

**IN-SITU AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> FAZLAR İLE  
KUVVETLENDİRİLMİŞ Al-12Si PLAZMA SPREY  
KOMPOZİT KAPLAMALARIN  
KOROZYON DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

**Candan İRŞAT**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Mehmet GAVGALI**

**Doç. Dr. Burak DİKİCİ**

**2016**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**IN-SITU  $Al_2O_3$  FAZLAR İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ Al-12Si  
PLAZMA SPREY KOMPOZİT KAPLAMALARIN KOROZYON  
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

**Candan İRŞAT**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2016**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**IN-SITU AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> FAZLAR İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ AI-12Si PLAZMA  
SPREY KOMPOZİT KAPLAMALARIN KOROZYON DAVRANIŞININ  
BELİRLENMESİ**

Prof. Dr. Mehmet GAVGALI danışmanlığında, Doç. Dr. Burak DİKİCİ ortak danışmanlığında Candan İRŞAT tarafından hazırlanan bu çalışma 05/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı – Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (5/5)** ile kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Mehmet GAVGALI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yaşar TOTİK

İmza :

Üye : Prof. Dr. Hamit AKBULUT

İmza :

Üye: Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

İmza :

Üye: Doç. Dr. Burak DİKİCİ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 07/05/2016 tarih ve 15/18 nolu kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Ertan YILDIRIM  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### IN-SİTU $Al_2O_3$ FAZLAR İLE KUVVETLENDİRİLMİŞ Al-12Si PLAZMA SPREY KOMPOZİT KAPLAMALARIN KOROZYON DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

Candan İRŞAT

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet GAVGALI  
Ortak Danışman: Doç. Dr. Burak DİKİCİ

Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda alanında geniş kullanım alanı olan Alüminyumun özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır. Al matrisin yüzeyi üzerine mekanik alaşımlı kompozit toz Al-12Si 100 mm ve Al-12Si/SiO<sub>2</sub> 150 mm sprej mesafesinden taban malzeme üzerinde plazma sprej yöntemi ile biriktirilerek elde edilmiştir. Plazma ark akımı olarak 300-400-500-600-700 A olarak seçilmiştir. Farklı ark akımlarında elde edilen kompozit kaplamaların yoğunlaştırılmış sentetik otomotiv solisyonu (CSAS) içinde elektrokimyasal davranışı, potansiyodinamik polarizasyon (PDS) ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) teknikleri kullanılarak korozyon davranışları araştırılmıştır. Kaplamaların içyapısını incelemek için tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

Sonuç olarak; kaplamalar içerisinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alümina) oluşumu 150 mm ark mesafesinden kaplanan numunelerinde 100 mm ark mesafesinde kaplanan numunelere oranla daha soy E<sub>ocp</sub> ve E<sub>cor</sub> potansiyellerine sahip oldukları görülmüştür. 150 mm ark mesafesindeki kaplamaların 100 mm ark mesafesindeki kaplamalara göre daha kararlı, daha gözeneksiz ve iyi bir koruyucu oksit filmi olduğu söylenebilir. Bununla birlikte kaplama mesafesi arttıkça alümina oluşumunun da arttığı gözlenmiştir.

**2016, 69 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Al-12Si, Al-12Si/SiO<sub>2</sub>, EIS, PDS, Alüminyum

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **DETERMINATION OF Al-12Si PLASMA SPRAY COATING OF CORROSION BEHAVIOUR OF COMPOSITES WHICH ARE ENFORCED WITH IN-SITU $Al_2O_3$ PHASES**

Candan İRŞAT

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Mechanical Engineering  
Construction and Fabrication Science

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet GAVGALI  
Co Supervisor: Doç. Dr. Burak DİKİCİ

In this study mechanically alloyed composite powder Al- 12Si was obtained by accumulating of base material on the Al surface, which has broad applications in industrial areas, with 100 mm spray distance and Al-12Si /  $SiO_2$  obtained with 150 mm spray from a distance of 300, 400, 500, 600, 700 using plasma current along with in-situ plasma method. The electrochemical behavior in these obtained composite coatings in concentrate (CSAS) was investigated using the techniques of potentiodynamic polarization (PDS) and spectroscopy electrochemical impedance (EIS) and the effects of the arc current on the corrosion behavior. In order to examine the microstructure of the coating and thickness values, the scanning electron microscope (SEM) was used. As a result, the formation of  $Al_2O_3$  (alumina) in coatings and the samples coated from 150 mm arc distance are seen as having potential more decent of  $E_{ocp}$   $E_{corr}$  than those coated from 100 mm. It may be said that the samples covered from 150 mm arc of distance are firmer and more stable, also less porous and more protective, than those of 100 mm covered. However, it has been shown that as the distance of coating increases, so too the formation of alumina increases.

**2016, 69 pages**

**Keywords:** Al-12Si, Al-12Si/ $SiO_2$ , EIS, PDS, Aluminum

## **TEŞEKKÜR**

Tezimin hazırlanmasında yardımından, tecrubesinden ve bilgisinden her daim istifade ettiğim, değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet GAVGALI'ya teşekkür ederim.

Deneysel alışmalarımdaki deney sisteminin kurulmasında, numune malzemelerin teminde ve deneysel verilerin değerlendirilmesinde yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Burak DİKİCİ'ye teşekkür ederim.

Tüm okul hayatım boyunca gösterdikleri sabır, anlayış ve her türlü desteklerinden dolayı annem, babam ve ablalarıma çok teşekkür ederim.

**Candan İRŞAT**

**Őubat, 2016**

## İÇİNDEKİLER

|   |           |
|---|-----------|
| ÖZET.....   | i         |
| ABSTRACT.....   | ii        |
| TEŞEKKÜR.....   | iii       |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....   | vi        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | vii       |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | x         |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1. Alüminyum-Silisyum Alaşımları.....   | 10        |
| 2.2. Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....              | 12        |
| 2.3. Kompozitler.....   | 14        |
| 2.4. İn-sitü reaksiyon.....   | 15        |
| 2.5. Plazma sprey ve termal sprey kaplamaların, avantajları/dezavantajları..... | 16        |
| 2.6. Korozyon.....  | 18        |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>   | <b>32</b> |
| 3.1. Kaplamaların Yapılışı ve Karakterizasyonu.....                             | 32        |
| 3.2. Korozyon Testleri.....   | 33        |
| 3.3. Polarizasyon Testlerinin Uygulanışı.....                                   | 34        |
| 3.4. Karakterizasyon.....   | 36        |
| <b>4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....</b>  | <b>38</b> |
| 4.1. K1-300 Kodlu Numune.....   | 38        |
| 4.2. K1-400 Kodlu Numune.....   | 41        |
| 4.3. K1-500 Kodlu Numune.....   | 43        |
| 4.4. K1-600 Kodlu Numune.....   | 46        |
| 4.5. K1-700 Kodlu Numune.....   | 49        |
| 4.6. K2-300 Kodlu Numune.....   | 52        |
| 4.7. K2-400 Kodlu Numune.....   | 55        |
| 4.8. K2-700 Kodlu Numune.....   | 58        |
| <b>5. SONUÇ ve TARTIŞMA.....</b>  | <b>62</b> |

|                 |    |
|-----------------|----|
| KAYNAKLAR ..... | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 70 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|     |                      |
|-----|----------------------|
| °C  | Santigrat Derece     |
| A   | Akım Birimi, Amper   |
| Cal | Kalori               |
| Hz  | Frekans Birimi, Herz |
| °K  | Kelvin Derece        |
| V   | Gerilim birimi, Volt |

### Kısaltmalar

|            |  |
|------------|--|
| $E_{corr}$ | Korozyon Potansiyeli                         |
| $I_{cor}$  | Korozyon Akımı                               |
| $E_{pit}$  | Çukurcuk potansiyeli                         |
| $E_{ocp}$  | Açık devre potansiyeli                       |
| SEM        | Taramalı Elektron Mikroskop                  |
| CSAS       | Yoğunlaştırılmış Sentetik Otomotiv Solisyonu |
| IPS        | İn-situ plazma sprej                         |
| APS        | Atmosferik plazma sprej                      |
| MA         | Mekanik Alaşım                               |
| EIS        | Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopi        |
| XRD        | X-ışını difraksiyonu                         |
| PDS        | Potansiyodinamik Polarizasyon                |
| RF         | Reaktif Plazma                               |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Alüminyum malzemelerin ve imalat çeliği ile atmosfer ortamında karşılaştırılmalı korozyon davranışları ..... | 10 |
| Şekil 2.2. Al-Si alaşımı ötektik yapı .....   | 11 |
| Şekil 2.3. Değişik oranlarda Si içeren Al-Si alaşımlarının mikro yapıları .....   | 11 |
| Şekil 2.4. Alüminyumun bazı endüstriyel uygulamaları .....  | 13 |
| Şekil 2.5. XD uygulamasının proses şeması .....   | 16 |
| Şekil 2.6. Yüzey üzerine spreyleme anı .....  | 17 |
| Şekil 2.7. Plazma sprej püskürme tabancası çalışma şekli .....  | 17 |
| Şekil 2.8. Metal yüzeyinde farklı korozyon türleri .....  | 19 |
| Şekil 2.9. Elektrikli ara yüzeyin şematik gösterimi .....   | 19 |
| Şekil 2.10. Tafel ekstrapolasyon yöntemi korozyon hızının belirlenmesi .....  | 22 |
| Şekil 2.11. Çukurcuk korozyonu .....  | 23 |
| Şekil 2.12. Oyuklanma ile oluşan bir korozyon hücresi .....   | 23 |
| Şekil 2.13. Çukurcuk Pitting Korozyonu .....  | 24 |
| Şekil 2.14. Aralık korozyonu .....  | 25 |
| Şekil 2.15. Aralık korozyonu .....  | 25 |
| Şekil 2.16. Farklı metaller arasında oluşan galvanik korozyonu .....  | 26 |
| Şekil 2.17. Galvanik korozyona uğramış boru kesiti .....  | 26 |
| Şekil 2.18. Kabuk altı korozyonu .....  | 27 |
| Şekil 2.19. Seçici korozyon .....   | 28 |
| Şekil 2.20. Taneler Arası Korozyon .....  | 29 |
| Şekil 2.21. Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge .....  | 29 |
| Şekil 2.22. Pirinçte oluşmuş gerilme-korozyonu çatlakları .....   | 30 |
| Şekil 2.23. Gerilme-korozyonu çatlakları .....  | 30 |
| Şekil 2.24. Yorulmalı korozyonun Şematik gösterimi .....  | 31 |
| Şekil 3.1. Korozyon testleri için hazırlanan çalışma elektrotun şematik bir gösterimi .....                             | 33 |
| Şekil 3.2. Korozyon test ünitesinin bileşenleri ve bağlantı şekillerinin şematik gösterimi .....                        | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.3. Korozyon deney sistemi (GAMRY- PCI14/750) .....                          | 35 |
| Şekil 3.4. a) Korozyon hücresi b) Ag/AgCl referans elektrot.....                    | 36 |
| Şekil 3.5. Tarama elektron mikroskopları (SEM FEI Company) .....                    | 36 |
| Şekil 4.1. K1-300 numunelere ait a) OCP b) PDS eğrileri .....                       | 38 |
| Şekil 4.2. K1-300 numunesine ait SEM görüntüleri.....                               | 39 |
| Şekil 4.3. K1-300 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge ..... | 40 |
| Şekil 4.4. K1-300 kodlu numunenin element analizi.....                              | 40 |
| Şekil 4.5. K1-400 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri .....                       | 41 |
| Şekil 4.6. K1-400 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüleri .....             | 42 |
| Şekil 4.7. K1-400 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge ..... | 42 |
| Şekil 4.8. K1-400 kodlu numunenin element analizi.....                              | 43 |
| Şekil 4.9. K1-500 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri .....                       | 44 |
| Şekil 4.10. K1-500 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri.....             | 45 |
| Şekil 4.11. K1-500 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .... | 45 |
| Şekil 4.12. K1-500 kodlu numunenin element analizi.....                             | 46 |
| Şekil 4.13. K1-600 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri .....                      | 47 |
| Şekil 4.14. K1-600 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüler .....             | 48 |
| Şekil 4.15. K1-600 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .... | 48 |
| Şekil 4.16. K1-600 kodlu numunenin element analizi.....                             | 49 |
| Şekil 4.17. K1-700 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri .....                      | 50 |
| Şekil 4.18. K1-700 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüler .....             | 51 |
| Şekil 4.19. K1-700 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .... | 51 |
| Şekil 4.20. K1-700 kodlu numunenin element analizi.....                             | 52 |
| Şekil 4.21. K2-300 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri .....                      | 53 |
| Şekil 4.22. K2-300 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri.....             | 54 |
| Şekil 4.23. K2-300 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .... | 54 |
| Şekil 4.24. K2-300 kodlu numunenin element analizi.....                             | 55 |
| Şekil 4.25. K2-400 numunelere ait a) PDS b) OSP eğrileri .....                      | 56 |
| Şekil 4.26. K2-400 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri.....             | 57 |
| Şekil 4.27. K2-400 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .... | 57 |
| Şekil 4.28. K2-400 kodlu numunenin element analizi.....                             | 58 |
| Şekil 4.29. K2-700 numunelere ait polarizasyon eğrisi .....                         | 59 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 4.30.</b> K2-700 numuneye ait korozyon sonrası SEM görüntüleri .....                                   | 60 |
| <b>Şekil 4.31.</b> K2-700 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge .....                     | 60 |
| <b>Şekil 4.32.</b> K2-700 kodlu numunenin element analizi.....  | 61 |
| <b>Şekil 5.1.</b> K1 kodlu Numunelerim açık devre potansiyeli (Eocp-t) zamana bağlı<br>değişim eğrileri .....   | 62 |
| <b>Şekil 5.2.</b> K1 kodlu numunelerin PDS eğrileri .....   | 62 |
| <b>Şekil 5.3.</b> K2 kodlu numunelerin açık devre potansiyeli (Eocp - t) zamana bağlı<br>değişim eğrileri ..... | 63 |
| <b>Şekil 5.4.</b> K2 kodlu numunelerin PDS eğrileri .....   | 63 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Çizelge 3.1.</b> Deney numuneleri.....   | 33 |
| <b>Çizelge 3.2.</b> Deneysel çalışma iş akışı.....  | 37 |
| <b>Çizelge 4.1.</b> 4.3 nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları .....   | 40 |
| <b>Çizelge 4.2.</b> 4.7 nolu resimde sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları .....            | 43 |
| <b>Çizelge 4.3.</b> 4.11 nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları .....  | 46 |
| <b>Çizelge 4.4.</b> 4.15. nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları ..... | 49 |
| <b>Çizelge 4.5.</b> 4.19. nolu resimde sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları .....          | 52 |
| <b>Çizelge 4.6.</b> 4.23 nolu resimde SEM korozyon sonrası görüntüsü görülen bölgenin element oranları .....  | 55 |
| <b>Çizelge 5.1.</b> Kaplamaların OCP ve PDS eğrilerinde hesaplanan korozyon parametreleri .....               | 64 |

## 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları yeryüzünde fazla bulunmasına rağmen (%7,5-8,1) ortamda saf halde az bulunmaktadır, bu nedenle de kıymetli bir metaldir. Alüminyum çok hızlı bir şekilde oksitlenir ve oluşan oksit tabakası yüzeyden kolay ayrılmaz bu nedenle rafine edilmesi zor bir metaldir (Özcömert 2006).

Termal püskürtme yöntemi kullanılarak seramik ve metalik parçacıklar ile yapılan kaplamalar otomotiv ve kâğıt endüstrisinde, kimya ve diğer endüstrilerde yüzeylerin işleme performansını artırmakta ve yüksek aşınmaya dayanıklı bir tabaka meydana getirmek amacıyla yapılmaktadır (Çelik vd 1997).

Conta, rulman, şaft, türbin kanatları ve birçok endüstriyel motor blok yatağı uygulamalarda termal kaplama yöntemi yüzey bozulmalarını azaltarak malzemelerin ömrünü uzatmaktadır. (Soydan vd 1997).

Endüstride kullanılan teknolojiler arasında alevle sprej kaplama (APS) ve plazma sprej kaplama teknikleri en çok tercih edilenlerdir. Plazma sprej kaplama yöntemi, aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklığa karşı direnç sağlaması nedeni ile yaygın olarak kullanılırlar (Kıratlı vd 2009).

Gelişen teknoloji ile beraber metal ve alaşımlarının yüksek sıcaklık, korozyon, aşınma gibi ağırlaşan çalışma şartlarında uygun hale getirilmesi için plastiklere, kompozitlere, süper alaşımlara, ileri teknoloji seramiklere, metal ve seramik kaplamalara ihtiyaç artmaktadır. Bu nedenle pahalı olmayan bir alt malzeme üzerine ince ve koruyucu değeri ve mukavemeti yüksek aşınmaya dayanıklı bir tabaka farklı kaplama teknikleri ile (CVD, PVD veya Termal Sprej vb) meydana getirilmelidir. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla sağlanmakta ve uygulanması ise plazma sprej kaplama teknolojisi olmaktadır (Yeşildal ve Günay 2007).

Kıratlı *vd.* (2009) bildirdiğine göre plazma sprey yöntemine göre daha ekonomik ve proses kontrolü daha kolay olan alevle sprey prosesinde, sıkıştırılmış havanın veya inert gazın (argon veya nitrojen) akmasıyla kaplama malzemesi direkt olarak alev içerisine beslenir. Ergiyen partiküller hızlandırılarak alev gazları yardımıyla ana malzeme üzerine püskürtülür. Ana malzemeye çarpan her bir ergimiş partikül yüzey üzerinde düzleşir ve hızlıca katılaşır. Bu yöntemle ince ve çok katmanlı kaplamalar elde edilebileceği gibi aşınmış yüzeylerin tamiratı da sağladığını Rodriguez (2003); Uyulgan, (2007), Gomez (2008) tarafından ileri sürüldü.

Bartuli *et al.* (2006) yaptığı çalışmada giderek artan yüksek hız işletim ve kontak yükleri gibi zorlu çalışma ortamlarında, malzeme bileşenlerin geliştirilmesi, gerektiğini düşünmekte ve bu nedenle son yıllarda farklı koruyucu kaplamalar temas yüzeyleri oluşturmaktadır. Bu sayede güvenilirlik kalite ve servis ömrü gibi etkenleri geliştireceğinden ve özellikle korozyon, erozyon, kavitasyon, vb durumlarda meydana gelen aşınmaların neden olduğu hasarları ve sürtünmeyi azaltmak için aşınmaya karşı dirençli kaplamaların kullanıldığından bahseder. Günümüz teknolojisinde koruyucu kaplamaların önemi büyüktür. Termal yükler ve üretim süreçleri açısından en verimli ve ekonomik kaplama yöntemi ise APS'dir.

Tekmen *et al.* (2007) çalışmalarında kompozit kaplamaların termodinamik olarak kararlı fazlardan meydana gelmesi sebebiyle IPS'nin gelecek vaat eden teknik olduğunu vurguladı. Bu çalışmalarında, mekanik olarak Al-12Si ve SiO<sub>2</sub> kompozit toz in-situ APS yöntemi ile alüminyum taban malzeme üzerine alüminyum takviye edilerek güçlendirildi. Sprey parametreleri (sprey ark mesafesi) uçuş parçacık özellikleri (sıcaklık ve hız) üzerinde in-situ reaksiyon şiddeti (alüminyum oksit ve silisyum) etkisini araştırdı. Sonuçlar göstermiş ki, in-situ kaplamada alümina oluşumu ve yoğunluğu, uçuş parçacık özelliklerine, mesafeye ve yüzey sıcaklığına bağlıdır.

Çelik *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada İn-situ plazma sprey IPS geniş bir yelpazede kullanıldığı ve özellikle aşındırıcı ortamların fazla olduğu endüstrilerde uygulandığı belirtiyor. Bu tür kaplamalar da küçük yapısal kusurlar olabileceğini ve bunlarında iğne

deliğine benzer gözenekler, mikro çatlaklar ve yerel kusurlar olduğunu bu kusurlarında kaplama esnasında veya sonrasında oluştuğunu belirtirler. Korozif ortamlar nedeniyle yüzeye ve taban malzeme arasına giren hızlı, yerel galvanik saldırılar gözenekli yapıda çukurlaşma korozyonuna neden olduğunu da tespit etmişler. Yaptıkları bu çalışmanın temel amacı plazma sprej tekniği kullanılarak  $Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3+TiO_2$ ,  $Cr_2C_3+NiCr$ ,  $NiCrAl$ ,  $ZrO_2+NiAl$  ve  $MgZrO_3+NiAl$  ile kaplanmış AISI 304L paslanmaz çeliğin korozyon direncini gözlenmektir. İlk olarak, korozyon davranışı 1N  $H_2SO_4$  çözeltisi içinde potansiyodinamik polarizasyon deney yöntemi ile korozyon davranışını incelemişler. Buna ek olarak, gözeneklilik kaplamanın kalınlığının vb. parametrelerin, korozyon davranışı üzerinde etkilerini incelediler. Kaplama aşınmaları mikro optik elektron mikroskobu (SEM) X-ışını difraksiyonu (XRD) ile aşınma testi incelenmiş ve genellikle gözeneklilik, oksitler, kalıntılar ve erimemiş parçacıklar tespit edildi. Yaptıkları incelemede aşınmanın ve gözenekli yapının ve kaplama türüne göre etkili olduğu ayrıca,  $Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3+TiO_2$ , aşınma dirençlerinin  $ZrO_2+NiAl$   $MgZrO_3+NiAl$   $Cr_2C_3+NiCr$ ,  $NiAl$  ve  $NiCrAl$  kaplamalara göre daha yüksek olduğu sonucuna vardılar. Sonuç olarak seramik esaslı kaplamalar metal kaplamalara göre daha gözenekli yapı göstermektedir. Plazma sprej kaplamalardaki yüksek sıcaklık nedeniyle kristografik değişimler saptanmış ve gözeneklilik kaplama türüne bağlı olarak % 0,5-1,6 aralığında olduğunu tespit ettiler.

Yeşildal *vd.* (2007) yaptıkları çalışmalarında AISI 1020 AISI 304 çelikleri üzerine seramik ve metalik esaslı tozlar (Zirkonya, Co+Cr+Mo, Al+Ni esaslı tozlar ile bağlayıcı olarak Al-Ni) ile gerçekleştirilen kaplamalar, metalografik olarak incelediler ve kaplamaların sertlik değerlerini ölçtüler. Yaptıkları metalografik incelemeleri sonucu kaplama tabakalarının lamelli katmandan oluşan bir yapıda olduğu tespit ettiler. Kaplama tabakasında bulunan oksit, boşluk ve erimemiş partiküllerin miktarının tabakanın mekanik özelliklerini etkilediği tespit ettiler. Kaplama tabakalarının adezyon mukavemetlerinin tabaka kalınlığı arttıkça azalmıştır. Her iki grafit yani AISI1020 ve AISI304 çelikleri kendi içinde incelendiğinde Al-Ni kaplamaların adezyonunun daha iyi olduğu ve daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiş ikinci yüksek mukavemetin ise Co+Cr+Mo kaplamalardan elde edildiği görülmüş seramik esaslı

tozların ise daha düşük mukavemet değerine sahip olduğu ve bunu sebebi de altlık ile kaplama tozların metal-metal uyumundan kaynaklandığı sonucuna varıldı.

Santosa *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada Al-Si-Cu alaşımların çok iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasına rağmen, korozyif ortamlara karşı dirençleri hakkında yeterli bilgiye sahip olunmadığından bahsediyor. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda alkollü yakıtların alaşımlar üzerindeki korozyon direncini araştırmak için yapılmış olduğunu ve halen aşınma direncini belirlemek için çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirttiler. Yaptıkları bu araştırmadaki amaçları plazma sprey ile üretilen dört adet alaşımlı Al-Si-Cu kaplamalarının yakıtın yanmasıyla oluşan tipik bir otomotiv çözeltisi olan CSAS içinde, Al-Si hiperötektik alaşımlarının korozyon direncinin araştırdılar. Dört adet motor blok silindirlerin alaşım malzemesi kullanıldı. Çözelti içinde daldırma yöntemi elektrokimyasal empedans spektroskopisi incelemişler ve dört alaşımın elektrokimyasal olarak karşılaştırılması yaptılar. Santosa ve arkadaşları dört alaşımın aşınma mekanizmaları benzer olmasına rağmen, korozyona karşı farklı dirençler göstermeleri mikro yapıyla alakalı olabilir sonucuna vardılar. Laboratuvar ortamında hazırlanan alaşımlar diğer alaşımlara göre korozyona karşı daha duyarlılık gösterdi. Alaşımların yüzeyleri elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopi ile taranarak, korozyon test öncesi ve sonrasında incelenmiş görülmüş ki alüminyum matris fazının yüksek bakır içerikli spreyleme ile hazırlanan alaşımlara kıyasla çukurlaşmaya daha duyarlı olduğu gördüler. Sonuçlarda, tüm alaşımlarda alüminyum matris fazına daha fazla saldırı gösterdi. Yüksek bakır içerikli alaşım ve şekillendirme sprey tarafından hazırlanan diğer alaşımlara göre çukurlaşmaya daha duyarlı olduğu tespit edildi.

Tekmen *et al.* (2008) yaptıkları çalışmalarında Al-12Si ve SiO<sub>2</sub> toz alaşımlarını bir alüminyum üzerine APS yöntemiyle Al-Si kompozit kaplama elde etmek için püskürtüldü. İşlem parametreleri (ark akımı, sprey mesafesi, nozül tipi, oksijen gazı etkisi ve yüzey soğutma) partikül özellikleri (sıcaklık ve hız) uçuş ve in-situ alümina oluşumunu inceledi. Oksijen gazının alümina oluşumunda önemsiz olduğu kanısına varılmış ve yüzey soğutma işlemlerinin alümina oluşumunu yavaşlattığı görüldü.

Tekmen *et al.* (2007) yaptıkları çalışmalarında IPS termodinamik olarak kararlı fazda bileşik kaplamalar imal etmek için gelecek vaat eden bir işlem olduğunu ifade etti. Çalışmada, mekanik alaşımlı Al-12Si ve SiO<sub>2</sub> tozu alüminyum yüzey üzerine APS yöntemi ile püskürtülerek kapladı. Kaplamada alümina takviyeli Al-18Si matris alaşımı oluşmuştur. İn-situ sprey kaplamalarda doğal haldeki oksitlerle birlikte kompozit malzeme meydana geldi. Doğal şekilde oluşan bu reaksiyonlar zamana, sıcaklığa ve plazma parametrelerine bağlı olduğu ve kompozit içindeki yapıların buharlaşmasını önlemek için uçuş ısısının kontrol altında tutulması gerektiği sonucuna varıldı.

Tekmen *et al.* (2009) yaptıkları çalışmalarında, mekanik alaşımlı Al-12Si/TiB<sub>2</sub>/h- BN kompozit toz atmosferik plazma püskürtme ile alüminyum alt tabaka üzerine biriktirdi. Oluşturulan Mekanik Alaşımda (MA) plazma etkisi, sprey parametreleri, bileşik toz ve kaplama yapısını araştırdı. MA sürecinde bileşik toz morfolojisi seçici tozlar arasındaki reaksiyonu (reaksiyona girme kabiliyeti) önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenildi. Ayrıca, sonuçlar gösterdi ki nispeten yüksek frezeleme süresinde h-BN B, N'e ayrıştı ve katı bir çözelti oluşturdu. Sonuçlar aynı zamanda h-BN ve Al arasındaki reaksiyondan oluşmuş doğal haldeki AlN miktarının ve/veya Al-B-N katı çözeltisinin ayrışmasının plazma parametrelerinden (ark akım ikincil gaz akış hızı) bağımsız olduğunu tespit ettiler. Sonuç olarak in-situ reaksiyon yoğunluğu ve sprey etkileri (ark akımı ve sprey mesafesi) ve uçuş parçacık özelliklerini (sıcaklık ve hız) inceledi ve sonuçta alümina oluşumu ve silikon yoğunluğu, uçuş parçacık özellikleri, in-situ sprey kaplamanın püskürtme mesafesi ve yüzey sıcaklığına bağlı olduğunu tespit edildi.

Tekmen *et al.* (2008a) yaptıkları çalışmada mekanik alaşımlı Al-12Si, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> tozu APS yöntemi kullanılarak bir alüminyum alt-tabaka üzerinde biriktirdiler. Bu kaplama işlemi sırasında, TiB<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında başlayan tepkime ile oluşmuş tozlar ve ince Al-Si alaşım matris içinde dağıldığı görülmüş. MA esnasında in-situ plazma parametreleri (akım/taşıyıcı gaz akış hızı) reaksiyon şiddetine ve uçuş parçacık özelliklerini (sıcaklık ve hız) araştırdılar. Araştırmaları sonucunda görülmüş ki MA in-situ oluşumunda TiB<sub>2</sub> ve  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı toz morfolojisi de dikkate değer bir etkiye sahiptir. Uçuş parçacık tanınal ölçümlerde plazma parametrelerini ark akımı uçuş

parçacık hızı ve sıcaklık güçlü etkisi arasında olduğunu göstermektedir. Sonuçlar göstermiş ki, uçuş parçacık hızı ve in-situ ile oluşan fazların miktarlarında sıcaklık baskın bir özelliktir.

Özdemir *et al.* (2005) yaptıkları in-situ kaplamaların uçuş esnasında ve sonrasında ki parçacık sıkışması ve meydana gelen tepkimeleri diğer spreyci kaplamalar ile karşılaştırıldığında daha üstün özellikte olduğu görüldü. İn-situ kaplamalar homojen ve ince toz halinde oluşu nedeniyle geleneksel kaplamalara göre daha istikrarlı fazlar meydana geldiğinden bahsediyor. Bu çalışmada İ. Özdemir ve arkadaşları kompozit toz nikel kaplı, ince SiO<sub>2</sub> parçacıkları ile su cam bağlayıcı (SiO<sub>2</sub>/Ni/Al-Si-Mg) Al-Si-Mg temel parçacıkların üzerine yatırdılar. Püskürtme sistemi olarak da HVOF ve DC plazma sistemi kullandılar. Reaktif püskürtmeli kompozit kaplamalar, esas olarak Mg<sub>2</sub>Si, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NiAl<sub>3</sub> ve Al-Si fazlarını oluşturdu. Erimiş Al-Si-Mg alaşımı ile SiO<sub>2</sub> arasındaki ekzotermik reaksiyon da matris bileşik olan toz alüminyum tükenir, bundan dolayı plazma spreyci kompozit kaplamalar düşük sertlikte olduğu görüldü. Plazma spreylemede birçok reaktif plazma gazları CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> vb. kullanmışlar.

Çelik *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiCr, NiAl, NiCrAl, ZrO<sub>2</sub> ve MgZrO<sub>3</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub> kaplamalar korozyonlu ortamlara karşı dirençli olduğu ve bu sebeple de sanayide yaygın olarak kullanıldığından bahsediyor. Malzemeler bileşenleri kullanıldığı ortama göre yapılandırılmaları kaplamalarda önemli bir parametredir. Bu amaçla da, AISI 304L paslanmaz çelik üzerine seramik, sermet ve metalik boya ile kaplanmış numunenin 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltide korozyon davranışları araştırıldı. Plazma püskürtme işlemi ile seramik birikimi alt-tabaka üzerine uygulandı. Kaplama için ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>+NiCr, NiCrAl, ZrO<sub>2</sub>+NiAl ve MgZrO<sub>3</sub>+NiAl gibi metalik tozlar püskürtüldü. Kaplamaların gözenekliliği elektrokimyasal ve optik yöntemlerle ölçüldü. Kaplamaların mikro yapısı ve test sırasındaki korozyonları optik mikroskop, SEM ve X-ışını kırınımı (XRD) ile araştırıldı. Korozyon direnci ve porozite kaplamanın türüne bağlı olduğu sonucuna vardılar. Korozyon direncinin gözeneklilik ve kaplama tipine bağlı olduğu sonucuna varmışlar. Ayrıca, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> + NiAl ve

MgZrO<sub>3</sub> + NiAl kaplamaların korozyon dirençleri Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub> + NiCr, NiAl ve NiCrAl kaplamalara göre daha yüksek olduğu sonucuna varmışlar.

Richardson *et al.* (1970) alüminyumun yüzeyinde oluşan oksit tabaka yüzeyde korucu bir etki gösterir ve metali korozyona daha dirençli yapar. Yeni kesilmiş bir alüminyum havayla teması sonucu hızlı bir şekilde oksitlenir ve alümina denilen bir tabaka meydana gelir. Bu tabaka metalin daha fazla oksitlenmesini engeller. Yeni parlatılmış bir yüzeyde bu yaklaşık kalınlık 20-300 Å kadardır. Alüminyum oksit birçok bileşiğe göre kimyaca inaktiftir. Bu özellik alüminyuma çok iyi bir korozyon direnci kazandırır.

Thirumalaikumarasamy *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada plazma seramik kaplamaların başarılı ısı yalıtımları ile yüksek aşınma ve korozyon direnci nedeniyle pek çok endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir yöntem olduğundan bahsetmektedirler. IPS yöntemi ile üç farklı plazma püskürtme parametresi kullanılarak magnezyum alaşımli AZ31B altlık üzerine alümina tozlar püskürtülmüş ve kaplamaların korozyon davranışı değişen parametrelerine göre araştırmışlardır. Kapladıkları numunelerin korozyon davranışı %3,5 ağırlık NaCl çözeltisi içinde daldırma yöntemi ile değerlendirilmişler. Sonuçlar göstermiştir ki akım gücü akım mesafesi ve toz besleme hızının korozyon hızı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kaplamanın korozyon davranışının plazma gücünün etkilediği ve 25 kW Yüksek güç seviyesi kaplamaların korozyon direnci arttığı gördü. Bununla beraber yüksek güce bağlı olarak başarılı bir çökme olmuş ve büyük olasılıkla üreten erimiş parçacıklar daha fazla fraksiyonlara neden olmuş. Alüminyum kaplamalar da spreysel mesafesi lokalize hasarlara son derece duyarlıdır, bu nedenle alaşım yüzeyi Mg için iyi bir korozyon koruması sağlar. Alüminyum kaplı AZ31 alaşımı korozyona direnci mikroskop ölçümüne göre yüzeye mesafesi 130 mm, daha büyük olduğunda çok daha yüksek olduğu görülmüş. Uzun süreli ve hızlı toz beslemesi gözeneklere ve kısmen erimemiş bölgelere neden olduğundan korozyon direncinde düşmelere neden olmakta. Toz besleme oranı azaltıldığı zaman, gözenekler azalmış ve kısmen erimiş bölgeler kaplamalar imal edilebilir. Bununla beraber toz ilerleme hızı, akım gücü, püskürme mesafesi gibi proses parametreleri alüminyum kaplamaların korozyon oranı üzerinde büyük bir etkiye sahip

olduğu bulmuşlar. Termodinamik olarak kararlı fazlar meydana getirdiğinden dolayı IPS yöntemi tercih edilen ve gelecek vaat eden bir yöntemdir. Bununla birlikte iyi aşınma ve korozyon direnci nedeniyle gelişen endüstride tercih edilen bir uygulamadır.

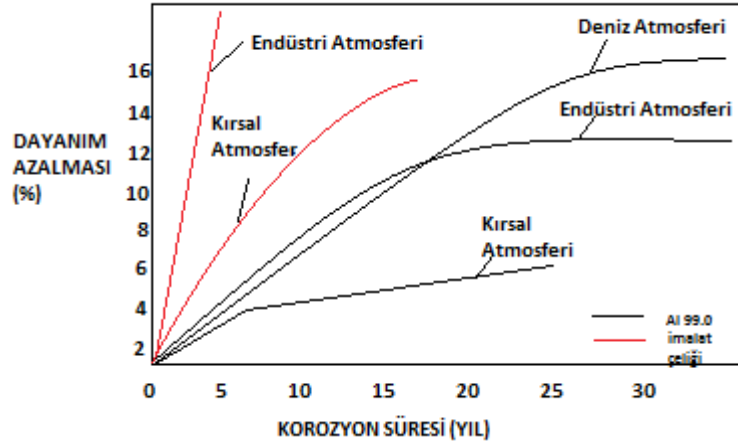
Bu çalışmada, yapılan deneyler kaplama işlemleri parametreleri de (kaplama malzemesi, ark şiddeti, ark mesafesi) dâhil ederek plazma püskürtme ile elde edilen alümina kaplamaların otomotiv sentetik çözeltisinde daldırma korozyon testi ile değerlendirmiş. Kompozit kaplamaların korozyon direnci potansiyodinamik Polarizasyon Tarama (PDS) tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Korozyon testi sonrası kaplamaların yüzey morfolojisi metalografik yöntemler ve tarama elektron kullanılarak incelendi.

Literatür incelemesinden de görüldüğü gibi özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan alüminyum metalinin korozyon direncinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmalar arasında plazma spreyl kaplama yöntemiyle yüzeyde oluşturulan Al-12Si ve Al-12Si/SiO<sub>2</sub> kompozit filmin alüminyum matrisin korozyon direncini iyileştirip iyileştirmediği konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple yüzeyde Al-12Si ve Al-12Si/SiO<sub>2</sub> kompozit filminin oluşturulmasında plazma spreyl kaplama parametreleri olan ark mesafesi ve ark akımının optimum korozyon direncine etkileri incelenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Alüminyumun teknolojiye kullanımı bulunduğumuz yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Alüminyum hafif, korozyona dayanıklı ve iletkenlik özelliği de yüksek bir metaldir. Otomotiv sektöründe son dönemlerde bu olumlu özelliklerden dolayı daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Döküm ve ekstrüzyon metodu ile üretilmiş alüminyum parçaların otomotivde kullanımı fiyat engeline pek takılmamaktadır. Ancak levha halindeki alüminyum ürünler levha halindeki çelik ürünlere kıyasla daha maliyetli olduğu için araç üretiminde sınırlı miktarda tercih edilmektedir (Güngör ve Dündar 2004).

Alüminyumun koroziv ortamlara karşı gösterdiği direnç; atmosferle teması esnasında yüzeyde meydana gelen alüminyum oksit tabakası ile açıklamaktadır. Atmosfer ortamında metal yüzeyinde oluşan bu tabaka düzensiz haldedir. Ancak su ve su buharı kristal yapıların yüzeyinde oksit film tabakası meydana getirir. Bu tabakanın homojenliği ne kadar iyi ise korozyon dayanımı da o kadar yüksek olur. Alüminyum ve alüminyum alaşımlı malzemeler, atmosfer ortamında korozyonun etkilerine karşı dayanıklı bir yapı sergiler. Endüstriyel ortamlarda ( $SO_2$ , kir, toz bulunduğu) ve deniz suyu içerisinde otuz yıl sonrasında korozyona, alüminyum malzemelerin dayanımındaki azalma yaklaşık olarak %9-13 aralığındadır. Alüminyum esaslı malzemeler ile imalat çeliği karşılaştırıldığında atmosfer ortamında alüminyum ve alaşımlarında meydana gelen korozyon türleri farklılık gösterir (Akdoğan Eker 2009).

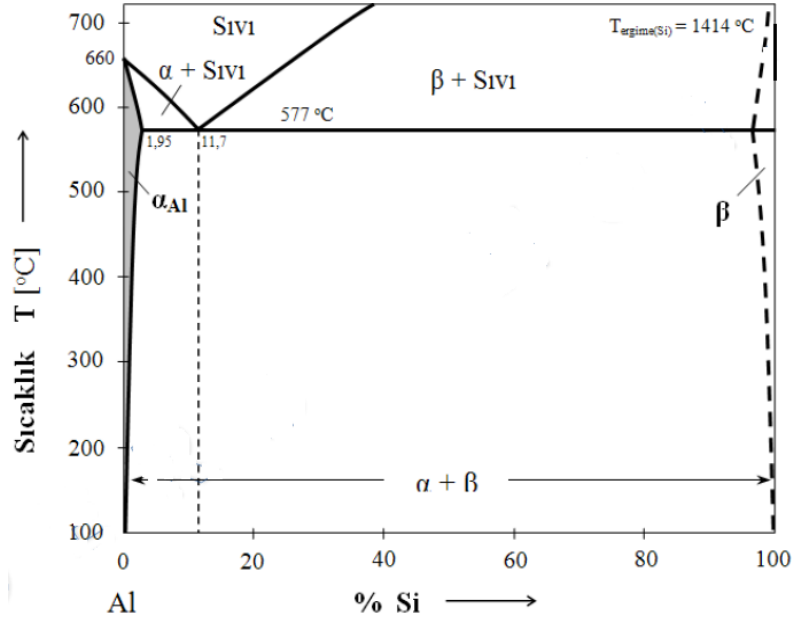


**Şekil 2.1.** Alüminyum malzemelerin ve imalat çeliği ile atmosfer ortamında karşılaştırılmalı korozyon davranışları (Akdoğan Eker 2009)

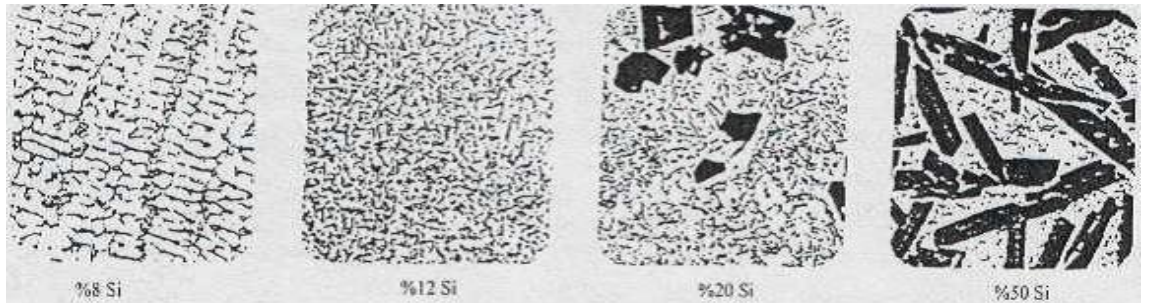
## 2.1. Alüminyum-Silisyum Alaşımları

Alaşım birden fazla metalin ergitilerek karıştırılması ile elde edilir. Alüminyuma alaşımlama ile akıcılık, mekanik özellikler, (mukavemet) kimyasal stabilite, şekillendirilebilme, ısıl genleşme, ısıl iletkenlik vb özellikleri iyileştirilebilir. Alüminyuma %5 Silisyum ilave edilmesi durumunda daha ince ve daha karmaşık şekiller elde edilebilir. Bu tip alaşımlarda işlenebilme kabiliyeti az olurken korozyon direnci artmaktadır. %5 den fazla silisyum ihtiva eden alaşım malzemeleri iri köşeli silisyum kristallerinin meydana gelmesini önlemek için sıvı durumda sodyum ile karıştırılarak elde etme en önemli işlemdir. %13 oranında silisyum içeren alaşımlar korozyona etkilerine dirençli ve termal şok direnci Al – Cu alaşımlara göre daha yüksek olması nedeniyle denizcilik ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Alaşımın mekanik özellikleri, silisyum fazının şekline ve içerisindeki dağılımına bağlıdır. Silisyumlu fazın iğne şeklindeki hali alaşımın çekme mukavemeti artırırken süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürmektedir. Silisyum ilavesi ile alaşıma akıcılık sağlar korozyon direncini ise artırır. Tane yapısında küçültme ve modifikasyon işlemleri metallerin işlenebilme özelliğini artırır. Yapılan bu işlemler metalleri sıcak yırtılmalara karşı daha yatkın yapabilir. Silisyum ve bakır beraberce alaşımlama amacı ile kullanılabilir. Silisyum, ergimiş Alüminyum metalin akışkanlığını artırır. Karmaşık

kesitli parçaların imalatında en uç noktaları daha iyi nüfus sağlar bu nedenle döküm malzemelerinin ana alaşım elementi silisyumdur. Silisyumun alüminyum alaşımlarında sağladığı yararlar dış büzülme azaltır, dökümün mukavemetli olmasını sağlar, ısıl genişleme katsayısını küçültür, sertliği artırır, kaynak olabilme yeteneğini artırır, ancak işlenebilirliği alüminyuma göre zorlaştırır. Katılaştırma büzülmesini azaltır, elektrik iletkenliğini azaltır, sünekliliği plastik şekil değiştirmeyi azaltır ve kırılabilirlik artar (Zeren 2008).



Şekil 2.2. Al-Si alaşımı ötektik yapı (Anonim)



Şekil 2.3. Değişik oranlarda Si içeren Al-Si alaşımlarının mikro yapıları (Zeren 2008)

Alüminyum metalinin içinde bulunduğumuz yıllardaki önemi çok büyüktür. Çeşitli alüminyum alaşımlarının geliştirilmesiyle demir çelikten sonra endüstride en çok kullanılan metal haline gelmiştir. Alüminyum son yıllarda özellikle elektrik, kimya, tıp, inşaat, otomotiv, uçak sanayi ve bunların yan kollarında her geçen yıl bir şekilde kullanılması, önemini bir kat daha artırmıştır. Alüminyum ve alaşımları uçak ve havacılık sanayisinde kullanılan ana malzemelerden birisidir. Bunun yanında diğer ulaşım araçlarında (otomobil, kamyon, otobüs endüstrisinde) mimari yapılarda, ev gereçlerinde, özellikle yiyecek ve içecek paketleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gümüş 2007).

## **2.2. Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları**

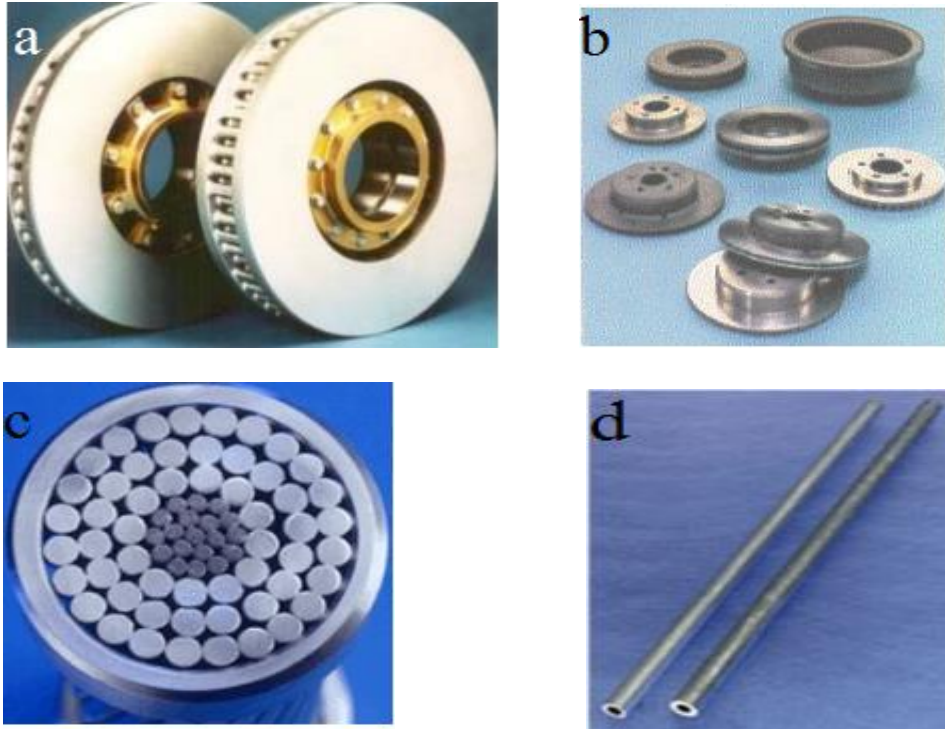
Otomobillerde hafif metal kullanımı alüminyuma ihtiyaç doğurmuş bu sebeple de otomotiv endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Alüminyum malzeme kullanılan parçalarda döküm yöntemiyle imal edilmiş silindir kafaları, dişli kutusu gövdeleri, jantlar; ekstrüzyon yöntemiyle imal edilmiş, radyatörler, koltuk kızıakları, darbe çubukları vb. alüminyumdan imal edilen parçalar, aracın toplam ağırlığının yaklaşık %6'sı kadardır (Özcömert 2006).

Malzemeler incelenirken ve bazı çözümler üretilirken metal dışı malzemelerin kullanılması estetik, yük gibi sağlarken, her anlamda istenilen performansı veremezler. Bu nedenle yakıt tasarrufu için alüminyum parçalardan oluşan bir araç imal etmek gerekmektedir ancak bu da maliyeti artırmaktadır. Döküm parçalar ağırlıklı olmak üzere yetmişli yıllardan itibaren araçlarda daha fazla alüminyum kullanılmaya başlamıştır. Alüminyum levha ürünlerinin araçlarda kullanılması imalat yöntemlerinin de değişmesine ve gelişmesine sebep olmuştur. Alüminyum bir parçanın çalışma ortamların da gösterdiği korozyon direnci, muadili olan çelikten malzemedden üretilmiş parçaya göre performansı daha yüksektir (Dündar ve Güngör 2004).

Malzemenin geri dönüşümü açısından bakıldığında alüminyum çok değerli bir malzemedir. Alüminyumun geri dönüşümünde kalitesi bozulmamakta ve iyi verim

alınmaktadır. Alüminyumun hurda olarak tercih edilen aranan bir malzemedir. Otomobillerde kullanılan alüminyumun %95'i hurda alüminyumdan yeniden dönüştürülerek imal edilmektedir.

Alüminyum hafif kolay şekillenen ve mukavemeti yüksek bir malzemedir. Bu nedenle uçak, hızlı tren, kamyon gibi ulaşım araçlarında yoğun olarak tercih edilmektedir. Otomobillerde emniyeti yapının sertliği ve kaza esnasında kinetik enerjiyi sönmülmesi nedeniyle de kullanılmaktadır. Yapının sertliği ve rijitliği kullanılan malzemeye bağlı olmakla birlikte hangi malzemelerin tasarımı ve montajı da önemlidir (Özcömert 2006).



**Şekil 2.4.** Alüminyumun bazı endüstriyel uygulamaları

a) yüksek hızlı trenler için fren rotoru b) otomotiv fren sistemleri c) Otomotiv itme çubukları d) HV elektrik telleri için cors (Cayron 2000)

Şekil 2.4 de görüldüğü gibi, araçların farklı aksamalarında kullanılmaktadır. Bu nedenle alüminyum kullanımı ağırlık azaltılması için önemlidir. Birçok motor alüminyum motor kapağına ve blokuna sahiptir. Motor parçalarının üretimindeki basınçlı döküm yöntemi nedeniyle yüksek dayanım gerektirirler (Akdoğan Eker 2009).

### 2.3. Kompozitler

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin birleşerek tek bir malzeme özelliği gösterdiği yapılardır. Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin her biri tek başına kullanıldığında elde edilemeyen bazı faydalı özellikler bir araya geldiklerinde elde edilebilmektedir. Bu şekilde istenilen özelliklerde yeni malzemeler üretilebilmektedir. Kompozit malzemeler, genellikle bir veya daha fazla süreksiz fazın, sürekli bir faz içerisinde dağıtılması ile elde edilir. Süreksiz fazlar, çoğunlukla sürekli fazdan daha iyi özelliklerde olduğundan dolayı kuvvetlendirici veya takviye edici malzemelerdir. Kompozit malzemeler yüksek mukavemet, esneklik modülü ve kırılma tokluğu, iyi aşınma ve yorulma dayanımı gibi üstün mekanik özellikleri, yüksek mukavemet, esneklik modülü, korozyon dayanımı, ısıl özellikleri ve tasarıma yatkınlıkları gibi özelliklerinden dolayı endüstride sıkça tercih edilmektedir. (Kalemtaş 2014).

Bu çalışmada alüminyum matris yüzeyinde partiküllerin oluşturduğu kompozit film incelenmiştir.

Kompozit malzemeler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Kompozit malzemeler matris türüne göre metal, polimer ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmaktadır.

**a) Metal Matrisli Kompozitler:** Metal içerisindeki kompozit malzemeye süreksizlik, sertlik ve yüksek dayanım sağlıyorsa bu faza takviye elemanı denilir. Genelde yapıya takviye sağlayan oksitler; ( $Al_2O_3$ -Alümina,  $SiO_2$ -Silikon dioksit) Nitritler ( $Si_3N_4$ -Silika Nitrit,  $AlN$ -Alüminyum Nitrit) ve Karbürler ( $SiC$ -Silisyum Karbür,  $TiC$ -Titanyum Karbür) dir. Bununla beraber karbon (C) ve Silisyum (Si) gibi elementler takviye malzemesi olarak kullanılır. Kompozit içerisinde yer alacak takviye elemanı, sürekli lif kırık lif, kırık lif, tane parçacık, plaka veya düzensiz şekilli olabilir. Takviye elemanının yapı içerisinde dağılımı malzemenin homojenliğini belirler. Homojen bir malzeme mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemlidir (Uygur ve Saruhan 2004)

**b) Polimer Kompozitler:** Polimer kompozit cam elyafı ile takviye edilmiş poliester reçine karışımdır. Cam elyafı katkı oranında poliester malzemeye istenen sertlik ve fiziksel özellikler katabilmektedir. Amaç istenen talepler doğrultusunda ihtiyacı karşılamak

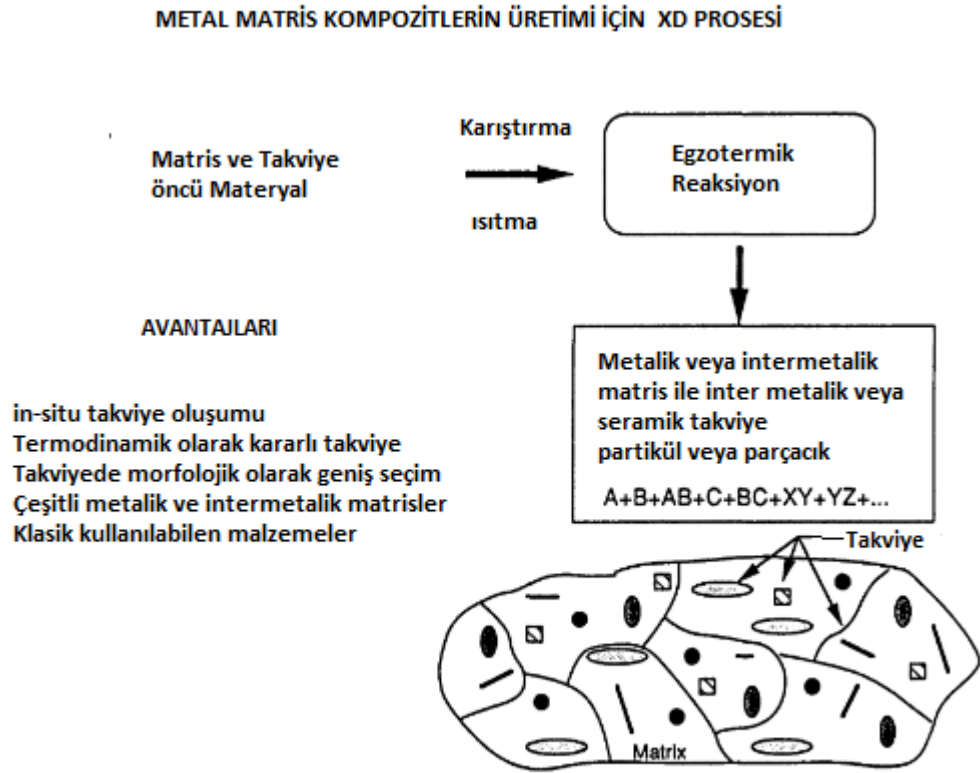
ve çeşitliliği artırmaktır. Kara, hava, deniz araçlarının parçasında, tekstil, inşaat, elektrik elektronik gibi günlük yaşamında polimer kompozitler kullanılmaktadır (Anonim 2015a).

**c) Seramik Matrisli Kompozitler:** Yüksek sıcaklıklarda polimer matrisli kompozitler hidrokarbon yapıları nedeniyle kullanıma elverişli değil iken, seramik malzemeler yüksek yoğunluğa sahip metallere alternatif olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeler yoğunlukları düşük olduğundan daha hafif ve oksidasyon karşı dirençlidir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Tek parça seramik malzemeler çatlaklara karşı çok hassas malzemelerdir. Bu nedenle birçok alanda kullanımları sınırlanmaktadır. (Kalemtaş 2014).

#### **2.4. İn-sitü reaksiyon**

Martin Marietta Corp. tarafından geliştirilmiş bu yöntem kendi alanında kullanılan en önemli XD prosesidir. Reaksiyonun kendi kendine devamlı olabilmesi için ekzotermik olması gerekmektedir. Bu proses, reaksiyonla meydana gelen yüksek bir sıcaklıkta genel olarak eriyik haldeki bir matris alaşımı içerisine takviye partiküllerinin kararlı bir şekilde homojen dağılması ile sonuçlanır. Ayrıca sıvı alaşımdaki reaktif bileşenlerin yüksek difüzyonu ileri reaksiyon için onları bir araya getirmeye yardımcı olur ve bu sayede reaksiyon oranının artmasına katkıda bulunur. Fazlardan biri matris diğeri ise matris içerisine dağılmış halde bulunan lamel, plaka veya fiber şeklinde parçacıklardır. Prosesin avantajları olarak, takviye ve matris olarak çok sayıda alaşım kullanılabilmesi ve malzemelerin ticari olarak üretilebilir olması söylenebilir. Yapılan uygulamaların çoğu alüminyum, nikel kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak olmaktadır. Tek işlemler elde edilebilirler ve yapıları oldukça kararlıdır (Ray 1993).

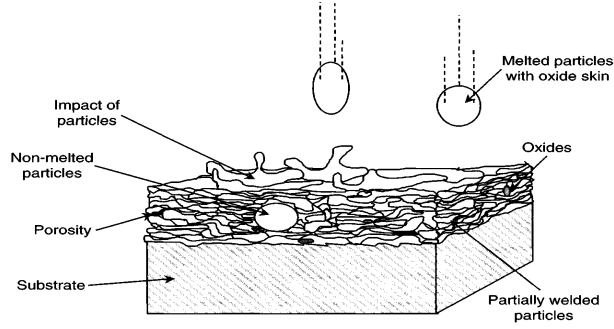
**XD Tekniği;** Bu yöntem ile sıvı metal fazın içerisinde bir bileşik ile oluşturulması ilkesine dayanmaktadır. Partiküller sıvı metalin içerisinde bulunduğundan tek kristalli bir yapıda ve oksitlenmemiş halde bulunurlar (Akdoğan Eker 2009).



**Şekil 2.5.** XD uygulamasının proses şeması (Everett; Arsenault 1993)

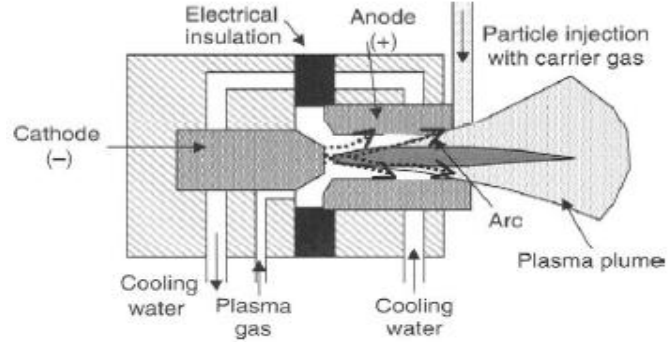
### 2.5. Plazma sprej ve termal sprej kaplamaların, avantajları/dezavantajları

Termal sprejleme ile metal ve seramik esaslı kaplamalar üretilmektedir. Şekil 2.5.de görüldüğü gibi ısı üreten bir kaynak tarafından ergimiş veya yarı ergimiş katı partiküller sprejlenerek yüzey üzerinde mekanik bağ oluşturmakta ve altlık bir yüzey üzerinde birikmektedir.



**Şekil 2.6.** Yüzey üzerine spreyleme anı (Parlakyiğit 2012)

Plazma sprej kaplamalar elektrik arkı yardımıyla il plazma ortamında kaplama yapılmaktadır. Parçacık hızı ve sıcaklık değişimi yapılabilmesinden dolayı esnek bir yöntemdir. Kaplanacak malzeme özellikleri daha geniş bir aralıkta seçilebilir. Seramik gibi yüksek ergime noktasına sahip malzemeler yöntem sayesinde altlık üzerinde biriktirilebilir. Kaplama vakumlu ortamda veya inert gaz ortamında yapıldığından dolayı oksitlenme görülmemektedir (Parlakyiğit 2012).



**Şekil 2.7.** Plazma sprej püskürme tabancası çalışma şekli (Parlakyiğit 2012)

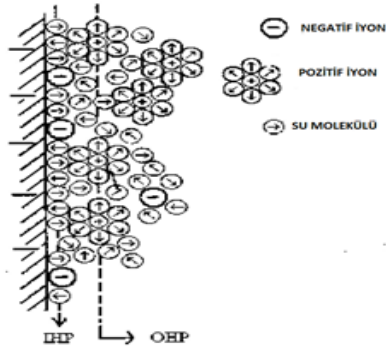
## 2.6. Korozyon

Metallerin çevreleriyle yaptıkları kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmeleri olayına korozyon denir. Korozyonun meydana getirdiği hasarlar ve maddi zararlar nedeniyle dünya çapında bir problemdir. Günlük hayatımızda karşımıza çıkan korozyon, işletmelerin kapanmasına değerli kaynakların yok olmasına, ürünlerin hasar almasına, verimlilik düşüşüne, onarımların artarak yüksek maliyetlere neden olmasına ve pahalı tasarımlara neden olmaktadır. Aynı zamanda güvenliği tehlikeye düşürmekte ve teknolojik gelişmeyi yavaşlatmaktadır. Bir metalin korozyona uğrama yeteneği metalin aktifliği ile alakalıdır. Ancak krom, nikel, titanyum, alüminyum, magnezyum gibi metallerde yüzeyde korozyon ürünlerinden bir film tabaka oluşur. Meydana gelen filmin tabaka atom ve moleküllerinin tek katlı bir tabaka olabileceği gibi üç boyutlu bir oksit tabaka da olabilir. Bu film tabaka metali saldırgan ortamlardan koruyan koruyucu bir örtü niteliğindedir. Bu tabaka metali pasifleştirmiş olur. Bu durum metali bulunduğu elektrolit içerisinde yüzeyinde oksitlenme olursa metal pasifleşmiş olur. Böylece metallerin dış yüzeyleri homojen pasif bir oksit film tabakası oluşturularak korozyona karşı dayanıklı hale gelirler (Doruk1982). Korozyon katı malzemelerin çeşitli etkiler altında dışarıda içeriye doğru devam eden bir aşınma şeklidir. Metaller termodinamik olarak kararlı hale geçmeye yatkındırlar ve doğada buldukları saf hallerine dönüşme eğilimindedirler. Korozyon, elektriksel ara yüzey olarak adlandırılan elektrot/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelir. Elektriksel ara yüzey terimi bir elektrolitin sınırında fazlar arasındaki bölgeyi oluşturan iyonlar ve elektronların kümesidir. Metalik korozyona temelde elektrokimyasal bir olaydır. Demir gibi metaller buldukları ortama göre aktif olduklarından, bu metaller bir tuz ya da oksit oluşturmak üzere iyon haline geçeler ve enerji vererek oluştuğundan, uygun koşullarda (nem, oksijeni vb.) anodik olarak çözünürler. Metalik korozyon, pil oluşum mekanizması olarak düşünülebilir. Bir elektrot içerisinde bulunan iki ayrı metal bir iletken ile birbirlerine bağlanırsa kısa devre oluşmuş bir galvanik pil haline gelir, daha aktif olan metal çözülerek çözültiye geçer. Yüksek sıcaklıkta meydana gelen oksitlenme reaksiyonları dışındaki diğer tüm korozyon çeşitleri elektrokimyasal reaksiyonlar ile meydana gelir (Yalçınkaya 2006).

Metallerin korozyonunda oksijen farklı etkileri vardır. Şekil 2.7. de korozyona uğramış bir metal yüzey görülmekte. Alüminyumun ise oksijene ilgisinin fazla olmasından dolayı korozyon direnci yüksektir. Alüminyumun dış yüzeyi çok hızlı oksitlenerek yüzeyde bir oksit tabakası oluşturur ve bu yüzey koruyucu özellik sağlayarak metalin tamamen oksitlenmesini önler. Oluşan bu yüzey alüminyum oksit yani  $Al_2O_3$  dir.



Şekil 2.8. Metal yüzeyinde farklı korozyon türleri (Anonim 2015a)



Şekil 2.9. Elektrikli ara yüzeyin şematik gösterimi (Yalçınkaya 2006)

**Korozyon Oluşum Mekanizması:** Oluşumunu sağlayan tepkimeye göre iki tür korozyon mekanizması vardır.

**a. Kimyasal korozyon mekanizması:** Bir elektron akımı yoktur. Bu tip etkilenmede metallerin yüzeyinde eş dağılımlı oksijen reaksiyonu oluşur. Yüksek sıcaklıklarda gaz metal reaksiyonu sonucu oluşan oksitlenme olayı kimyasal korozyon olarak tanımlanır. Genellikle organik çözeltiler ve gazlarla olan reaksiyon kimyasal niteliktedir. Bu

durumda belirli bir ara faz yoktur. Elektron alış verişi atomların tesadüfî çarpışması sonucu oluşur (Anonim 2015a)

**b. Elektrokimyasal korozyon mekanizması:** Elektrokimyasal tepkime, elektrik yükü ayrımını akla getirir. Elektrolitle anot ve katot adı verilen iki elektrot sistemi oluşur. Elektrolit iyonik iletkenliğe sahiptir. Elektrokimyasal olarak daha soy olan metal katottur. Elektrik ayrımı ile oluşan anyon ve katyonların reaksiyonu elektrokimyasal korozyonu gerçekleştirir. Kimyasal korozyonun da elektrokimyasal mekanizma ile oluştuğu bilinmekte ve belirgin anot bölgelerinden katot bölgelerine önemli bir elektron akımı vardır. İyon hareketi ile bir elektrik akımı doğar ve korozyon yerel olarak oluşur. Pillerin oluşması ile metal zamanla harap olur (Anonim 2015a).

**Korozyon hücresi:** Metallerin yüzeyinde her daim bir miktar farklı kalınlıkta havadaki nemden kaynaklı su tabakası bulunur. Hava ve havada bulunan oksijen gazı atmosferle temas halindeki su daima belli bir oranda çözünür. Su içinde bulunan çözülmüş haldeki oksijen metalle temas halindeyken yüzeyinde elektron alma ve iyonik hale geçme eğilimindedir. Oluşan tepkimede elektronlar metal yüzeyinden koparak kimyasal değişime uğrar. Metalin sulu ortamda oluşan bu elektron alışverişi ve metal yüzeyindeki kimyasal şekil değişimine "korozyon" denilir. Sulu ortamdaki bu elektron alış verişi "elektrokimyasal" reaksiyonlar denir. Su ortamda, havada ve toprak içerisinde meydana gelen tüm korozyon reaksiyonları "elektrokimyasal" reaksiyonlardır. Korozyon esnasında metal iyon haline yükseltgenir  $Me = Me^{+2} + 2e$  ile anot bölgesinde meydana gelir ve  $Me^{+2} + 2H_2O = Me(OH)_2 + 2H^+$  metal iyon halinde çözültüye geçer. Bu iyonlar alkali ortamda su ile hidroliz olarak hidroksit halinde çökeler.  $1/2O_2 + 2H_2O + 2e = 2OH^-$  gereğince çözülmüş oksijen katot civarında hidroksil iyonuna meydana getirir. Asidik ortamlarda katot reaksiyonu hidrojen iyonu indirgenmesi  $2H + 2e = H_2$  ile hidrojen gerçekleşir (Kurtkaya 2005).

Korozyon Hücresinde elemanlar tam oluşmuş ise metal iletken ve elektrolitten akım geçişi başlar. Anot da çözünme başlar kimyasal olarak buna yükseltgenme reaksiyonudur, metal eğer demir ise pas oluşur. Katot üzerinde tahribat oluşmaz ve

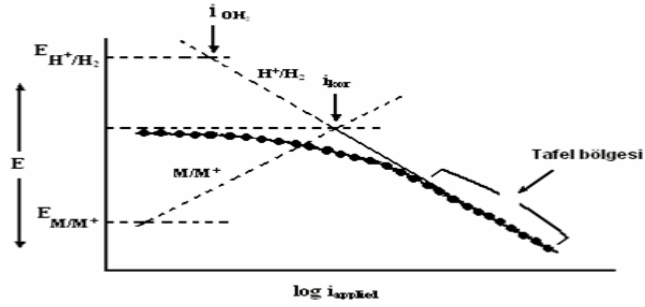
hidrojen gazı çıkar ve reaksiyon indirgenme reaksiyonudur. Katot yüzeyinde kopan elektronlar örneğin; oksijen (O<sub>2</sub>), hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonu haline dönüşür. Gaz tabakası katodu elektrolitten yalıtıldığında akım durur ve bu durum hücre polarize olur. Ancak, ortamda hidrojenle bu etkiyi azaltacak bir reaksiyona girebilen oksijen veya diğer depolarize etmenler vardır. Bundan dolayı hücre işlemeye devam eder. İyonlar sulu çözeltide hareket halinde olduğundan anot ile katot arasında geçiş olur. Pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlar anoda giderler. Oluşan hücre çevriminde iletkene voltmetre bağlanırsa akım ölçülür. Korozyon hücresinden geçen akıma korozyon akımı (ikor) denir. Korozyon hücresinde ki anot ile katod hızı birbirine eşittir. Elektrokimyasal korozyon olaylarında gelişen katodik reaksiyonlar içinde en çok hidrojen ve oksijen redüksiyonu görülür. Hidrojen redüksiyonu asit çözeltilerdeki en önemli katodik reaksiyon iken, nötral çözeltide en önemli katodik reaksiyon oksijen redüksiyonudur. Elektrokimyasal korozyon olaylarında katodik reaksiyonların hidrojen ve oksijen redüksiyonu olması, deney sırasında açığa çıkan gazın miktarından korozyon hızının belirlenebilir.

Anot reaksiyonu:  $Fe = Fe_{2+} + 2e^{-}$

Katod reaksiyonu:  $1/2O_2 + 2H_2O + 2e^{-} = 2OH$

Toplam reaksiyon:  $Fe + 1/2O_2 + H_2O = Fe(OH)_2$

**Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi:** Deneyler sonucu meydana gelen polarizasyon eğrileri metalin elektrolit içindeki korozyon davranışını tespit etmede kullanılır. Şekil 2.9 görüldüğü üzere katodik polarizasyon eğrileri tafel lineer bölgesi korozyon potansiyeline ekstrapole edilerek kesim noktalarının kesişimi korozyon hızlarıdır (Gümüş 2007).



**Şekil 2.10.** Tafel ekstrapolasyon yöntemi korozyon hızının belirlenmesi (Gümüş 2007)

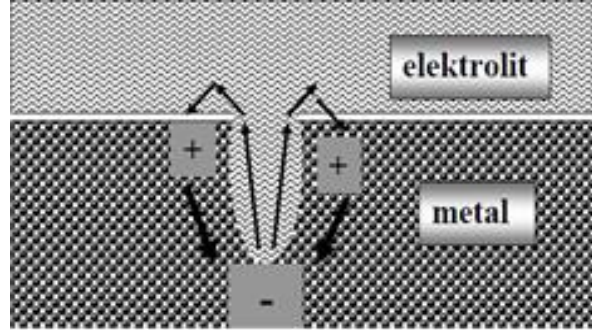
**Korozyon Türleri:** Farklı ortamlarda değişik etkilerle ve mekanizmalarla meydana gelen korozyon davranışları birbirinden farklılık göstermektedir. Genel olarak on dört farklı korozyon çeşidi sıralanabilir. Bu korozyon çeşitlerine karşı alınacak önlemler de farklı farklıdır. Bu sebeple korozyonun çeşidini bilmek mücadelede edebilmek adına oldukça önemlidir.

**Üniform korozyon:** Metal yüzeyinin farklı noktalarında başlayıp belli bir hızla ilerleyen bir korozyon şeklidir. Teorikte korozyonun bu şekilde ilerlediği düşünülür. Üniform şekilde ilerleyen korozyon metal yüzeyin her yerinde eşit ölçüde incelmeye neden olur (Gümüş 2007).

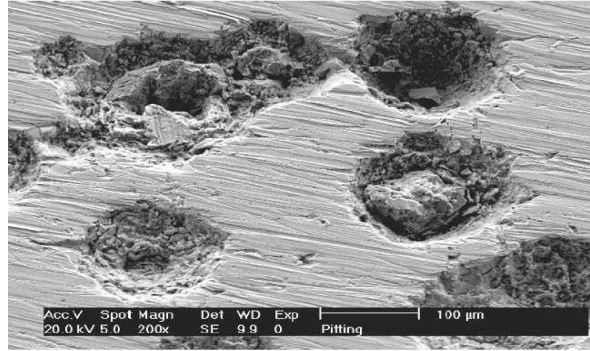
Uniform korozyon geniş bölgelerde hasar oluşur bu nedenle korozyona oluşacak bölge gözle görülebilir. Örneğin, parlak bir yüzeyde korozyon yüzeyde oluşan donuklaşmadan anlaşılabilir. Bu durumda korozyona baştan engel olunmaz ise yüzey buzlu bir görünüm alınır (Aksoy vd 2006).

**Çukur korozyonu:** Metal yüzeyinin oranla az sayılabilecek oranda çukurcuklar oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Şekil 2.11 de çukurcuk korozyonuna uğramış yüzeyin SEM görüntüsü görülmektedir. Bu korozyon çeşidinde olayında anot ve katot kutupları net olarak ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir bölgesinde açılan çukurun içinde dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır ve çukurun derinliği metale ve ortama göre değişir. Korozyon sonucu oluşan çukurcuk zaman geçtikçe büyüyerek metalin delinerek kısa sürede delinerek kopmasına neden olur. Bu nedenle çukur tipi

korozyonu çok tehlikeli ve korkutucu bir korozyon türüdür. Çukur korozyonu, metal yüzeyinin herhangi bir noktasında meydana gelerek anodik reaksiyon ile başlar. Bu durum metal ve bulunduğu ortamda uygun olursa, anodik reaksiyon zincirleme bir oto katodik reaksiyonla hızla devam ederek ve o bölgede bir çukur meydana getirir. Çukur belli bir derinliğe erişince, çukur ağzı korozyon ürünleri ile kapanır ve korozyon hızı artık yavaşlar Şekil 2.10 de çukurcuk korozyonunun anot ve katot bölgeleri görülmekte (Gümüş 2007).



**Şekil 2.11.** Çukurcuk korozyonu (Anonim 2015a)



**Şekil 2.12.** Oyuklanma ile oluşan bir korozyon hücresi (Anonim 2015a)

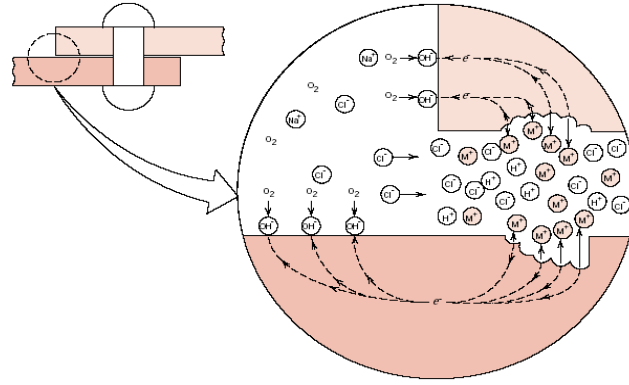
Çukurun dibi bir anot görevi görürken, çukur ağzı ve yüzeyi katot görevi görmektedirler. İyonik akım elektrolitten geçerken elektronik akım metalden geçer Şekil 2.12 de çukurcuk korozyonuna uğramış yüzey görülmektedir(Aksoy vd 2006).



**Şekil 2.13.** Çukurcuk Pitting Korozyonu (Anonim 2015b)

**Aralık Korozyonu:** Aralık korozyonu, perçin civata gibi alın altına temas eden parçalar arasındaki dar bölgelerde oluşmaktadır. Ayrıca kaplama ve alt yüzey ile arasında kalan bölgelerde de oluşmaktadır. Aralık korozyonu durgun çözeltiler de örtülü yüzeylerde zamanla oluşmaktadır. Korozyonun oluşması için bu aralığın, korozyon çözeltilisinin girebileceği darlıkta olması yeterlidir. Geniş aralıklarda bu korozyon görülememektedir. Aralığı oluşturan malzemelerin ikisinin de metal olması gerekmez. Conta kauçuk segman gibi malzemeler ile oluşan aralıklarda korozyon Bu sebepten dolayı bu tip bağlantıların olduğu yerlerde kaynaklı bağlantı kullanılmaktadır. Şekil 2.14 de iki metalin perçinli birleşme şekli şematik olarak görülmekte (Akdoğan Eker 2009).

Aralık korozyonunun oluşum şekli ve düzeni çukurcuk korozyonuna benzer. Korozyonunun başlangıcı aralık içinde ve dışında bulunan oksijen reaksiyonu ile oluşur. Ancak aralık içine giren oksijen ortam küçük olduğundan korozyona dışarıdan devam eder. Böylece oksijen reaksiyonu aralık dışında oluşuma devam eder. Çözülen metalin iyonları aralığı oluşturan yüzey de yoğunlaşması ile iyon yoğunluğu giderek artar Şekil 2.13 de aralık korozyonunun elektron alışverişi görülmekte (Zeren 2008).



Şekil 2.14. Aralık korozyonu (Zeren 2008)



Şekil 2.15. Aralık korozyonu (Anonim 2015a)

**Galvanik Korozyon:** Galvanik korozyon, elektrot potansiyelleri farklı metal ve alaşımlar arasında aynı ortamda bulduklarından dolayı korozyon meydana gelmektedir. Metallerden daha soy metal olanlar katot diğeri ise anot davranışı gösterir ve anot olan metal korozyona meydana gelir. Ortam iletken ise aktif metalde aşınma korozyon görülür. Bu tür korozyonlarında engellenebilmesi; için aynı ortamda bulunan metallerin galvanik özelliklerine göre gruplandırılması gerekir ya da parçalara iyi bir yalıtım yapılarak birbirinden izole edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.15’de metal valfin flanşlı bağlantıda galvanik etki görülmekte (Akdoğan Eker 2009).

Deniz kenarları gibi nemli bölgelere inşa edilen elektrik üretim dağıtım ve yüksek gerilim tesislerindeki koruma ve topraklama hatları, hidrokarbon ileten boru hatlarında ve her çeşit santrallerin hidrolik ve pnömatik devre bağlantılarında çoğunlukla görülmektedir. Bu korozyonun en aza indirilmesi için; aynı ortamda birlikte çalışan parçaların galvanik özelliklerine göre seçilmeli ya da parçalar arası temas azaltılarak

izole edilmelidir. Şekil 2.16’da farklı iki metalin boru kesitindeki galvanik korozyonu görülmektedir (Kurtkaya 2009).



Şekil 2.16. Farklı metaller arasında oluşan galvanik korozyonu (Anonim 2015c)



Şekil 2.17. Galvanik korozyona uğramış boru kesiti (Anonim 2009)

**Kabuk altı korozyonu:** Metal yüzeylerinde korozyon oluşumları ya da başka sebeple meydana gelen kabuklanmalar (birikinti) altında oluşan korozyon çeşididir. Bu korozyon kabuk altın da nem bulunması ile oluşur. Kabuğun altı anot ve kabuk çevresi katot olur. Genellikle borularda yüzeye sarılan izolasyon malzemesi cam pamuğu açık havada ıslanması ile meydana gelmektedir (Gümüş 2007).

Kaplama korozyonuna farklı gözlemler bulunmaktadır. Örneğin; çelik alüminyum ve magnezyuma uygulanan farklı özellikler kaplamaların bu tür korozyona yol açtığı

saptanmıştır. En etkili kaplamalar organik malzemeler ve boyalardır. Etkenlik sırasına göre emaye kaplamalar fosfat kaplamalar ve metal kaplamalardır. Çeliğe neden olan korozyon tek nemli havadır. Kaplama altı korozyonunun önemli sakıncası parçaların dış görünümünü olumsuz yönde etkilemesidir. Bu tür korozyona karşı uygulanabilecek tek önlem havadaki nem miktarının mümkünse düşürmek malzemeyi nemden korumaktır (Doruk 1982).



**Şekil 2.18.** Kabuk altı korozyonu (Zeren 2008)

Kaplama altı korozyonun en önemli sakıncası parçaların dış görünüşlerini bozmasıdır. Bu tür korozyona karşı uygulanabilecek tek önlem havadaki nem miktarının mümkünse azaltılmasıdır. Kaplayıcı maddelere ilave edilen korozyon yavaşlatıcı önemler çok etkili olmamaktadır. Şekil 2.17 de kabuk altı korozyonuna uğramış yüzey görülmekte (Zeren 2011).

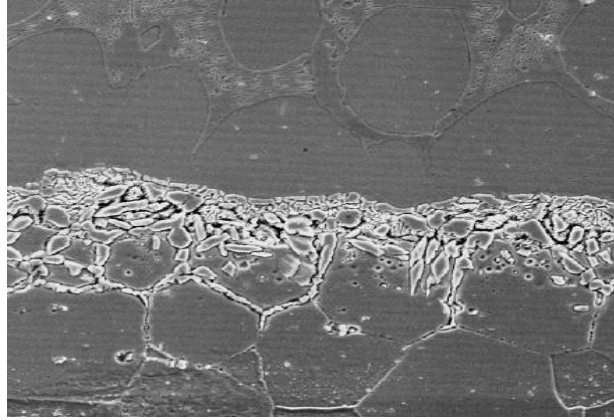
### **Aşınmalı (kazımalı) Korozyon**

Bu korozyon çeşidi birbirleri üzerinde hareket eden farklı yüzeylerin aşınarak meydana gelir. Sürtünen metal yüzeylerden kopan parçacıklar ve metal tozları oksitlenerek korozyonu başlatır. Metal yüzeyi oksijen sonucu oluşan oksit tabakası her sürtünmede kazınmakta ve yeni koruyucu film oluşmakta ve bu durum böyle sürmektedir. Bu korozyon çeşidi genellikle galvanizli sac malzemelerin taşınması esnasında görülmektedir. Oluşan oksit tabaka sürtünme ile beraber ortama girmekte ve galvaniz

saçlar depoya girişi ve depolaması esnasında oluşan sürtünme ile korozyon başlamaktadır. Enerji tesislerindeki kaymalı yataklı mekanizmalar ve depolama alanlarında istiflemeye meydana gelir (Kurtkaya 2005).

### **Seçici Korozyon:**

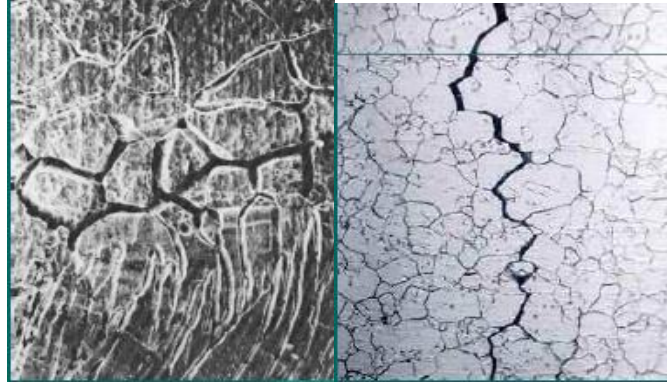
Seçici korozyon alaşımlı metallerin içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uğraması sonucu oluşur. Pirinç alaşımlarda bu korozyon çeşidi sıkça görülmektedir. Çinko bakıra göre korozyona daha yatkındır. Diğer alaşımlarda da bu korozyon çeşidi görülmektedir. Alaşımlarda sırayla alüminyum, demir, kobalt, krom ya da diğer elementler korozyonla uzaklaşırlar. Pirinç, yaklaşık %70 bakır ve %30 çinkodan oluşan bir alaşımdır. Korozyon öncesi sarı görünümde iken, çinko korozyona uğrayıp uzaklaştıkça bakırın rengini alır ve kırmızımsı bir hal alır (Palmanak 2009).



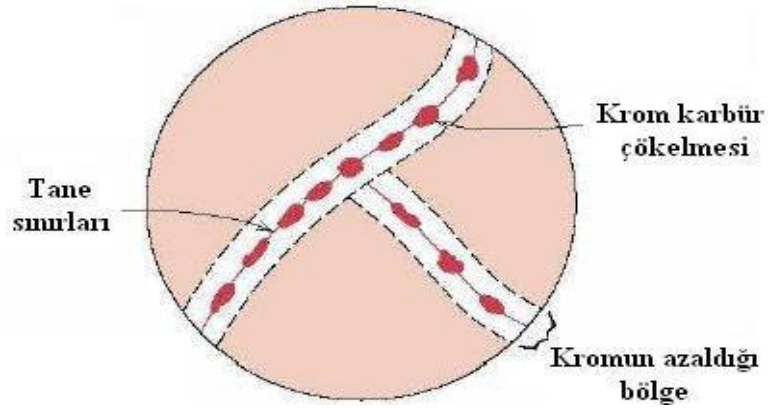
**Şekil 2.19.** Seçici korozyon (Anonim 2015d)

**Tane Sınırları Korozyonu:** Metallerin kristal yapılarında tanelerin birleşme noktalarında meydana gelen korozyon çeşididir. Metallerin eriyip katılaşması esnasında yada ısıl işlem esnasında tane sınırları zayıflar. Metaller korozif bir ortam girdiğinde bu zayıf noktalarda korozyon başlar. Taneler arası korozyonun en bilinen örneği paslanmaz çeliklerdir. Bu çelikler yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulduklarında veya kaynak yapıldıklarında, çelik içerisindeki karbon ile krom birleşerek karbür bileşiği ( $Cr_{23}C_6$ )

oluşturur. Oluşan bu bileşik, tane sınırlarında birikerek zayıflamaya neden olur ve bu bölgelerde başlar (Gümüş 2007).



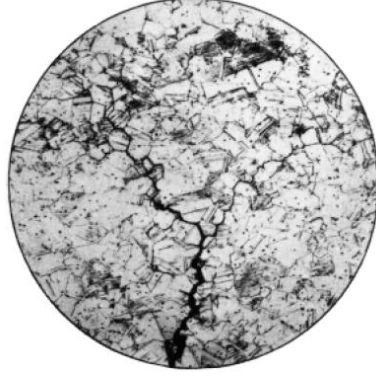
**Şekil 2.20.** Taneler Arası Korozyon (Akdoğan Eker 2009)



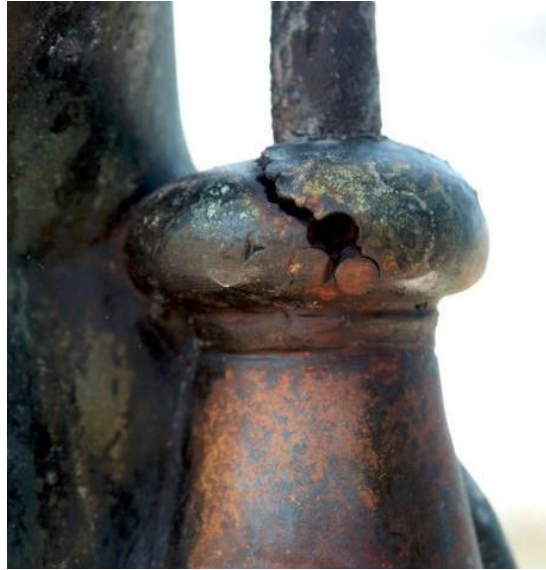
**Şekil 2.21.** Taneler arası korozyonun meydana geldiği bölge (Akdoğan Eker 2009)

**Stres korozyonu:** Birbirine temas ederek çalışan parçalarda yapıların çoğu mekanik baskı altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ve rotoru gibi yapılar buna örnektir. Gerilimli korozyon aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozunma türü olarak tanımlanabilir. Bozunma parçaların temas yüzeylerinde ya da mevcut çatlaklar gerilim yoğunlaşması ve geometrik düzensizliklerle başlar. Korozyon parça yüzeyinde oluşan çukurcuklar mekanik gerilimlerin de etkisi altına girerek keskin ve tehlikeli çatlaklara dönüşebilirler. Meydana gelen bu çatlaklar üzerindeki gerilim büyüklüğüne ve çevresel

koşulların etkisine göre belirli hızda malzeme içine doğru yürüyerek büyürler. Parça kesitinin bu yükleri taşıyamaması sonucu ani kopmalar meydana gelir. Şekil 2.22 de gerilme korozyonu sonucu oluşan deformasyon görülmekte (Anonim 2015d).



**Şekil 2.22.** Pirinçte oluşmuş gerilme-korozyonu çatlakları (Anonim 2015e)



**Şekil 2.23.** Gerilme-korozyonu çatlakları (Akdoğan Eker 2009)

**Yorulmalı korozyon:** Sürekli olarak yükleme-boşaltma yüke maruz kalan metaller de zaman la yorulma görülür. Yorulmaya maruz kalan metaller de kılcal çatlaklar oluşur. Korozyon olayı yorulma etkisi ile beraber ilerlerse, parçalanma olayı yalnız başına korozyon nedeniyle meydana gelen parçalanmadan daha kısa sürede gerçekleşir.

Yorulmalı korozyon, korozyon ortamında çeki ve bası gerilmeleri maruz kalan malzemelerde görülmektedir. Oluşan bu korozyon sonucu çekme gerilme dayanımında düşüş olur (Gümüş 2007).



**Şekil 2.24.** Yorulmalı korozyonun Şematik gösterimi

**Alüminyum ve Korozyonu:** Alüminyum yerkabuğunda yaygın olarak bulunan katı haldeki metalik elementlerden birisidir. Genellikle hidroksitleri halinde bulunur. Bunların en önemlisi boksit cevheridir. Termodinamik olarak, elektrot potansiyeli  $-1,67$  V olan metalik alüminyum çok aktiftir. Bu yüzden çevresi ile kimyasal ve elektrokimyasal yoldan etkileşerek korozyona uğrayıp doğal oksit konumuna dönme eğilimindedir (Gümüş 2007).

Alüminyumun birçok koroziv ortama karşı dirençlidir. Bulunduğu koşullara bağlı olarak yüzeyinde oluşturduğu oksit tabakası korozyona engel olmaktadır. Atmosfer ortamında meydana gelen oksit tabaka amorf, iken su ve su buharının bulunduğu ortamda kristal bir yüzey filmi oluşur. Meydana gelen tabakanın homojenliği ne kadar iyi ise korozyon dayanımı o kadar yüksektir. Alüminyum malzemeler, atmosfer korozyona dayanıklı malzemelerdir. Endüstriyel ortamlarda ( $SO_2$ , kir, toz) ve deniz atmosferinde otuz yıl sonrası koroziv etki alüminyum malzemedeki yaklaşık %9-13 civarındadır. Alüminyum malzemenin atmosferde korozyon durumu alaşımlarında oluşan korozyon durumundan farklıdır. Eğer ortamda asit ve baz yok ise, yüzeydeki tahribat homojen olur ve oksit tabakasında eşit kalınlıkta azalma olur. Klorür iyonları bulunan çözeltilerde, çukurcuk korozyonu oluşur (Akdoğan Eker 2009).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmamda kullandığım numuneler plazma sprej püskürtme yöntemiyle Al-12Si/SiO<sub>2</sub> bileşik toz kullanılan saf alüminyum taban malzemeler üzerine kaplanmıştır. Bu malzemelerin matris bileşimi Al-18Si olarak belirlendi. Kaplamada kullanılan toz partiküllerinin boyutları Al-12Si için yaklaşık olarak 45-106 mikron, SiO<sub>2</sub> içinse ortalama 0.9 mikron civarındadır. Karışımdaki toz oranları ise Al-12Si için (ağırlıkça %88.6) SiO<sub>2</sub> (%10.8) argon atmosferi altında eldiven yardımıyla mekanik olarak karıştırıldı. Homojen bir karışım eldesi için tozlar 48 saat süreyle 100 devir/dakika da karıştırıldı. Oluşan kompozit toz taneciklerinin boyutu yaklaşık olarak 32-100 mikron aralığında olduğu görüldü. Bu tozlar 30×30×5 mm saf alüminyum taban malzemeler üzerine püskürtüldü. Yüzeyin plazma sprej kaplaması (APS) Sulzer Metco 9 M cihazda yapılmıştır (Tekmen *et al.* 2008b).

Literatürde ve bazı pratik uygulamalarında belirtildiği üzere Al alaşımlarının aşınma ve korozyon davranışlarının geliştirilmesi amacı ile yüzey modifikasyon esasına dayalı termal sprej, CVD, PVD, vb. yüzey modifikasyon işlemleri uygulanmaktadır. Literatür bilgisinde anlaşıldığı üzere Atmosferik Plazma Sprej yönteminde sprej mesafesi, kullanılan akım şiddeti ve toz karakteristiği önem taşımaktadır. Bu çalışmada farklı toz karakteristiği (Al-12Si ve Al-12Si/SiO<sub>2</sub>)'nin mesafe ve akım şiddetine bağlı olarak yüzeyde oluşan faz yapısının korozyon davranışları araştırılmış ve korozyon sonrası yüzey karakteristiği taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

#### 3.1. Kaplamaların Yapılışı ve Karakterizasyonu

Numune üretim planı ve çeşitleri Çizelge 3.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan numuneler Toyota Technological Institute, ve Materials Processing Laboratuvarlarında üretilmiştir. Bu kaplamaların bazı işlem parametrelerinin (alaşım tipi, ark akımı düzeyi ve sprej mesafesi) kaplamaların korozyon özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

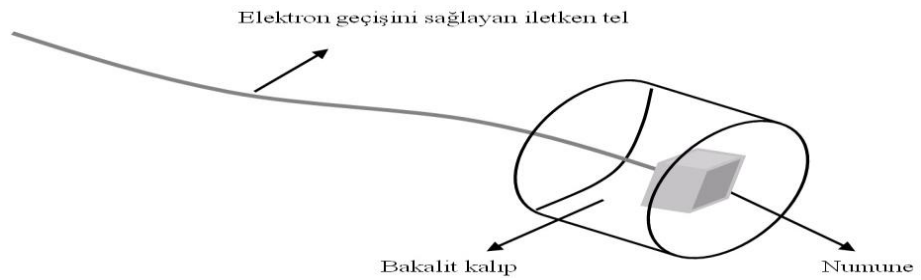
Çizelge 3.1. Deney numuneleri

| 1. Grup      |                          |        |        |        |        |
|--------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Malzeme      | Al-12Si                  |        |        |        |        |
| Arc Mesafesi | 100 mm                   |        |        |        |        |
| Arc Akımı    | 300 A                    | 400 A  | 500 A  | 600 NA | 700 A  |
| Numune Kodu  | K1-300                   | K1-400 | K1-500 | K1-600 | K1-700 |
| 2. Grup      |                          |        |        |        |        |
| Malzeme      | Al-12Si/SiO <sub>2</sub> |        |        |        |        |
| Arc Mesafesi | 150 mm                   |        |        |        |        |
| Arc Akımı    | 300 A                    | 400 A  | 500 A  | 600 NA | 700 A  |
| Numune Kodu  | K2-300                   | K2-400 | K2-500 | K2-600 | K2-700 |

### 3.2. Korozyon Testleri

#### Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Farklı üretim parametreleri kullanılarak üretilen kaplamaların korozyon davranışlarını araştırmak amacı ile polarizasyon yöntemi ile birlikte Potansiyostat/Galvanostat cihazı kullanılmıştır. Çalışma elektrotu 20x10x3 mm boyutunda kaplanmış malzemelerden kesilerek hazırlanmıştır. Öncelikli olarak numuneler kaplanmamış yüzeylerinden 1 mm'lik matkap uç ile delinerek elektron geçişini sağlanabilmesi için bakır bir tel delinen deliğe sıkı geçme ile birleştirmiştir. Daha sonra, numunelerin korozyona uğratılacak yüzeyi hariç bağlantı noktası ve numunenin diğer tüm yüzeyleri soğuk bakalit ile kaplanarak yalıtılmıştır. Hazırlanan elektrotların şematik bir gösterimi Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1. Korozyon testleri için hazırlanan çalışma elektrotun şematik bir gösterimi

### 3.3. Polarizasyon Testlerinin Uygulanışı

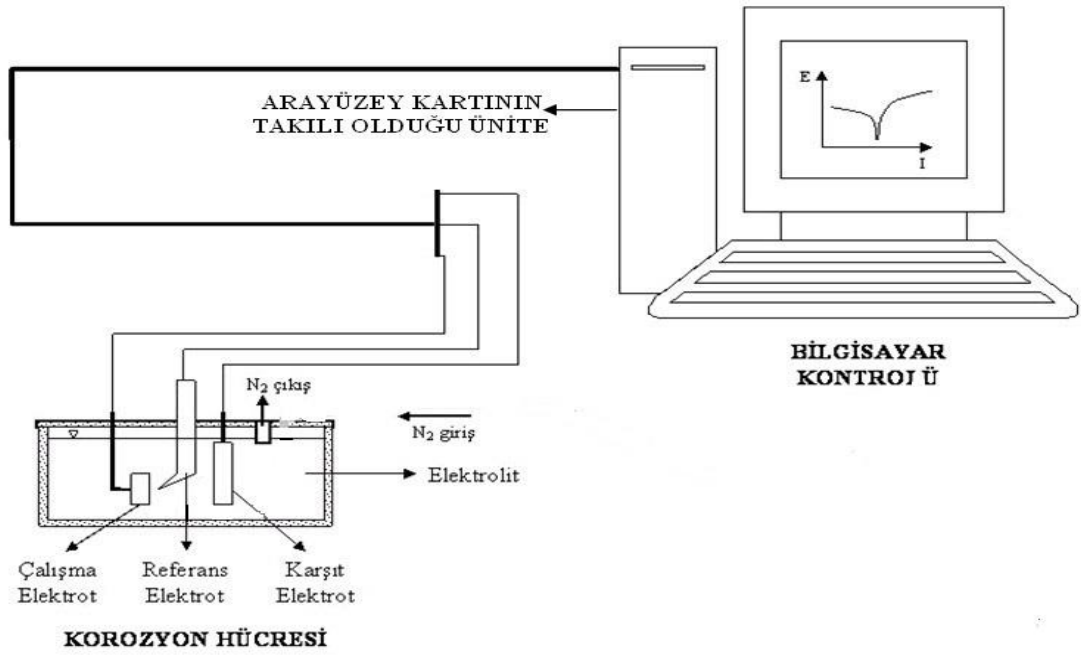
Korozyon deneyleri literatürde “condensed synthetic automotive solution (CSAS) yoğunlaştırılmış sentetik otomotiv solüsyonu adı verilen elektrolitler içerisinde yapılmıştır. Elektrolit hazırlanmasında kullanılan bileşenler ve oranları: amonyum nitrat (0.077 g/L), amonyum sülfat (1.017 g/L), potasyum klorür (0.1345 g/L), amonyum hidroksit (0.33 ml/L), ve 1 M hidroklorik asit (5.8 ml/L) şeklindedir.

Korozyon testlerinde kullanılan bu çözeltinin pH değeri 3.3 ve iletkenlik hızı yaklaşık 4000 mS/cm olarak ölçülmüştür. Korozyon deneyinde sırasıyla şu testler uygulanmıştır.

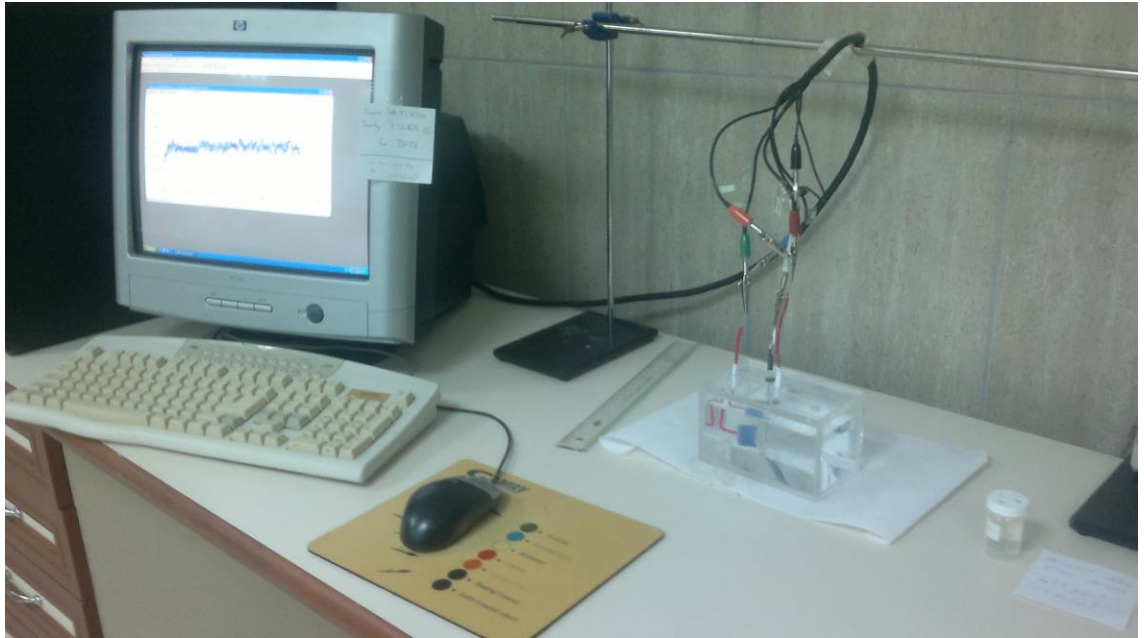
- Açık devre potansiyel değişimlerinin ölçümü (OCP, potansiyel-zaman eğrileri),
- Potansiyodinamik polarizasyon PDS, (potansiyel-akım eğrileri) testleri,
- Tafel ekstrapolasyonu yönteminin uygulanması

Deneyle GAMRY (USA) firmasının ürettiği PCI14/750 test cihazı (Şekil 3.3) kullanılarak üç elektrotlu tekniğe göre yapılmıştır. Test düzeneğindeki elektrokimyasal hücre; çalışma elektrotu (we:working electrode), doygun Ag/AgCl (gümüş/gümüş klorür) referans elektrodu ve platin karşı elektrottan (CE) oluşmaktadır Şekil 3.4. elektrotların gerçek görüntüsü görülmektedir. Deneyle için kurulan korozyon hücresi ve bağlantı elemanlarının şematik bir gösterimi Şekil 3.2’de, gerçek görüntüsü, Şekil 3.3’te verilmektedir.

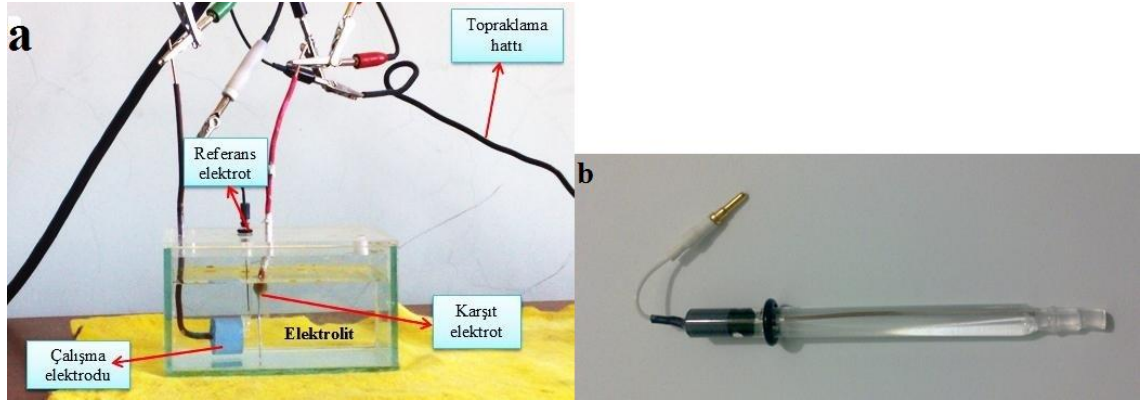
Deneyle sırasında, numuneler sabit bir açık devre potansiyeline erişinceye kadar yaklaşık 2000 sn boyunca korozyon hücresi içerisinde izlenmiştir. Daha sonra, -900/+1500 mV potansiyel aralığında 1mV/sn’lik tarama hızında potansiyodinamik olarak polarize edilmişlerdir. Elde edilen potansiyodinamik PDS grafikler Tafel yöntemi kullanılarak analiz edilmişlerdir. Korozyon sonrası metalürjik incelemeler için test bitiminde numune yüzeyleri etil alkol içinde ultrasonik temizlik uygulanarak korozyon ürünleri uzaklaştırılmıştır. Numune hazırlık aşamasından karakterizasyon faaliyetlerine kadar geçen süre ve iş planları Çizelge 3.2’de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Korozyon test ünitesinin bileşenleri ve bağlantı şekillerinin şematik gösterimi



**Şekil 3.3.** Korozyon deney sistemi (GAMRY- PCI14/750)



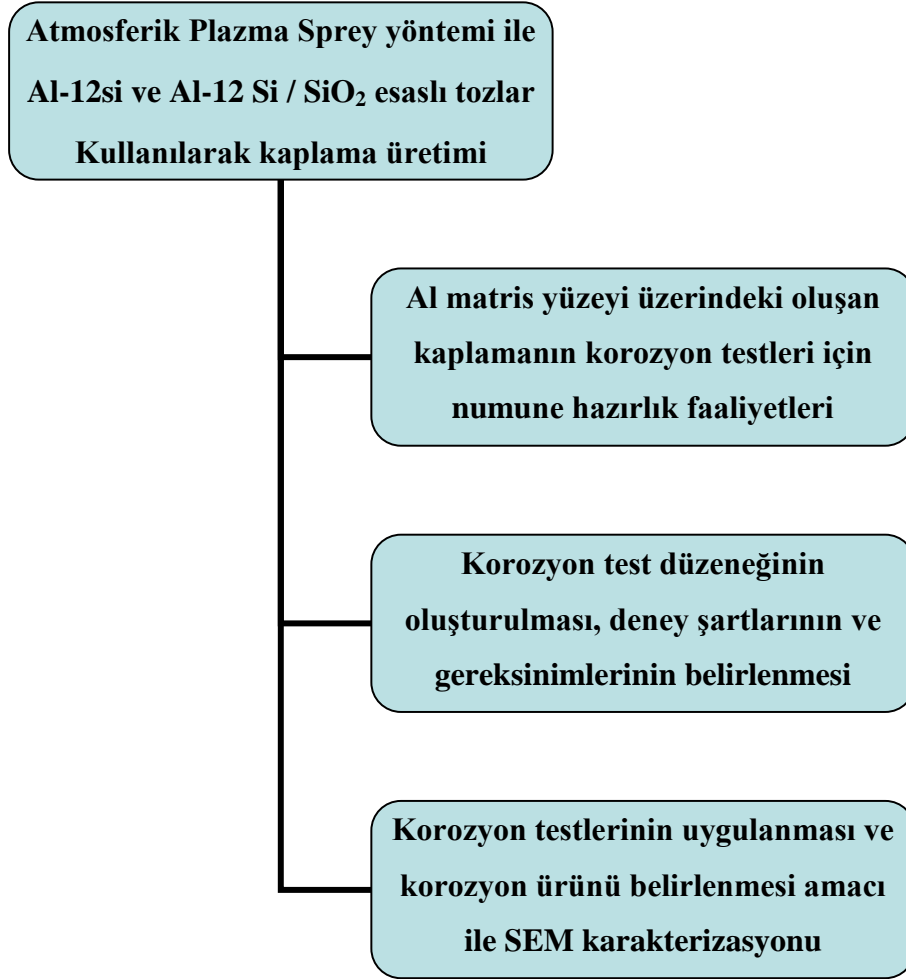
Şekil 3.4. a) Korozyon hücresi b) Ag/AgCl referans elektrot

### 3.4. Karakterizasyon

In-situ Plazma spray yöntemi ile üretilen kaplamaların korozyon testi sonrası yüzey özellikleri ve korozyon sonucu oluşması muhtemel korozyon ürünlerine ait element analizlerin gerçekleştirilmesi amacı ile Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Analitik Kimya Araştırma Laboratuvarında taramalı elektron mikroskobu (SEM FEI Company) kullanılarak analiz edildi. Şekil 3.5. Tarama elektron mikroskobun gerçek görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.5. Tarama elektron mikroskopları (SEM FEI Company)

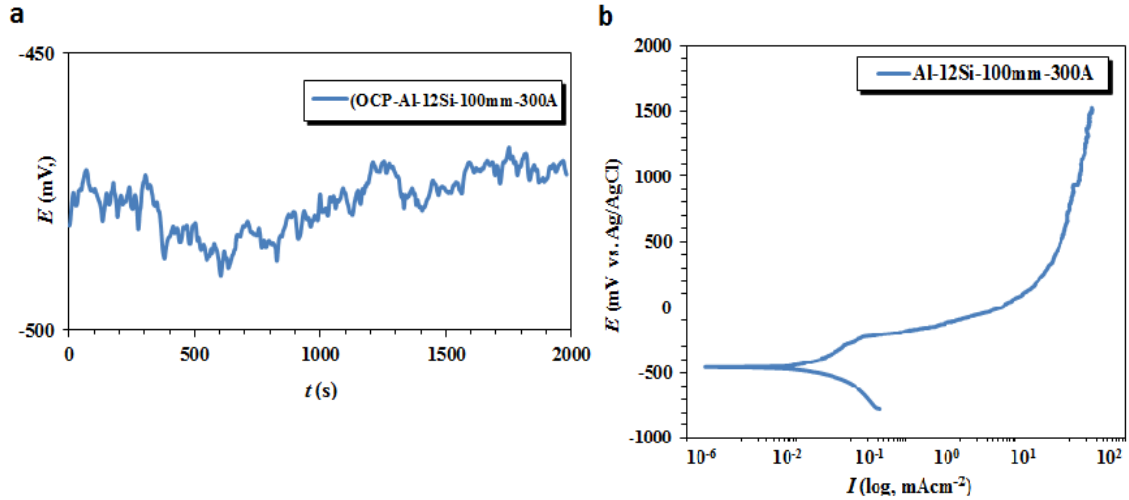
**Çizelge 3.2.** Deneysel çalışma iş akışı

#### 4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Farklı özelliklere sahip tüm kaplamaların korozyon ve karakterizasyon çalışmaları kapsamında tüm kaplamaların ilk olarak korozyon testleri ve polarizasyon özellikleri test edildi ve korozyon sonrası yüzey özellikleri ve durumları incelendi. Araştırma sonuçları ve tartışmalar her bir numune için ayrı ayrı verildi.

##### 4.1. K1-300 Kodlu Numune

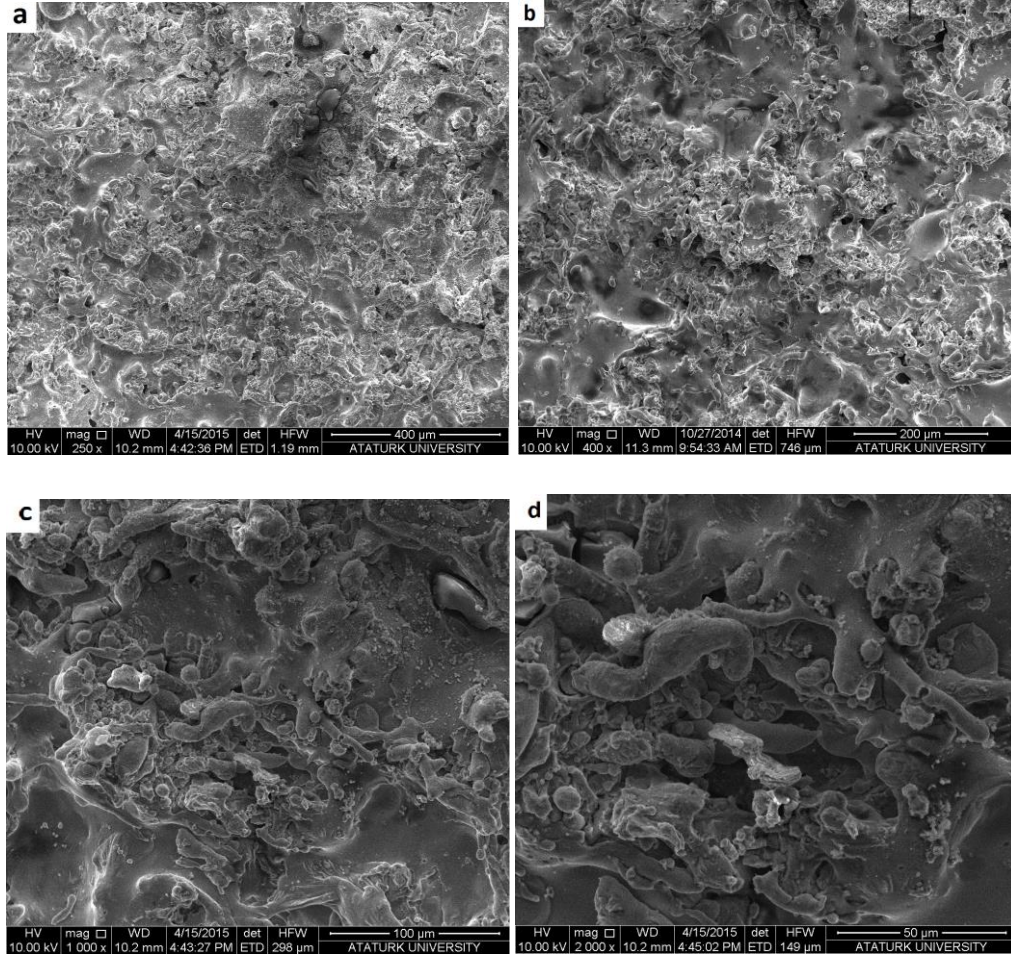
K1-300 kodlu numunenin sprej mesafesi 100 mm, akım değeri 300A'de Al-12Si toz ile kaplama yapılan numuneleri ifade etmektedir. Bu numunenin açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.1'de, korozyon sonrası yüzey mikroyapısı ise Şekil 4.2-4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.1. K1-300 numunelere ait a) OCP b) PDS eğrileri

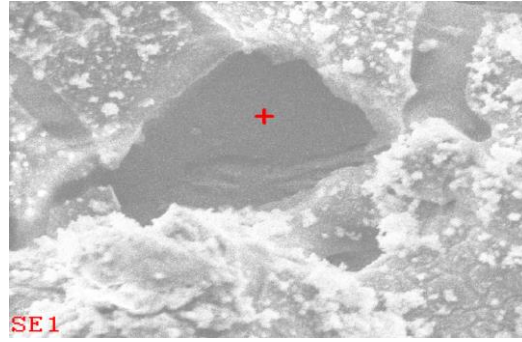
CSAS'nin içerisinde batırılmış 300A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları (PDS) ile açık devre potansiyeli (OCP) zamana bağlı varyasyonları gösterilmektedir. OCP eğrisi incelendiğinde numuneden hiç akım geçmediği anda açık devre potansiyeli dalgalı bir grafik izlediği; ancak yaklaşık  $E_{ocp} = -470$  mV civarında kararlı halde olduğu görülmektedir. PDS eğrilerine

bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr} = -450\text{mV}$  değerinden sonra korozyon durmuş ve pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.2.** K1-300 numunesine ait SEM görüntüleri

Fotografik görüntüde kaplama yüzeyinde poroz yapılar gözlenmekte ve koyu bölgelerde çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir

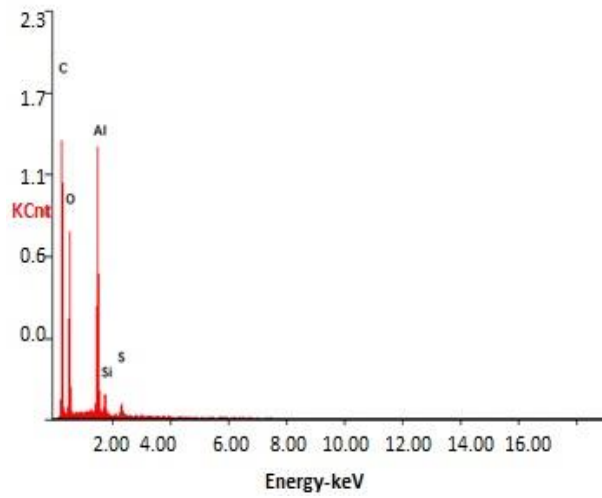


**Şekil 4.3.** K1-300 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.1.** 4.3 nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 34,35 | 48,18 |
| AlK     | 55,41 | 44,48 |
| SiK     | 4,53  | 3,39  |
| SK      | 5,02  | 3,43  |

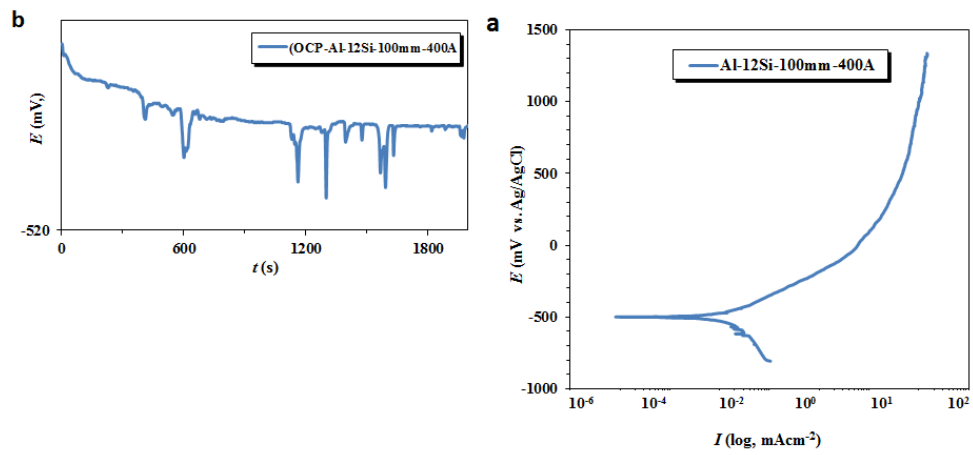
Tablo da ve grafikte görüldüğü gibi metal yüzeyinde çukurcuk korozyonu oluşmasına rağmen kaplamaya ait elementler bulunmaktadır. Kaplama tamamen bitmemiştir.



**Şekil 4.4.** K1-300 kodlu numunenin element analizi

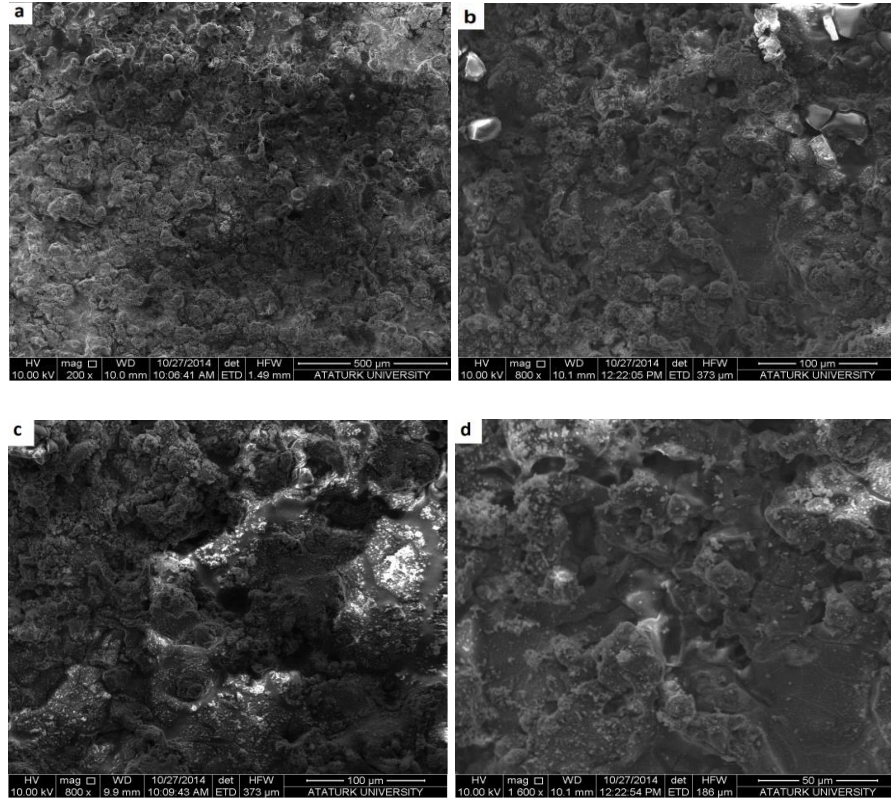
#### 4.2. K1-400 Kodlu Numune

K1-400 kodlu numunede ise farklı olarak kaplama 400A'lık ark akımı altında gerçekleştirilmiştir. Bu numunenin açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.5'de, korozyon sonrası yüzey SEM görüntüleri ise Şekil 4.6-4.8'de verilmiştir.



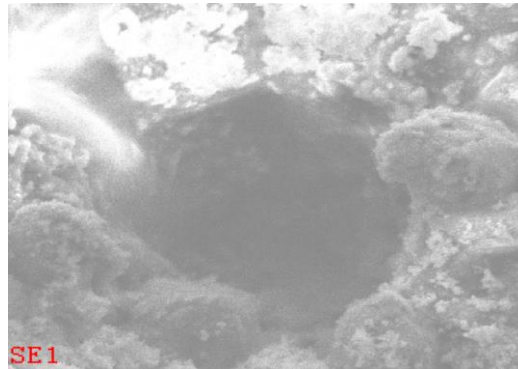
Şekil 4.5. K1-400 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 300A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmez iken açık devre potansiyelinde sert düşüşler olduğu ve grafiğin eksi yöne doğru bir ilerlediği görülmekte. Yaklaşık  $E_{ocp}$  -505 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr}$  -500 mV değerinden sonra akım artmayarak korozyon durmuş ve pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.6.** K1-400 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

Kaplamanın korozyon sonrası 400 A ve 100 mm mesafedeki kaplama bir mikro kesit Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Kaplama, dalgalı bir yapıya sahiptir ve nadiren de olsa erimemiş parçacıklar ve gözeneklerden oluştuğu görülmektedir.

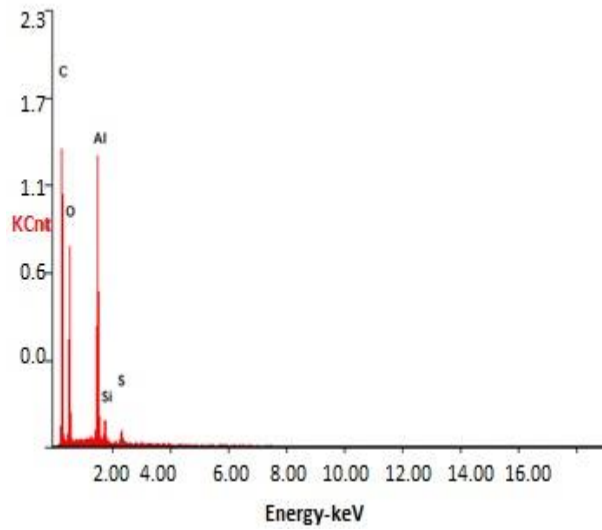


**Şekil 4.7.** K1-400 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.2.** 4.7 nolu resimde sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 44,04 | 57,41 |
| AlK     | 46,49 | 35,93 |
| SiK     | 5,27  | 3,92  |
| SK      | 4,21  | 2,74  |

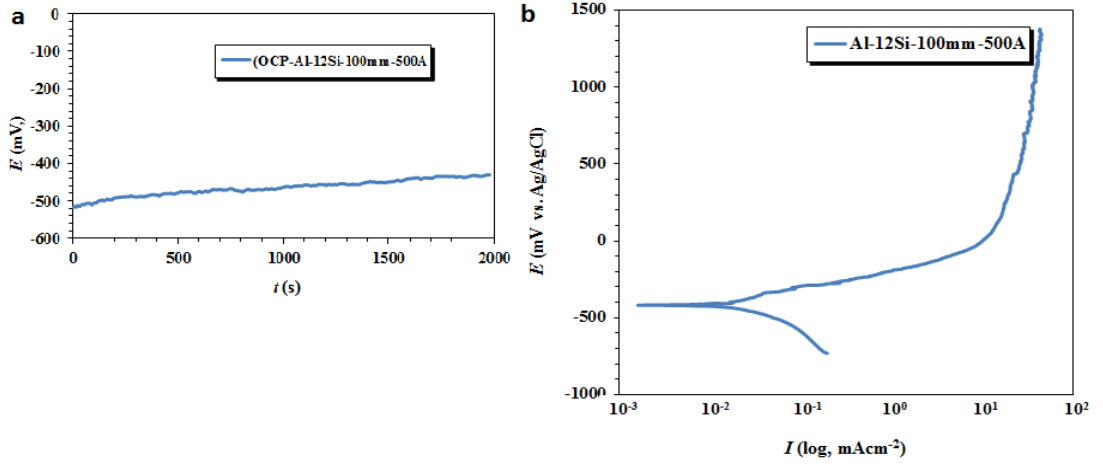
Tablo ve grafikte görüldüğü gibi kaplama yüzeyinde çukurcuklar taban yüzeye ulaşacak kadar derin değildir. Kaplamaya ait elementler halen bulunmaktadır. Kaplama dışında görülen elementler ise SEM görüntüsü esnasında oluşan ısıdan yanan parçacıklardan açığa çıkmıştır.



**Şekil 4.8.** K1-400 kodlu numunenin element analizi

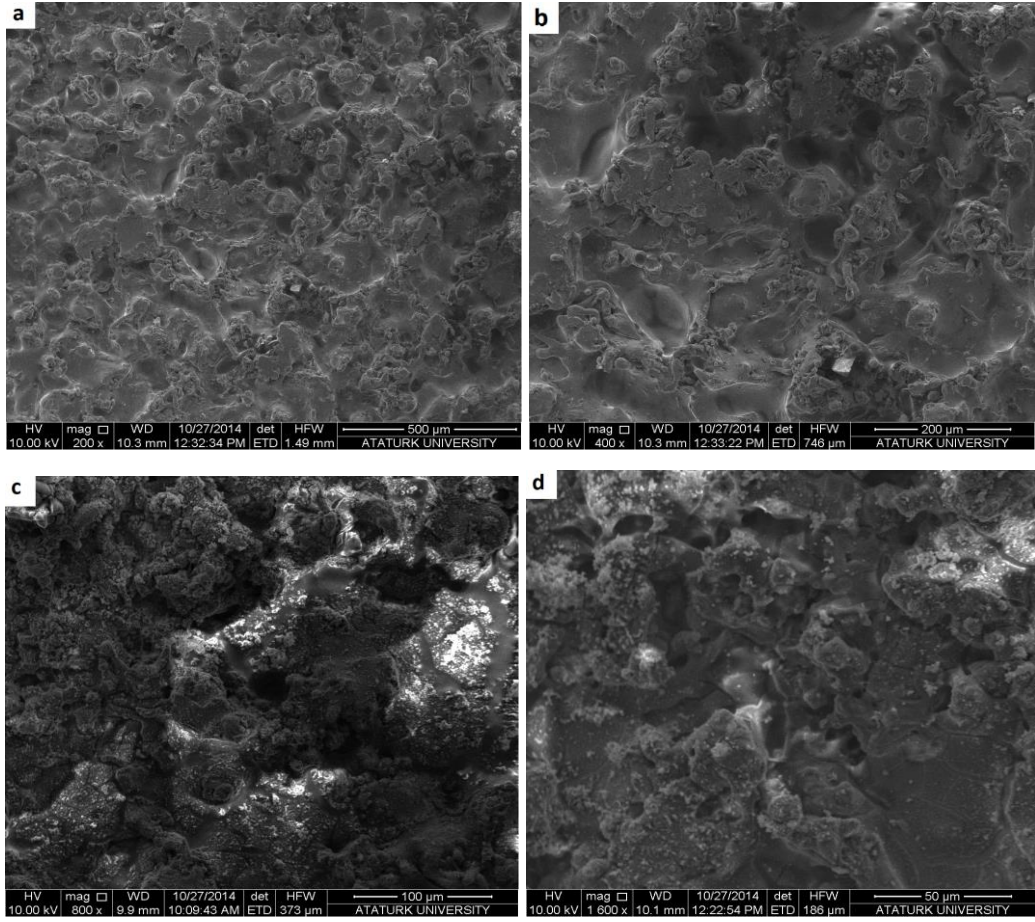
### 4.3. K1-500 Kodlu Numune

Bu numunenin kaplama ark akımı 500A'dır. Numuneye ait açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri sırası ile Şekil 4.9'da, korozyon sonrası yüzey SEM görüntüleri ise Şekil 4.10-4.11'de görülmektedir.



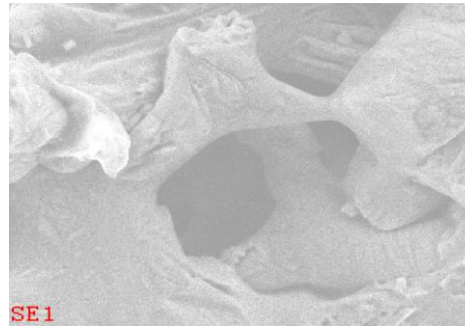
**Şekil 4.9.** K1-500 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 500A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmediği anda açık devre potansiyeli stabil bir şekilde pozitif yöne doğru artmaktadır.  $E_{ocp}$  - 418 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr}$  -325 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.10.** K1-500 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

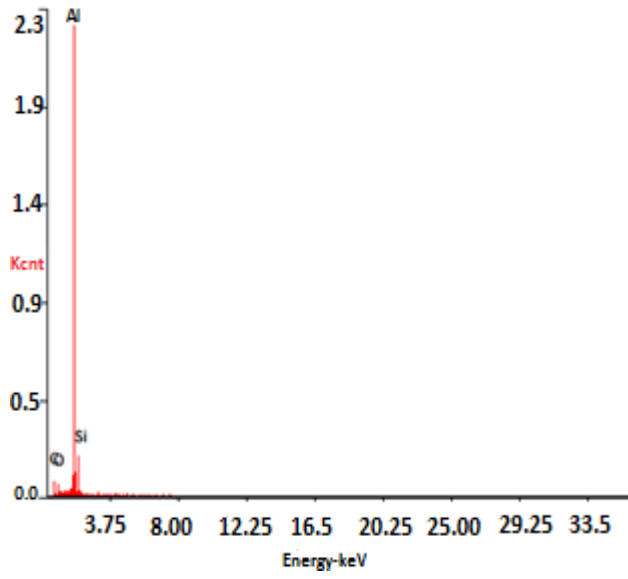
Fotografik görüntülerde poroz yapının hakim olduğu görülmektedir. Siyah bölgeler çukurcuk korozyon iken beyaz bölgeler ise korozyona uğramadan kalmış kaplamalardır.



**Şekil 4.11.** K1-500 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.3.** 4.11 nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

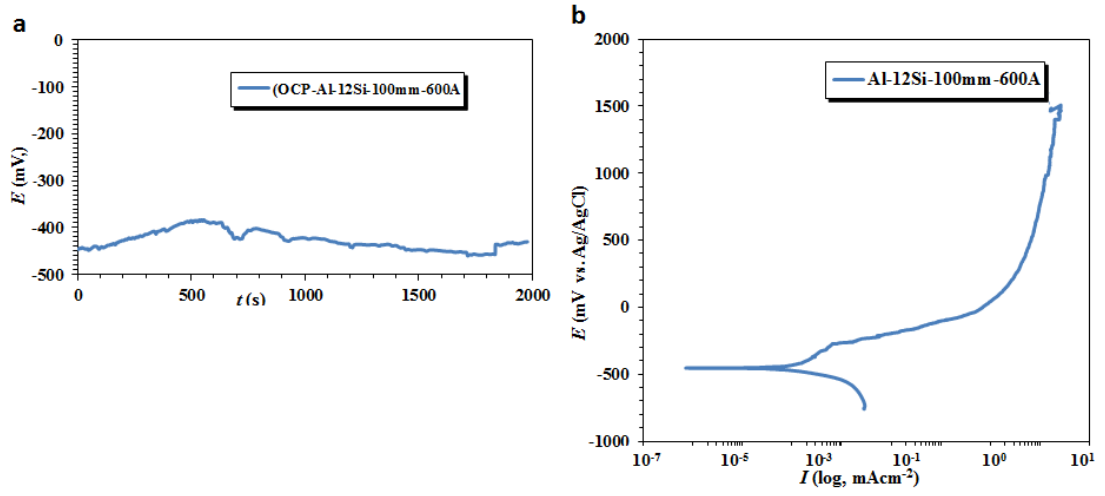
| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 3,33  | 5,52  |
| AlK     | 86,11 | 84,53 |
| SiK     | 10,56 | 9,96  |



**Şekil 4.12.** K1-500 kodlu numunenin element analizi

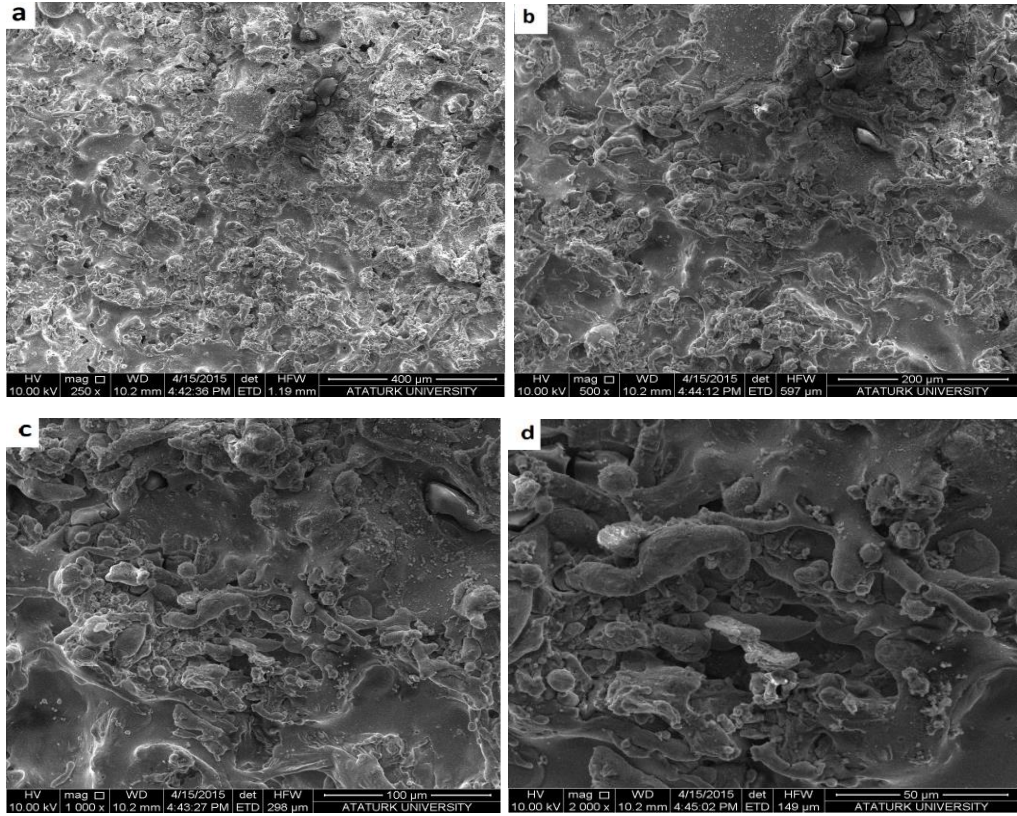
#### 4.4. K1-600 Kodlu Numune

600A'lık ark akımı altında yapılan kaplamanın açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.13'de, korozyon sonrası yüzey değişimleri Şekil 4.13-4.15'de sunulmuştur.



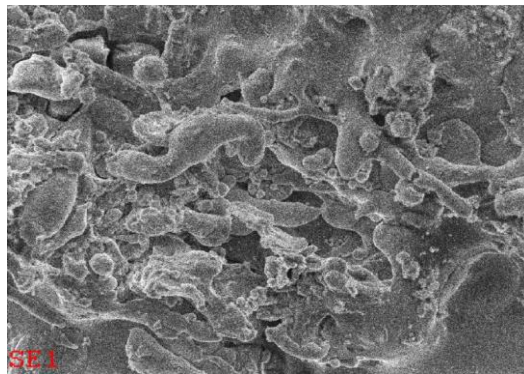
**Şekil 4.13.** K1-600 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 600A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de açık devre potansiyeli pozitif yöne ilerlemiş sonrasında yaklaşık olarak başladığı noktaya gelmiştir.  $E_{ocp}$  - 456 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr}$  - 453 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.14.** K1-600 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

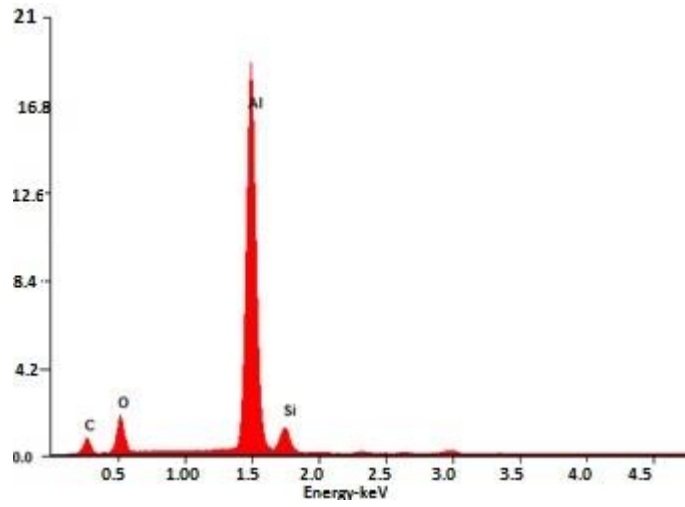
Siyah bölgeler de çukurcuk korozyonu görülmektedir. Element analize bakıldığında kaplamaya ait yapının varlığı görülmektedir.



**Şekil 4.15.** K1-600 numunesine ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.4.** 4.15. nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

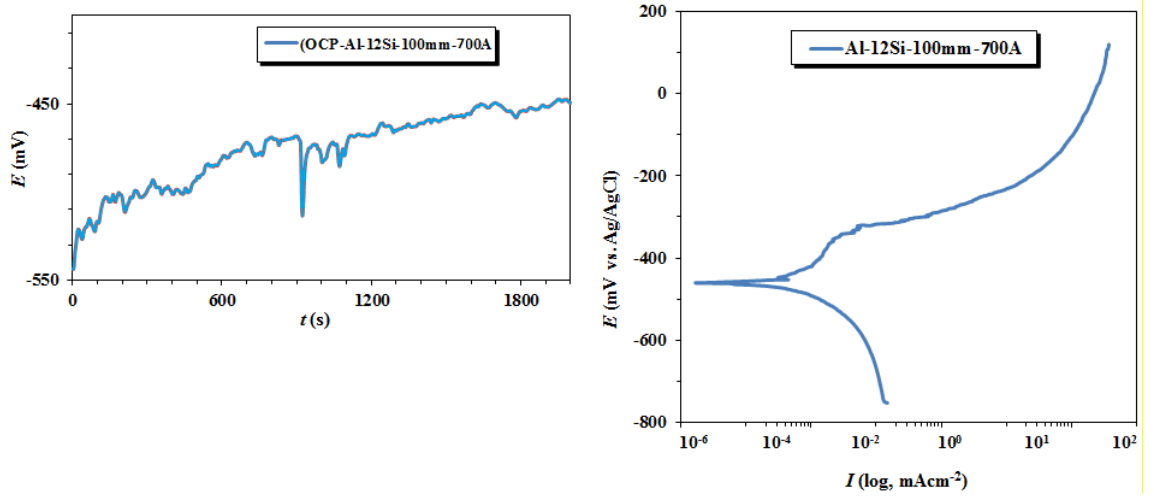
| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 45,98 | 59,03 |
| AlK     | 48,53 | 36,94 |
| SiK     | 5,50  | 4,03  |



**Şekil 4.16.** K1-600 kodlu numunenin element analizi

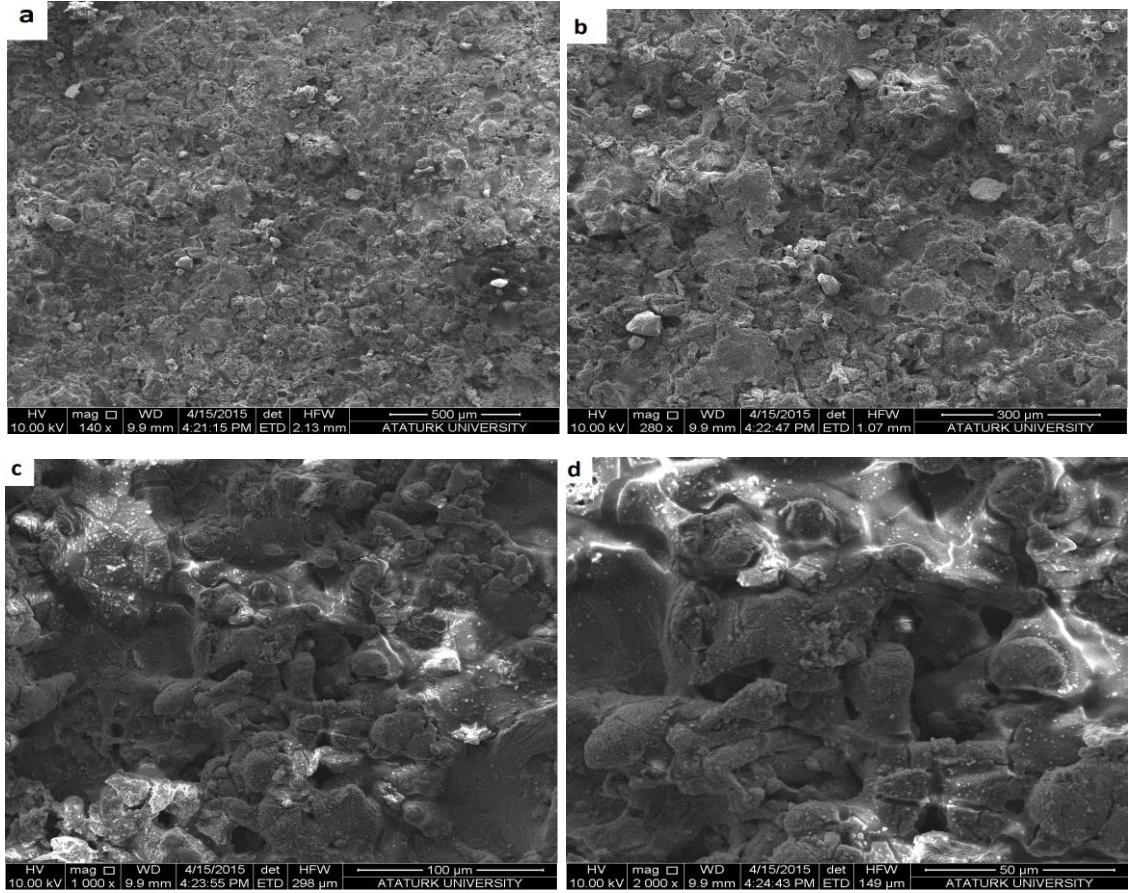
#### 4.5. K1-700 Kodlu Numune

700A'lık ark akımı altında yapılan kaplamanın açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.17'de, korozyon sonrası SEM yüzey görüntüleri ile EDS analizleri Şekil 4.18-4.20'de verilmiştir.

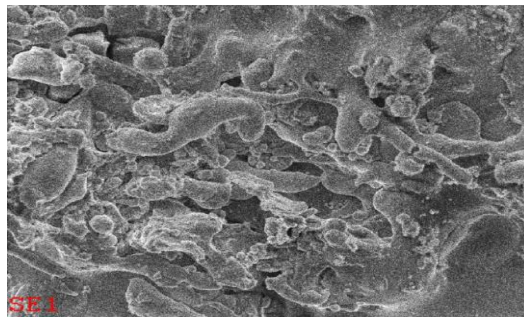


**Şekil 4.17.** K1-700 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 700A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmediği anda açık devre potansiyeli pozitif yöne doğru ani bir artış göstermiş -450 mV seviyesine kadar çıkmıştır. Eocp -446 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık Ecorr -461 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.18.** K1-700 numunesine ait korozyon sonrası SEM görüntüler

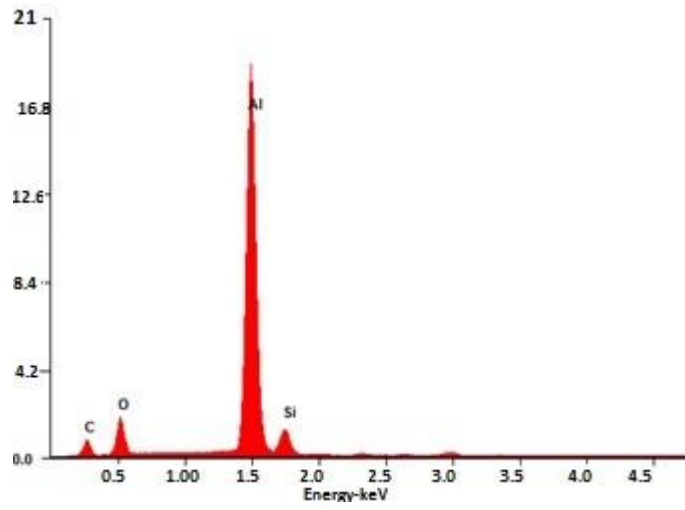


**Şekil 4.19.** K1-700 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

Gözenekli yapı yoğun olduğu görülmekte ve resimdeki koyu bölgeler ise çukurcuk korozyonudur.

**Çizelge 4.5.** 4.19. nolu resimde sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 45,98 | 59,03 |
| AlK     | 48,53 | 36,94 |
| SiK     | 5,50  | 4,03  |

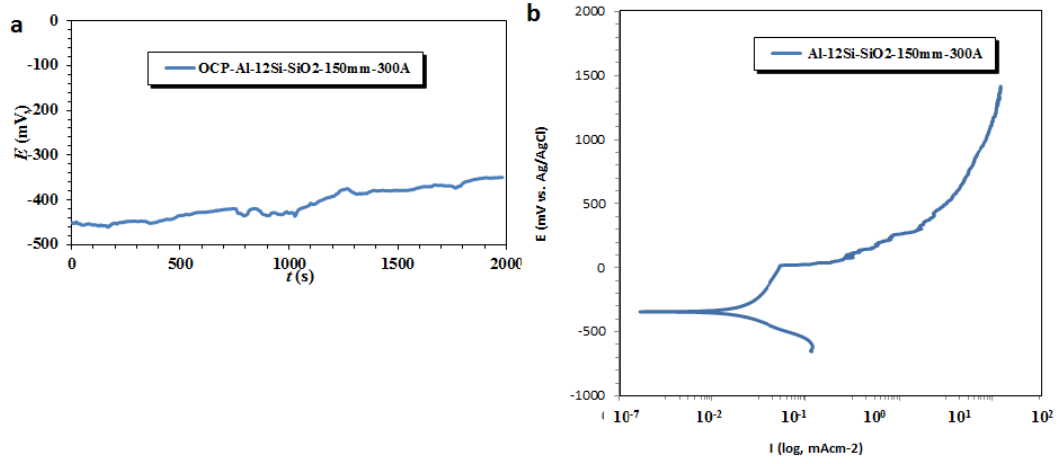


**Şekil 4.20.** K1-700 kodlu numunenin element analizi

Analizde görüldüğü üzere kaplamaya tamamen delinmemiş ve kaplamaya ait elementler bulunmaktadır.

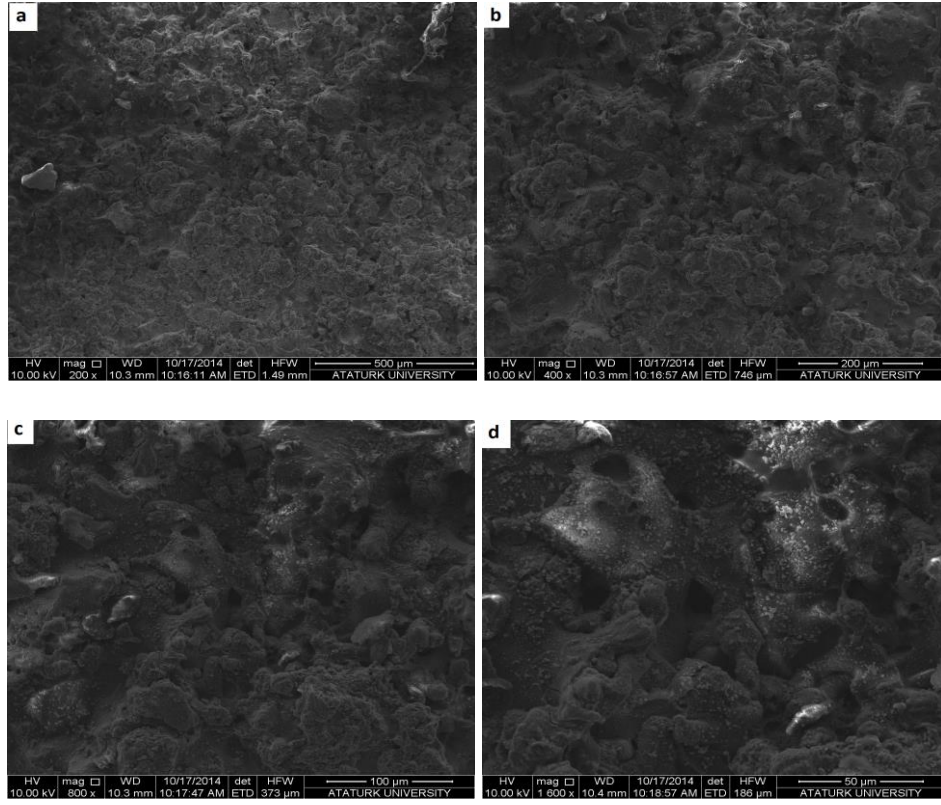
#### **4.6. K2-300 Kodlu Numune**

K2-300 kodlu numunenin özellikleri incelendiğinde sprej mesafesi 150 mm, akım değeri 300A'de Al-12Si/SiO<sub>2</sub> toz ile yapılan kaplamaları ifade etmektedir. Bu numunenin açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.21'de, korozyon sonrası yüzey değişimleri Şekil 4.22-4.24'de sunulmuştur.



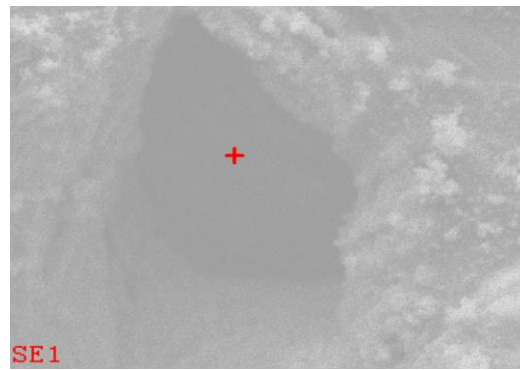
**Şekil 4.21.** K2-300 numunelere ait a) OSP b) PDS eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 300A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmediği anda açık devre potansiyeli pozitif yöne bir artış göstermiştir.  $E_{ocp}$  -350 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr}$  -343 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.22.** K2-300 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

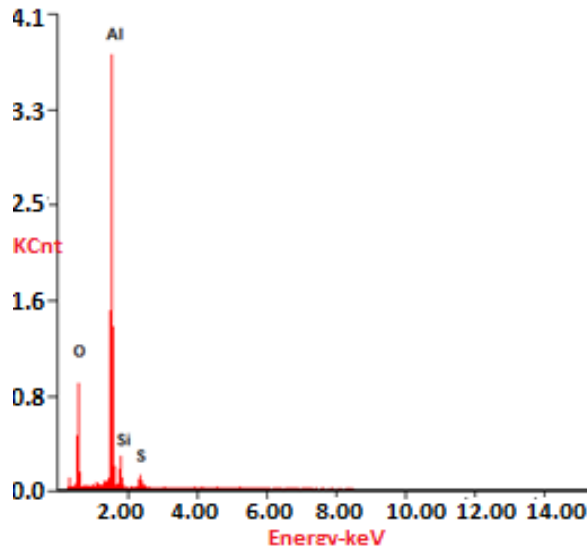
Fotografik görüntülerde çukurcuk korozyonunun mevcut olduğu ancak derinliklerinin azaldığı görülmekte.



**Şekil 4.23.** K2-300 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.6.** 4.23 nolu resimde SEM korozyon sonrası görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 18,58 | 28,02 |
| AlK     | 69,90 | 62,51 |
| SiK     | 7,55  | 6,48  |
| SK      | 3,98  | 2,99  |



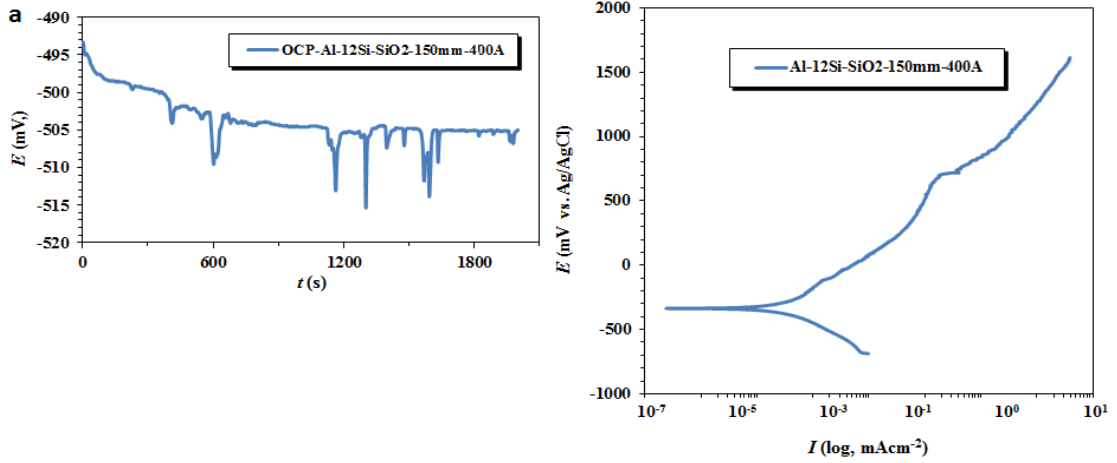
**Şekil 4.24.** K2-300 kodlu numunenin element analizi

Tablo ve grafikte görüldüğü gibi kaplamaya ait elementler yapıda halen bulunmaktadır. Buda yüzeyinde ki çukurcukların kaplamanın altına inmediğini ve taban yüzeyine ulaşmadığını gösterir. Kaplama dışında görülen elementler ise SEM görüntüsü esnasında oluşan ısıdan yanan parçacıklardan açığa çıkmıştır.

#### 4.7. K2-400 Kodlu Numune

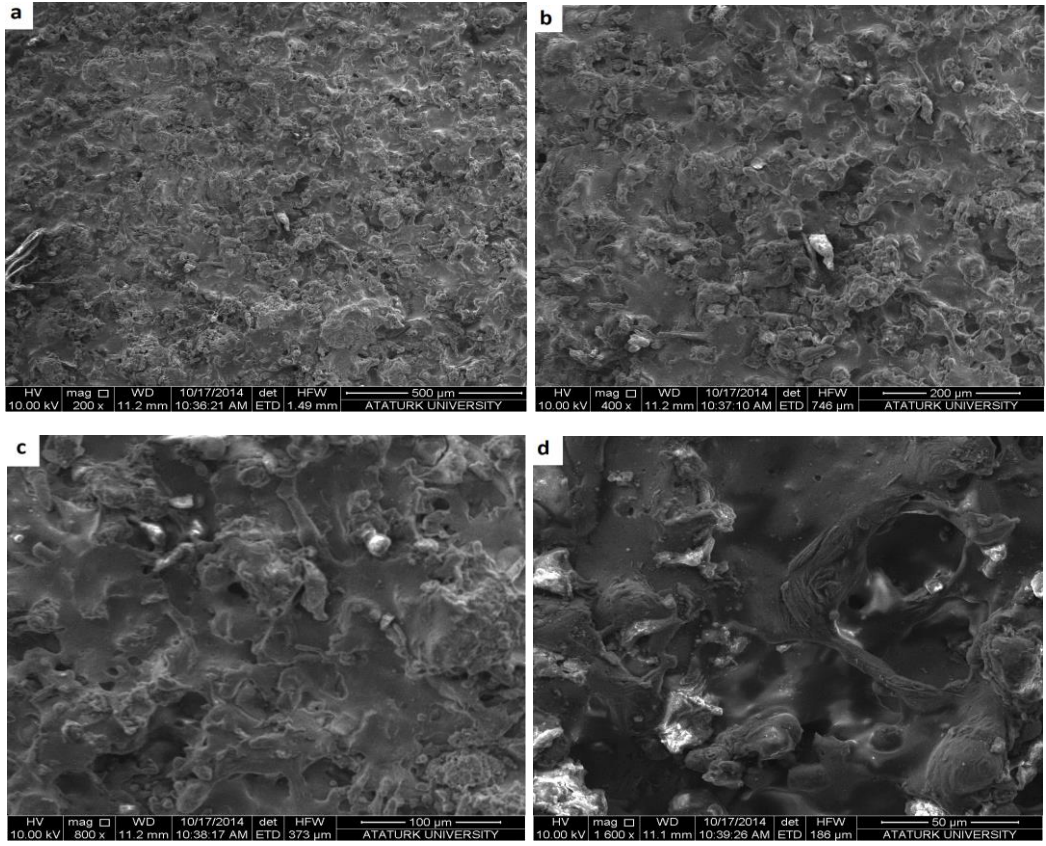
400A'lık ark akımı altında, sprej mesafesi 150 mm'de yapılan Al-12Si/SiO<sub>2</sub> kaplamaların açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I)

eğrileri Şekil 4.25’de, korozyon sonrası yüzey değişimleri Şekil 4.26-4.28’de sunulmuştur.

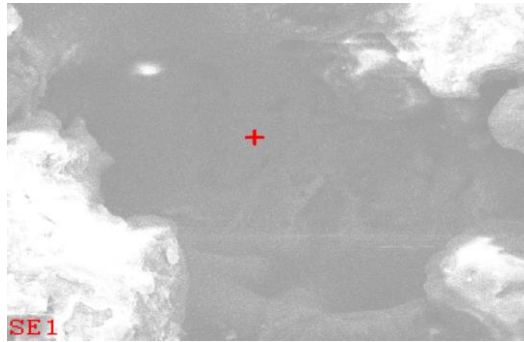


**Şekil 4.25.** K2-400 numunelere ait a) PDS b) OSP eğrileri

CSAS'nin içerisinde batırılmış 300A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmediği anda açık devre potansiyeli negatif yönde dalgalı bir yapı göstermiştir. Eocp -394 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık Ecorr -336 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



Şekil 4.26. K2-400 numunelere ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

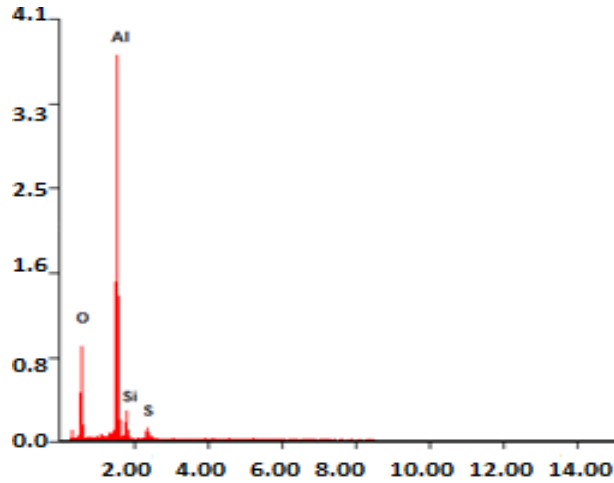


Şekil 4.27. K2-400 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.7.** 4.27 nolu resimde SEM korozyon sonrası görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 18,58 | 28,02 |
| AlK     | 69,90 | 62,51 |
| SiK     | 7,55  | 6,48  |
| SK      | 3,98  | 2,99  |

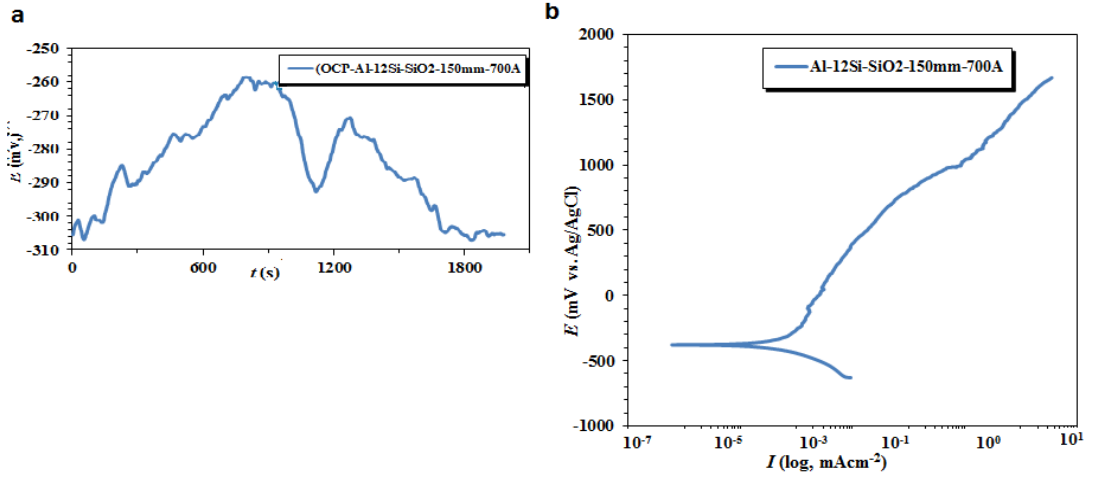
Tablo da görüldüğü gibi kaplamaya ait elementler çukurcukların kaplamanın altına inmediğini ve taban yüzeyine ulaşmadığını gösterir. Kaplama dışında görülen elementler ise SEM görüntüsü esnasında oluşan ısıdan yanan parçacıklardan açığa çıkmıştır.



**Şekil 4.28.** K2-400 kodlu numunenin element analizi

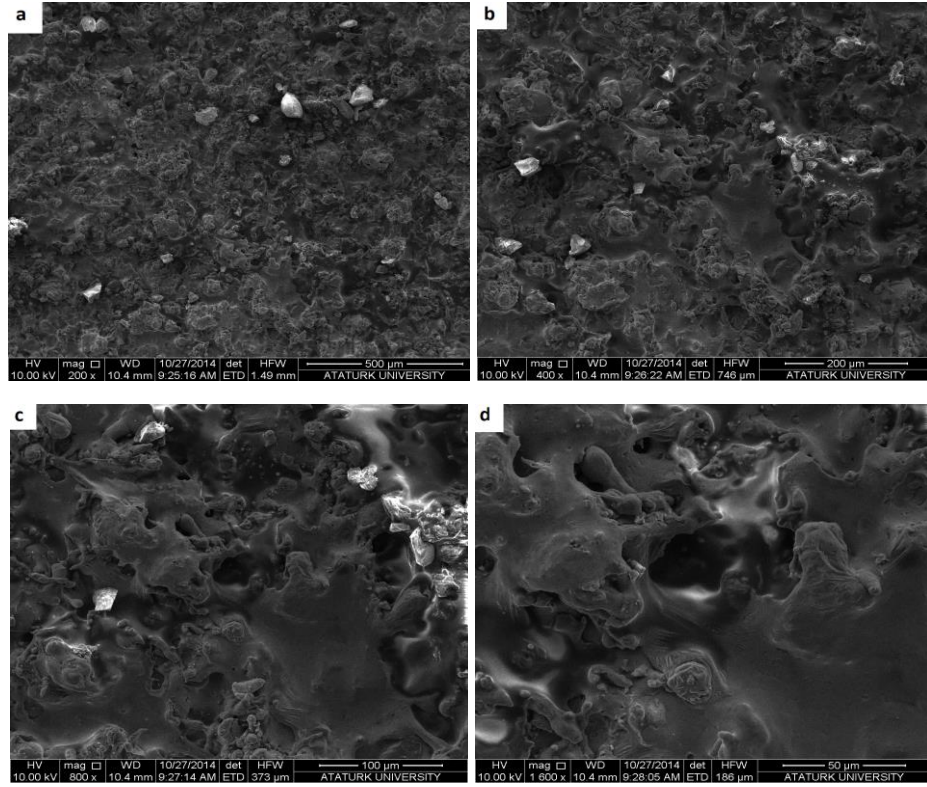
#### 4.8. K2-700 Kodlu Numune

700A'lık ark akımı altında, sprej mesafesi 150 mm'de yapılan Al-12Si/SiO<sub>2</sub> kaplamaların açık devre potansiyel değişim (E-t) ve potansiyodinamik polarizasyon (E-I) eğrileri Şekil 4.29'da, korozyon sonrası yüzey değişimleri Şekil 4.30-4.32'de dir



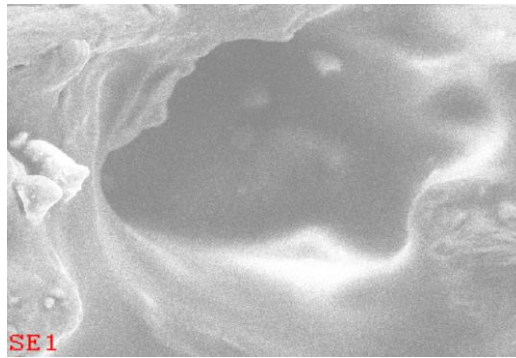
**Şekil 4.29.** K2-700 numunelere ait polarizasyon eğrisi

CSAS'nin içerisinde batırılmış 700A ark akımı ile kaplanmış numunenin potansiyodinamik polarizasyon taramaları ile açık devre potansiyeli zamana bağlı varyasyonları ve gösterilmektedir. OCP eğrisi de devreden akım geçmediği anda açık devre potansiyeli pozitif yöne doğru ani bir artış göstermiş -260 mV zirve değerine çıktıktan sonra negatif yöne yönelmiş yaklaşık olarak başladığı noktaya dönmüş  $E_{ocp}$  -305 mV civarında kararlı halde geçmiştir. PDS eğrilerine bakıldığında ise yaklaşık  $E_{corr}$  -379 mV değerinden sonra pasifleşme başlamıştır.



**Şekil 4.30.** K2-700 numuneye ait korozyon sonrası SEM görüntüleri

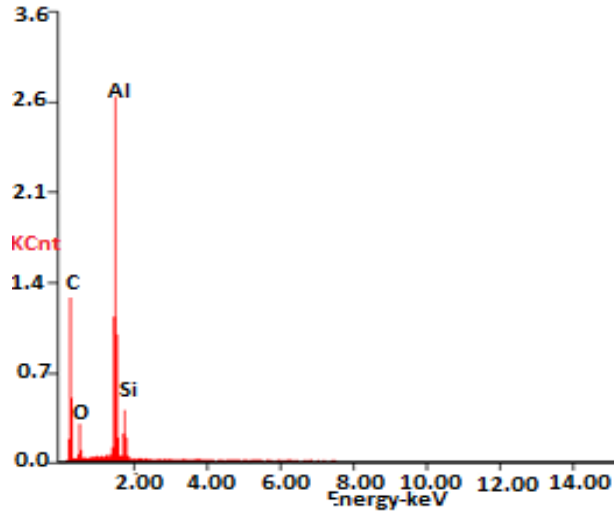
Yüzeyde poroz bir yapının var olduğu ve çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.31.** K2-700 numuneye ait korozyon sonrası element analizi yapılan bölge

**Çizelge 4.8.** 4.31 nolu resimde korozyon sonrası SEM görüntüsü görülen bölgenin element oranları

| Element | Wt%   | At%   |
|---------|-------|-------|
| OK      | 10,58 | 16,72 |
| AlK     | 83,98 | 70,37 |
| SiK     | 16,02 | 12,91 |

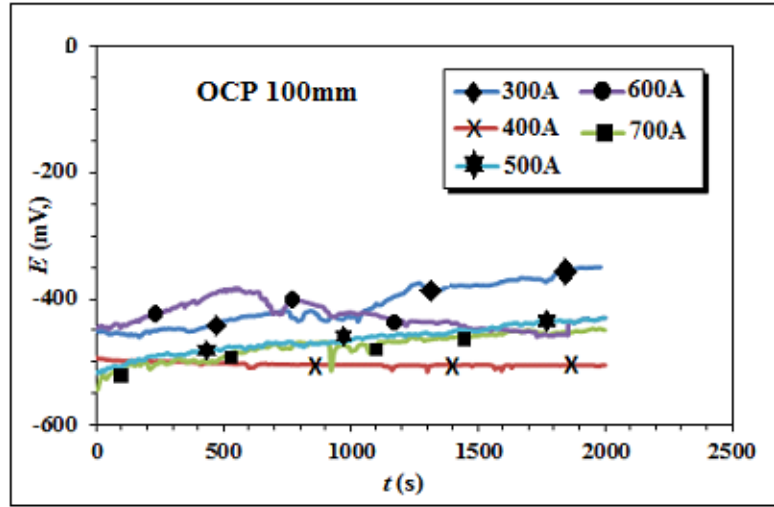


**Şekil 4.32.** K2-700 kodlu numunenin element analizi

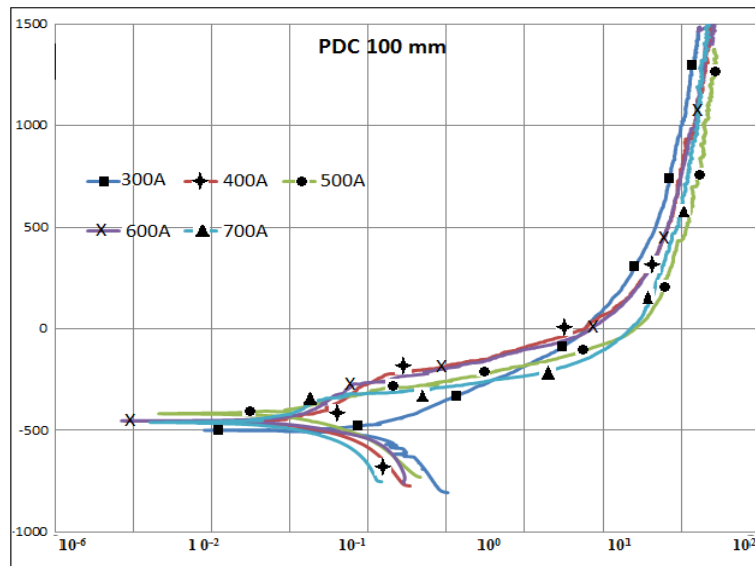
Tablo ve grafikte görüldüğü gibi kaplamaya ait elementler yapıda halen bulunmaktadır. Çukurcuk korozyonu kaplama yüzeyinin altına yani taban malzemeye inmemiştir.

## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

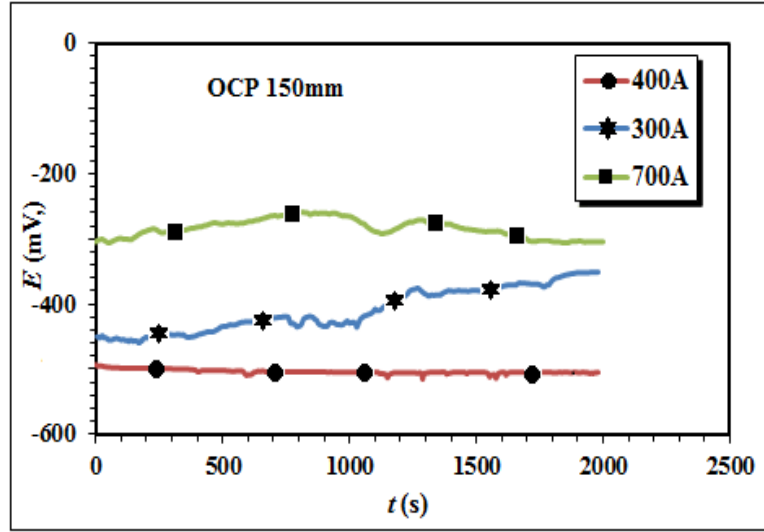
Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4'de sırası ile K1 ve K2 kodlu numunelerin OCP ve PDS eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu eğrilerden elde edilen bazı önemli korozyon parametreleri ise Çizelge 5.1'de toplanmıştır.



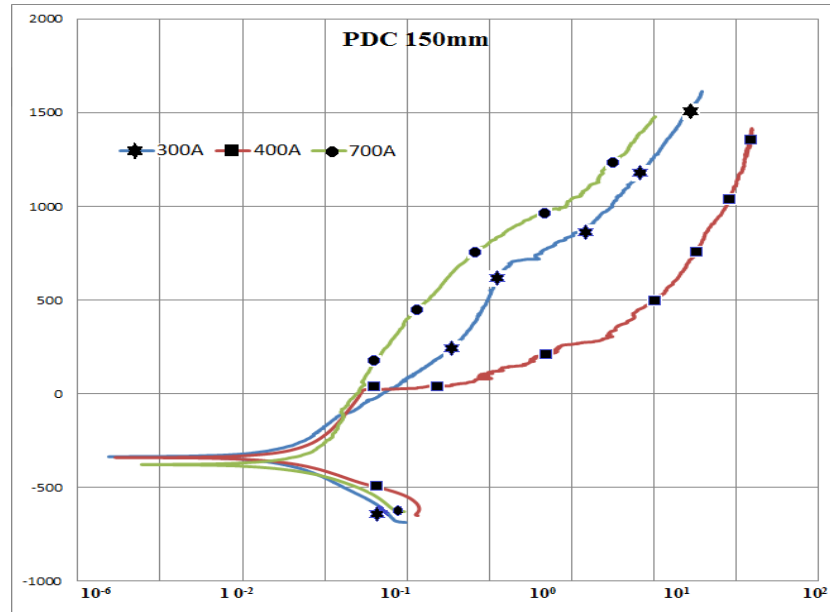
Şekil 5.1. K1 kodlu Numunelerim açık devre potansiyeli ( $E_{ocp-t}$ ) zamana bağlı değişim eğrileri



Şekil 5.2. K1 kodlu numunelerin PDS eğrileri



Şekil 5.3. K2 kodlu numunelerin açık devre potansiyeli ( $E_{ocp} - t$ ) zamana bağlı değişim eğrileri



Şekil 5.4. K2 kodlu numunelerin PDS eğrileri

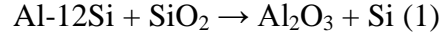
**Çizelge 5.1.** Kaplamaların OCP ve PDS eğrilerinde hesaplanan korozyon parametreleri

| Kaplama | Eocp (mV) | Ecorr (mV) | Epit (mV) | Icorr (A/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------|------------|-----------|----------------------------|
| K1-300  | -472      | -458,0     | -199      | 797,0e-9                   |
| K1-400  | -505      | -500,0     | -271      | 2,140e-9                   |
| K1-500  | -430      | -418,0     | -325      | 370,0e-9                   |
| K1-600  | -456      | -453,0     | -255      | 437,0e-9                   |
| K1-700  | -446      | -461,0     | -360      | 258,0e-9                   |
| K2-300  | -350      | -343,0     | 17        | 173,0e-9                   |
| K2-400  | -394      | -336,0     | -98       | 103,0e-9                   |
| K2-700  | -305      | -379,0     | -92       | 178,0e-9                   |

\*Eocp: Açık devre potansiyeli, Ecorr: Korozyon potansiyeli, Epit: Çukurcuk potansiyeli, Icorr: Korozyon akım yoğunluğu

Eğriler incelendiğinde; ilk karşımıza çıkan durumun K1 kodlu numunelerin açık devre potansiyellerinin K2 kodlu numunelere oranla daha aktif potansiyellerde oluşudur. Ayrıca, K2 kodlu kaplamaların, içinde buldukları elektrolit ile (CSAS ile) kararlı hale ulaşma sürelerinin diğer akımlarda yapılan kaplamalara oranla çok daha az sürede gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ancak, bu durum hem K1 hem de K2 kodlu numunelerde 400A'de yapılan kaplamalarda daha belirgin oluşmaktadır. Tüm bu durumlar birlikte değerlendirildiğinde, K2 kodlu numunelerin K1 kodlu numunelere göre daha sıkı ve kararlı, ayrıca daha az poroz bir koruyucu oksit filmi ile kaplandığı söylenebilir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde ise kaplama içerisinde in-situ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alümina) sentezlenen K2 kodlu numunelerin K1 kodlu numunelere oranla daha soy Eocp ve Ecorr potansiyellerine sahip oldukları görülmektedir. Bu numunelerin korozyon akım yoğunluk değerleri de yine oldukça küçüktür. Bu durum alüminyum üzerine daha mukavemetli ve aşınma direnci yüksek kaplama elde etmek amacı ile Al-12Si matris alaşımı içerisinde in-situ reaksiyonlar ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sentezleme işleminin (1) korozyon açısından da bir koruyuculuk sağladığını göstermektedir.



Daha önceki çalışmalarda yapılan XRD analizlerinde göreceli olarak en yüksek alümina oluşumu 400 Amper akımda gerçekleştiği gösterilmiştir (Tekmen *et al.* 2008). PDS eğrilerinden görülmektedir ki, akım arttıkça kaplanacak partiküllerin hedefe daha erken ulaşması için hızı artmakta ve eşitlik 1 ile verilen reaksiyon için gerekli zaman azalmaktadır. Bu nedenle, kaplama içerisindeki in-situ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarı azalması nedeniyle de korozyon duyarlılığı tekrar artmaktadır. Yapılan çalışmalarda alümina oluşumunun kaplama mesafesini artırılarak artabileceği de gösterilmiştir. Yine bu çalışmalarda en yüksek alümina oluşumu 150 mm de 400 A'de elde edilmişti (Tekmen *et al.* 2008). Zira artan ark mesafesi ile eşitlik 1 ile verilen in-situ reaksiyon için daha fazla zaman elde edilmiş olacağından bu durum korozyon açısından da olumlu sonuçlar meydana getirmiştir.

PDS eğrilerinden en yüksek korozyon duyarlılığının K1-300 kodlu numunede olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, en yüksek pasifleşme aralığı ise K1-700 kodlu numunede oluşmuştur. Fakat bu numune -360mV'luk çukurcuk potansiyeli lokalize korozyona en duyarlı numune olmuştur. Valente ve Galliano (2000) göre bu durum kaplama içerisindeki aralık korozyonunun bir sonucudur. Sulu ortamda, alüminyum yüzeydeki film tabakasında gözenekli yapı oluşabilir. Potansiyel negatife doğru gittikçe, yüzeyde sadece gözenekli yapı kalır. Hidrojen miktarındaki artış silikon içeriğinin de artmasına sebep olmaktadır. Bu reaksiyon  $\text{Si} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow \text{SiH}_4$  göre tanımlanabilir. Bununla beraber oksijendeki azalma CSAS sıvısının Ph'ını düşürdüğünden katodik reaksiyon hızını artırmaktadır. Korozyon sonrası SEM fotoğrafları incelendiğinde kaplama yüzeylerinde baskın olarak çukurcuk korozyonun olduğu görülmektedir. K1 kodlu numunelerde belirgin oyuklar oluşurken, K2 kodlu numunelerde yapı daha poroz şekillidir (Şekil 4.30). Yine akım yoğunluğu arttıkça çukurcuk boyutu da artmaktadır.

Farklı Şekil ve boyuttaki çukur korozyonu metal yüzeyinde deliklere neden olur. Bu davranış da Al ve Si elektriksel dirençleri ile ilgili olabilir. Al elektrik iletkenliği göz önüne alındığında iletkenliği ( $3.77 \times 10^7$  ohm-1 m<sup>-1</sup>) Si dan ( $1 \times 10^3$ -1 ohm m<sup>-1</sup>) daha

yüksektir. Kompozit kaplamada korozyon davranışı bu iki faz arasında galvanik etkiye neden olmuş olabilir. Bu durumda korozyon Al/Si tercihen ara yüzeyinde ilerler. K2 kodlu numunelerin korozyon sonrası SEM ve EDS analizleri bu görüşü doğrulamaktadır.

### **5.1. Tartışmalar**

- 1) Sprey mesafesi 150 mm olan K2 kodlu numunelerde daha yoğun alümina ( $Al_2O_3$ ) oluşmuştur.
- 2) Akım şiddeti düşük olan numunelerde alümina daha fazla oluşmuştur.
- 3) Sprey mesafesi fazla olan numunelerin (kaplamaların) alümina oluşumundan dolayı korozyon direnci daha iyidir.
- 4) Akım şiddeti düşük olan numunelerde alümina oluşumu fazla olduğu için korozyona karşı dirençlidir.
- 5)  $Al_{12}Si/SiO_2$  ile oluşturulan kompozit kaplamalarda korozyon direnci daha yüksektir.
- 6) Optimum korozyon direnci  $Al_{12}Si/SiO_2$  400 A akım şiddetinde 150 mm sprej mesafesinden kaplanan numunelerde görülmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Akdoğan Eker, A., 2009. Korozyon Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş/İstanbul,-34349  
www.yildiz.edu.tr
- Aksoy, D., Aras, D., Batar B., 2006 T.C. Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Yayınları Dergisi, 1 (1), 15-25. Esentepe Kampüsü Kadıköy İstanbul/Türkiye
- Anonim 2009. Korozyon ve Katodik Koruma. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı (Mesleki  
Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), 56, Ankara.
- Anonim 2015a, <http://www.kaomakine.com> Erişim tarihi: 11 ocak 2015
- Anonim 2015b. <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-041.pdf> Erişim  
tarihi: 16 haziran 2015
- Anonim 2015c. <http://deremetalurji.com/cukurcuk-korozyon.asp> Erişim tarihi:  
1 Ağustos 2015
- Anonim 2015d. <http://www.metaluzmani.com> Erişim tarihi: 5 Ağustos 2015
- Anonim 2015e. <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-041.pdf> Erişim  
tarihi: 17 Mart 2015
- Bartuli C., Valente T., F Casadei., and M., Tului 2006. Advanced Thermal Spray  
Coatings for Tribological Applications, Department of Chemical and Materials  
Engineering, Sapienza University
- Cayron, C. 2000. TEM study of interfacial reactions and precipitation mechanisms in  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> short fiber or high volume fraction SiC particle reinforced Al-4Cu-1Mg-  
0.5Ag squeeze-cast composites. Doktora Tezi, Tez No: 2246, Lausanne, EPFL,  
Fransa
- Çelik E., Özdemir I., Avcı E., Tsunekawab Y. 2004. Corrosion behaviour of plasma  
sprayed coatings Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department  
of Metallurgical and Materials Engineering, Bornova, Izmir, 35100, Turkey
- Çelik E., Özdemir I., Avcı E., Şengil İ. A. 1997. Effect of some parameters on corrosion  
behaviour of plazma-sprayed coatings, Sakarya, Turkey
- Doruk, M., 1982. Korozyon ve Önlenmesi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Ankara
- Dündar, M., and Güngör G., 2004. Assan Alüminyum, İstanbul Otomotiv Sektöründe  
Alüminyum Uygulamaları ve Sürekli Döküm tekniği İle Üretilmiş Alüminyum  
Levha Alaşımları
- Everett, R., K., Arsenault R., J., 'Derl.'(1993).Metal Matrix Composites; Processing and  
Interfaces London: Academic Press. 384-396
- Gomez-del Rio, T., Garrido, M.A., Fernandez, J.E., Cadenas, M., Rodriguez, J. 2008.  
Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and  
microstructure of NiCrBSi coatings, Journal of Materials Processing  
Technology. (204), 304-312.
- Gümüş, M., 2007. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Merkez Kampüs /Ankara  
Yüksek Lisans Tezi
- Kalemtaş A., 2014. Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış Muğla Sıtkı Koçman  
Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- Kıratlı N., Yetgin S. H., Çoğur T., 2009. Toz Alev Püskürtme Yöntemi Kullanılarak  
Kaplanan Alüminyum Alaşımının Aşınma ve Sertlik Davranışlarının

- İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, (Sayı 3), Sayfa 441-446
- Kurtkaya N., 2005. Bilim ve Mühendislik Alanı olarak Korozyon <http://docplayer.biz.tr/2075780-Bilim-ve-muhendislik-alani-olarak-korozyon.html>
- Özcömert, M., 2006 Otomotiv Endüstrisinin de Alüminyum, İstanbul Ticaret Odası Yayınları
- Özdemir I., Hamanaka I., Hirose M., Tsunekawa Y., Okumiya M., 2005 In-situ formation of Al-Si-Mg based composite coating by different reactive thermal spray processes Toyota Technological Institute, Material Processing Lab
- Palmanak, E., 2009 6-Amino-m-Kresol Polimerinin Bakır ve Paslanmaz Çelik Üzerine Sentezi ve Korozyon Performansının İncelenmesi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Parlakyiğit A. S., 2012 İstanbul Medeniyet Üniversitesi Termal Spreyleme Yöntemleri
- Ray, S., Review Synthesis of Cast Metal Matrix Particulate Composites, Journal of Materials Science, 28, 5397-5413, 1993.
- Richardson, F. A., Wood, G. C., "A study of the pitting corrosion of Al by scanning electron microscopy", Corrosion Science, 10: 313-323 (1970).
- Rodriguez, J., Martin, A., Fernandez, R., Fernandez, J.E. 2003. An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings, Wear. (255), 950
- Santosa H. O., Reisa F. M., Kunioshia C. T., Rossia J. L., Costaa I. 2003-2004. Corrosion Performance of Al-Si-Cu Hypereutectic Alloys in a Synthetic Condensed Automotive Solution, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/Corrosion Laboratory
- Soydan S., Üstel F., Çelik E., 1997. Investigation of friction and wear behaviours of plasma-sprayed ceramic coatings, Journal of Turkish Engineering and Environmental Sciences, vol.21 No:6 pp 417-423.
- Tekmen C., Yamazaki M., Tsunekawa Y., Okumiya M., 2007. In-situ plasma spraying: alumina formation and in-flight particle diagnostic, Institution: Toyota Technological Institute Spraying: Alumina Formation and In-flight Particle Diagnostic Toyota Technological Institute, Materials Processing Lab,
- Tekmen Ç., Özdemir İ., Fritsche G., Tsunekawa Y., Okumiya 2009 Structural evolution of mechanically alloyed Al-12Si/TiB<sub>2</sub>/h-BN composite powder coating by atmospheric plasma spraying Toyota Technological Institute, Materials Processing Lab.,
- Tekmen Ç., Tsunekawa Y., Okumiya M. In-situ TiB<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2008a Formed Composite Coatings by Atmospheric Plasma Spraying: Influence of process parameters and in-flight particle characteristics Toyota Technological Institute, Materials Processing Lab,
- Tekmen Ç., Yamazaki M., Tsunekawa Y., Okumiya M. 2007 In-situ TiB<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formation by DC plasma spraying Toyota Technological Institute, Materials Processing Lab, 2-12-1, Hisakata Tempaku, 468-8511, Nagoya, Japan
- Tekmen Ç., Yamazaki M., Tsunekawa Y., Okumiya M., 2008b In-situ plasma spraying: Alumina formation and in-flight particle diagnostic Toyota Technological Institute, Material Processing Lab, 4163-4169
- Uygur İ., Saruhan H. 2004. Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Metalik Özellikleri SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8.Cilt1.Sayı Sayfa167

- Uyulgan, B., Dokumacı, E., Çelik, E., Kayatekin, I., Ak Azem, N.F., Özdemir, I., Toparli, M. 2007. Wear behaviour of thermal flame sprayed FeCr coatings on plain carbon steel substrate, Journal of Materials Processing Technology. (190),
- Valente, T., Galliano, F. P. 2000. Corrosion resistance properties of reactive plasma-sprayed titanium composite coatings 86-92
- Yalçinkaya, S., 2006. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- Yeşildal R., Günay Y. Z., 2007. Plazma Sprey Yöntemi ile Kaplama ve Sprey Karakteristiklerinin İncelenmesi DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:9 Sayı:1 s.59-76
- Zeren, M., 2008. Demir Dışı Düşük Sıcaklık Metal ve Alaşımları Kocaeli Üniversitesi Yayınları, SS, Kocaeli.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İvrindi’de doğdu. İlköğrenimini Sivas Halil Rıfat Paşa İlköğretim ve Kastamonu Şehit Şerife Bacı İlköğretim Okullarında tamamladıktan sonra, 1999 yılında Turan Feyzioğlu Lisesinden mezun oldu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.