



## B<sub>4</sub>C takviyeli alüminyum matris kompozitlerin farklı çözeltilerdeki korozyon davranışları

İjlal Şimşek<sup>1\*</sup>, Doğan Şimşek<sup>2</sup>, Dursun Özyürek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050 Karabük, Türkiye, ORCID ID [orcd.org/0000-0001-6542-8567](https://orcid.org/0000-0001-6542-8567)

<sup>2</sup>Milli Savunma Üniversitesi, Kara Astsubay Meslek Yüksek Okulu, Balıkesir, 10100, Türkiye, ORCID ID [orcd.org/0000-0001-8339-9704](https://orcid.org/0000-0001-8339-9704)

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, 78050, Türkiye, ORCID ID [orcd.org/0000-0002-8326-9982](https://orcid.org/0000-0002-8326-9982)

### MAKALE BİLGİSİ

**Makale geçmişi:**  
İlk gönderi 16 Aralık 2019  
Revize gönderi 23 Ocak 2020  
Kabul 17 Şubat 2020  
Online 29 Mart 2020

**Araştırma Makalesi**

**DOI: 10.30728/boron.659969**

**Anahtar kelimeler:**

Al kompozit,  
B<sub>4</sub>C,  
Empedans,  
Korozyon.

### ÖZET

Bu çalışmada mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen %12 B<sub>4</sub>C takviyeli Al %2 grafit matrisli kompozit malzemenin farklı çözeltilerdeki korozyon davranışı incelenmiştir. Hazırlanan tozlar planeter tip alaşımlama cihazında mekanik alaşımlanmıştır. Mekanik alaşımlanan tozlar, hidrolik preste 750 MPa basınç altında soğuk preslenerek ham numuneler üretilmiştir. Üretilen ham numuneler 600°C sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiştir. Korozyon testleri iki farklı çözeltide (%3,5 NaCl ve 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile yapılmıştır. Korozyon testleri sonucunda, NaCl çözeltisinde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine göre düşük akım yoğunluğu elde edilmiştir. Ayrıca elektrokimyasal empedans ölçümlerinde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde, Nyquist eğrisinin daha düşük bir yarım daire çapına ve düşük frekanslarda endüktif bir döngüye sahip olduğu görülmüştür.

## The corrosion behaviours in different solutions of B<sub>4</sub>C reinforcement aluminium matrix composites

### ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 16 December 2019  
Received in revised form 23 January 2020  
Accepted 17 February 2020  
Available online 29 March 2020

**Research Article**

**DOI: 10.30728/boron.659969**

**Keywords:**

Al composite,  
B<sub>4</sub>C,  
Impedance,  
Corrosion.

### ABSTRACT

In this study, were investigated corrosion behavior in different solutions of 12% B<sub>4</sub>C reinforced Al 2% graphite matrix composite material produced by mechanical alloying method. The prepared powders were mechanically alloying in the planetary type alloying device. Mechanical alloyed powders were produced green compacts by cold pressed under pressure of 750 MPa in a hydraulic press. The green compacts were sintered at 600 °C for 2 hours. Corrosion tests were carried out in two different solutions (3.5% NaCl and 0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) by potentiodynamic polarization method. As a result of corrosion tests, low current density was obtained in NaCl solution compared to H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution. In addition, in the electrochemical impedance measurements showed that the Nyquist curve in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution had a lower semicircle diameter and an inductive cycle at low frequencies.

### 1. Giriş (Introduction)

Parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit (AMK) malzemeler yüksek elastisite modülü, iyi mekanik özellikleri ve hafifliği gibi özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi alanlarda geniş uygulama alanı bulmaktadır [1-3]. Birçok araştırmacı tarafından karbür, oksit, nitrür gibi sert parçacıklarla güçlendirilmiş AMK malzemeleri, sıvı ve katı hal teknikleri gibi farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilmektedir [3-7]. Takviye malzemeleri arasında B<sub>4</sub>C diğer takviye malzemeleri ile karşılaştırıldığında, oldukça düşük

yoğunluk değeri (2,51 g/cm<sup>3</sup>) [8], iyi kimyasal direnci [9], yüksek sertlik ve iyi aşınma direnci gibi birçok avantaja sahiptir. Bir toz metalürjisi (TM) yöntemi olan mekanik alaşımlama/öğütme (MA/MÖ) ilk defa 1966 yılında Benjamin tarafından geliştirilen ve oksit dağılımı ile mukavemetlendirilmiş Ni-bazlı süper alaşımların üretiminde kullanılan iyi bir katı hal yöntemidir. Bu yöntem, son yıllarda alüminyum matrisli kompozit (AMK) üretiminde oldukça başarılı olarak uygulanmaktadır [5,10-12]. Geniş kullanım alanı bulunan AMK malzemelerin kullanımının önündeki zorluklardan biri takviye parçacıklarının korozyon direnci üzerindeki etkisidir.

\*Sorumlu yazar: [ijlalisp@karabuk.edu.tr](mailto:ijlalisp@karabuk.edu.tr)

Takviye parçacıklarının eklenmesi, alüminyum matrisin yüzeyinde oluşan ve koruyucu oksit tabakasının sürekliliğinin bozulması sonrası matrisi korozyona karşı daha duyarlı hale getirmektedir [13,14]. Han ve Grant-Chen [15] yaptıkları bir çalışmada Al-B<sub>4</sub>C kompozit malzemelerin NaCl çözeltisindeki elektrokimyasal davranışlarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda matris içerisinde artan B<sub>4</sub>C miktarı ile korozyon direncinin azaldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, korozyon türünün çukurcuk korozyonu olduğunu ve iki tür çukurcuk tipi olduğunu belirtmişlerdir. Birinci tipin düzenli çukurcuklar olduğunu ikinci tipin ise matris-takviye arasındaki oluşan intermetalik fazlardan kaynaklanan düzensiz çukurcuklar olduğunu belirtmişlerdir. Katkar vd. [16] korozyon sonrası oluşan çukurcukların morfolojisini inceledikleri çalışmalarında, korozyon sonrası oluşan çukurcukların B<sub>4</sub>C çevresinde oluştuğunu, bu çukurcukların şeklinin ve boyutunun, ara yüzeyde oluşan intermetalik fazların elektrokimyasal doğasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. AMK malzemelerde yüksek mukavemet elde edilirken korozyon direncinin bilinmesi önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, %12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretilen Al %2 grafit matrisli kompozit malzemelerin farklı çözeltilerdeki korozyon davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Malzemeler ve yöntemler (Materials and Methods)

Deneysel çalışmalarda matris malzemesi olarak <50 µm boyutunda ve %99,5 saflıkta alüminyum tozu (%hac.) ve %2 grafit kullanılmıştır. Alüminyum matrise %12 oranında ve toz boyutu < 30 µm olan B<sub>4</sub>C (%hac.) ile takviye edilmiştir. %12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek hazırlanan tozlar, bir planeter değirmende mekanik alaşımlanmıştır (MA/MÖ). MA/MÖ işlemlerinde bir paslanmaz çelik öğütme hücresi ve 10 mm çapında bilyeler, 10:1 bilye toz oranı, işlem kontrol kimyasalı olarak %1 etanol ve 60 dk öğütme süresi kullanılmıştır. Mekanik alaşımlanan alüminyum kompozit tozlar soğuk preslenerek (750 MPa), Ø10x7 mm boyutunda ham numuneler üretilmiştir. Üretilen ham numuneler 600°C sıcaklıkta ve argon ortamında 120 dk sinterlendikten sonra, fırın içerisinde oda sıcaklığına soğutulmuştur. Mikro yapı incelemeleri için standart metalografik işlemler uygulanmış ve hazırlanan numuneler 2 ml HF, 3 ml HCl, 20 ml HNO<sub>3</sub>, 175 ml H<sub>2</sub>O (Keller's) solüsyonu ile 10-15 saniye dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikro

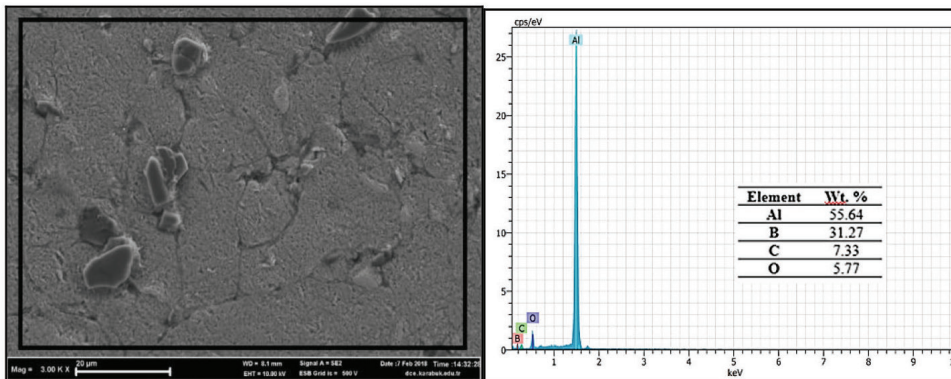
yapı incelemeleri Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka taramalı elektron mikroskobunda + elektron dağılım spektrometresinde (SEM+EDS) yapılmıştır. X ışın kırınımı (XRD) incelemeleri, Rigaku Ultima IV marka X-Ray Kırınım Spektrometresinde yapılmıştır. Korozyon testleri Iviumstat.XRe marka potansiyostat/galvonostat test cihazı kullanılarak potansiyodinamik polarizasyon tekniği ile yapılmıştır. Polarizasyon ölçümleri üç elektrot kurulumlu bir korozyon hücresinde (Ag/AgCl referans elektrotu, bir platin plaka ve karışık elektrot) yapılmıştır. AMK malzemelerin iki farklı çözelti (%3,5 NaCl ve 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içerisinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılarak korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi açık devre potansiyelinde 0,005–10000 Hz frekans aralığında ve 20 mV genlik uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ise ± 0,75 V tarama aralığı ve 1 mV/s tarama hızında döngüsel polarizasyon ölçümü yapılmıştır. Korozyon testleri sonrasında korozyon yüzeyinde SEM incelemeleri yapılmıştır.

## 3. Sonuçlar ve tartışma (Results and discussion)

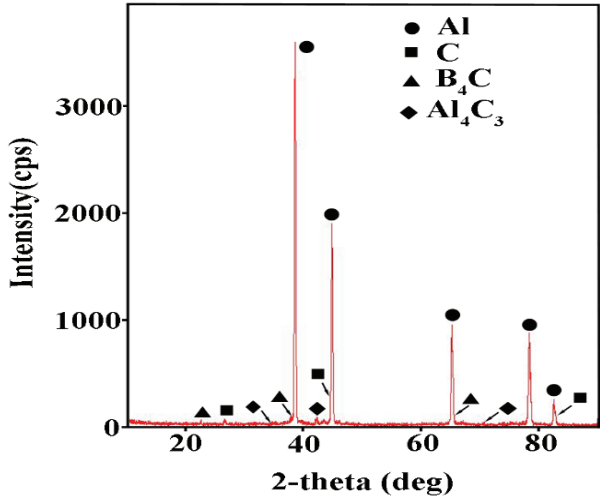
%12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretilen AMK malzemenin mikro yapı SEM görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de verilen %12 B<sub>4</sub>C ilave edilen AMK malzemenin SEM görüntüsü incelendiğinde, farklı boyutlarda ve şekillerdeki B<sub>4</sub>C parçacıklarının yapıda homojen dağıldığı görülmektedir. Bununla birlikte ilave edilen B<sub>4</sub>C parçacıklarının özellikle tane sınırlarına konumlandığı anlaşılmaktadır. Şimşek [11] tarafından yapılan bir çalışmada da matrise ilave edilen B<sub>4</sub>C parçacıklarının tane sınırlarına konumlandığı belirtilmektedir. Ayrıca matrise ilave edilen ve yapıda çözünmemiş grafit parçaları da (açık gri alanlar) net bir şekilde görülmektedir. Üretilen AMK malzemede bir miktar oksitlenme olduğu şekilde verilen EDS sonuçlarından anlaşılmaktadır. Oluşan bu oksitlenmenin MA sonrasında tozların alınması ve şekillendirme esnasında oluştuğu düşünülmektedir. %12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretilen AMK malzemenin XRD sonucu Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen %12 B<sub>4</sub>C takviyeli AMK malzemenin XRD analiz sonucu incelendiğinde, yapıda oluşması

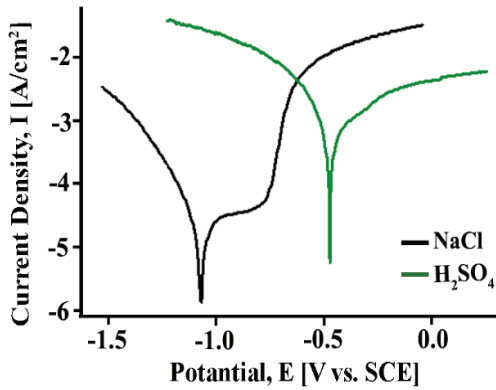


Şekil 1. %12 B<sub>4</sub>C ilave edilen AMK malzemenin SEM görüntüsü (SEM image of AMC material with 12% B<sub>4</sub>C added).



**Şekil 2.** %12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretilen AMK malzemenin XRD sonucu (XRD result of AMC material produced by adding 12% B<sub>4</sub>C).

beklenen Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinin oluştuğu görülmektedir. Bostan vd. [17], mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilen Al-C sisteminde sinterleme yaparak alaşımdaki nano ölçekte Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> bileşiğinin oluştuğunu belirtmektedirler. Bununla birlikte matris Al, C (grafit) ve B<sub>4</sub>C ile birlikte oluştuğu görülmektedir. %12 B<sub>4</sub>C ilave edilerek üretilen AMK malzemelerin farklı ortamlarda elde edilen potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri Şekil 3'te ve bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli (Ekor), akım yoğunluğu (Ikor) ve korozyon hızı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

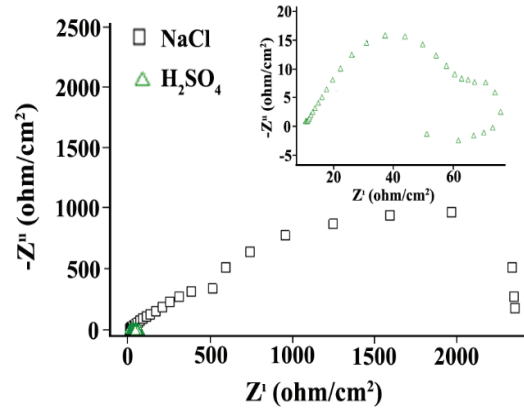


**Şekil 3.** Üretilen AMK malzemenin iki farklı ortamlardaki potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri (Potentiodynamic polarization tafel curves in two different environments of the produced AMC material).

**Çizelge 1.** Üretilen AMK malzemenin tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri (Corrosion parameters obtained from tafel curves of produced AMC material).

	NaCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Ekor V	-1,0658	0,4717
Ikor A/cm <sup>2</sup>	5,54x10 <sup>-6</sup>	3,94x10 <sup>-5</sup>
Rp Ohm	2768	48,41
K. Oranı mm/y	0,0887	0,409

Şekil 3'te verilen potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrileri incelendiğinde, AMK malzemenin NaCl çözeltisi içerisinde daha düşük bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yine aynı çözeltideki numune H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisindeki numune ile karşılaştırıldığında akım yoğunluğunun da düşük olduğu görülmektedir. Düşük akım yoğunluğu yüksek korozyon direncinin bir göstergesidir [8]. Çizelge 1'de verilen tafel eğrilerinden elde edilen korozyon parametrelerinde, NaCl çözeltisinde Ekor değerinin -1,06 V, Ikor değerinin 5,54x10<sup>-6</sup> A/cm<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Ayrıca yüksek potansiyel direnci (Rp 2768 Ω) ve düşük korozyon oranı (0,0887 mm/y) elde edilmiştir. Benzer şekilde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde ise Ekor değerinin -0,47 V, Ikor değeri ise 3,94x10<sup>-5</sup> A/cm<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Bu çözeltide ise düşük potansiyel direnci (Rp 48,41 Ω) ve yüksek korozyon oranı (0,409 mm/y) elde edilmiştir. NaCl çözeltisinde elde edilen tafel eğrisinde anodik bölgede akım yoğunluğunda ani bir artışın olduğu görülmektedir. Anodik bölgede meydana gelen bu ani akım yoğunluğu artışı yüzeyde oksit tabakasında hasar oluşturmaktadır. Bu hasar ise korozyon hızının ilerlemesine neden olmaktadır. Özellikle bu bölgelerde çukurcuk ve çatlak korozyonu oluşmaktadır [14]. Anodik bölgede görülen akım yoğunluğunun ani artışının nedeni yüzeydeki oksit tabakasında meydana gelen hasardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca AMK malzemelerde takviye elemanının yüzeyde oluşan oksit tabakasının sürekliliğini bozmasından dolayı AMK malzemelerin korozyon hassasiyeti artmaktadır [18,19]. Üretilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki elektrokimyasal empedans spektroskopisi Şekil 4'te verilmiştir.



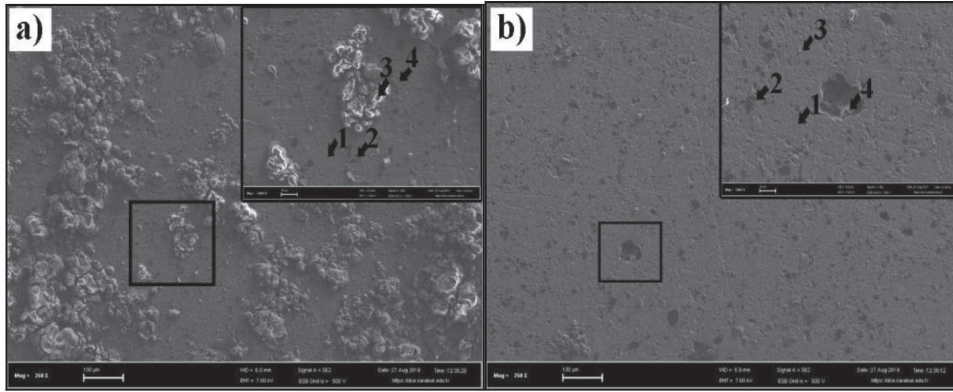
**Şekil 4.** Üretilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki elektrokimyasal empedans spektroskopisi (Nyquist eğrileri) (Electrochemical impedance spectroscopy in different environments of the produced AMC material (Nyquist curves)).

Şekil 4'te verilen Nyquist eğrileri incelendiğinde, iki çözelti için elde edilen EIS sonuçlarında farklı lupların elde edildiği görülmektedir. Kapasitif lup korozyon sürecindeki yük transferi ve yüzeyde oluşan koruyucu film tabakası ile ilişkilidir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinden elde edilen Nyquist eğrisi, NaCl çözeltisinde elde edilen Nyquist eğrisi ile karşılaştırıldığında daha küçük bir yarım daire çapına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çözeltide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) elde edilen Nyquist eğrisinin

düşük frekans aralığında endüktif bir döngüye sahip olduğu görülmektedir. Alaşımın Nyquist eğrisinde düşük frekans aralığında endüktif döngüye sahip olması yüzeyinin kısmen yada tamamen aktif olmasına gelmektedir [16]. NaCl çözeltisinden elde edilen Nyquist eğrilerinde ise elde edilen kapasitif lupun daha farklı olduğu görülmektedir. NaCl çözeltisinde elde edilen eğri incelendiğinde yüksek frekans aralığında (yaklaşık olarak 500 ohm karşılık gelen bölgede) küçük bir kapasitif lupun olduğu görülmektedir. Bu durum yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakasında bölgesel olarak hasarın ve bu bölgede oluşan korozyon reaksiyonunun bir göstergesidir. Ayrıca bu lup yüzeyde oluşan korozyon ürünlerinin yüzeyde sıkıca tutunmaması ve ayrılmasından kaynaklanmaktadır [20]. Huanhuan vd. [21] yaptıkları bir çalışmada, EIS sonuçlarında kapanmayan iki lupun olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise malzemenin yüzeyinde oluşan anodik koruyucu filmin zarar görmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Üretilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki korozyon sonrası korozyon yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5'te ve EDS sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Şekil 5'te verilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki korozyon sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde NaCl çözeltisinde (Şekil 5.a) yüzeyde oluşan korozyon ürünü oksitler net olarak görülebilmektedir. Çizelge 2'de verilen EDS sonuçlarında yüzeyi tamamen kaplayan bir oksit katmanının varlığı görülmektedir. Özellikle 3 numaralı konum korozyon ürünü olarak oluşan oksitlenmeyi açık bir şekilde göstermektedir. SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere bu bölgelerde çatlakların olduğu görülmektedir. Oluşan bu çatlaklar

Şekil 3'te tafel eğrilerinden elde edilen sonuçları desteklemektedir. Anodik bölgede artan akım yoğunluğu yüzeyde meydana gelen korozyon reaksiyonunu göstermektedir. Al alaşımlarının korozyon direnci yüzeyinde oluşan koruyucu oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. Yüzeyinde oluşan bu oksit tabakasını sürekliliğinin bozulması korozyon direncini de doğrudan etkilemektedir [13,14].  $H_2SO_4$  çözeltisinde (Şekil 5.b) elde edilen korozyon yüzeyi SEM görüntüsünde değişik şekil ve boyutlarda çukurcuk korozyonunun olduğu görülmektedir. Ancak bu çözeltide de oluşan çukurcukların yüzeyde rastgele bir bölgede olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin ise toz metalürjisi ürünü olan malzemenin gözenekli yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Korozyon yüzeyi SEM görüntülerinden beklenen sonuç, meydana gelen bu korozyon reaksiyonunun matris ile takviye ( $B_4C$ ) ara yüzeyinde çukurcuk korozyonunun oluşmasıdır. Ancak korozyon yüzeyinde böyle bir durum görülmemektedir. Bunun nedeni ise matris ile takviye ara yüzeyinde  $AlB_2$ ,  $Al_3BC$ ,  $Al_2B_4C_4$  [22-24] gibi intermetalik fazların oluşmamasıdır. Katkar vd. [16] AA6061 alaşımına ilave edilen  $B_4C$  miktarının korozyona etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında korozyon sonrası oluşan çukurcukların morfolojisini incelemişlerdir. Sonuç olarak korozyon sonrası oluşan çukurcukların  $B_4C$  çevresinde olduğunu, bu çukurcukların şeklinin ve boyutunun, ara yüzeyde oluşan intermetalik fazların elektrokimyasal doğasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Albella vd. [25] AA5083 alaşımında gaz halindeki klorür çözeltilerinde çukurcukların olduğunu, nedeninin ise intermetalik fazların katodik özelliklerinden dolayı kolay bir şekilde malzemeden ayrıldığını belirtmişlerdir.



**Şekil 5.** Üretilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki korozyon sonrası SEM görüntüleri a) NaCl çözeltisi, b)  $H_2SO_4$  çözeltisi (SEM images after corrosion in different environments of the produced AMC material a) NaCl solution, b)  $H_2SO_4$  solution).

**Çizelge 2.** Üretilen AMK malzemenin farklı ortamlardaki korozyon sonrası EDS sonuçları (EDS results after corrosion in different environments of AMC material produced).

	NaCl Çözeltisi						$H_2SO_4$ Çözeltisi				
	Al	C	B	O	Na	Cl	Al	C	B	O	S
1	81,05	1,74	3,99	12,85	0,36	0	78,23	1,58	4,29	15,70	0,19
2	11,15	77,77	0	9,29	1,80	0	0	14,45	84,73	0,60	0,22
3	33,95	2,82	0	62,05	1,18	0	79,69	1,52	3,70	13,82	1,28
4	78,09	0	6,75	15,16	0	0	17,42	9,49	0	72,50	0,59

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Mekanik alaşımlama yöntemi ile %12 B<sub>4</sub>C ilave edilen AMK malzemenin iki farklı çözeltide korozyon davranışlarının incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Mekanik alaşımlama ile üretilen AMK malzemede takviye malzemesinin yapıda homojen dağıldığı, takviye malzemesinin özellikle tane sınırlarına konumlandığı görülmüştür.
- Potansiyodinamik polarizasyon tafel eğrilerinde NaCl çözeltisi içerisinde elde edilen akım yoğunluğunun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde elde edilen akım yoğunluğundan daha düşük olduğu görülmüştür.
- Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (Nyquist eğrileri) sonuçlarında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinden elde edilen Nyquist eğrisinin küçük bir yarımlık çapına sahip olduğu bununla birlikte bu çözeltide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) elde edilen Nyquist eğrisinin düşük frekans aralığında endüktif bir döngüye sahip olduğu görülmüştür.
- Korozyon yüzeyi SEM görüntülerinde, NaCl çözeltisinde korozyon ürünü olarak oluşan oksit tabakası görülürken, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde çukurcuk korozyonunun olduğu görülmüştür.

#### Kaynaklar (References)

- [1] Nie J., Wang F., Chen Y., Mao Q., Yang H., Song Z., Liu X., Zhao Y., Microstructure and corrosion behavior of Al-TiB<sub>2</sub>/TiC composites processed by hot rolling, *Results in Phys.*, 14, 1-7, 2019.
- [2] Alaneme K. K., Adewale T.M., Olubambi P. A., Corrosion and wear behaviour of Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide, *J. Mater. Res. Technol.*, 3 (1), 9-16, 2014.
- [3] Fattah-alhosseini A., Naser M., Alemi M. H., Corrosion behavior assessment of finely dispersed and highly uniform Al/B<sub>4</sub>C/SiC hybrid composite fabricated via accumulative roll bonding process, *J. Manuf. Processes*, 22, 120-126, 2016.
- [4] Özyürek D., Tekeli S., An investigation on wear resistance of SiCp-reinforced aluminium composites produced by mechanical alloying method, *Sci. Eng. Compos. Mater.*, 17 (1), 31-38, 2010.
- [5] Şimşek İ., Şimşek D., Özyürek D., Production and characterization of Al-SiC composites prepared by mechanical milling and pressureless sintering, *BEU Journal of Science*, 8 (1), 227-233, 2019.
- [6] Darmiani E., Danaee I., Golozar M. A., Toroghinejad M. R., Corrosion investigation of Al-SiC nano-composite fabricated by accumulative roll bonding (ARB) process, *J. Alloys Compd.*, 552, 31-39, 2013.
- [7] Gupta R. K., Mehrotra S. P., Gupta S. P., Evaluation and optimization of metal matrix composite strip produced by single roll continuous strip casting method, *Mater. Sci. Eng. A*, 465, 116-23, 2007.
- [8] Simsek I., Ozyurek D., Investigation of the wear and corrosion behaviors of Ti<sub>5</sub>Al<sub>2.5</sub>Fe and Ti6Al4V alloys produced by mechanical alloying method in simulated body fluid environment, *Mater. Sci. Eng. C*, 94, 357-363, 2019.
- [9] Hemanth J., Tribological behavior of cryogenically treated B<sub>4</sub>Cp/Al-12% Si composites, *Wear*, 258, 1732-1744, 2005.
- [10] Şimşek İ., Yıldırım M., Tunçay T., Özyürek D., Şimşek D., Mekanik alaşımlama/öğütme yöntemi ile üretilen Al-SiC kompozitlerin incelenmesi, *Technological Applied Sciences*, 13 (2), 165-171, 2018.
- [11] Şimşek İ., The effect of B<sub>4</sub>C amount on wear behaviors of Al-Graphite/B<sub>4</sub>C hybrid composites produced by mechanical alloying, *BORON*, 4(2), 100-106, 2019.
- [12] Şimşek İ., Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda ZrO<sub>2</sub> takviyeli Al-2Gr matrisli kompozit malzemelerin aşınma performanslarının incelenmesi, *El-Cezeri F. Müh. Der.*, 6 (3), 594-605, (2019).
- [13] Ereğ H. B., Ozyurek D., Asan A., Electrical conductivity and corrosion performances of in situ and ex situ AA7075 aluminum composites, *Acta Phys. Pol. A*, 131 (1), 153-155, 2017.
- [14] Bobić B., Mitrović S., Babić M., Bobić I., Corrosion of metal-matrix composites with aluminium alloy substrate, *Tribol. Ind.*, 32 (1), 3-11, 2010.
- [15] Han Y. M., Grant-Chen X., Electrochemical behavior of Al-B<sub>4</sub>C metal matrix composites in NaCl solution, *Materials*, 8, 6455-6470, 2015.
- [16] Katkar V.A., Gunasekaran G, Rao A.G., Koli P. M., Effect of the reinforced boron carbide particulate content of AA6061 alloy on formation of the passive film in seawater, *Corros. Sci.*, 53, 2700-2712, 2011.
- [17] Bostan B., Ozdemir A. T., Kalkanli A., Microstructure characteristics in Al-C system after mechanical alloying and high temperature treatment, *Powd. Metal.*, 47 (1), 37-42, 2004.
- [18] Durai T. G., Das K., Das S., Corrosion behavior of Al-Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al-Zn-X/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (X = Cu, Mn) composites synthesized by mechanical-thermal treatment, *J. Alloys Compd.*, 462, 410-415, 2008.
- [19] Dobrzanski L. A., Włodarczyk A., Adamiak M., Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles, *J. Mater. Process. Technol.*, 162-163, 27-32, 2005.
- [20] Yerlikaya G., Ahmad A., Farsak M., Kardaş G., Yumuşak çeliğin asit ortamındaki korozyonuna thiadiazole türevi inhibitörün etkisi, XVth International Corrosion Symposium, Hatay-Türkiye, September 26-28, 2018.
- [21] Huanhuan S., Hui W., Fanling M., Study of corrosion protection of the composite films on A356 aluminum alloy, *J. Rare Earths*, 29 (10), 991-996, 2011.
- [22] Feng Z., Lin C., Pitting behavior of SiCp/2024 Al metal matrix composites, *J. Mater. Sci.* 33, 5637-5642, 1998.
- [23] Kiourtsidis G.E., Skolianos S.M., Pitting corrosion of artificially aged T6 AA2024/SiCp composites in 3.5 wt% NaCl aqueous solution, *Corros. Sci.* 49, 2711-2725, 2007.

- [24] Ahmad Z., Paulette P.T., Aleem B.J.A., Mechanism of localized corrosion of aluminum–silicon carbide composites in a chloride containing environment, *J. Mater. Sci.* 35, 2573–2579, 2000.
- [25] Aballe A., Bethencourt M., Botana F. J., Cano M. J., Marcos M., Influence of the cathodic intermetallics distribution on the reproducibility of the electrochemical measurements on AA5083 alloy in NaCl solutions, *Corros. Sci.*, 45, 161-180, 2003.