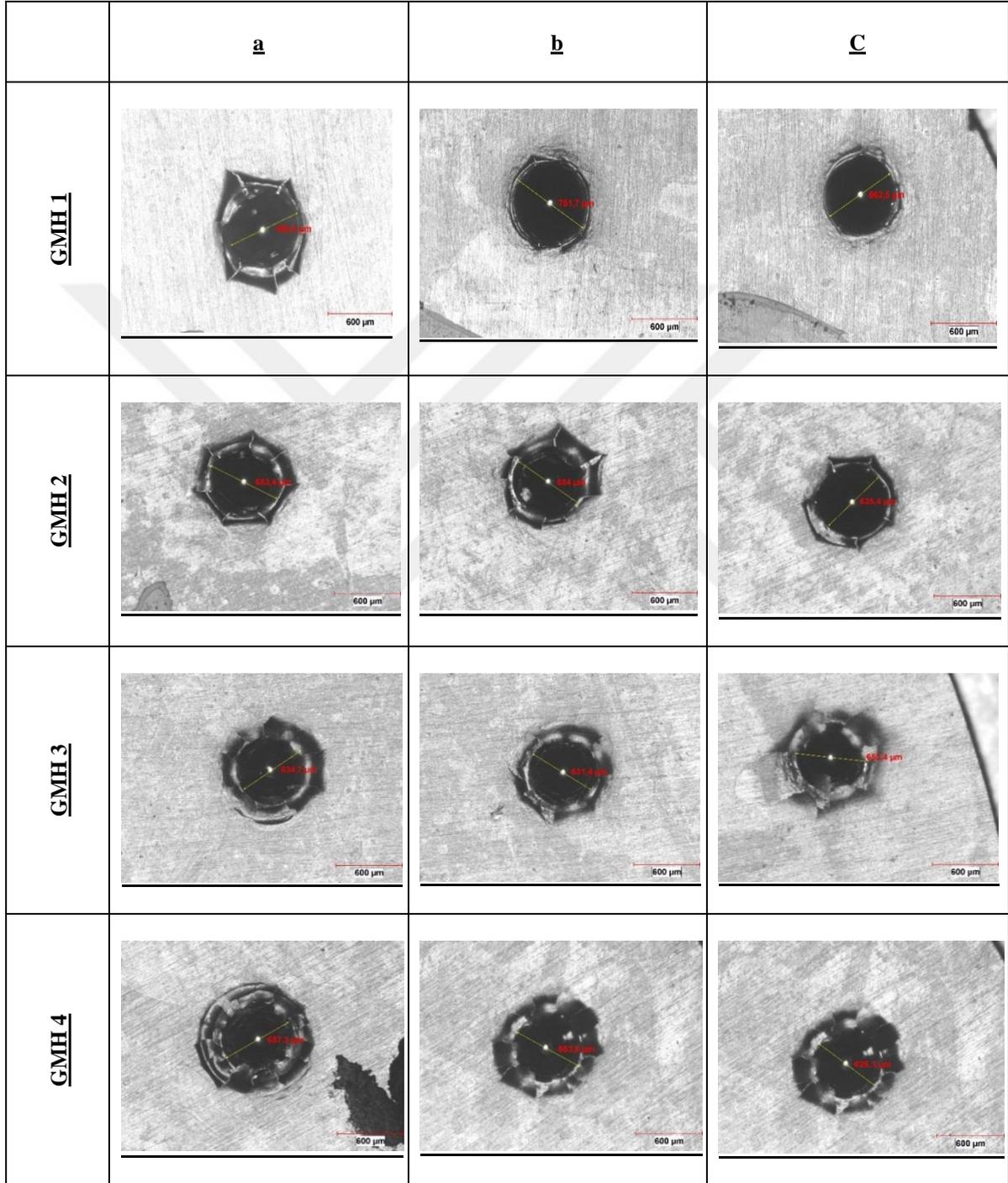
**Çizelge 4.16** Tek banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyo bileşenleri

<b>Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) elde edilen Ni-W/hBN kaplaması (GMH)</b>		
<b>Bileşen</b>	<b>Bileşen adı</b>	<b>Kullanılan Miktar</b>
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	Nikel Sülfat	9,28 g/l
$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Trisodyum Sitrat	45 g/l
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	Sodyum Tungstant	41,13 g/l
$NH_4Cl$	Amonyum Klorür	26,74 g/l
$NaBr$	Sodyum Bromür	15,45 g/l
$NaOH$	Sodyum Hidroksit	40 g/mol
hBN	Hekzagonal Bor Nitür	0,6 g/l
SDS	Sodyum Dedosil Sülfat	0,025 g/l
PEG	Poly Ethilen Glikol	2,0 g/l

#### **4.4.1. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının Mekanik Özellikleri**

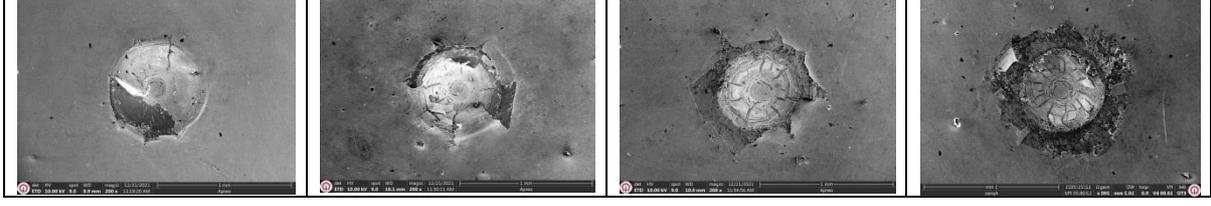
Ni-W/hBN banyosunda dört ayrı numune banyo suyu değiştirilmeden kaplanmış olup altlık malzemesi olarak kullanılan 2024 alüminyum malzeme üzerine kaplanmış ince filmin yapışma kalitesine etkisi VDI 3198 normu Rocwell-C girinti testi kullanılmıştır. Yapışma testinin Şekil 4.27’de Optik mikroskop ile görüntüleri ve Şekil 4.28’de ise SEM görüntülerinin incelenmesi gösterilmiştir. 1. ve 2. Numuneneler de yapılmış olan girinti testlerinin optik mikroskop ve SEM ile incelenmesi sonucunda yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 3. ve 4. Numunelere göre daha az olduğu dolayısı ile 1 ve 2. Numunelerde yapışmanın 3 ve 4. Numunelere göre daha iyi olduğu görülmektedir. 1. Ve 2. Numunelerin 3. Ve 4. Numunelere göre plastik deformasyonun daha az yapışmanın ise daha fazla

olmasının nedeni Ni-W/hBN banyosu içerisindeki W miktarının zamanla azalıyor olması ve hBN parçacıklarının dibе çökmesi gösterilebilir.



Şekil 4.27 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numune

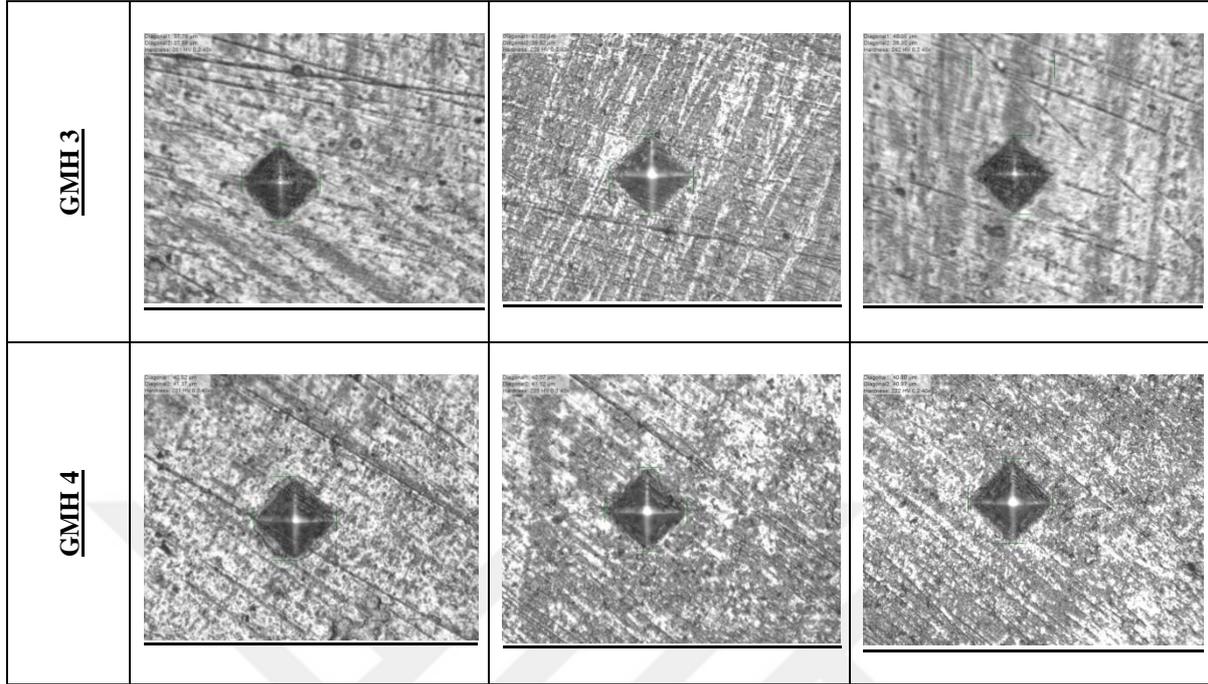
GMH1	GMH2	GMH3	GMH4
------	------	------	------



**Şekil 4.28** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin SEM görüntüleri

Şekil 4.29. ve Çizelge 4.9 da da görüldüğü üzere en yüksek sertlik değeri 1 numaralı numunenin c noktasındadır. Bu noktada Ni-W/hBN banyosundaki W, PEG, SDS ve hBN parçacıklarının yoğunluğunun diğer noktalara göre daha çok olduğunu bu yüzden de sertliğin daha çok olduğunu söyleyebiliriz. Aynı banyo içerisinde çekilen numune sayısı arttıkça mikrosertlik değerlerinin de düşmüş olduğu görülmektedir.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<b>GMH 1</b>			
<b>GMH 2</b>			

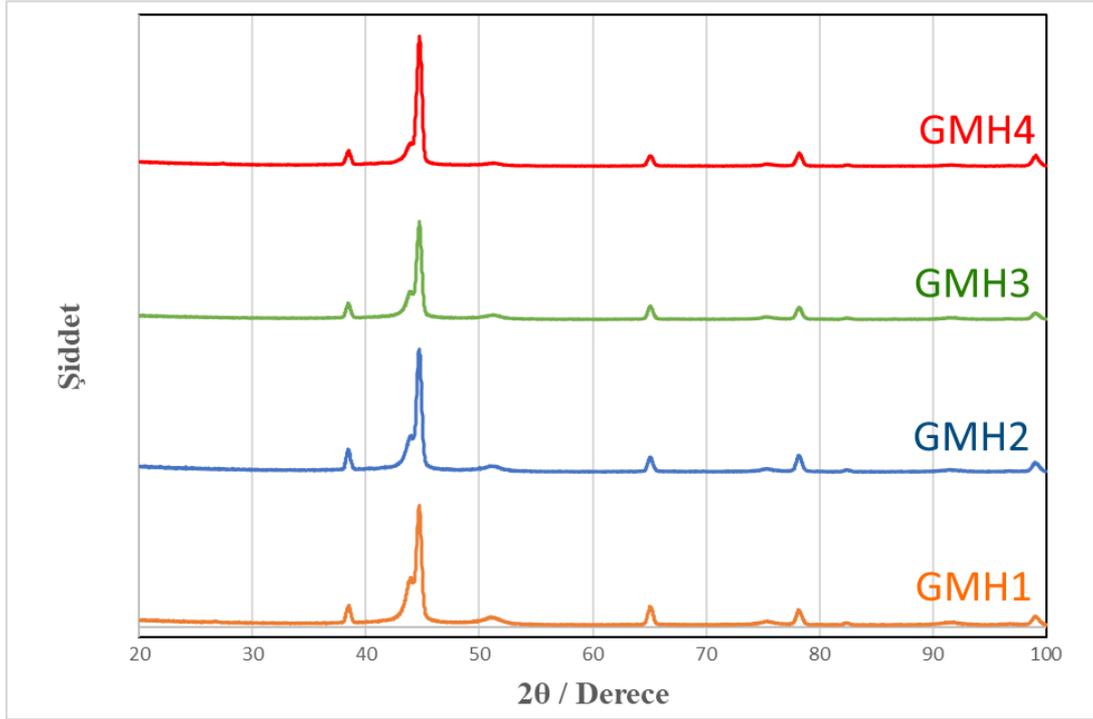


**Şekil 4.29** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numune

**Çizelge 4.17** Tek banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin mikrosertlik değerleri

Numune İsmi	GMH1	GMH2	GMH3	GMH4
<b>Ortalama Sertlik</b>	252±13	244±3	244±13	222±2

Şekil 4.30'da hBN takviyesi ile elde edilen kaplamaların X-Işını kırınım desenleri görülmektedir. Elde edilen kompozit kaplamaların, alaşım kaplamalar ile benzer desenler çizdiği görülmektedir. Aynı zamanda tek bir banyodan kaplamalar elde edilmesine rağmen, banyonun kaplama işlevselliğinin devam ettiği de görülmektedir. Bunun yanı sıra 44° civarlarında görülen ve en yoğun olan pikin, hBN takviyesi ile birlikte kırınımının azaldığı ve tek bir pik görünümüne yanıştığı görülmektedir.



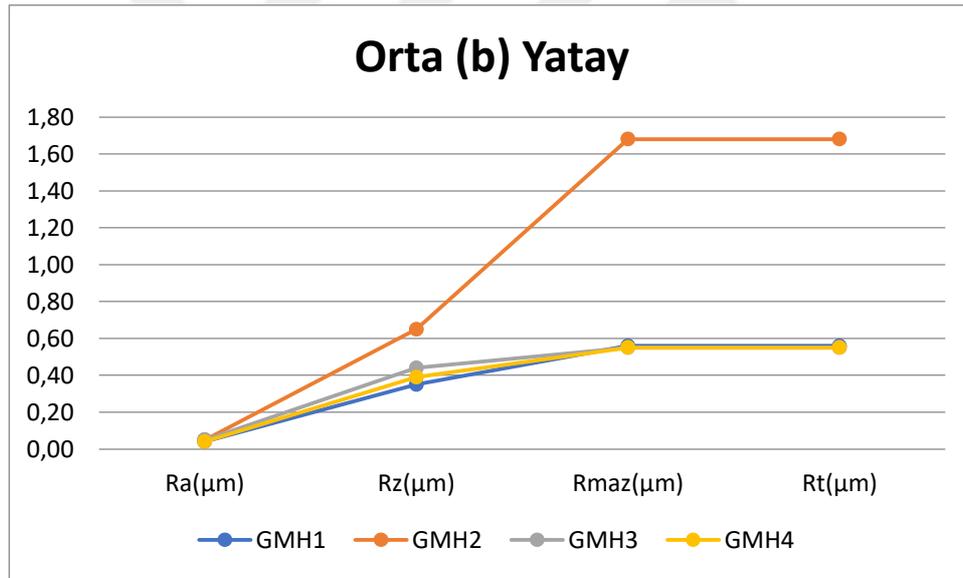
**Şekil 4.30** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin XRD sonuçları

#### 4.4.2. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının YüzeY Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri Çizelge 4.18 ve Şekil 4.31.'de gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzeY pürüzlülük sıralaması GM2>GM3>GM4>GM1 şeklindedir. Görüldüğü üzere birinci ve dördüncü numunenin yüzeY pürüzlülük değerleri ikinci ve üçüncü numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür.

**Çizelge 4.18** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rmaz( $\mu\text{m}$ )	Rt( $\mu\text{m}$ )
<b>GMH1</b>	0,04	0,35	0,56	0,56
	0,05	0,65	1,68	1,68
<b>GMH3</b>	0,05	0,44	0,55	0,55
<b>GMH4</b>	0,04	0,39	0,55	0,55

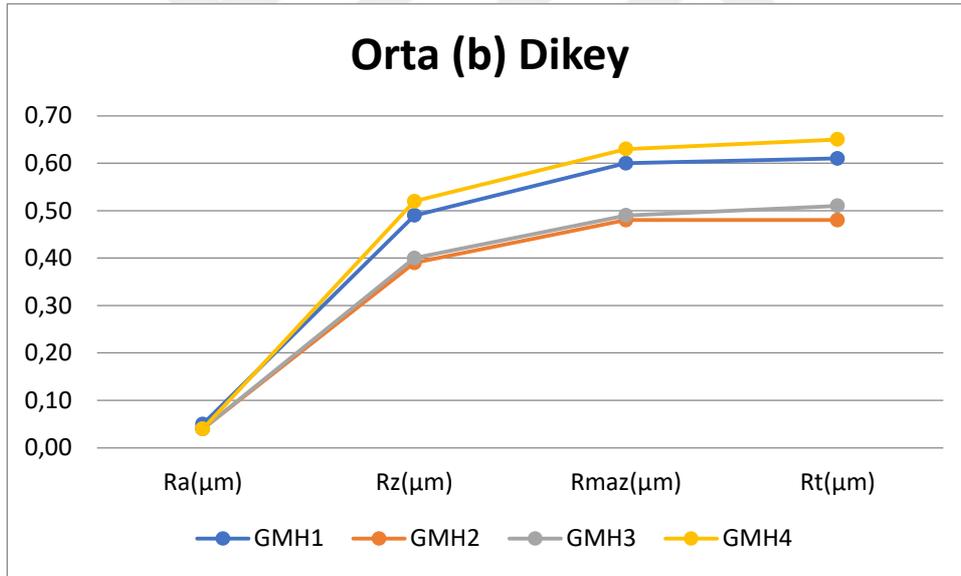


**Şekil 4.31.** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) yataydan alınmış değerleri

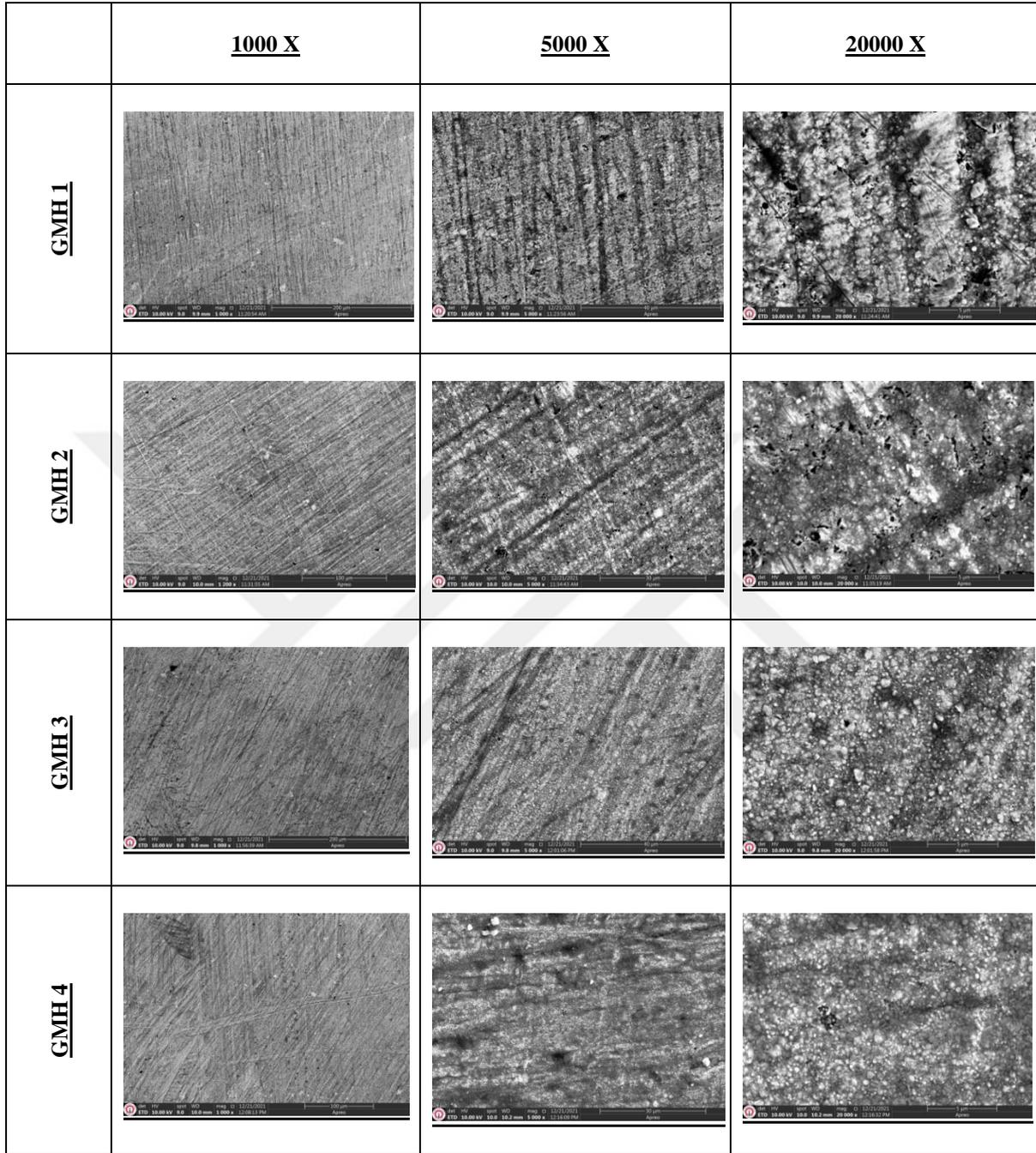
Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyinden alınmış değerleri Çizelge 4.19, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gösterilmiş olup bu değerlere göre yüzey pürüzlülük sıralaması GM4>GM1>GM3>GM2 şeklindedir. Görüldüğü üzere üçüncü ve ikinci numunenin yüzey pürüzlülük değerleri dördüncü ve birinci numunelere göre daha düşük ve daha az pürüzlüdür. Dolayısı ile numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre yüzey pürüzlülük değerleri değişkenlik göstermektedir.

**Çizelge 4.19** Tek bir banyodan (banyo suyu değiştirilmeden) Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerlerinin tablo ile gösterimi

	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rmaz( $\mu\text{m}$ )	Rt( $\mu\text{m}$ )
<b>GMH1</b>	0,05	0,49	0,60	0,61
<b>GMH2</b>	0,04	0,39	0,48	0,48
<b>GMH3</b>	0,04	0,40	0,49	0,51
<b>GMH4</b>	0,04	0,52	0,63	0,65



**Şekil 4.32** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin orta (b) dikeyden alınmış değerleri

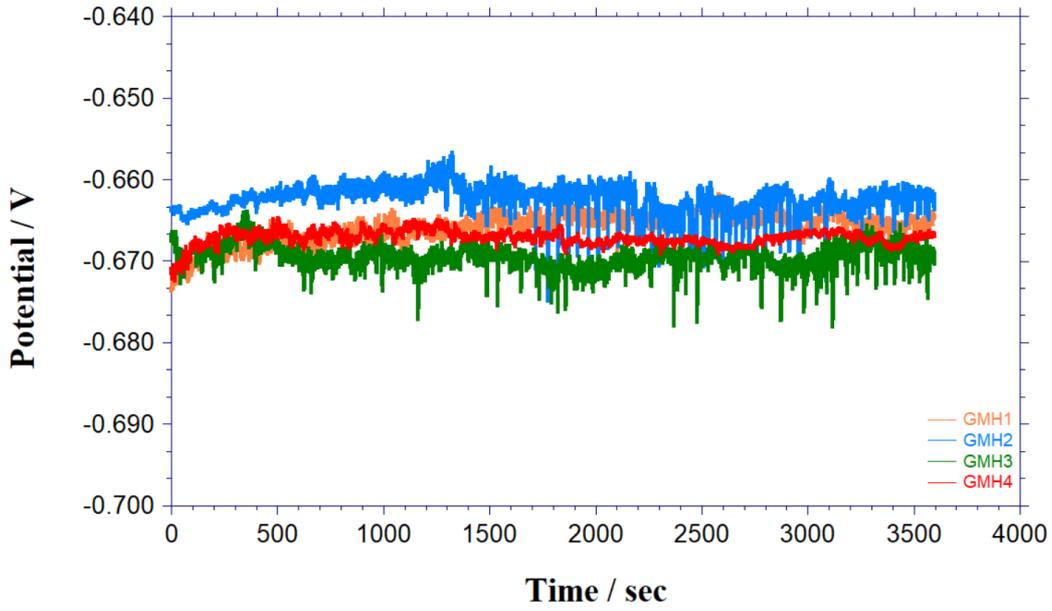


**Şekil 4.33** Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin Yüzey SEM görüntüleri

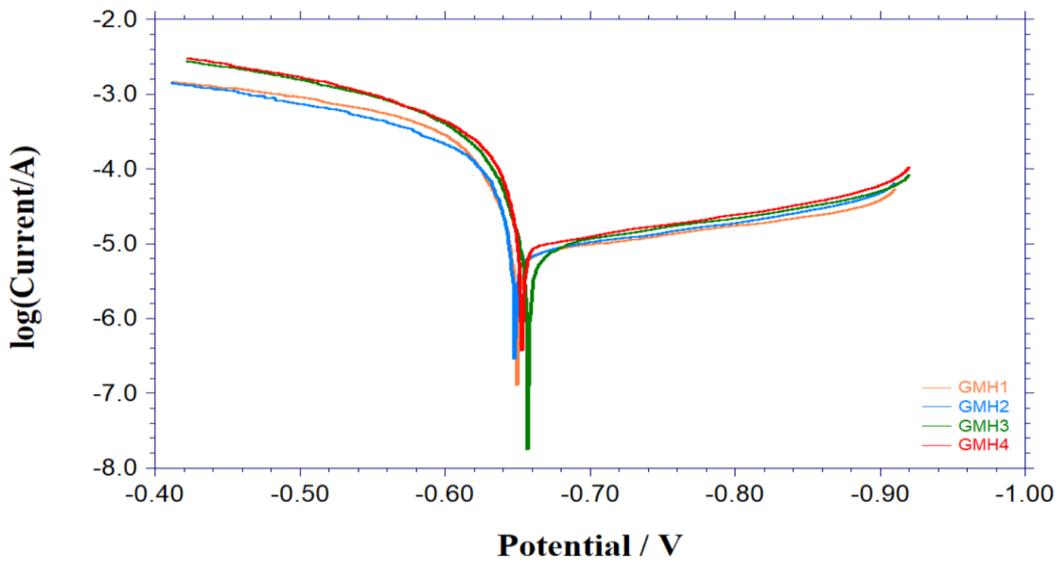
#### 4.4.3. Tek Bir Banyodan Elde Edilmiş Ni-W/hBN Alaşım Kaplamalarının Korozyon İncelenmesi

Şekil 4.34, hBN ilave edilmiş banyodan üretilen numunelerin açık devre potansiyeli grafiğini göstermektedir. Grafiktende anlaşılacağı üzere korozyon potansiyelleri oldukça

dar bir aralıkta sıralanmıştır. Açık devre potansiyeli ölçümlerinin ilk saniyesi ile 3600 sn arasında elde edilen grafiklerinde kaplama potansiyellerinde dikkate alınır bir artış veya azalış gözlemlenmemiştir. Bu durum kaplamanın korozyona karşı direncini koruduğunu göstermektedir. Ayrıca 4 numunenin de birbiriyle benzer karakter göstermesi bir banyodan birden fazla kaplama yapabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.34 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin OCP eğrileri



Şekil 4.35 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin TAFEL eğrileri

Çizelge 4.20 Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin elektrokimyasal

özellikleri

	<b>Ecorr (mV)</b>	<b>Korozyon Oranı (mil/yıl)</b>
<b>GM1</b>	-650	45,81
<b>GM2</b>	-648	56,42
<b>GM3</b>	-657	32,23
<b>GM4</b>	-653	71,00

Şekil 4.35 ve Çizelge 4.20 incelendiğinde en iyi sonucu 3 numaralı numune vermiştir.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda;

1. Yapılan girinti testlerinde Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının banyo suyu değiştirilmeden tekrarlı yapılan numunelerinde zamanla azalan W ve hBN miktarından dolayı yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 1. ve 2. numunede daha az yapışmanın daha iyi olduğu görülmüştür. Yine sertlik değerlerinin 1. Numunede daha iyi olduğu görülmüştür.

Ni-W banyosunda 1 numaralı numunenin a noktasında W yoğunluğunun diğer noktalara göre daha çok olduğu bu yüzden de sertliğin daha çok olduğunu söyleyebiliriz. Ni-W/hBN banyosunda ise 1 numaralı numunenin c noktasında en yüksek sertlik değeri görülmüş olup Ni banyosuna W ve hBN katılması ile sertliğin artmış olduğu görülmektedir.

Yapılan XRD görüntülemelerinde tek bir Ni-W banyosundan elde edilen 4 farklı numune içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum ile bir banyodan birden fazla numune elde edilmesine rağmen, banyonun işlevselliğini devam ettirdiğini ve alaşım kaplamayı biriktirme istikrarını göstermiştir. hBN takviyesi ile elde edilen Ni-W kaplamalarından elde edilen kompozit kaplamaların, alaşım kaplamalar ile benzer desenler çizdiği görülmüştür. Aynı zamanda tek bir banyodan kaplamalar elde edilmesine rağmen, banyonun kaplama işlevselliğinin devam ettiği de görülmüştür.

Aynı Ni-W banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin yüzey pürüzlülük sıralaması göz önüne alındığında numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre birinci ve üçüncü numunelerin pürüzlülük değeri ikinci ve dördüncü numunelere göre daha iyidir.

Aynı Ni-W/hBN banyosundan kaplanmış olan 4 numunenin yüzey pürüzlülük sıralaması göz önüne alındığında numunelerin hem yatayının hem de dikeyinin orta noktalarından alınan değerlere göre yüzey pürüzlülük değerleri değişkenlik göstermektedir

Ni-W kaplamalı dört numunenin korozyon potansiyelleri yalnızca -0,64 V ile -0,69 V arasında yer almış olup 3. ve 4. banyodan elde edilen numunelerin daha iyi korozyon direnci verdiği görülmüştür. Dolayısıyla bir banyodan birden fazla kaplama yapılması, kaplama özelliklerini kaybetmesinden ziyade kaplamanın korozyon direncini daha iyi konuma getirdiğini göstermektedir.

hBN ilave edilmiş banyodan üretilen numunelerin Tafel ekstrapolasyon grafikleri karşılaştırıldığında Ni-W banyosundan elde edilen kaplamaların en iyi korozyon direncini 1 numaralı numune de verdiği, aynı şekilde Ni-W/hBN banyosundan elde edilen kaplamaların ise en iyi sonucu 3 numaralı numune de verdiği görülmüştür.

2. Ni-W banyosunda PEG miktarının artırılması sonucu yapılan girinti testlerinde Ni-W ve Ni-W/hBN banyolarının banyo suyu değiştirilmeden tekrarlı yapılan numunelerinde zamanla azalan W ve hBN miktarından dolayı yüzey üzerindeki plastik deformasyonun 1. ve 2. numunede daha az yapışmanın daha iyi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan Ni-W ve Ni-W/hBN tekrarlı banyolarından elde edilen ince film kaplamalı numunelerin 1 numaralı numuneler diğer numunelere göre yapışma kuvveti daha yüksek, sertliği daha fazla, korozyona daha dirençli ve W yoğunluğu daha fazladır.

## KAYNAKLAR

1. Y. D. Gamburg and G. Zangari, *Theory and Practice of Metal Electrodeposition*. Springer New York, 2011.
2. M. Demir, E. Kanca, and İ. H. Karahan, “Characterization of electrodeposited Ni–Cr/hBN composite coatings,” *J. Alloys Compd.*, vol. 844, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jallcom.2020.155511.
3. A. E. Hughes, R. J. Taylor, K. J. H. Nelson, B. R. W. Hinton, and L. Wilson, “Characterisation of surface preparation of 2024 aluminium alloy for conversion coating,” *Mater. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 11, pp. 928–936, 1996, doi: 10.1179/mst.1996.12.11.928.
4. H. Aydın and A. Bayram, “Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 15, no. 1, pp. 159–168, 2010.
5. L. Bathini, M. J. N. V. Prasad, and N. P. Wasekar, “Development of continuous compositional gradient Ni-W coatings utilizing electrodeposition for superior wear resistance under sliding contact,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 445, no. July, p. 128728, 2022, doi: 10.1016/j.surfcoat.2022.128728.
6. T. Yamasaki, P. Schlossmacher, K. Ehrlich, and Y. Ogino, “Formation of amorphous electrodeposited Ni-W alloys and their nanocrystallization,” *Nanostructured Mater.*, vol. 10, no. 3, pp. 375–388, 1998, doi: 10.1016/S0965-9773(98)00078-6.
7. M. B. Porto, J. M. Costa, and A. F. de Almeida Neto, “Ni-W alloys and their anticorrosive properties: Ni removal efficiency from galvanic wastewater by electrodeposition,” *J. Water Process Eng.*, vol. 36, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101250.
8. B. Liu *et al.*, “Research for electrodeposited superhydrophobic Ni-W-WS<sub>2</sub> coating and its anticorrosion and wear resistance,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 655, no. September, 2022, doi: 10.1016/j.colsurfa.2022.130236.
9. M. A. Farzaneh, M. R. Zamanzad-Ghavidel, K. Raeissi, M. A. Golozar, A. Saatchi, and S. Kabi, “Effects of Co and W alloying elements on the electrodeposition aspects and properties of nanocrystalline Ni alloy coatings,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 257, no. 13, pp. 5919–5926, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.apsusc.2011.02.008.
10. D. G. Portela, T. C. de M. Nepel, J. M. Costa, and A. F. de Almeida Neto, “Twostages electrodeposition for the synthesis of anticorrosive Ni–W–Co coating from a deactivated nickel bath,” *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.*, vol. 260, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.mseb.2020.114611.
11. J. A. M. Oliveira, A. F. de Almeida, A. R. N. Campos, S. Prasad, J. J. N. Alves, and R. A. C. de Santana, “Effect of current density, temperature and bath pH on

- properties of Ni–W–Co alloys obtained by electrodeposition,” *J. Alloys Compd.*, vol. 853, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2020.157104.
12. M. X. Donten, H. Cesiulis, and Z. Stojek, “Electrodeposition and properties of Ni–W, Fe–W and Fe–Ni–W amorphous alloys. A comparative study,” *Electrochim. Acta*, vol. 45, no. 20, pp. 3389–3396, 2000, doi: 10.1016/S0013-4686(00)00437-0.
  13. J. H. Choi, G. Gyawali, D. R. Dhakal, B. Joshi, and S. W. Lee, “Electrodeposited Ni–W–TiC Composite Coatings: Effect of TiC Reinforcement on Microstructural and Tribological Properties,” *Acta Metall. Sin. (English Lett.)*, vol. 33, no. 4, pp. 573–582, 2020, doi: 10.1007/s40195-019-00996-y.
  14. S. Dilek, H. Algül, A. Akyol, A. Alp, H. Akbulut, and M. Uysal, “Pulse electro co-deposition of submicron-sized TiC reinforced Ni–W coatings: tribological and corrosion properties,” *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 9, no. 2, pp. 673–685, 2021, doi: 10.1080/21870764.2021.1911058.
  15. G. Gyawali, K. Tripathi, B. Joshi, and S. W. Lee, “Mechanical and tribological properties of Ni–W–TiB<sub>2</sub> composite coatings,” *J. Alloys Compd.*, vol. 721, pp. 757–763, 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.06.044.
  16. M. K. Tripathi, D. K. Singh, and V. B. Singh, “Electrodeposition of Ni–Fe/Bn nanocomposite coatings from a non-aqueous bath and their characterization,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 3454–3471, 2013.
  17. M. H. Allahyarzadeh, M. Aliofkhaezai, A. R. S. Rouhaghdam, and V. Torabinejad, “Gradient electrodeposition of Ni–Cu–W(alumina) nanocomposite coating,” *Mater. Des.*, vol. 107, pp. 74–81, 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2016.06.019.
  18. H. Ataee-Esfahani, M. R. Vaezi, L. Nikzad, B. Yazdani, and S. K. Sadrnezhad, “Influence of SiC nanoparticles and saccharin on the structure and properties of electrodeposited Ni–Fe/SiC nanocomposite coatings,” *J. Alloys Compd.*, vol. 484, no. 1–2, pp. 540–544, 2009, doi: 10.1016/j.jallcom.2009.04.146.
  19. E. Beltowska-Lehman, P. Indyka, A. Bigos, M. Kot, and L. Tarkowski, “Electrodeposition of nanocrystalline Ni–W coatings strengthened by ultrafine alumina particles,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 211, pp. 62–66, 2012, doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.10.021.
  20. N. P. Wasekar, L. Bathini, L. Ramakrishna, D. S. Rao, and G. Padmanabham, “Pulsed electrodeposition, mechanical properties and wear mechanism in Ni–W/SiC nanocomposite coatings used for automotive applications,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 527, no. May, p. 146896, 2020, doi: 10.1016/j.apsusc.2020.146896.
  21. B. Li, D. Li, T. Mei, W. Xia, and W. Zhang, “Fabrication and characterization of boron nitride reinforced Ni–W nanocomposite coating by electrodeposition,” *J. Alloys Compd.*, vol. 777, pp. 1234–1244, 2019, doi: 10.1016/j.jallcom.2018.11.081.

22. P. Jin, C. Sun, Z. Zhang, C. Zhou, and T. Williams, "Fabrication of the Ni-W-SiC thin film by pulse electrodeposition," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 392, p. 125738, 2020, doi: 10.1016/j.surfcoat.2020.125738.
23. S. Xing, L. Wang, C. Jiang, H. Liu, W. Zhu, and V. Ji, "Influence of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on microstructures and properties of electrodeposited Ni-W-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocrystalline coatings," *Vacuum*, vol. 181, no. December 2019, p. 109665, 2020, doi: 10.1016/j.vacuum.2020.109665.
24. N. P. Wasekar, N. Hebalkar, A. Jyothirmayi, B. Lavakumar, M. Ramakrishna, and G. Sundararajan, "Influence of pulse parameters on the mechanical properties and electrochemical corrosion behavior of electrodeposited Ni-W alloy coatings with high tungsten content," *Corros. Sci.*, vol. 165, p. 108409, 2020, doi: 10.1016/j.corsci.2019.108409.
25. W. Zhang, B. Li, and C. Ji, "Synthesis and characterization of Ni-W/TiN nanocomposite coating with enhanced wear and corrosion resistance deposited by pulse electrodeposition," *Ceram. Int.*, vol. 45, no. 11, pp. 14015–14028, 2019, doi: 10.1016/j.ceramint.2019.04.101.
26. Z. Yuan, B. Li, Y. Miao, L. Yang, and W. Zhang, "Synthesis and protective properties of Ni-W alloy strengthened by incorporation of diamond particles," *J. Alloys Compd.*, vol. 883, p. 160831, 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.160831.
27. B. Li, W. Zhang, D. Li, and J. Wang, "Electrodeposition of Ni-W/ZrO<sub>2</sub> nanocrystalline film reinforced by CeO<sub>2</sub> nanoparticles: Structure, surface properties and corrosion resistance," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 229, pp. 495–507, 2019, doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.03.049.
28. B. Li *et al.*, "Effect of current density and deposition time on microstructure and corrosion resistance of Ni-W/TiN nanocomposite coating," *Ceram. Int.*, vol. 45, no. 4, pp. 4870–4879, 2019, doi: 10.1016/j.ceramint.2018.11.184.
29. G. Lou *et al.*, "Preparation of Graphene Oxide-loaded Nickel with Excellent Antibacterial Property by Magnetic Field-Assisted Scanning Jet Electrodeposition," *Int. J. Bioprinting*, vol. 8, no. 1, pp. 1–15, 2022, doi: 10.18063/IJB.V8I1.432.
30. B. Li, D. Li, J. Zhang, W. Chen, and W. Zhang, "Electrodeposition of Ni-W/TiN-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocrystalline coating and investigation of its surface properties and corrosion resistance," *J. Alloys Compd.*, vol. 787, pp. 952–962, 2019, doi: 10.1016/j.jallcom.2019.02.168.
31. S. M. Nyambura, M. Kang, J. Zhu, Y. Liu, and Y. Zhang, "Synthesis and Characterization of Ni-W / Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Coatings Using Electrochemical Deposition Technique," 2019.
32. A. Moein and S. Rastegari, "Effect of pulse parameters on the morphology of electroplated Ni - W - TiC nanocomposite coating," *Surf. Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–

- 8, 2020, doi: 10.1080/02670844.2019.1708569.
33. A. Q. Do, H. An, and G. Wang, "SC," *Corros. Sci.*, 2018, doi: 10.1016/j.corsci.2018.11.017.
  34. R. Kumar, S. Aydinyan, R. Ivanov, L. Liu, and M. Antonov, "Composites Produced from Combustion-Synthesized Powders," 2022.
  35. E. Ünal and H. Karahan, "Production and characterization of electrodeposited Ni-B/hBN composite coatings," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 333, no. November 2017, pp. 125–137, 2018, doi: 10.1016/j.surfcoat.2017.11.016.
  36. B. Li, W. Zhang, D. Li, Y. Huan, and J. Dong, "Microstructural, surface and electrochemical properties of a novel Ni–B/Ni–W–BN duplex composite coating by co-electrodeposition," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 458, pp. 305–318, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.07.100.
  37. G. Gyawali, H. S. Kim, K. Tripathi, T. H. Kim, and S. W. Lee, "Fabrication and characterization of electrodeposited Ni-SiC-h/BN composite coatings," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 8, pp. 796–802, 2014, doi: 10.1016/j.jmst.2014.05.008.
  38. S. E. Aghili, M. Shamanian, and R. A. Najafabadi, "Synthesis of Ni(Cr)–hBN Nanocomposite by Mechanical Alloying and Its Thermodynamical Evaluation," *Russ. J. Non-Ferrous Met.*, vol. 60, no. 3, pp. 301–311, 2019, doi: 10.3103/S1067821219030027.
  39. L. Du, C. Huang, W. Zhang, T. Li, and W. Liu, "Preparation and wear performance of NiCr/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr/hBN plasma sprayed composite coating," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 205, no. 12, pp. 3722–3728, 2011, doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.01.031.
  40. L. Du, W. Zhang, W. Liu, and J. Zhang, "Preparation and characterization of plasma sprayed Ni<sub>3</sub>Al-hBN composite coating," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 205, no. 7, pp. 2419–2424, 2010, doi: 10.1016/j.surfcoat.2010.09.036.
  41. "Investigation of the mechanical properties of Ni-B / hBN composite coatings electrodeposited in presence of CTAB as the surfactant Investigation of the mechanical properties of Ni-B / hBN composite coatings electrodeposited in presence of CTAB as the surf," 2019.
  42. M. Dadvand and O. Savadogo, "Effect of hBN on Corrosion and Wear Performances of DC Electrodeposited NiW and NiW – SiC on Brass Substrates," 2022.
  43. Z. Ruan, X. Zhu, X. Wei, Y. Wu, M. Ma, and T. Wu, "Growth Mechanisms and Properties of DC Electrodeposited Ni- Co / hBN Composite Coatings Prepared on Q235 Steel," vol. 17, 2022, doi: 10.20964/2022.05.31.

44. A. Tozar and A. Tozar, "Investigating the hexadecylamine as a new nonionic surfactant candidate for electrodeposition of wear-resistant metal-matrix composites electrodeposition of wear-resistant metal-matrix composites," *Surf. Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1080/02670844.2020.1730628.
45. M. Tyrer, "16 Tungsten," *Crit. Met. Handb.*, no. March, p. 67171, 2013.
46. F. P. Bunby and R. H. Wentorf, "Direct transformation of hexagonal boron nitride to denser forms," *J. Chem. Phys.*, vol. 38, no. 5, pp. 1144–1149, 1963, doi: 10.1063/1.1733815.
47. M. ÖZ, "Hegzagonal bor nitrürün açık atmosferde termal davranışları," *Cumhur. Sci. J.*, vol. 37, no. 1, p. 57, 2016, doi: 10.17776/csj.38616.
48. Autolab Application Note EC08, "Basic overview of the working principle of a potentiostat/galvanostat (PGSTAT) – Electrochemical cell setup," *Metrohm Autolab.B.V.*, pp. 1–3, 2011.
49. N. Vidakis, A. Antoniadis, and N. Bilalis, "The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds," in *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, vol. 143–144, no. 1, pp. 481–485, doi: 10.1016/S0924-0136(03)00300-5.
50. K. T. Ü. M. Mühendisliği, B. Maden, İ. Laboratuvarı, A. Gör, and S. İnal, "Mikrosertlik Deney Föyü," vol. 2, no. 7, 2017.
51. J. W. Gooch, "Indentation Hardness," *Encycl. Dict. Polym.*, pp. 384–385, 2011, doi: 10.1007/978-1-4419-6247-8\_6253.
52. S. No, "I - Semester," no. 1.
53. H. Hüseyin BİLGİÇ *et al.*, "S235JR ÇELİĞİ İÇİN TORNALAMA İŞLEMİ SONRASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESİCİ TAKIM UÇ SICAKLIĞININ TAHMİNİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA."
54. N. Tsyntsaru, H. Cesiulis, M. Donten, J. Sort, E. Pellicer, and E. J. Podlaha-Murphy, "Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals," *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, vol. 48, no. 6, pp. 491–520, 2012, doi: 10.3103/S1068375512060038.
55. X. Shu, Y. Wang, X. Lu, C. Liu, and W. Gao, "Parameter optimization for electroless Ni-W-P coating," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 276, pp. 195–201, 2015, doi: 10.1016/j.surfcoat.2015.06.068.
56. A. Nicolenco *et al.*, "Mapping of magnetic and mechanical properties of Fe-W alloys electrodeposited from Fe(III)-based glycolate-citrate bath," *Mater. Des.*, vol. 139, pp. 429–438, 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2017.11.011.

57. A. Tozar and I. H. Karahan, "Structural and corrosion protection properties of electrochemically deposited nano-sized Zn-Ni alloy coatings," in *Applied Surface Science*, 2014, vol. 318, pp. 15–23, doi: 10.1016/j.apsusc.2013.12.020.
58. D. Shi *et al.*, "To PEGylate or not to PEGylate: Immunological properties of nanomedicine's most popular component, polyethylene glycol and its alternatives," *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 180, p. 114079, 2022, doi: 10.1016/j.addr.2021.114079.
59. M. M. Hoffmann, "Polyethylene glycol as a green chemical solvent," *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, vol. 57, p. 101537, 2022, doi: 10.1016/j.cocis.2021.101537.
60. Z. Cui, Y. Di, J. Peng, Y. Wang, and N. Feng, "Effect of Polyethylene Glycol on Preparation of Magnesium Hydroxide by Electrodeposition," *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 9, 2022, doi: 10.3390/ma15093278.
61. R. Mroczka, A. Słodkowska, A. Ładniak, and A. Chrzanowska, "Interaction of Bis-(sodium-sulfopropyl)-Disulfide and Polyethylene Glycol on the Copper Electrodeposited Layer by Time-of-Flight Secondary-Ion Mass Spectrometry," *Molecules*, vol. 28, no. 1, 2023, doi: 10.3390/molecules28010433.
62. Y. Wang, X. Zheng, and X. Li, "Effect of polyethylene glycol molecular weight on the electrodeposition of nanostructured nickel," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 623, no. December 2022, p. 156886, 2023, doi: 10.1016/j.apsusc.2023.156886.
63. J. Buxadera-Palomero, K. Albó, F. J. Gil, C. Mas-Moruno, and D. Rodríguez, "Polyethylene glycol pulsed electrodeposition for the development of antifouling coatings on titanium," *Coatings*, vol. 10, no. 5, 2020, doi: 10.3390/COATINGS10050456.
64. J. Xiang *et al.*, "Influence of polyethylene glycol inhibitors on properties of electroplated copper layer," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2393, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2393/1/012036.
65. E. Ü. Orcid, "Elektrokimyasal Depolama Yöntemi ile AISI 304 Çeliği Yüzeyine Biriktirilen Ni-B / TiB 2 Kompozit Kaplamaların Kristal Yapı ve Bazı Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Investigation of Crystal Structure and Mechanical Properties of Electrochemically," vol. 36, no. December, pp. 847–860, 2021.
66. E. Ü. Orcid, "Ni- B / TiC Nanokompozit Kaplamaların Korozyon Dayanımlarının Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi ( EE S ) Yöntemi ile Analizi Analysis of Corrosion Resistance of Ni-B / TiC Nanocomposite Coatings by Electrochemical Impedance Spectroscopy ( EIS ) Meth," vol. 38, no. March, pp. 115–129, 2023.
67. C. Pamukkale, "ORTODONTİ ANABİLGİM DALI," 2019.
68. İ. Üniversitesi, M. Y. Sentezi, K. Ve, and U. Alanlarının, "FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ POLİETİLEN GLİKOL YAN ZİNCİRLİ POLİ ( METİL KİMYA ANABİLİM DALI OCAK 2019," 2019.

69. C. Sakarya *et al.*, “Yüksek lisans tezi,” 2021.
70. Z. Zheng, M. C. Cox, and B. Li, “Surface modification of hexagonal boron nitride nanomaterials: a review,” *J. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 1, pp. 66–99, 2018, doi: 10.1007/s10853-017-1472-0.
71. M. Li *et al.*, “Perspectives on environmental applications of hexagonal boron nitride nanomaterials,” *Nano Today*, vol. 44, p. 101486, 2022, doi: 10.1016/j.nantod.2022.101486.
72. H. Kalkan, “Bor Nitrür Kaplamanın , Kaynak Çapaklarının Metal Aparat Yüzeylerine Yapışma Davranışlarına Etkisi,” 2016.
73. A. Yücel and Ç. V. Yildirim, “AA2024 Alaşımının Tornalanmasında Nano akışkan Konsantrasyon Oranı ve MMY Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi The Effect of Nanofluid Concentration Ratio and MQL Parameters on Surface Roughness and Cutting Temperature i,” vol. 2020, pp. 18–32, 2020.
74. Y. GÖNCÜ, İ. C. ONAR, and N. AY, “The effect of hexagonal boron nitride addition on pressureless sintered alumina matrix composites,” *J. Boron*, vol. 5, no. 1, pp. 40–47, 2020, doi: 10.30728/boron.633242.
75. M. Kocabaş, H. Yılmaz, and N. Cansever, “Heat Treatment Effect of Hexagonal Boron Nitride Reinforced Electroless Nickel Coatings,” *J. Boron*, vol. 4, no. 3, pp. 119–127, 2019, doi: 10.30728/boron.578022.
76. E. D. YALÇIN and A. ÇANAKÇI, “Hegzagonal Bor Nitrür Takviyeli ZA40 Alaşımının Mekanik ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması,” *Karadeniz Fen Bilim. Derg.*, vol. 11, no. 2, pp. 716–730, 2021, doi: 10.31466/kfbd.988720.
77. L. URTEKİN, H. SEZGİN, A. SEVİM, and N. AY, “Ti İmplantların Biyofilim Engelleme Amaçlı Nano hBN - HA ile Kaplanmasının Yüzey Karakterisitğine Etkisinin Belirlenmesi,” *DÜMF Mühendislik Derg.*, vol. 3, pp. 1149–1155, 2020, doi: 10.24012/dumf.722558.
78. Ş. Şirin, “PERFORMANCE EVALUATION OF MQL , hBN AND N 2 LUBRICATION / COOLING CONDITIONS WHEN TURNING OF AISI 904L SUPER DUPLEX STAINLESS STEEL AISI 904L SÜPER DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA M MY , hBN VE N 2 SOĞUTMA / YAĞLAMA KOŞULLARININ PERFORMANS DEĞER,” vol. 6, no. 1, 2022.
79. H. Zhang, Y. Pan, Y. Zhang, G. Lian, Q. Cao, and L. Que, “A comparative study on microstructure and tribological characteristics of Mo<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>/WC self-lubricating composite coatings with addition of WS<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>, and h-BN,” *Mater. Des.*, vol. 225, no. January, p. 111581, 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2022.111581.

80. A. Kumar Das, “Effect of solid lubricant addition in coating produced by laser cladding process: A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 1274–1280, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.217.
81. A. Khaira, I. Shown, S. Samireddi, S. Mukhopadhyay, and S. Chatterjee, “Mechanical and tribological characterization of deep eutectic solvent assisted electroless Ni–P–hBN coating,” *Ceram. Int.*, vol. 49, no. 1, pp. 461–473, 2023, doi: 10.1016/j.ceramint.2022.09.012.



---

**A**

Alüminyum · 2, 16, 17, 28, 29,  
31, 32, 42, 43, 52, 53, 55, 62,  
63, 64, 65, 77  
Aşınma · 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 11,  
12, 13, 14, 15, 20, 53, 84

---

**E**

Elektrodepolama · 1, 2, 4, 15, 17,  
18, 20, 25, 31, 42, 53, 64

---

**H**

hBN · 2, 3, 12, 13, 14, 15, 17, 18,  
19, 22, 23, 24, 25, 28, 30, 31,  
32, 43, 53, 54, 55, 56, 57, 58,  
59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66,  
67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74,  
75, 76, 77, 80, 83, 84

---

**K**

Kaplama · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  
10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18,  
19, 20, 24, 25, 28, 29, 30, 31,  
32, 33, 36, 37, 40, 41, 42, 43,  
44, 45, 48, 49, 51, 52, 53, 54,  
55, 56, 58, 59, 62, 63, 64, 65,  
68, 69, 72, 73, 75, 76, 82, 83  
Korozyon · 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11,  
12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21,  
24, 30, 31, 40, 42, 51, 52, 54,  
62, 64, 65, 72, 73, 74, 75, 76,  
77, 82

---

**M**

Mikrosertlik · 2, 5, 8, 11, 12, 13,  
15, 26, 27, 35, 36, 46, 47, 58,  
67, 68

---

**N**

Nikel · 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13,  
14, 15, 20, 24, 29, 32, 33, 43,  
54, 59, 65

Ni-W · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,  
11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 24,  
25, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35,  
36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43,  
44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51,  
52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59,  
60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,  
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75,  
76, 77, 78, 79, 81  
Ni-W/hBN · 2, 3, 15, 17, 18, 19,  
24, 25, 28, 30, 31, 53, 54, 55,  
57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65,  
66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73,  
74, 75, 76

---

**T**

Tungsten · 2, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 21,  
24, 29, 33, 79, 81

---

**Y**

Yapışma · 14, 24, 25, 32, 33, 43,  
44, 45, 46, 50, 52, 54, 55, 66,  
76, 77, 84  
Yüzey Pürüzlülüğü · 28, 37, 48,  
59, 69, 82, 84



**TEKNOVERSİTE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

