



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

STRONSIYUM, TİTANYUM ve BOR İLAVESİYLE A356
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MEKANİK ve KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

İsmail ÖZTÜRK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Gökhan ORHAN

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Hapçı AĞAOĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu alışma, 11.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Gökhan ORHAN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Sebahattin GÜR MEN
İstanbul Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Cem KAHRUMAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 24224 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışmalarına bilgi ve tecrübeleriyle katkıda bulunan tez danışmanım, sevgili hocalarım, Prof. Dr. Gökhan ORHAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Gökçe HAPÇI AĞAOĞLU'na ve Doç. Dr. Derya DIŞPINAR'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan canım aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ocak 2019

İsmail ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	2
2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	2
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	2
2.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	2
2.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	3
2.3. Al-Si ALAŞIMLARI.....	4
2.3.1 Al-Si Alaşımının Faz Diyagramı.....	5
2.3.2 Al-Si Alaşımının Kullanım Alanları.....	5
2.4. A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	6
2.4.1. A356 Alaşımının Kullanım Alanları.....	7
2.5. Al ALAŞIMLARINDA STRONSİYUM MODİFİKASYONU VE TANE İNCELTME MEKANİZMASI.....	8
2.6. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KOROZYONU.....	10
2.7. KOROZYON HIZI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	12

2.7.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi.....	13
2.7.2. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi.....	14
2.8. Al DÖKÜM ALAŞIMLARINDA BİFİLM TEORİSİ.....	18
2.8.1. Al-Si Alaşımında Bifilm.....	18
2.9. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	22
3.1. HAMMADDE.....	22
3.2. DÖKÜM PROSESİ.....	22
3.3. NUMUNE HAZIRLAMA.....	23
3.3.1. Metalografik Numune Hazırlama.....	23
3.4. UYGULANAN TESTLER.....	23
3.4.1. Vickers Sertlik Testi.....	23
3.4.2. Korozyon Testleri.....	24
3.4.2.1. <i>Potansiyodinamik Polarizasyon ölçümleri</i>	25
3.4.2.2. <i>Elektrokimyasal Impedans Spektroskopi (EIS) Ölçümleri</i>	25
3.4.3. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi	25
4.BULGULAR.....	26
4.1. Sr İLAVESİNİN ETKİSİ.....	26
4.1.1. Metalografik İncelemesi.....	26
4.1.2. Sertlik Ölçümü.....	27
4.1.3. Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi	28
4.1.4. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi.....	35
4.2. TANE İNCELTİCİ OLARAK AİB VEYA AİTİB İLAVESİNİN ETKİSİ.....	36
4.2.1. Metalografik İncelemesi.....	36
4.2.2. Sertlik Ölçümü.....	38

4.2.3. Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi.....	39
4.2.4. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi.....	44
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Al-Si ikili denge diyagramı [22].....	5
Şekil 2.2: a) Alüminyumun $TiAl_3$ partikülleri üzerinde çekirdeklenecek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi, b) Tane inceltilmemiş ve tane inceltirilmiş sıvı alüminyumun soğuma eğrilerinin gösterimi [35].....	9
Şekil 2.3: Alüminyumun oyuklanma korozyon mekanizması [38].....	10
Şekil 2.4: Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesi [47].....	13
Şekil 2.5: Empedans vektörüne sahip Nyquist grafiği [50].....	16
Şekil 2.6: Bode eğrilerine örnekler [50].....	16
Şekil 2.7: Elektrot/Elektrolit arayüzeyinde meydana gelen olaylar ve bu olayları fiziksel olarak tanımlayan alternatif akım devre modeli [51].....	17
Şekil 2.8: Katlanmış çifte oksit filmlerin oluşumu [58].....	19
Şekil 2.9: Bifilmelerin açılması ve büyümesi a) Basit katlanmış Bifilm, b) dolaşık yapıda Bifilm, c) Küresel poroziteye neden olan aşırı açılmış bifilm, d) Dendritler arasında oluşmuş bifilm [59].....	20
Şekil 3.1: Elektrokimyasal testlerinin gerçekleştirildiği a) Gamry Reference 600 Potansiyostat/Galvanostat b) 3 elektrotlu elektrokimyasal test hücresi.	24
Şekil 3.2: Deneylerde kullanılan 3 elektrotlu elektrokimyasal test hücresi.....	25
Şekil 4.1: Kokil kalıba döküm A356 alaşımının (a) A356-D, (b) A356-1D, (c) A356-2D, (d) A356-3D mikroyapı görüntüleri.....	26
Şekil 4.2: Kum kalıba döküm A356 alaşımının (a) A356-S, (b) A356-1S, (c) A356-2S, (d) A356-3S mikroyapı görüntüleri.....	27
Şekil 4.3: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için potasyodinamik polarizasyon eğrisi.....	29
Şekil 4.4: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için potasyodinamik polarizasyon eğrisi.....	30
Şekil 4.5: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için Nyquist diyagramı.....	31

Şekil 4.6: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için Bode diyagramı.....	31
Şekil 4.7: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için Nyquist diyagramı.....	32
Şekil 4.8: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için Bode diyagramı.....	32
Şekil 4.9: Elektrokimyasal empedans verileri için kullanılan eşdeğer elektrik devresi.....	33
Şekil 4.10: (a) A356-D, (b) A356-1D, (c) A356-2D, (d) A356-3D korozyona uğramış kokil kalıba döküm numunelerinin SEM görüntüleri.....	35
Şekil 4.11: (a) A356-S, (b) A356-1S ve (c) A356-2S (d) A356-3S korozyona uğramış kum kalıba döküm numunelerinin SEM görüntüleri.....	36
Şekil 4.12: (a) A356-D* (b) A356-2D, (c) A356-4D, (d) A356-5D kokil kalıp döküm numunelerinin mikroyapı görüntüleri.....	37
Şekil 4.13: (a) A356-S*, (b) A356-2S, (c) A356-4S, (d) A356-5S kum kalıp döküm numunelerinin mikroyapı görüntüleri.....	38
Şekil 4.14: Sr modifiyeli, AlB veya AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin (a) kokil kalıp döküm (b) kum kalıp döküm için potasyodinamik polarizasyon eğrileri.....	40
Şekil 4.15: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kokil kalıp döküm için Nyquist diyagramı.....	42
Şekil 4.16: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kokil kalıp döküm için Bode diyagramı.....	42
Şekil 4.17: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kum kalıp döküm için Nyquist diyagramı.....	43
Şekil 4.18: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kum kalıp döküm için Bode diyagramı.....	43
Şekil 4.19: (a) A356-2D, (b) A356-4D ve (c) A356-5D kokil kalıp döküm numunelerin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüsü.....	45
Şekil 4.20: (a) A356-2S, (b) A356-4S ve (c) A356-5S kum kalıp döküm numunelerin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüsü.....	46

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Alternatif akım devre elemanları [48].....	15
Tablo 3.1: A356 alaşımının spektrometre analiz çıktısı.....	22
Tablo 3.2: Döküm işlemlerinden sonra alaşımların numune kodları ve kimyasal kompozisyonu.(Sr ve B ppm cinsinden verilmiştir. D:kokil kalıba dökümü, S:kum kalıba dökümü temsil etmektedir.).....	23
Tablo 3.3: Döküm işlemlerinden sonra alaşımların numune kodları ve kimyasal kompozisyonu.(Sr ve B ppm cinsinden verilmiştir. D: kokil kalıba dökümü, S : kum kalıba dökümü temsil etmektedir.).....	23
Tablo 4.1: 700°C’de kokil ve kum kalıba yapılan döküm numunelerine Sr ilavesiyle oluşan Vickers sertlik değerleri.....	28
Tablo 4.2: Şekil 4.3 ve şekil 4.4’ün potasyodinamik polarizasyon ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreler korozyon verileri.....	30
Tablo 4.3: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum ve kokil kalıp döküm numuneleri için EIS ile elde edilen elektrokimyasal parametreler.....	34
Tablo 4.4: 700°C’de kokil ve kum kalıba yapılan döküm numunelere TiB ve B ilavesi sonucu Vickers sertlik değerleri.....	38
Tablo 4.5: Şekil 4.14’de potasyodinamik polarizasyon ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreler.....	41
Tablo 4.6: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ilaveli A356 kum ve kokil kalıp döküm numuneleri için EIS ile elde edilen elektrokimyasal parametreler.....	44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
η	: Aşırı gerilim
i_{cor}	: Korozyon akım yoğunluğu
α	: Yük transfer katsayısı
R_p	: Polarizasyon direnci
β_a, β_c	: Tafel eğimlerine bağlı sabitler
Δ_i	: Korozyon akımından itibaren uygulanan akım
Δ_E	: Korozyon potansiyelinden itibaren uygulanan potansiyel
M	: Metal
E	: Metalin elektrolit içindeki potansiyeli
E'	: Zeta potansiyeli
OHP	: Dış Helmholtz tabakası
C	: Çift tabakanın kapasite değeri
R_t	: Yük transfer direnci
R_d	: Difüzyon tabakası direnci
R_s	: Çözelti direnci
C_{dl}	: Metal çözelti arayüzeyinde elektriksel çift tabaka

Kısaltmalar	Açıklama
EIS	: Elektrokimyasal impedans spektroskopisi
VSD	: Vickers sertlik değeri
OCP	: Açık devre potansiyeli
Ppm	: Parts per million
D	: Kokil kalıba döküm
S	: Kum kalıba döküm
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
RPT	: Vakum altında katılaştırma testi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STRONSIYUM, TİTANYUM ve BOR İLAVESİYLE A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MEKANİK ve KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

İsmail ÖZTÜRK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Gökhan ORHAN

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Gökçe HAPÇI AĞAOĞLU

Alüminyum döküm endüstrisi ihtiyaçlar doğrultusunda günden güne büyümektedir. Otomotiv sektöründe ağırlık kazancı hedeflenip enerji sarfiyatını azaltması, mukavemeti korumasıyla beraber enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve gelişen çevre bilinciyle hafif metal kullanımı yaygınlaşmaktadır. A356 alaşımı dayanım / hafiflik oranının oldukça iyi olması nedeni ile özellikle otomotiv sanayinde kabul gören bir bileşime sahip olması, otomobil ağırlığını azaltması, yakıt ekonomisi ve bununla birlikte daha düşük çevre emisyon değerleri için tercih edilir.

Çalışmada üç farklı miktarda (120ppm, 170ppm, 250ppm Sr, Al5Ti1B ve Al3B modifiyeli A356 alaşımının sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Alaşımlar, modifikasyon işleminin soğuma hızına bağlı etkisini incelemek amacıyla kum ve kokil kalıba dökülerek hazırlanmıştır.

Al-Si alaşımlarında Sr modifikasyonu döküm parçaları için birçok avantaj sağlamaktadır. Özellikle, alaşımların mekanik özellikleri ve dökülebilirlikleri bu yöntemle iyileştirilebilmektedir. Kokil kalıba dökümlerde en yüksek korozyon direnci ve en düşük korozyon hızı 120 ppm Sr modifiyeli A356 alaşımında belirlenmiştir. Kum kalıba döküm numunelerinde ise en yüksek korozyon direnci 170 ppm Sr modifiyeli alaşımda saptanmıştır.

Titanyum (Ti) ve bor (B) elementlerinin %0,01 gibi az bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi gösterdiği uzun yıllardır bilinmektedir.

Ocak 2019, 69 sayfa.

Anahtar kelimeler: A356 Alaşımı, Dökülebilirlik, Korozyon Hızı, Mekanik ve Korozyon Analizleri.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

IMPROVEMENT OF MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF A356 ALUMINIUM ALLOY BY THE ADDITION OF STRONTIUM, TITANIUM AND BOR

İsmail ÖZTÜRK

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Gökhan ORHAN

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Gökçe HAPÇI AĞAOĞLU

Aluminium casting industry rapidly increases day by day on need basis. Light metal use spreads particularly on automotive industry as a result of strength and light vehicle requirements with rapid consumption of energy sources and raising of environmental awareness. This alloy is widely chosen by automotive industry because of its excellent strength to weight ratio in the production of motors, chassis supporting components and wheels to reduce weight and therefore to minimize the fuel consumption.

Mechanic and corrosion analysis of a gravity cast A356 aluminium alloy modified with 120ppm, 170ppm, 250ppm Sr, Al5Ti1B and Al3B that belongs to the commercial aluminum – silicon casting alloy system has been investigated in this project. Alloys were cast in loast-foam method and permanent molds in order to investigate the effect of modification on the mechanical and corrosion properties.

Strontium modification of Al-Si alloys has many advantages for the casting parts. Particularly, mechanical properties are enhanced and castability of the alloy is improved. 120 ppm addition of Sr to A356 reveals the highest corrosion resistance and the lowest corrosion rate for die cast samples. For sand cast samples, the best corrosion resistance was observed for 170 ppm Sr modified A356.

It is well known that by adding as little as 0.01 % titanium (Ti) and boron provide a fast and efficient grain refinement in aluminium alloys.

January 2019, 69 pages.

Keywords: A356 Alloy, Castability, Corrosion Rate, Mechanic and Corrosion Analysis.



1. GİRİŞ

Geçmişten bugüne oldukça gelişen döküm sektörü endüstri içerisinde önemli bir konuma sahiptir. Yaklaşık 5000 yıl önce dövme ile şekillendirerek başlayıp sanayi devrimiyle seri üretimlere ulaşılmıştır. Genişleyen malzeme portföyü ihtiyaçları karşılayabilmek amacıyla bu devrimi zaruri hale getirmiştir. 19. yüzyılın sonuna kadar Alüminyum döküm ürünleri yalnızca dekor ve mutfak gereçlerinde kullanılıyorken 20. yüzyılın ortalarından sonra Alüminyum döküm sanayisi daha fazla büyüme göstermiştir [1].

Otomotiv sanayinde müşteri talepleri, üretim sektöründe döküm yöntemlerinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu da üretilmesi istenen ürünlerin özelliklerine uygun gereksinimleri karşılamak amacıyla araştırmaların gerçekleşmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu araştırmalardan sonuç alınmasıyla üretimlerin daha seri ve kaliteli gerçekleşmesine olanak sağlamıştır. Otomotiv sektöründe kaliteden ödün vermemek, üretilecek parçaları daha dayanıklı hale getirmek amacını benimsemek gerekir [2].

Alüminyumun Mg, Zn, Cu, Si, Ti ve Li ile alaşımının yapılabilmesi kullanım alanının fazla olmasına neden olmuştur. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan A356 alaşımlarına Stronsiyum, AlTiB ve AlB ilavesinin alaşımın mekanik ve korozyon özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sr modifikasyonu ile kaba Si ötektik fazı fiberli bir yapıya dönüştürülmekte ve alaşımın katılaşması sırasında meydana gelen değişimler nedeniyle daha ince bir mikroyapı elde edilmektedir. Oldukça düşük miktarlarda Sr ilavesi bile ötektik ve ötektik altı Al-Si alaşımlarının mikroyapılarını olumlu yönde etkilemekte ancak Sr'un oksijene olan yüksek bağlılığı, sıvı alaşımın bekletme süresine bağlı olarak yüzeyde SrO. Al₂O₃ gibi spinel oksit yapılar oluşturabilmektedir [3].

Alüminyum dökümlerinde tane inceltme yapılmamış dökümlerin tane inceltmesi yapılmış olanlarla kıyaslandığında daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Daha ince taneli ve gözeneksiz yapılarda segregasyon dağılımlarının düşük, sızdırmazlık dirençlerinin ve mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple B ve Ti ilavesi TiB₂ partiküllerinin oluşmasına ve bu partiküllerin yapıda çözünmeyip tanelerin incelmeye neden olduğu belirlenmiştir [4].

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Hafif alaşımlar olarak bilinen Al alaşımları Zn, Cu, Si, Mg, Mn, Fe, Ni, Ti vb. ilaveleri ile oluşturularak dökümleri gerçekleştirilir. Ayrıca çekme, haddeleme ve dövme ile şekillendirilerek üretilir. Alüminyum alaşımları başlıca; elektrik, ulaşım inşaat, gıda ve kimya gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Hafif olması, korozyon ve mekanik özelliklerinin yüksek olmasından dolayı kullanım alanlarının geniş olması üretim taleplerinin artmasını sağlamıştır [5,6].

Alaşımlama işlemiyle metalin özelliklerindeki değişimler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sertleştirilebilirlik, oda sıcaklığı direnci, sürtünme ve yorulma dayanımı gibi mekanik özellikler,
- Kaynaklanabilirlik, dökülebilirlik ve işlenebilirlik gibi proses özellikleri,
- Sertlik, tokluk, soğuga, sıcaklığa, aşınmaya ve korozyona direnci gibi servis özellikleri.
- Manyetik ve elektriksel özellikleri, yoğunluk, elastik modülü gibi fiziksel özellikleri [7,8].

2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılan Al alaşımlarından dövme alaşımları, plastik şekillendirilebilirlikleri döküm Al alaşımlarına göre daha iyidir [9].

2.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serileri ısı işlem uygulanmayan alaşımlardan olup yalnızca şekil değiştirilerek sertleşebilme özelliğine sahiptir. 2XXX, 6XXX, 7XXX, 8XXX serileri ise ısı işlem yoluyla sertleşebilme kabiliyetine sahiptir [10].

2.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm alaşımlarını sınıflandırmak amacıyla üç basamaklı ve bir de ondalık basamağa sahip bir sistem kullanılır. Örneğin; 360.1 gibi. Bu sistematik yalnızca döküm alaşımlarında kullanılır ve dövülmüş alaşımlarında ise farklı bir sistematik tercih edilir [11].

Bu sınıflandırma aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

1XX.X serisi: %99 veya daha fazla Al içeren döküm alaşımlarıdır.

2XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Cu olan döküm alaşımlarıdır.

3XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Si ve Cu ve / veya Mg olan döküm alaşımlarıdır.

4XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Si olan döküm alaşımlarıdır.

5XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Mg olan döküm alaşımlarıdır.

6XX.X serisi: Kullanılmayan serilerdir.

7XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Zn olan döküm alaşımlarıdır.

8XX.X serisi: Başlıca alaşım elementi Sn olan döküm alaşımlarıdır.

9XX.X serisi: Diğer elementler [12].

Üç basamaklı sayıyla sınıflandırması yapılmış alaşımın ilk rakamından yapıdaki ana alaşım elementi belirlenebilir. Çok fazla alaşım çeşidi mevcut olduğundan dolayı bu alaşım serilerini de sınıflandırmak için alaşım kodlarına A,B gibi harfler ilave edilmektedir. Örnek olarak 356 alaşımının A356, B356 ya da F356 olmak üzere çok sayıda çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar arasında ilavesi yapılmış elementler açısından farklılıklar bulunmaktadır [13]. Bu alaşımlar, üç basamaklı sayıların sonuna da ondalık bir basamak daha eklenebilir. Örneğin; 356.2 alaşımı gibi.

XXX.0: Döküm parçası.

XXX.1: Dökümlerde kullanılacak ingot.

XXX.2: Dökümlerde kullanılacak ve nispeten dar kompozisyon aralığına sahip ingot [14].

Sınıflandırmanın sonunda bulunan ondalık basamaktaki 0 rakamı döküm parçalarını, 1 ve 2 rakamları da döküm prosesleri için ergitilecek ingot alaşımlarını işaret etmekte olup XXX.1 ile gösterilen alaşımların hurdadan üretilmiş Alüminyum ingotlarını, XXX.2 ile gösterilen alaşımlarında birincil Alüminyumdan üretilen ingotlar olduğunu belirtir. Sınıflandırılmış alaşımın sonunda örneğin; XXX.1 varsa döküm parçasını değil, döküm parçasını elde etmek amacıyla ergitilecek ingorun türünü işaret eder [15].

2.3. Al-Si ALAŞIMLARI

Al-Si alaşımları mekanik, ısı iletkenliği, mukavemet özelliklerinin yüksek, ısıl genleşme özelliğinin ise düşük olmasından dolayı önemli alaşım grubundandır. Hafif olması ve yüksek oranda Si içermesi akışkanlık kabiliyetini arttırdığından dolayı otomotiv sektöründe de tercih edilmesine neden olmuştur. Al-Si alaşımları, yumuşak ve sünek Al fazıyla beraber iğnesel ve sert Si fazı içermesi mekanik özelliklerini etkilemiştir [16,17].

Al-Si alaşımlarında döküm yöntemi mikroyapıların görünümünde değişime sebep olur. Örneğin; hızlı soğumanın gerçekleştiği basınçlı döküm prosesinde ince ötektik yapı elde edilirken dentrit kolları arası mesafenin kısalmasına ve buna bağlı olarak tanelerin nispeten küçülmesine yol açar [18].

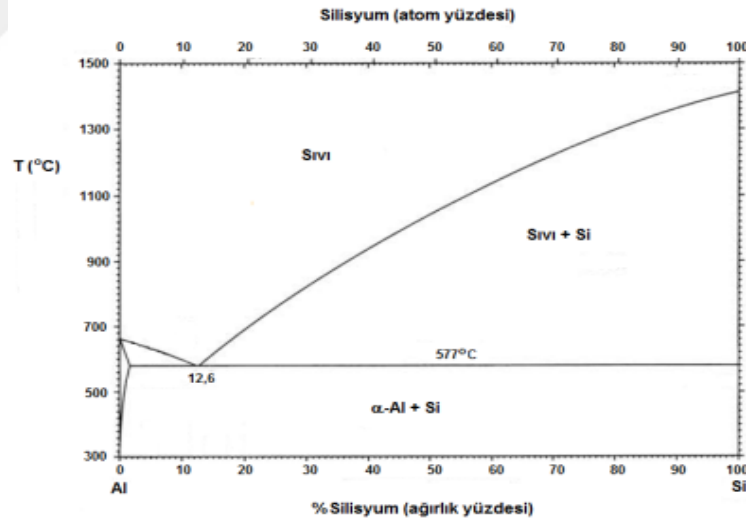
Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerini etkileyen diğer parametreler sert ve kırılğan yapıya sahip olan ötektik Si fazının dağılımı ve boyutudur. Alaşımın üretim yöntemine bağlı soğuma hızı değiştirerek veya Silisyum katılaşmasını etkileyen Na ve Sr gibi elementlerin ilavesiyle de yapı içerisinde ötektik Si dağılımı ve boyutu değiştirilebilmektedir [19].

Maksimum % 0.45 oranında Magnezyum içeren Al-Si alaşımlarında Mg_2Si fazının oluşması döküm ürünlerinde çekme mukavemetini etkiler. Bu Mg_2Si fazının Al dentritleri arasında çözünmesi için su verme, yaşlandırma gibi işlemler uygulanmaktadır [20].

Kullanılan Silisyum miktarları katılaşma hızına bağlı gerçekleşen döküm yöntemine göre değişiklik gösterir. Kokil kalıba dökümlerde yaklaşık %7-9 oranında, kum kalıba dökümlerde %5-7 oranında, basınçlı dökümlerde ise %6-12 oranında Silisyum miktarları tercih edilmektedir [21].

2.3.1 Al-Si Alaşımının Faz Diyagramı

Ticari alüminyum silisyum alaşımları genellikle hipoötektik ve ötektik bileşimde olup az bir miktarı hiperötektik bileşimdedir. Al-Si alaşımı basit bir ötektik sistem olup iki katı eriyik faz olan YMK (yüzey merkezli kübik) alüminyum ve elmas kübik (özel yüzey merkezli kübik) yapıya sahip silisyumdan oluşmaktadır. Şekil 2.1’de Al-Si denge diyagramı gösterilmektedir. Denge koşullarında ötektik sıcaklığına $577\pm 1^\circ\text{C}$ ve %12.6 Si ötektik bileşimine sahiptir. Ötektik bileşimin altında silisyum içeren alüminyum alaşımları ötektikaltı (hipoötektik) bu bileşimin üzerinde silisyum içerenler ise ötektiküstü (hiperötektik) alaşımlar olarak adlandırılmaktadır. Ötektik karışımı oluşturan fazlardan α fazı oda sıcaklığında %1 den daha az silisyum içeren alüminyum bazlı bir katı eriyiktir. Ötekiği oluşturan diğer faz β ise, hemen hemen saf silisyum olan, çok az alüminyum içeren Si bazlı bir katı eriyiktir. Ötektik altı Al-Si alaşımlarının yapısı, genellikle dentritik bir görünümde olan α birincil fazı ile bu dentrit kolları arasında kümeleşmiş ötektik karışımdan oluşur. Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında ise yapı, ötektik karışımı ile kaba çökelti ler görünümündeki β fazından oluşmuştur [22].



Şekil 2.1: Al-Si ikili denge diyagramı [22].

2.3.2. Al-Si Alaşımlarının Kullanım Alanları

Temel alaşım elementinin Si olan Al alaşımları yaygın olarak kullanılan önemli ticari alaşımlardandır. Al-Si alaşımları düşük yoğunluk, kaynak edilebilirlik, ve korozyon dirençleri nedeniyle birçok farklı alanda kullanım alanına sahiptir [23].

308.0, 319.0, 360.0 ve 380.0 gibi bir miktar bakır da içeren Al-Si alaşımları iyi dökülebilirlik, yüksek mukavemet, sertlik ve gelişmiş işlenebilirlik özelliklerine sahip olmakla birlikte süneklik ve korozyon direnci nispeten daha düşüktür. Genel uygulama alanları; motor blokları, yakıt pompaları, silindir başlıkları, dişli blokları, debriyaj muhafazası [24].

413.0 ve A413.0 gibi ötektik bileşime yakın alaşımlar akışkanlık, düşük yoğunluk, kaynak edilebilirlik ve iyi korozyon direncine özelliğine sahip olan bu alaşımlar geniş alan ve ince kenarlı parçalar gibi daha karmaşık şekilli ürünlerin üretiminde tercih edilmektedirler. Bu tip alaşımların uygulama alanları; mimari paneller, denizcilik parçaları, ambalaj sanayi, medikal uygulamalar, mutfak eşyaları [25].

2.4. A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Hafiflik, dayanıklılık, maliyet ve seri üretilebilir özelliklerine uygun malzeme seçimi ve tasarımı üretim endüstrisindeki önemi yadsınmaz. Son 40 yılda otomotiv sanayisinde meydana gelen gelişmeler, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla günden güne yakıt tüketimi ve hammadde kaynaklarının daha verimli değerlendirilmesi konusunda çalışmaların hızlanmasını gerektirmiştir. Bu gereksinimler ışığında yapılması gereken çalışmaların başında kullanılacak malzemelerin seçimi ve daha hafif araçların elde edilmesi olacaktır [26,27].

Üretilen döküm parçalarının gerekli minimum mekanik özelliklerini sağlaması ve bu ürünlerin daha hafif olması için ihtiyacı doğmuştur. Bu döküm ürünlerinde çalışma şartlarına göre tercih edilen mekanik özellikler aşağıda sıralanmıştır;

- Gerilme mukavemet özellikleri,
- Kırılma tokluğu,
- Yorulma direnci,
- Termal şok direnci,
- Dökülebilirlik ve işlenebilirlik özellikleri [28].

Son zamanlarda uygun mekanik özelliklerinin ve araç hafifliğinin sağlanması amacıyla Al – Si – Mg alaşım sistemleri tercih edilmekte olup talep edilen mekanik özelliklere göre ısıl işlem ihtiyacı gerekebilmektedir [29].

Bir Al-Si-Mg alaşım grubu olan A356 alaşımının kimyasal kompozisyonun maksimum değerleri; 0.25 Cu, 0.20-0.45Mg, 0.35 Mn, 6.5-7.5 Si, 0.6 Fe, 0.35 Zn, 0.25 Ti, 0.05 diğer elementler(herbiri), 0.15 diğer elementler (toplam).

Mekanik Özellikler

0.2%. Gerilim Dayanımı (N/mm ²)	185
Çekme Gerilmesi (N/mm ²)	230
Uzama (%)	2
Brinell Sertik Değeri (BSD)	75
Elastik Modülü (GPa)	71

Termal Özellikler

Likidus Sıcaklığı	615°C (1135°F)
Solidus Sıcaklığı	555°C (1035°F)
Termal İletkenlik (W/cmK)	1,39-1,60 25°C (77°F) [30]

2.4.1. A356 Alaşımının Kullanım Alanları

A356 alaşımlarının tercih edilme sebeplerinin başında mekanik özelliklerinin yüksek; muhavemet/hafiflik oranının, korozyon dayanımının ve dökülebilirliklerinin iyi olması gelmektedir.

A356 alaşımları son zamanlarda;

- Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde,
- Manifold, jant ve koruyucu bar vb. üretiminde, transmisyon kutusu, silindir başlığı gibi döküm parçalarında,
- Uçak yapılarında ve motor kontrollerinde,
- Nükleer enerji kurulumunda ve diğer uygulamalarında,
- Yüksek dayanımlı sürekli döküm kalıplarında veya hassas dökümlerde talep edilmektedir [31].

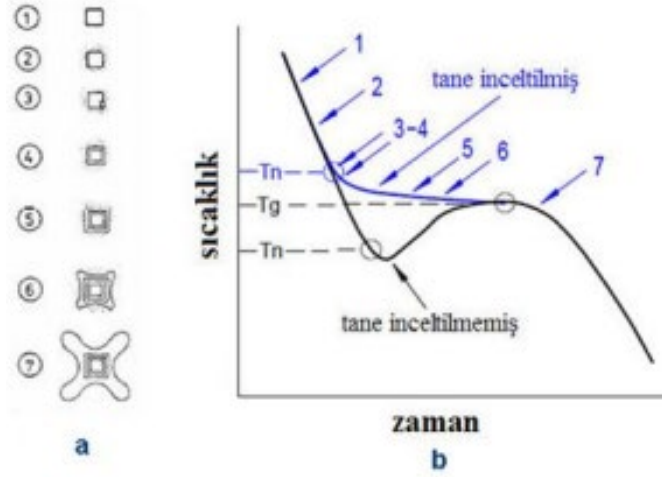
2.5. Al ALAŞIMLARINDA Sr MODİFİKASYONU VE TANE İNCELTME MEKANİZMASI

Ergiyik Al alaşımına ilave edilen Sr'nin, malzeme direncini ve sünekliğini düşüren sert Si'yi ince ve fiberli bir yapıya dönüştürerek mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Na ve Sb elementlerinin de Sr'ye benzer bir etki sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca ergiyik alaşımın soğuma hızı da arttırılarak benzer etkileri sağladığı saptanmıştır. Kokil ve basınçlı döküm yapılan imalathanelerde soğuma hızının kontrol edilmesi mümkün olmadığından dolayı Sr ilavesi yoluna gidilmektedir. Ayrıca Sr'nin alaşımdaki modifikasyonu Na ilavesine nazaran daha uzun sürmesi talep görmesi nedenlerinden biridir [32].

Modifiyesiz alaşımlarda başlangıçta iri taneli yapısının TiB ilavesiyle incelmeye başladığı, bu TiB miktarının arttırılmasıyla tane incelmesinin daha da arttığı belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında tane inceltici miktarıyla tane büyüklüğü arasında doğrudan bir ilişki kurulabileceği saptanmıştır. Fakat deneysel çalışmalarda bu tane inceltici ilavesinin de bir sınırı olduğu bu sınırı aştıktan sonra TiB ilavesinin ekonomik olmadığı görülmüştür [33].

Döküm tesislerinde ilave edilen Ti miktarı yaklaşık % 0.01 olup bu miktarda ilavenin yapı içerisinde $TiAl_3$ bileşiklerinin bir süre sonra tamamen çözünerek tane inceltme etkisini kaybeder. Tane inceltici ilavesinin uzun bekletme sürelerinde yapılmış olması tane inceltici etkisinin zamanla azalmasına yol açmaktadır [34].

Titanyum, Alüminyumun ergime sıcaklığını $660\text{ }^\circ\text{C}$ ' den $665\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükseltip, alaşım ile $TiAl_3$ bileşiği oluşturması ve bu bileşiklerin yapı içerisinde heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturarak tane inceltme etkisi göstermesini sağlar. Alüminyum alaşımındaki Ti oranı % 0.15'ten fazla olduğunda $TiAl_3$ bileşiği kendiliğinden oluşur ve aşırı soğuma gerekmeksizin bu bileşiklerde oluşan heterojen çekirdeklenme mekanizmasıyla ince taneli yapı kendiliğinden meydana gelmektedir [34].



Şekil: 2.2: a) $TiAl_3$ partikülleri üzerindeki Alüminyumun çekirdeklenerek büyümesi esnasında geçirdiği aşamalar, b) Tane inceltmesi yapılmamış ve tane inceltmesi yapılmış ergiyik alüminyumun soğuma eğrisi [35].

Şekil 2.2.a' daki şemada 1 no'lu gösterimi partikül olarak farzedebiliriz ve ergiyik Al içerisinde $TiAl_3$ çözünmeye başlayarak bu partiküllerin etrafında Al titanyumca zenginleşir. Bu durum Şekil 2.2.a' da 2 no'lu gösterimi işaret eder. Bu noktada Şekil 2.2.b'de görüldüğü gibi ana metalin likidus sıcaklığı partikülün çevresindeki titanyumca zengin ergiyiğe nazaran daha düşük olması sebebiyle katılaşma gerçekleşir. Şekil 2.2.a'da 3 nolu gösterimde görüldüğü üzere ilk katı çekirdeklenme partikül yüzeyinde oluşur. 4 ve 5 no'lu gösterimlerde partikül, etrafında bulunan titanyumca zengin Al'u terkedene dek büyüme gösterir. 6 ve 7 'de de metal soğuması sırasında çekirdeklerin dentritik büyümesi oluşur [35].

Şekil 2.2.b'de ise tane inceltmede $TiAl_3$ partiküllerinin etkisi soğuma eğrisinde gösterilmektedir. Taneleri inceltilmemiş döküm ürünlerinin soğuma eğrisine bakıldığında alaşımın T_g (büyüme) sıcaklığının altında bir T_n (çekirdekleşme) sıcaklığına kadar birkaç derecelik alt soğuma gerçekleşmesi ile çekirdekleşme kendiliğinden oluşabilir [35].

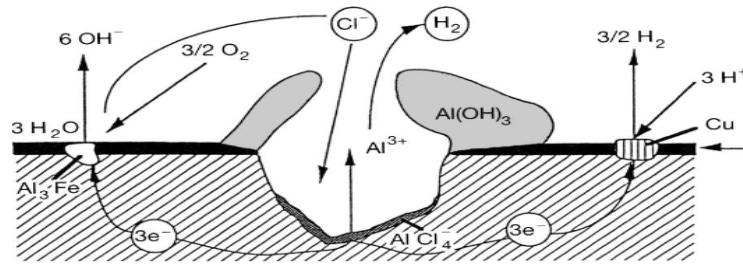
Mavi çizgiyle işaretlenen tane inceltici ilaveli dökümde de Alüminyumun çekirdeklenmesi T_g sıcaklığının üzerindeki 3 ve 4 noktalarında meydana gelir. Bu bilgiler ışığında alüminyum dökümlerinde tane inceltmenin yapıldığını anlayabilmek amacıyla termal analiz yöntemi kullanılabilir. Ayrıca yapılmış diğer çalışmalarda Alüminyum tane merkezlerinde titanyumca zengin bölgelerin tespit edilmesi Ti'nin alüminyumda tane inceltici etkisini ispatlamıştır [35].

2.6. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KOROZYONU

Alüminyumun oksijene olan afinitesinden dolayı hava ile teması sonucunda Al_2O_3 tabakası oluşur ve bu tabaka tüm yüzeyi kaplar. Alüminyumun bu özelliği korozif ortamlara direnç göstermesini sağlar [36].

Ayrıca Al'un mekanik dayanımı ve şekillendirilebilirlikleri yüksek, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek ve özgül ağırlığının düşük olmasından dolayı korozyon direnci gerektiren ortamlarda kullanımı fazladır. Yoğun korozif ortama maruz kalan ürünlerde yaklaşık % 99.5'un üzerinde Al saflığı kullanılmalıdır. Buna rağmen Alüminyum talep edilen mekanik özellikleri karşılamak amacıyla genelde alaşımlama yoluna gidildiği için korozyon dirençleri doğal olarak saf Alüminyumdan daha zayıftır [37].

Oyuklanma korozyonu, anodik bir reaksiyonun metal yüzeyinin herhangi bir bölümünde başlayıp çevre koşullarına bağlı olarak bu reaksiyonun seri otokatalitik reaksiyonlarla devam etmesi sonucu yüzeyde oyuk meydana gelmesidir. Yani, oyuk içindeki korozyon olayı oyuğun aktivitesini başlatan ve devam ettiren şartları ortaya çıkarır. Oyuğun içindeki metalin hızlı çözünmesi oyukta bir pozitif yük artışına neden olur. Bu durumda elektro-nötraliteyi korumak için Cl^- iyonları oyuk içine göç eder. Böylece oyukta, yüksek konsantrasyonlarda Cl^- ve hidrolizin sonucu olarak da yüksek konsantrasyonlarda H^+ iyonları meydana gelmiş olur. Bilindiği gibi H^+ ve Cl^- iyonları birçok metal ve alaşımın korozyonunu hızlandırır. Şekil 2.3'te Alüminyumun oyuklanma korozyon mekanizması verilmiştir[37].

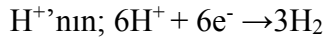
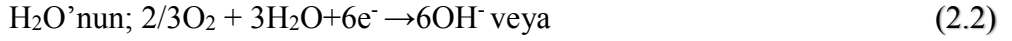


Şekil 2.3: Alüminyumun oyuklanma korozyon mekanizması [38].

Şekil 2.3'de verilen Alüminyumun oyuklanma korozyon mekanizmasında anotta oyuğun dibinde gerçekleşen oksidasyon reaksiyonu;



Oyuklanma korozyonundaki çözünme olayı zaman geçtikçe hızlanır. Derişik çözeltilerde oksijenin çözünürlüğü sifira yakın olduğundan, oyuk içinde oksijen redüksiyonu olmaz. Komşu yüzeyler üzerindeki katodik oksijen redüksiyonu komşu yüzeylerin korozyona uğramasını önler. Diğer bir ifadeyle oyuklar metalin diğer kısımlarını katodik olarak korumuş olur. Yani çukur bölgesinde anodik reaksiyonlar devam ederken çevre yüzeylerde de oksijen redüksiyonu ile katodik reaksiyon oluşur. Katotta oyuğun yüzeyinde gerçekleşen redüksiyon reaksiyonu;



Aluminyum oyuklanma korozyonunun toplam reaksiyonu;



Diğer bir şekilde ifade edecek olursak oyuklanma korozyonu için bir yarık gerekmez, o kendi kendini başlatır. Oyuklanma korozyonu oluşumunda metal cinsi etkilidir ve bu korozyona daha yatkın olanlar pasifleşme özelliği olan alaşımlardır [38].

Al – Mg alaşımları saf Al ile kıyaslandığında her durumda geçerli olmamak kaydıyla korozif ortamlarda daha dayanıklıdır. Alaşımda Mg içeriğinin artmasıyla interkristalin korozyona eğilimi artar. % 5'ten fazla Mg içeren alaşımlarda bu durum gerçekleşir. Bu yüzden uygulamalarda Mg maksimum kullanım miktarı % 5.5'tur. Tane sınırı çökmesinden dolayı oluşan interkristalin korozyonu Mn ilavesiyle dengelenebilmektedir. Çatı kaplamalarında ve gemi imalatında yoğun bir şekilde kullanılan AlMg 4.5Mn alaşımı Mn içerdiğinden dolayı klorürlü ortamlarda da yüksek korozyon direnci gösterirler. % 0.7 - 1.6 Mn içerikli alaşımların saf alüminyumla kıyaslandığında mekanik dirençlerinin daha iyi korozyon direncileri ise benzer davranış göstermektedir [39].

% 2.8 - 4.8 Cu ve % 0.4 - 1.8 Mg içeren Al-Cu-Mg alaşımları çökellemeyle sertleştirilebilme özelliğine sahip olup taşıt ve uçak imalatında kullanılmaktadır. Diğer Al alaşımlarıyla kıyaslandığında korozyon dirençleri daha düşüktür. Yaklaşık 400 °C/s hızda soğutulduktan sonra yaşlandırma işlemiyle korozyon dirençlerinde artış gözlenir. Gerçekleştirilen soğutma ve ardından yapılan yaşlandırma işlemi interkristalin korozyonuna sebep olduğu belirlenmiştir [40].

Al-Cu alaşımları ise Al-Cu-Si alaşımlarıyla karşılaştırıldığında deniz suyuna karşı korozyon dirençlerinin daha iyi olduğu; gemi imalatı, gıda, tekstil endüstrisinde kullanım alanı bulduğu görölmektedir. Korozyon oluşumunda etkisi olan Fe ve Cu'nun etkisini azaltmak için alaşıma Mn ve Cr ilavesi yapılabilir [41].

Al-Zn-Mn alaşımları çökeltme işlemiyle sertleştirilebilme kabiliyetine sahip konstrüksiyon alaşımları olup Al-Cu-Mg alaşımlarıyla kıyaslandığında korozyon dirençlerinin daha yüksek, Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarına göre de daha düşüktür. Atmosfer ortamında alaşımın yüzeyinde koruyucu siyah bir kaplama tabakası bulunmaktadır. Buna rağmen bu alaşım grubu su buharında korozyona maruz kalır ve gerilim çatlağı korozyonu yatkınlığa sahiptir. Bu yatkınlık artan Magnezyum ve Çinko miktarıyla yükselir. Bu korozyon yatkınlığını engellemek amacıyla alaşım miktarı %6'dan fazla olmaması talep edilir [42].

Al-Zn-Mg-Cu alaşımları ise sertleşebilme özelliğine sahip, yüksek mekanik özelliklerinden dolayı madencilik, uçak, savunma sanayilerinde ve makine parçaları üretiminde tercih edilen bir alaşım grubudur [43].

2.7. KOROZYON HIZI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

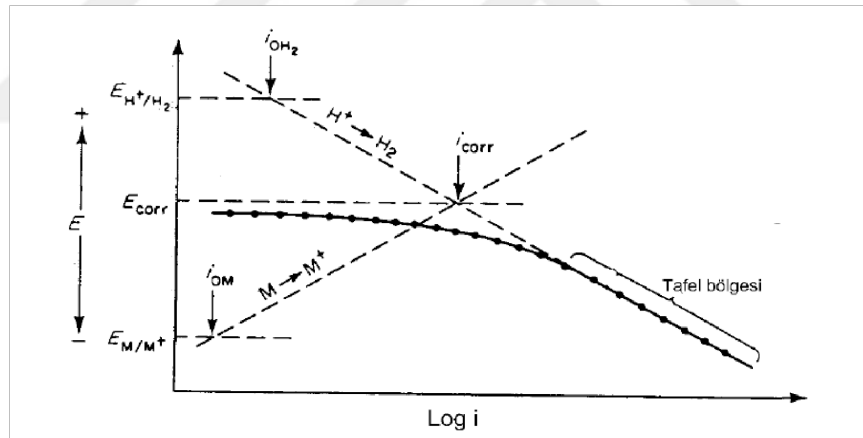
Çeşitli yöntemlerle belirlenebilen korozyon hızı ilk olarak ağırlık kaybı hesaplanarak ölçölmekteydi. Korozyon hızı ölçölecek metal, korozyona maruz kalacağı ortamda bekletilerek meydana geleceği ağırlık kaybı tartılıp belirlenmekteydi. Birim zamanda ve birim yüzeyde oluşan ağırlık kaybı ($mdd = mg/dm^2.gün$) birimiyle ölçölmekteydi. Ağırlık kaybı yönteminin sağlıklı uygulanabilmesi uzun ölçüm süreleri gerektirmesi ve anlık korozyon hızını değil, ölçüm süresince korozyon hızının ortalamasını vermesi gibi sakıncaları mevcuttur [44].

İlerleyen zamanlarda galvanostatik ve potansiyostatik yöntemler korozyon hızının tayininde kullanılmıştır. Galvanostatik yöntemde biri 2 elektrotlu, diğer 3 elektrotlu uygulaması vardır. 2 elektrotlu yöntemde iki adet çalışma elektrotu kullanılmakta olup 3 elektrotlu olanlar ise biri çalışma elektrotu, biri yardımcı elektrot diğer de referans elektrotundan oluşur. İncelenen elektroda inert bir yardımcı elektrot kullanılarak anodik veya katodik yönde sabit bir dış akım uygulanır ve elektrot potansiyeli referans elektrota karşı bu akım altında bir süre bekletilerek ölçölür. Sonrasında elektrot potansiyeli, uygulanan akım yoğunluğu değiştirilerek tekrar ölçölür [45].

Potansiyostatik yöntemde, bir potansiyostat kullanılarak incelenen elektrot potansiyeli belli bir değerde sabit tutularak uygulanan potansiyele karşılık gelen akım yoğunluğu ölçülür ve bir potansiyelde tekrar ölçüm yapılır. Potansiyostat, ölçüm boyunca elektrot potansiyelini sabit tutarak uygulanan dış akımı ayarlar. Son olarak elektrokimyasal ölçümlerin gelişmesi, Tafel ekstrapolasyonu, Polarizasyon direnci ve Alternatif akım ölçme yöntemlerinin tercih edilmesine olanak sağlamıştır [46].

2.7.1. Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

Uygulanan dış akım korozyon akımının yaklaşık 10 katını aştığında polarizasyon eğrilerinde kırılma meydana gelir ve bu kırılmadan sonra $E - \log i$ arasında lineer bir bölge oluşur. Bu lineer bölgeye “Tafel bölgesi”, bu lineer doğrunun eğimine ise “Tafel eğimi” olarak adlandırılır. Korozyon potansiyeline ekstrapole edilen bu lineer doğrunun kesim noktası korozyon akım yoğunluğunu gösterir. Katodik polarizasyon eğrisinin Tafel bölgesinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu Şekil 2.4’de verilmiştir [47].



Şekil 2.4: Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile korozyon hızının belirlenmesi [47].

Anodik polarizasyon eğrilerinde, katodik polarizasyon eğrileri gibi her durumda ideal bir biçim göstermez. Aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı anodik polarizasyon eğrileri ideal halden sapma gösterir.

- Anodik reaksiyonlar bir çözünme reaksiyonudur. Bu nedenle anot yakınındaki çözelti özellikleri kısa sürede değişir.
- Çözünme sonucu metal yüzeyi de değişikliğe uğrar.
- Metalin pasifleşmesine neden olan korozyon ürünlerinin metal yüzeyinde çözünmeyen bileşikler oluşturması.

Korozyon akım yoğunluğu her zaman $i_{\text{anot}} + i_{\text{katot}}$ toplamı kadardır ve korozyon potansiyelinde bu değer 0'dır. Korozyon akım yoğunluğu, korozyon hızı ve polarizasyon direnci aşağıdaki denklemler kullanılarak tespit edilebilir.

$$i_{\text{kor}} = \beta_a \cdot \beta_k / [2,303 \cdot (\beta_a + \beta_k) \cdot R_p] \quad (2.4)$$

Burada i_{kor} : korozyon akım yoğunluğu, β_{anot} ve β_{katot} : Tafel katsayıları, R_p : polarizasyon direncidir.

$$R_p = E_{\text{kor}} / i \quad (2.5)$$

Ve

$$R_{\text{kor}} = [i_{\text{kor}} \cdot K \cdot E \cdot W] / d \quad \text{veya} \quad R_{\text{kor}} = [I_{\text{kor}} \cdot K \cdot E \cdot W] / d \cdot A \quad (2.6)$$

R_{kor} : korozyon hızı, K: sabit bir katsayı (birim dönüşüm katsayısı), EW: ekivalent ağırlık, d: yoğunluk ve A: alan, I_{kor} : korozyon akımı, i_{kor} ise korozyon akım yoğunluğudur. Alaşım için ;

$$EW = 1 / \sum [(f_i \cdot n_i) / M] \quad (2.7)$$

f_i : her bir elementin oranı, n_i : her bir elementin valans değeri ve M: her bir elementin atom ağırlığıdır [47].

2.7.2. Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi

Direnç (R), akım (I) ve voltaj (E) arasındaki ilişkiyi tanımlayan Ohm Kanunu eşitlik 2.9'da verilmiştir [48].

$$R = E / I \quad (2.8)$$

Bu eşitlikteki direnç, ideal davranış sergiler (Tüm akım ve voltaj değerlerinde ohm kanununa uyar, direnç değeri frekanstan bağımsızdır ve bu direnç üzerinden geçen akım ile uygulanan gerilim aynı fazdadır) ve sadece doğru akım devrelerinde kullanılabilir. Buna karşın gerçek elektrokimyasal sistemler çok daha karmaşık yapıda olup direnç dışında, farklı devre elemanları da içerirler. Örneğin elektrokimyasal çift tabaka bir kapasitans etkisi yaratır. Difüzyon gibi diğer elektrot prosesleri de frekansa bağlı bir şekilde gerçekleşir. Bu nedenle, gerçek bir elektrokimyasal sistemde direnç yerine empedans kullanılır. Direnç gibi, empedans da bir devrede elektrik akımına karşı direnebilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Empedans yukarıda direnç için ifade edilen sınırlamalardan bağımsızdır [48].

Elektrokimyasal empedans genellikle elektrokimyasal hücreye bir AC potansiyeli uygulayarak ve hücreden geçen akım ölçülerek hesaplanır. Bu akım sinyali sinüs fonksiyonlarının bir toplamı olarak analiz edilebilir. [48].

Bir alternatif akım devresinin veya alternatif akım devre elemanının empedansını ölçmek için kullanılan tekniğe AC Empedans Spektroskopisi denir. Eğer bu teknik elektrokimyasal bir sistem için kullanılıyorsa, genellikle Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi adını alır ve kısaca EIS olarak bilinir. Direnç, kapasitans ve indüktans gibi alternatif akım devre elemanlarının empedansı ve akım-voltaj ilişkisi Tablo 2.1’de verilmiştir [48].

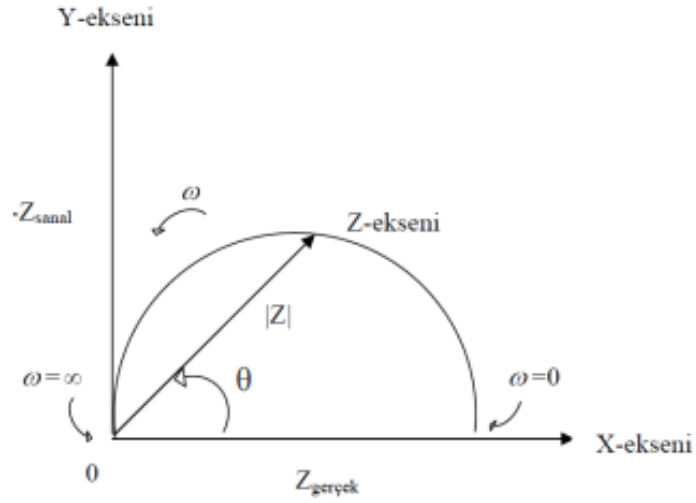
Tablo 2.1: Alternatif akım devre elemanları [48].

Devre Elemanı	Akım- Voltaj arasındaki İlişki	Empedans
Direnç	$E = I.R$	$Z = R$
İndüktans	$E = L.di / dt$	$Z = j.\omega.L$
Kapasitans	$I = C.dE / dt$	$Z = 1 / j.\omega.C$

Bir direncin empedansı frekanstan bağımsızdır ve sanal bileşen içermez (Z''). Dolayısıyla direnç yalnızca reel empedans bileşenine sahip olup, üzerinden geçirilen akım ile sisteme uygulanan voltaj arasında faz farkı meydana gelmez. Bir indüktansın empedansı frekans değeri arttıkça artar ve indüktanslar yalnızca sanal empedans bileşeni içerir. Bununla birlikte bir indüktans üzerinden geçirilen akım ile voltaj arasında $\theta = 90$ derecelik bir faz farkı oluşur [49].

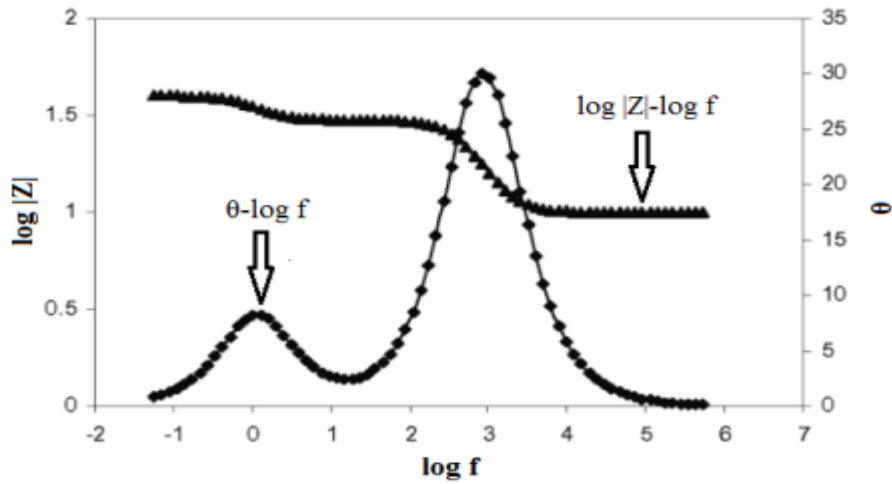
Kapasitör ise indüktansın tam tersine frekans değerinin artmasıyla azalır ve bir kapasitans üzerinden geçen akım ile voltaj arasında $\theta = +90$ derecelik bir faz farkı meydana gelir. İndüktansta olduğu gibi kapasitans da yalnızca sanal empedans bileşenine sahiptir. Elektrokimyasal bir sistemin frekansa bağlı değişen empedans spektrumu genellikle Nyquist ve Bode eğrileri üzerinden gösterilir [49].

Şekil 2.5’te örnek bir Nyquist grafiği verilmiştir. Nyquist eğrisi, EIS analizinin gerçekleştirildiği frekans aralığı boyunca, herbir frekans değeri için atanan empedans datalarının reel ve sanal bileşenlerinin gösterildiği eğridir. Nyquist grafiğindeki her nokta sabit bir frekanstaki empedans değerine karşılık gelmektedir [49,50].



Şekil 2.5: Empedans vektörüne sahip Nyquist grafiği [50].

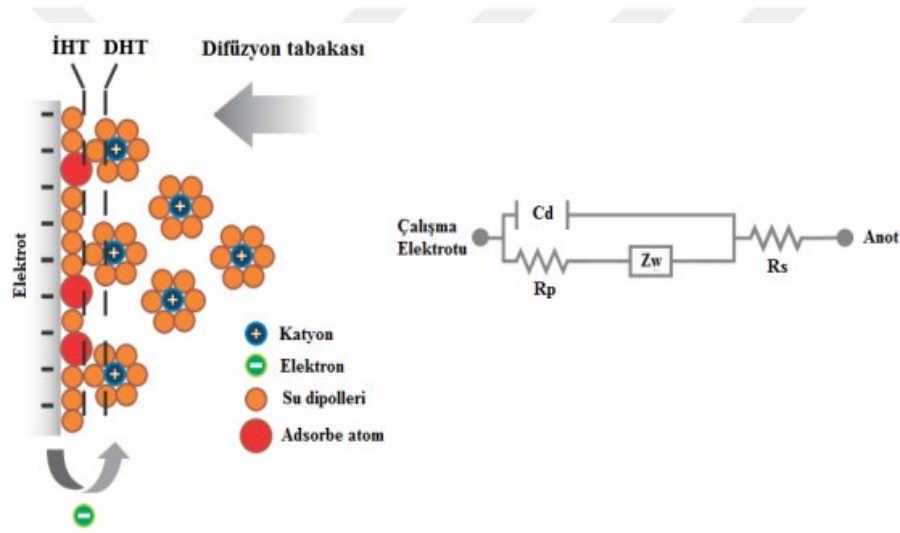
Bode eğrileri ise empedans spektrumunun bir diğer gösterim şeklidir. $\log |Z|$ vs. $\log f$ ve θ vs. $\log f$ olmak üzere iki tip Bode eğrisi bulunur. $\log |Z|$ vs. $\log f$ eğrisinde empedansın vektörel büyüklüğünün frekansa bağlı değişimi gösterilirken, θ vs. $\log f$ eğrisinde faz açısının frekansa bağlı değişimi gösterilmektedir. Nyquist ve Bode eğrileri genellikle çizildikleri frekans aralığının en yüksek değerinden başlar ve en düşük değerinde son bulur. Şekil 2.6'da örnek Bode eğrileri gösterilmektedir [50].



Şekil 2.6: Bode eğrilerine örnekler [50].

Elde edilen Nyquist ve Bode eğrileri yorumlanarak, EIS analizi gerçekleştirilen elektrodun elektrot/elektrolit arayüzeyi bir alternatif akım devresine benzetilerek modellenir. Alternatif akım devre modelleri (EEC) direnç, kapasitans, indüktans ve bazı özel elektrokimyasal devre elemanları (Warburg difüzyonu ve sabit faz elementi gibi) içerebilir. Modeldeki her bir devre

elemanı elektrot/elektrolit arayüzeyinde meydana gelen fiziksel bir olayı işaret eder ve sözkonusu fiziksel olaylar Nyquist/Bode eğrilerinde karakteristik şekil veya yönlenmelere sebep olur. Şekil 2.7’de elektrot/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelebilecek olayların bazıları şematik olarak gösterilmiş ve bu fiziksel olaylar bir alternatif akım devre modeli kullanılarak tanımlanmıştır. Şekilde elektrot yüzeyine doğru hareket eden bir katyon öncelikle çözelti direncine maruz kalmış ve bu direnç R_s olarak adlandırılmıştır. Daha sonra difüzyon tabakasına giriş yapan katyon burada Z_w ile adlandırılmış Warburg empedansı ile karşılaşmıştır. Katyon şarj transferinin gerçekleşeceği elektrokimyasal çift tabakaya ulaştığında ise bir polarizasyon direnci ve/veya şarj transfer direnci (R_p) ile karşılaşacak ve bu esnada elektrokimyasal çift tabaka bir kapasitans gibi davranacaktır [51].



Şekil 2.7: Elektrot/elektrolit arayüzeyinde meydana gelen olaylar ve bu olayları fiziksel olarak tanımlayan alternatif akım devre modeli [51].

Nyquist ve Bode eğrilerinde verilen empedans spektrumu modellenirken mümkün olan en basit alternatif akım devre modeli kullanılmalı ve bu modelin empedansı deneysel empedans verileriyle olabildiğince uyumlu olmalıdır. Elektrokimyasal bir sistemi temsil edecek basit bir alternatif akım devre modeli en azından çözelti direnci, elektrokimyasal çift tabaka kapasitansı, şarj transferinden veya elektrodun yüzey özelliklerinden kaynaklanabilecek bir direnç elemanına sahip olmalıdır [51].

Bunların yanı sıra elektrokimyasal sistemi tanımlayan eşdeğer devre modeli Warburg elementi (W), indüktans (L) ve sabit faz elementi (Q) gibi devre elemanları da içerebilir. Sabit faz elementi, kapasitansın ideal davranış göstermediği durumlarda (özellikle heterojen yüzey özelliklerine sahip elektrotlar için) kapasitans yerine kullanılırken, Warburg elementi sistemde difüzyon kontrollü bir reaksiyon gerçekleşiyorsa kullanılır [52].

2.8. Al DÖKÜM ALAŞIMLARINDA BİFİLM TEORİSİ

Birçok metal ve alaşımın döküm kalitesi doğrudan döküm koşulları ve sıvı alaşımın türbülanslı veya türbülanssız olarak dökülmesine bağlı olarak değişmektedir. Birçok döküm işleminde, dökümün türbülanslı olarak yapılması yapı içerisinde kusurların oluşmasına neden olarak döküm parçasının birçok özelliğini olumsuz etkilemektedir. Sıvı metalin döküm sırasında yüksek dolun hızı, sıvı metal içerisinde ve yüzeyde türbülansa yol açabilmektedir [53].

Sıvı haldeyken metal ve alaşımların yüzeyinde bulunan oksitli yapılar, sıvı yüzeyinden itibaren atom atom büyüyerek üst yüzeyi kuru, ancak alt yüzeyi sıvı ile temas halde filmler oluşturmaktadırlar. Bu yüzey filminin türbülanslı döküm sırasında sıvı metal içerisine karışması ile kuru yüzeyleri birbiriyle temas halinde katlanmış yapılar oluşmaktadır. Bu çift oksit filmler (bifilm) sıvı metal içerisine dağılmakta ve katılaşmadan sonra mikroyapıda bulunarak çatlak vazifesi görmektedirler [54].

Bifilm çatlakların metal içerisinde bulunmasının birçok sonucu vardır. Katlanmış oksit yapı katılma sırasında gazın çift filmler arasına difüzyonu veya çekilme boşluğu ile oluşan gerilmeler sonucu açılarak büyüebilmektedir. Bu tip oksit filmler çoğu zaman mikron seviyesinde bulunsada açılma ve büyüme sonucu milimetre hatta santimetre seviyelerine ulaşabilmektedirler. Sonuç olarak katılmış dökümde bu tip kusurlar mekanik özellikleri, özellikle de süneklik ve yorulma özelliklerini düşürmektedir [55].

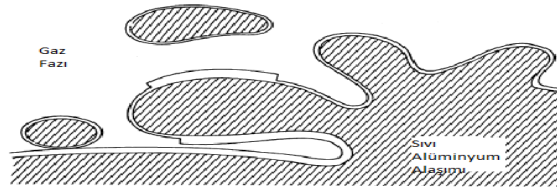
2.8.1. Al-Si Alaşımında Bifilm

Al-Si alaşımının döküm işlemi tamamlandığında, sıvı metal içerisinde türbülans azalır bu sırada yapı içerisine karışmış olan oksit filmleri, düzlemsel çatlak benzeri kusurlar oluşturarak başlangıç boyutlarına ulaşırlar. Yapı içerisindeki katlanmış kusurların açılması önemli bir aşamadır. Bu işlem döküm malzemesinin kalitesini belirlemektedir. Kalıba dolun gerçekleştirildikten sonra hızlı bir katılma gerçekleşirse, bifilm çok fazla açılmadan ve nispeten zararsız olarak yapı içerisinde katılırlar. Bu nedenle mekanik özellikler bu tip bifimlerden etkilenmemektedir. Ancak katılmanın yavaş gerçekleştiği durumda bifim açılarak büyümek için gereken zamanı bulacak ve düzlemsel çatlaklar oluşturabileceklerdir. Bu durum çil döküm ile üretilen malzemelerin yavaş soğutulanlara göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olmalarını açıklamaktadır [56].

Birçok döküm işleminde yapı içerisindeki hatalar bifilm varlığından kaynaklansa da çoğu zaman bu yapılar fark edilememektedir. Bunun yanında sıvı haldeki alaşıma düşük basınç testi (RPT) uygulanarak yapı içerisindeki bifilmelerin açılması sağlanabilir ve sıvı metal kalitesi değerlendirilebilir. Metal kalitesinin belirlenmesi amacıyla uygulanan düşük basınç testi ile elde edilen parçaların kesilmiş yüzeylerindeki bifilmelerin toplam uzunluğu ölçülerek elde edilen bifilm indeksi ile sıvı metal kalitesi belirlenebilmektedir [57].

Dışpınar ve Campbell (2011) bifilm indeksi ve bifilm sayısının döküm kalitesinin belirlenmesinde etkin sonuçlar verdiğini ve düşük bifilm içeren alaşımların daha iyi süneklik özelliklerine sahip olduğunu göstermişlerdir. Sıvı metal içerisinde hidrojenin, bifilmeler olmadan homojen veya heterojen olarak çekirdekleşerek gaz porozitesi oluşturamayacağı gösterilmiştir.

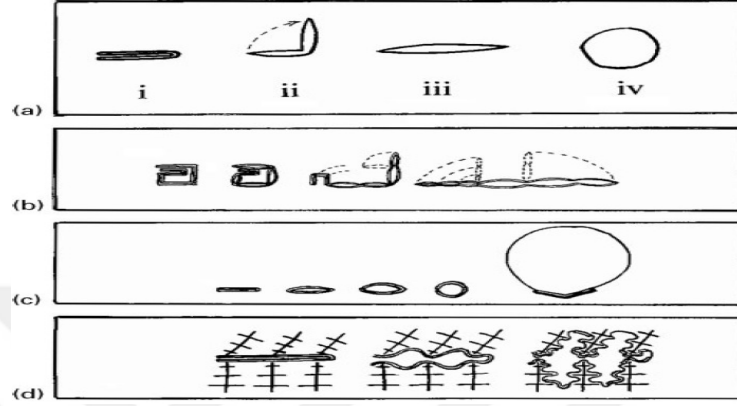
Şekil 2.8’de ergiyik Al alaşımının yüzeyindeki oksit filmin yapıya nasıl karıştığı görülmektedir. Yüzeydeki yapı, çifte oksit şeklinde kuru kısımları katlanmış halde sıvı metale karışmaktadır. Fox ve Campbell (2000), bu durumun oksit filmlerin sıvı metale karışmasının tek yolu olduğunu öne sürmüşlerdir.



Şekil 2.8: Katlanmış çifte oksit filmlerin oluşumu [58].

Yüzeyde bulunan birbiriyle temas halindeki oksit filmler, temas noktalarında ortamdaki gazı hapsederek yapıya karışmakta ve sıvı içerisinde boşluk olarak bulunmaktadır. Türbülanslı döküm veya sıvı alaşım içerisindeki karışımlar nedeniyle meydana gelen kayma tipi kuvvetlerin oluşumu, bu filmlerin çarpıtılmış kompakt yapılar halinde, çatlak benzeri özelliklerini korumalarına neden olmaktadır. Zararlı oksit filmlerin yapı içerisinde hapsedildiği ise ancak döküm parçası, bu safsızlıklardan başlayarak çatladığında tespit edilebilmektedir [58].

Döküm sırasında oluşan türbülans sonucu sıvı alaşım içerisine karışan yüzeydeki oksit filmler, dendritler arasında açılarak poroziteler oluşturabileceği gibi, ötektikler arası küresel bir yapıda da bulunabilmektedirler. Şekil 2.9'da bifilmli nedeniyile oluşabilecek farklı tipteki poroziteler görülmektedir [59].



Şekil 2.9: Bifilmli açılması ve büyümesi a) Basit katlanmış Bifilm, b) Dolaşık yapıda bifilm, c) Küresel poroziteye neden olan aşırı açılmış bifilm, d) Dendritler arasında oluşmuş bifilm [59].

2.9. KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

M. Timpel [60] yaptığı çalışmada, 200 ppm Sr ilavesinin meydana getirdiği değişimleri inceledi. α -Al dendritlerinde belirgin bir değişime neden olmamasının yanında, ötektik Silisyumların elyafimsı ve daha ince bir morfolojiye sahip olduğunu saptamıştır.

Backerud [61] yaptığı çalışmada, katı $TiAl_3$ partikülleri üzerinde alüminyumun çekirdeklenerek büyümesini açıklamıştır. Sigworth ve Kuhn Titanyum içeren master alaşımlarında çok fazla $TiAl_3$ intermetalikleri bulunduğunu, dökümden önce yapılan bu master alaşımlarının ilavesi sonrasında sıvı metal içerisinde milyonlarca $TiAl_3$ taneciklerinin yapı içerisinde dağıldığını belirlemişlerdir.

Lu ve Diğ. [62] A356 alaşımında Al-%5Ti, Al %5Ti-%1B ve Al-%4B mastır alaşımları ile gerçekleştirilen tane inceltme çalışmalarında titanyumla kıyaslandığında borun tane inceltmede etkisinin daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Cole ve arkadaşları [63], % 0.15'ten daha az oranda Ti ilavesinin tane inceltme etkisinin olmadığı ve yeterli tane inceltme için Ti miktarının en az % 0.15'ten fazla olması gerektiği bilgisine ulaşmışlar.

Sigworth ve Guzowski [64] bir diğer çalışmada, AlB_2 tanecikleri içeren Al-B mastır alaşımlarının tane inceltme etkisinin daha fazla olduğunu saptamışlardır.

S.Tahamtan [65], yarı-katı metal şekillendirme tekniklerinden olan tikso-döküm yöntemiyle üretilmiş A356 alaşımının klorür ortamında elektrokimyasal teknikler kullanarak oyuklanma korozyonunun kantitatif analizini gerçekleştirdi. Elektrokimyasal ölçümler tikso-döküm, yüksek basınçlı dökümde $250^\circ C$ 'deki kalıba gerçekleştirilen yarı-katı metal şekillendirme yöntemlerinden olan reo-döküm ve kokil kalıp döküm A356 alaşımları üzerinde tamamladı. Elektrokimyasal ölçümlerin sonuçları kantitatif metalografik ölçümler yoluyla analiz edildi. Tiksoform işlemi yoluyla Si tanecikleri ve Si tanecikleri etrafındaki ötektik Al fazı arasındaki alanın oranı azalması sebebiyle oyuklanma korozyon direncinin geliştiği görüldü.

R. Arrabal'ın [66] yaptığı çalışmada reodöküm ve kalıp döküm A356 alaşımının mikroyapıları ve korozyon davranışları incelendi. Demir içerikli intermetalikler ve α -Al matriks arasındaki geniş potansiyel farklılıkların, intermetalikler/ α - arayüzlerde korozyon başlangıcından sorumlu olduğu kanıtlandı. Uzun daldırma sürelerinde korozyon ötektik alanların içinden ilerler. Yarı-katı işlemler ötektik Si ve demir intermetaliklerini saflaştırdı, ikincil faz ve matriks arasındaki potansiyel farklılıkları azalttı. Bu durum, reo-döküm A356 alaşımının oyuklanma korozyon direncini geliştirdiği sonucunu verdi.

R. Arrabal'ın [67] yaptığı bir diğer araştırmada % 0.4 Nd modifiyeli kalıp döküm A356 alaşımının mikroyapısı ve %3.5 NaCl özeltisi içerisinde korozyon davranışı incelendi. İncelemeler sonucunda zengin Nd fazları içeren A356 alaşımı modifiyesiz A356 alaşımı ile kıyaslandığında oyuklaşma korozyon direncinin daha yüksek görülmüştür.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. HAMMADDE

Deneyleerde, Eti Alüminyum firması tarafından üretilen A356 Al alaşımı kullanılmıştır. Alaşıma ait spektrometre analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: A356 alaşımının spektrometre analiz sonuçları.

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Mn	Sr	Al
Modifiyesiz A356	6.45	0.22	0.04	0.24	0.015	0.340	0	92.24

3.2. DÖKÜM PROSESİ

3.6 KW gücünde Daihan WiseTherm laboratuvar tipi ısıtım fırınında SiC potalara şarj edilen alaşımlar ertitilmiştir. Maksimum 1200°C sıcaklığa çıkabilen 12 litre kapasiteli bu fırının astarı seramik fiber plakalar ile yapılmıştır. Sıvı metal işleminin ardından döküm safhasına geçilmiş olup gravite döküm yöntemi prensibine göre sıvı metal kum ve kokil kalıp içerisinde doğrudan boşaltılmıştır.

Yapılacak deneye göre; döküm işlemleri 700±10°C aralığındaki sıvı metal sıcaklığında sırasıyla kum ve kokil kalıplara gerçekleştirilmiştir. Alaşımın fırına şarj edildikten 75 dk sonra Sr, Al5Ti1B ve/veya Al3B ilaveleri gerçekleştirilmiş, fırında kalma süresi toplam 90 dk olarak belirlenmiştir. Dökülen parçalar kalıp içerisinde açık atmosferde soğutulmuştur. Soğutma işleminin ardından, korozyon ve mekanik testler için kesilerek kullanılmıştır.

Tablo 3.2’de döküm işlemlerinden sonra modifiyesiz ve Sr modifiyeli; Tablo 3.3’de ise modifiyesiz, Sr modifiyeli, AlTiB ve AlB tane inceltici ilaveli A356 alaşımların numune kodları ve kimyasal kompozisyonu belirtilmiştir (Sr ve B ppm cinsinden verilmiştir. D: kokil kalıba dökümü, S : kum kalıba dökümü temsil etmektedir.)

Tablo 3.2: Döküm işlemlerinden sonra alaşımların numune kodları ve kimyasal kompozisyonu.(Sr ve B ppm cinsinden verilmiştir. D: kokil kalıba dökümü, S : kum kalıba dökümü temsil etmektedir.)

Numune	Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Mn	Sr	B	Al
A356-D A356-S	6.45	0.22	0.04	0.24	0.015	0.340	0	0	Kalan
A356-1D A356-1S	6.48	0.12	0.03	0.28	0.110	0.002	120	0	Kalan
A356-2D A356-2S	6.46	0.10	0.03	0.27	0.110	0.002	170	0	Kalan
A356-3D A356-3S	6.54	0.10	0.03	0.26	0.110	0.002	250	0	Kalan

Tablo 3.3: Döküm işlemlerinden sonra alaşımların numune kodları ve kimyasal kompozisyonu.(Sr ve B ppm cinsinden verilmiştir. D: kokil kalıba dökümü, S : kum kalıba dökümü temsil etmektedir.)

Numune	Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Mn	Sr	B	Al
A356-D* A356-S*	6.88	0.08	0.04	0.33	0.11	0.04	0	0	Kalan
A356-2D A356-2S	6.86	0.09	0.03	0.35	0.11	0.07	170	0	Kalan
A356-4D A356-4S	6.92	0.08	0.02	0.32	0.02	0.02	172	600	Kalan
A356-5D A356-5S	7.05	0.09	0.03	0.34	0.12	0.02	169	80	Kalan

3.3. NUMUNE HAZIRLAMA

Kum ve kokil kalıba dökümü tamamlanıp kendiliğinde soğuyan numunelerin yolluk ve besleyicileri kesildi. Deneylerin tekrarlamalı yapılacak olması sebebiyle 10 cm uzunluğundaki numuneler 10 eşit parça halinde kesilerek, markalanmış ve mekanik ve korozyon testleri için hazır hale getirilmiştir.

3.3.1. Metalografik Numune Hazırlama

Eşit parçalarda kesilen numuneler sırasıyla 600, 800, 1000, 1200 zımpara kağıtlarında zımparalanarak parlatma işlemi gerçekleştirildi.

3.4. UYGULANAN TESTLER

3.4.1. Vickers Sertlik Testi

Döküm çubuklarının eşit şekilde bölünmüş birer parçası sertlik ölçüm cihazında farklı bölgelerinden Vickers sertlik değeri (VSD) ölçülmüştür.

3.4.2. Korozyon Testleri

Korozyon testleri, potansiyodinamik polarizasyon ve EIS analizleridir. Her iki test Gamry Instruments Reference 600 potansiyostat/galvanostat/ZRA model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Polarizasyon eğrileri için DC Corrosion 105, EIS analizleri için EIS 300 yazılımları kullanılmıştır. Testler çift cidarlı bir elektroliz hücresi içerisinde %3.5'lük NaCl çözeltisinde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de alaşımların elektrokimyasal testlerinin gerçekleştirildiği potansiyostat/galvanostat ve elektrokimyasal test hücresi gösterilmiştir. Karşı elektrot olarak Platinize edilmiş Titanyum Mesh elektrot, referans elektrot olarak doymuş KCl çözeltisi içeren Ag/AgCl elektrot kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te deney kodları verilen A356 alaşımları kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Elektrokimyasal testlerinin gerçekleştirildiği a) Gamry Reference 600 Potansiyostat/Galvanostat b) 3 elektrotlu elektrokimyasal test hücresi.

Korozyon özellikleri incelenecek A356 alaşım numuneleri reçineye alınarak, yüzeyleri test öncesi zımparalanmıştır. Çalışma elektrotlarının yüzeyleri çözeltiyle teması 1 cm² olacak şekilde maskelenmiş ve Şekil 3.2'de gösterildiği gibi test hücresi içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2: Deneylerde kullanılan 3 elektrotlu elektrokimyasal test hücresi.

3.4.2.1. Potansiyodinamik Polarizasyon Ölçümleri

Potansiyodinamik polarizasyon testleri denge potansiyelinden -0.2 ve +0.5 voltaj aralığında, 0.5 mV s^{-1} 'lik tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Polarizasyon eğrileri alaşımların 1 saat süreyle çözelti içerisinde bekletilerek açık devre potansiyeli (OCP) sabit değere ulaşmasından sonra çizilmiştir. Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile elde edilen polarizasyon eğrilerinden korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (i_{kor}) anodik (β_a) ve katodik (β_c) Tafel eğimleri hesaplanmıştır. Alaşımların polarizasyon dirençleri (R_p) Stren–Geary eşitliği (3.1) yardımıyla hesaplanmıştır [46].

$$R_p = \beta_a \beta_k / [2,303 \cdot (\beta_a + \beta_k) \cdot i_{kor}] \quad (3.1)$$

Korozyon hızları (r_{kor}) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$r_{kor} = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot (i_{kor} \cdot M) / nd \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte ; M: Atom ağırlığı (g mol^{-1}), i_{kor} : Korozyon akım yoğunluğu (mA cm^{-2}), n: Elektron sayısı, d: Yoğunluk (g cm^{-3}) alındığında r_{kor} mm/yıl olarak bulunur.

3.4.2.2. Elektrokimyasal Impedans Spektroskopisi (EIS) Ölçümleri

Empedans ölçümlerinden önce elektrotlar açık devre potansiyeline (OCP) ulaşınca kadar 1 saat süre ile bekletilmiştir. Frekans aralığı 10^5 - 10^{-1} Hz'dir ve 5 mV AC potansiyelinde empedans ölçümleri yapılmıştır.

3.4.3. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi

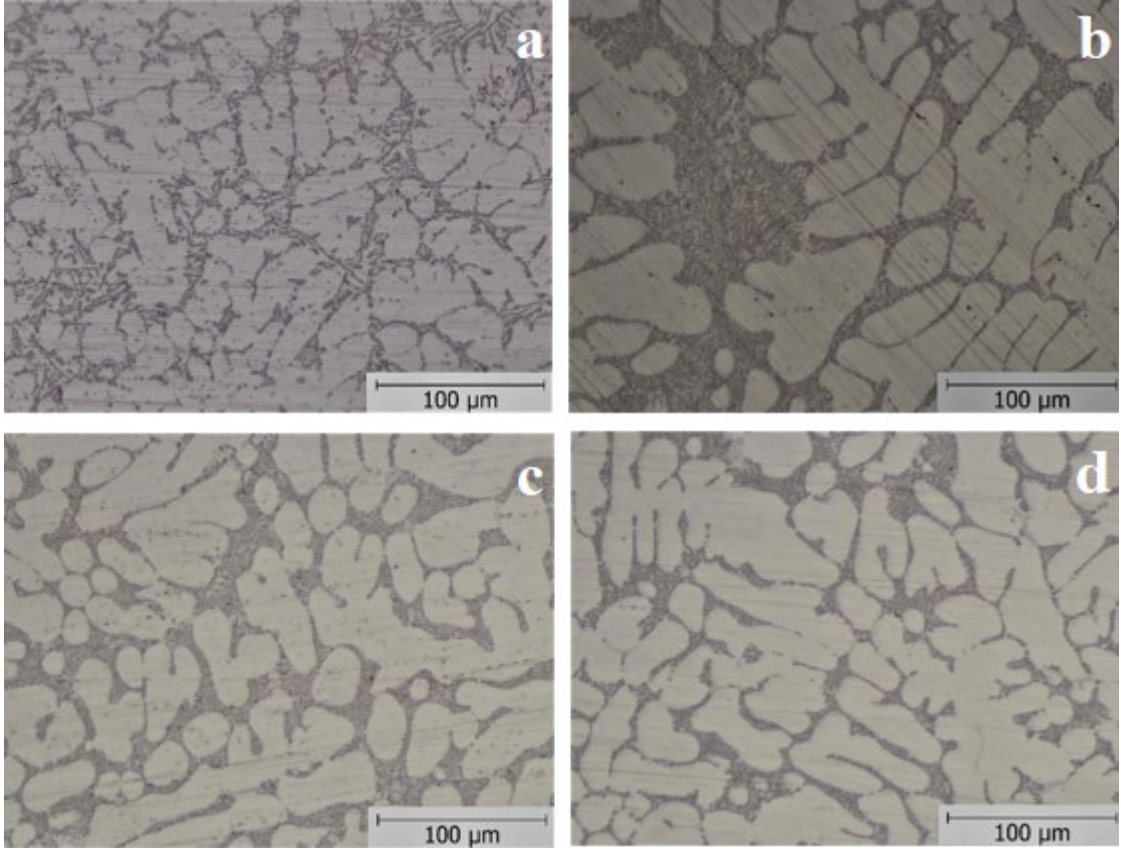
Sr, AlTiB ve AlB ilaveli ve ilavesiz A356 alaşımlarının korozyona uğradıktan sonraki yüzey morfolojileri JEOL JSM 5600 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

4. BULGULAR

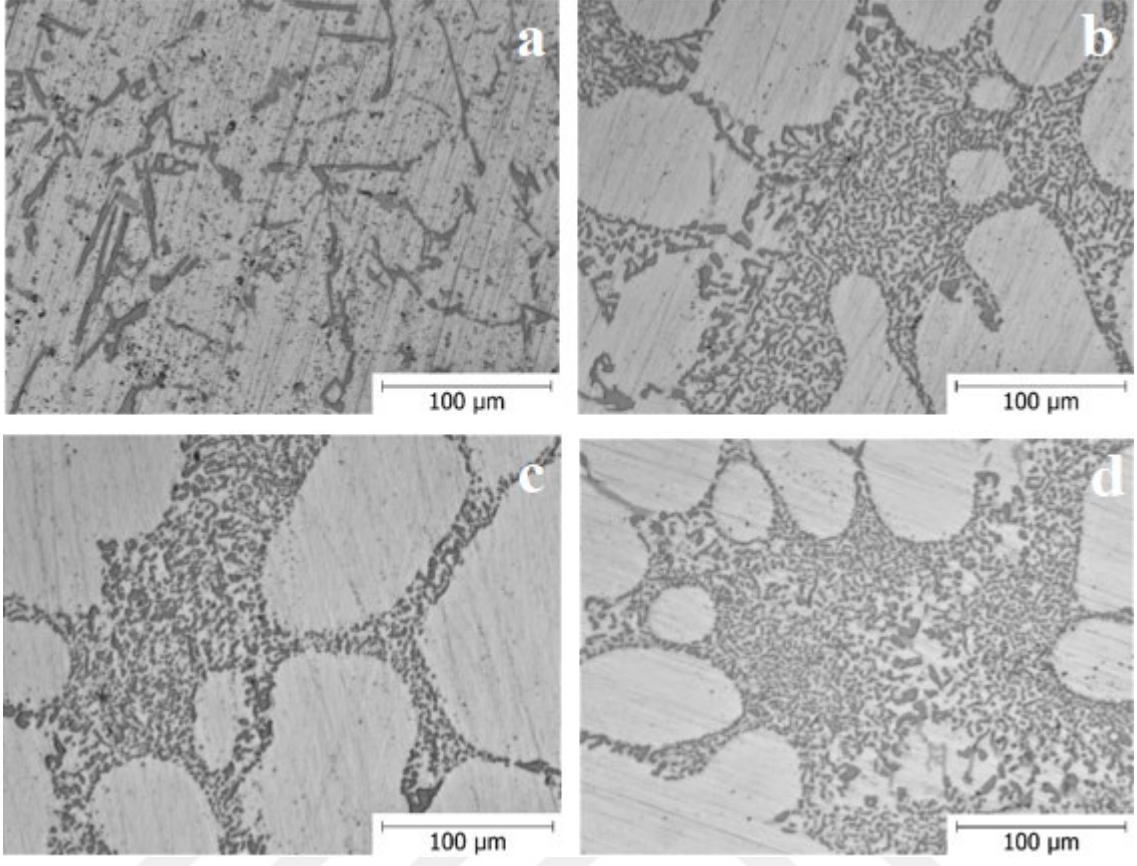
4.1. Sr İLAVESİNİN ETKİSİ

4.1.1. Metalografik İncelemesi

Deneyleer kapsamında Sr miktarı ve kalıp tipi olmak üzere 2 farklı parametre değiştirilerek döküm mikroyapısında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sr ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş A356 alaşımlarının mikroyapı görüntüleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Kokil (Şekil 4.1) ve kum kalıba (Şekil 4.2) dökülmüş A356 alaşımlarına Sr ilavesinin mikroyapı üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.1: Kokil kalıba döküm A356 alaşımlarının a) A356-D b) A356-1D, c) A356-2D, d) A356-3D mikroyapı görüntüleri.



Şekil 4.2: Kum kalıba döküm A356 alaşımlarının a) A356-S, b) A356-1S, c) A356-2S, d) A356-3S mikroyapı görüntüleri.

Şekil 4.1a'da görüldüğü gibi modifiye edilmemiş A356 alaşımı, kaba iğnemsil silisyum fazı ile α -Al fazı içeren dentritik yapıya sahiptir. Sr ilavesinin alaşımın ötektik sıcaklığını düşürdüğü ve bu durumun daha iyi akışkanlık sağlayarak sıvı beslemeyi arttırdığı bilinmektedir [32]. Yavaş soğuma hızının Si büyümesine katkıda bulunmasından dolayı kum kalıba dökümde (Şekil 4.2) kokil kalıba döküme (Şekil 4.1) kıyasla daha belirgin bir dendritik yapı oluşturduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan, Sr ilavesiyle iğnemsil Si fazının fiberli bir morfolojiye dönüştüğü belirlenmiştir. Sr ilavesinin mikroyapıdaki bu etkisi her iki döküm yöntemi için gözlenmiştir.

4.1.2. Sertlik Ölçümü

700°C'de kokil ve kum kalıba yapılan döküm numunelerinin Vickers sertlik değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: 700°C’de kokil ve kum kalıba yapılan döküm numunelerine Sr ilavesiyle oluşan Vickers sertlik değerleri.

Sertlik (VSD)	A356-D A356-S	A356-1D A356-1S	A356-2D A356-2S	A356-3D A356-3S
Kokil Kalıp (D)	59.8	182.8	76.9	105
Kum Kalıp (S)	38.7	85.4	72.7	92.7

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi en düşük sertlik değerleri modifiyesiz alaşım numunelerinde elde edilmiş olup kokil kalıp numunelerinde Sr ilavesiyle döküm sertliklerinde artış gözlemlendiği en yüksek döküm sertliğinin 120 ppm Sr modifiyeli numunelerde elde edildiği tespit edilmiştir.

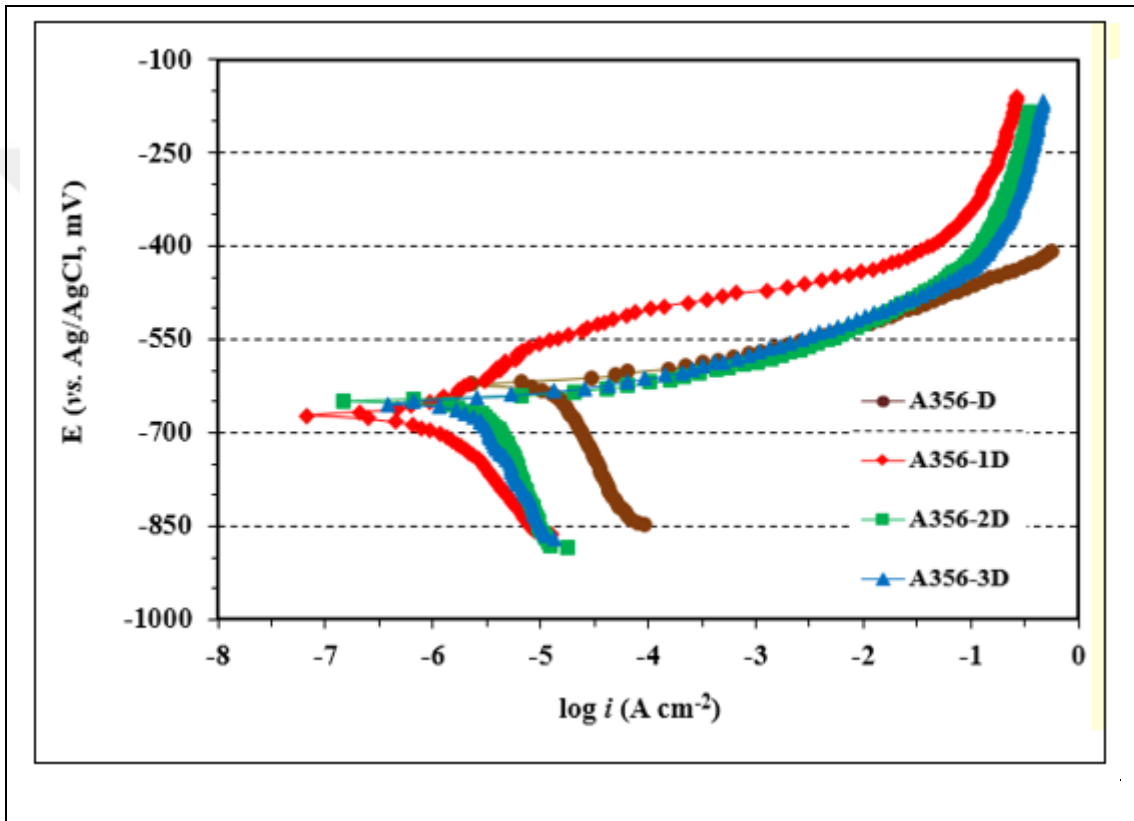
Kum kalıp döküm numunelerinde ise en düşük sertlik değerleri modifiyesiz numunelerde elde edilirken Sr modifiyesiyle birlikte numunelerin sertlik değerlerinde artış olduğu, en yüksek döküm sertliğinin 250 ppm Sr numunelerinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

4.1.3. Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

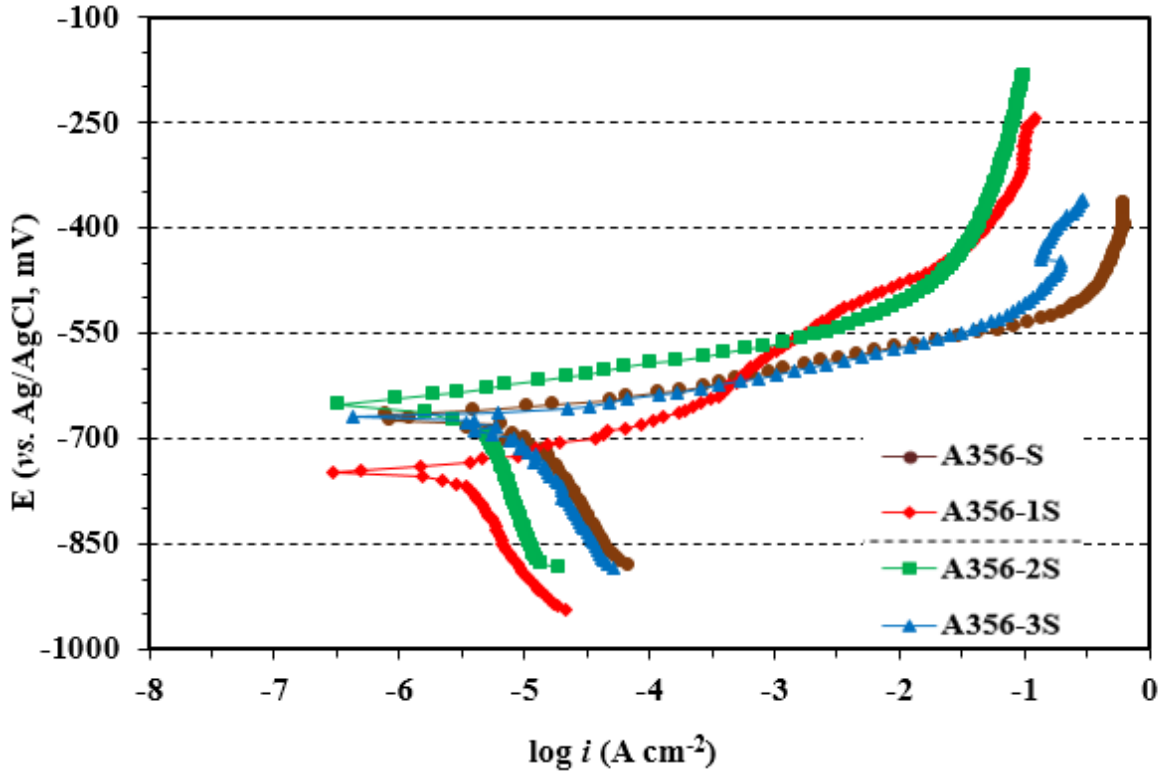
Kokil ve kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 alaşım numunelerinin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te verilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden Tafel extrapolasyon yöntemi ile korozyon akım yoğunluğu (i_{kor}) ve korozyon potansiyeli (E_{kor}) hesaplanmıştır. Polarizasyon direnci (R_p) Eşitlik (3.1), korozyon hızı (v_{kor}) ise Eşitlik (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri sonunda elde edilen tüm parametreler Tablo 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Tablo 4.2 incelendiğinde 120 ppm Sr ilavesi (A356-1S) hariç Sr miktarındaki artış ile her iki döküm yönteminde de E_{kor} değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. A356-1S alaşımında ise bu durumdan farklı olarak diğer alaşımlara kıyasla E_{kor} değerinde yaklaşık 60mV’luk bir azalma meydana gelmiştir.

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi her iki döküm yönteminde Sr ilavesi ile i_{kor} değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Kokil kalıpta modifiyesiz durumda (A356-D) $13.82 \mu\text{Acm}^{-2}$ olan i_{kor} değeri ve 0.1505 mm/yıl olan korozyon hızı 120 ppm Sr ilavesiyle (A356-1D) i_{kor} değerinin $0.42 \mu\text{Acm}^{-2}$, korozyon hızının ise 0.0045 mm/yıl olduğu tespit edilmiştir. Artan Sr miktarıyla birlikte 170 ppm Sr ilavesinde (A356-2D) i_{kor} değeri $2.59 \mu\text{Acm}^{-2}$, korozyon hızı 0.0282 mm/yıl iken 250 ppm Sr ilavesinde ise (A356-3D) i_{kor} değerinin $2.21 \mu\text{Acm}^{-2}$, korozyon hızının 0.0240 mm/yıl olduğu belirlenmiş olup polarizasyon dirençleri de elde edilen sonuçlarla uyumludur. $0.42 \mu\text{Acm}^{-2}$ korozyon akımında ve 43 k Ω en yüksek polarizasyon direnci değerinde olan A356-1D alaşımının en iyi korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kokil kalıba döküm yönteminde görüldüğü gibi kum kalıba döküm yönteminde de A356 alaşımına Sr ilavesiyle i_{kor} değerlerinde belirgin bir düşüş görülmüştür. 170 ppm Sr modifiyeli (A356-2S) kum kalıba döküm alaşımında $1.47 \mu A cm^{-2}$ olan en düşük i_{kor} değeri ve 0.0160 mm/yıl değeriyle en yavaş korozyon hızı elde edilmiştir. Ayrıca Sr modifiyeli kum kalıp numunelerinin R_p değerleri birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. A356-1D ve A356-2S alaşımlarında elde edilen i_{kor} ve R_p değerleri incelendiğinde korozyon dirençlerinin en yüksek numuneler olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.3: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.

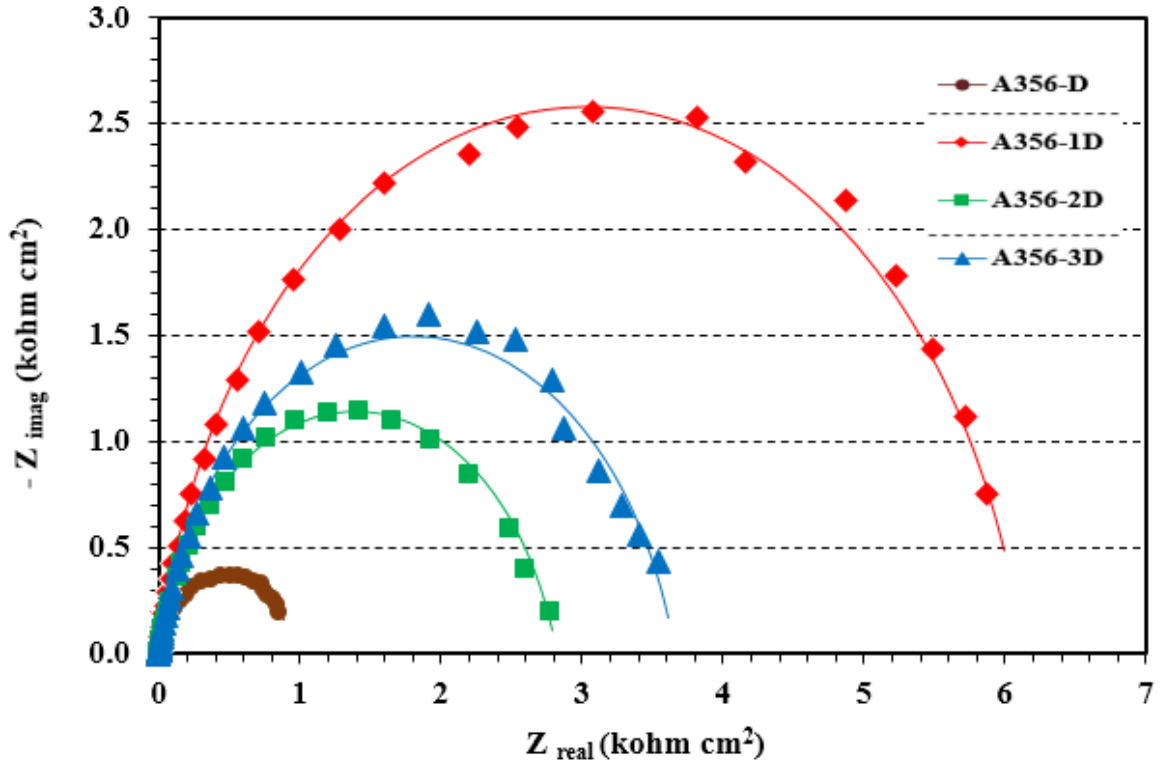


Şekil 4.4: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için potansiyodinamik polarizasyon eğrisi.

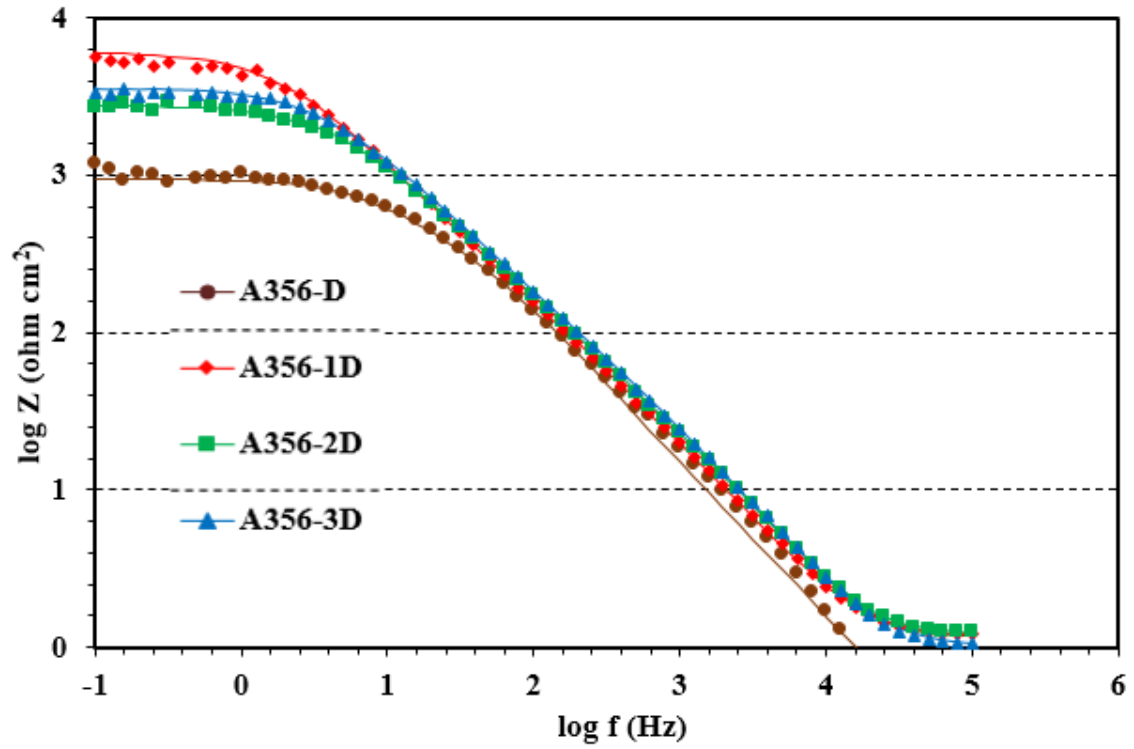
Tablo 4.2: Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'ün potansiyodinamik polarizasyon ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreler.

Numune		$-E_{kor}(mV)$	$\dot{I}_{kor}(\mu Acm^{-2})$	$R_p(k\Omega)$	$r_{kor}(mm/yıl)$
Kokil Kalıp Döküm (D)	A356-D	623	13.82	0.97	0.1505
	A356-1D	671	0.42	43.01	0.0045
	A356-2D	650	2.59	3.37	0.0282
	A356-3D	650	2.21	4.86	0.0240
Kum Kalıp Döküm (S)	A356-S	665	10.2	1.37	0.1111
	A356-1S	734	2.06	7.49	0.0225
	A356-2S	650	1.47	6.96	0.0160
	A356-3S	670	2.47	5.40	0.0268

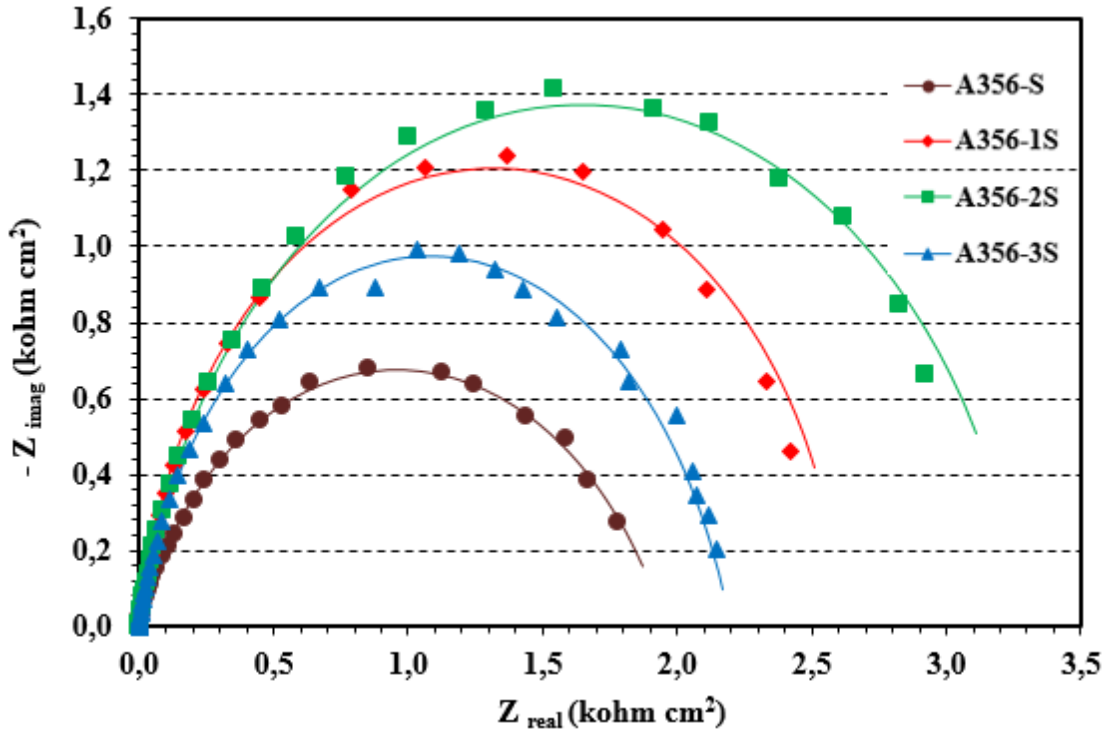
Sr ilavesi ve döküm tipine bağlı olarak değişen korozyon davranışını daha detaylı incelemek için EIS ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da kokil kalıba döküm, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de ise kum kalıba döküm numunelerine ait Nyquist ve Bode diyagramları verilmiştir.



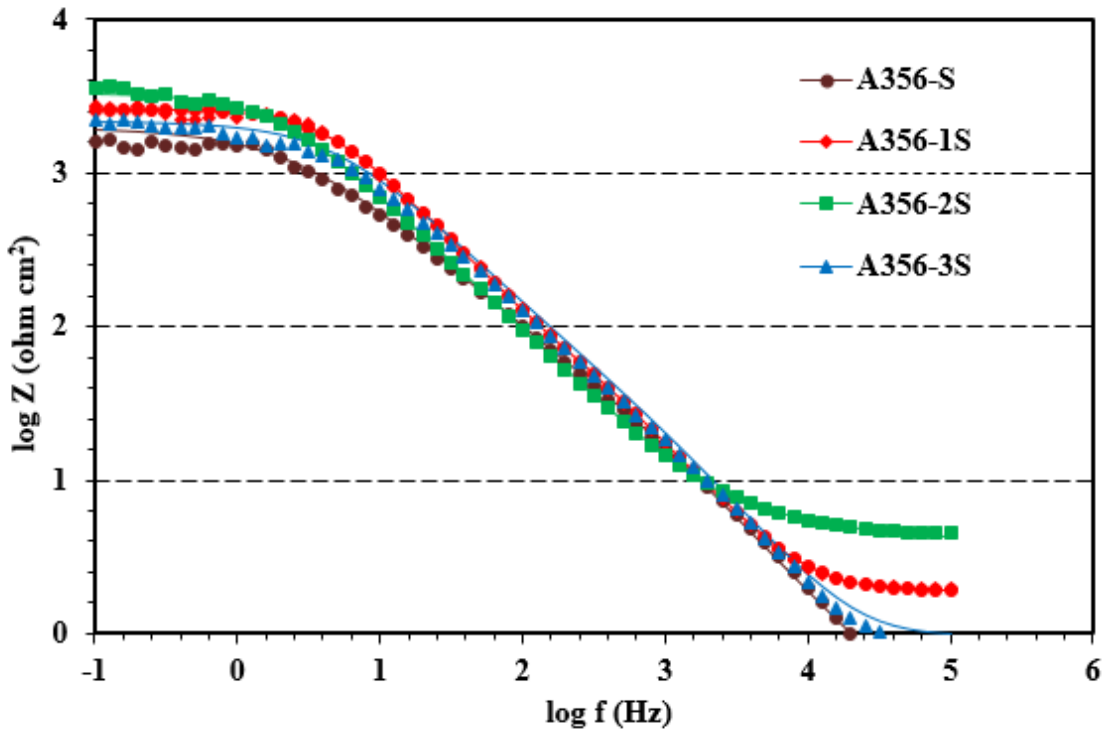
Şekil 4.5: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için Nyquist diyagramı.



Şekil 4.6: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kokil kalıp döküm numuneleri için Bode diyagramı.

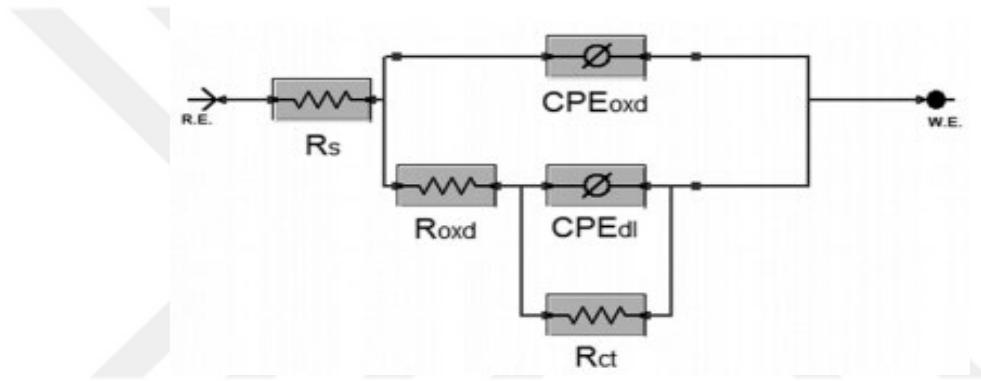


Şekil 4.7: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için Nyquist diyagramı.



Şekil 4.8: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum kalıp döküm numuneleri için Bode diyagramı.

Nyquist ve Bode diyagramları incelendiğinde 2 kapasitif lupun varlığı tespit edilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.7’de verilen Nyquist eğrilerinde tüm kapasitif lupların şekilleri aynı iken çapları farklılık göstermektedir. Bu durum, korozyon olayının aynı mekanizma üzerinden geliştiğini ancak korozyon direncinin değişen S_r miktarına bağlı olarak farklı olduğunu göstermektedir. Bode eğrilerinde düşük frekans bölgesinde görülen yüksek Z_{mod} değeri yüksek korozyon direncini işaret eder. Şekil 4.6 ve Şekil 4.8 incelendiğinde, düşük frekans bölgesinde en yüksek Z_{mod} değerleri A356-1D ve A356-2S numunelerinde görülmüştür. Elde edilen Nyquist ve Bode diyagramları Şekil 4.9’da verilen eşdeğer elektriksel devre modeline uygun olarak modellenmiştir. Elde edilen elektrokimyasal parametreler Tablo 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.9: Elektrokimyasal empedans verileri için kullanılan eşdeğer elektrik devresi.

Eşdeğer devre modelinde CPE olarak gösterilen devre elemanları (CPE_{ox} ve CPE_{dl}), ilgili direnç bileşenlerine ait kapasitansı ifade eden sabit faz elementleridir. R_{ox} - CPE_{ox} eleman çiftleri oksit tabakasının yüzey özellikleri ile ilgiliyken, R_{ct} - CPE_{dl} eleman çifti ise korozyon reaksiyonu ile ilgilidir. Eşdeğer devre modelinde kapasitans yerine sabit faz elementi kullanılmıştır. Bunun nedeni, elektrot yüzeyinin homojen olmaması dolayısı ile elektrot/elektrolit ara yüzeyinde oluşan kapasitansların ideal davranışından sapmasıdır. Sabit faz elementinin meydana getirdiği empedans (Z_{CPE}) değeri bağıntı 4.1’e göre hesaplanmaktadır.

$$Z_{CPE} = (1/Y_0) / (j\omega)^\alpha \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte, $1/Y_0$, kapasitansın tersine ($1/C$) denk bir katsayıdır, ω açısal hız ve α homojenite faktörü olarak tanımlanan üstel katsayıdır. α , 0 ile 1 arasında bir değer alabilir ve bu değer 1’den uzaklaşması kapasitansın ideal davranışından sapması anlamına gelir. Eşdeğer devre modelinde R_s , çalışma elektrodu ve referans elektrot arasında bulunan elektrolit direncini temsil etmektedir. R_s , tüm dirençlere seri olarak bağlanmıştır. R_{ox} ve CPE_{ox} yüzey oksit tabakasının direnci ve kapasitansını gösteren devre elemanlarıdır. CPE_{ox} , $CPE_{ox} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A/d$ formülüyle

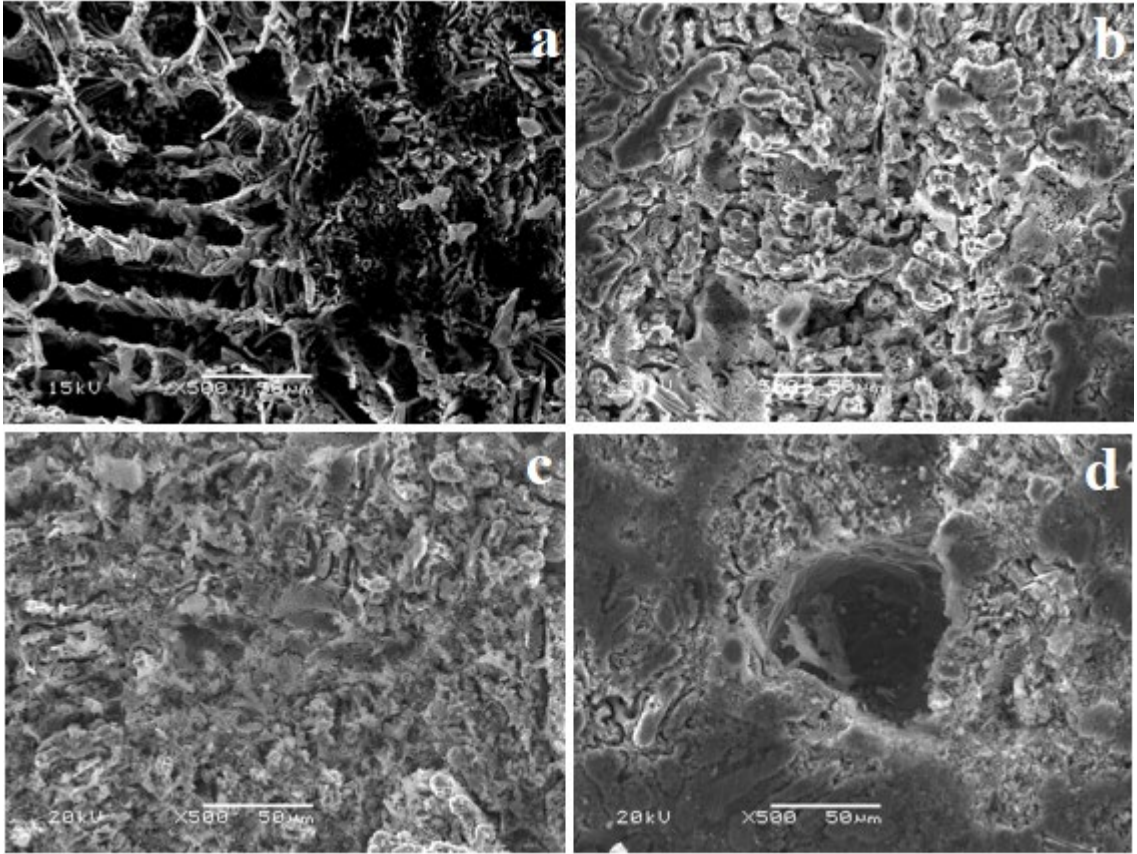
tanımlanabilir. ϵ , alüminyum oksitin dielektrik sabiti; ϵ_0 , boş alanın dielektrik sabiti ($\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}$ F/m); A, yüzey alanı; d, oksitin kalınlığıdır. Düşük R_{ox} ve yüksek CPE_{ox} değerleri ise alaşım yüzeyindeki oksit tabakasının koruyucu özelliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Her iki döküm yönteminde de Sr ilavesi ile R_{ox} değerlerinde artış gözlenmiştir. Alaşımlarda Sr varlığı oksit tabakası boyunca korozif ortamın (Cl^- iyonu) alaşım yüzeyine difüzyonunu yavaşlatıcı özelliğindedir. R_{ct} ve CPE_{dl} ise korozyon olayına ait şarj transfer reaksiyonu direncini ve elektrokimyasal çift tabaka kapasitansını temsil etmektedir. Yüksek R_{ct} ve düşük CPE_{dl} değerleri, alaşımların korozyon dayanımının yüksek olduğunu göstermektedir. Sr modifiyeli alaşımlarda elde edilen R_{ct} değerlerinin, her iki döküm yöntemiyle üretilmiş modifiyesiz A356 alaşımlarına kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kokil kalıpta 120 ppm Sr (A356-1D) ve kum kalıpta 170 ppm Sr modifiyeli (A356-2S) numunelerde en yüksek R_{ct} değerleri (sırasıyla, 5855 Ω ve 3287 Ω) elde edilmiştir. Yüksek oksit tabakası direnci ve yüksek şarj transfer direnci, Al ve klor iyonları arasındaki yavaş şarj transfer reaksiyon ile elektrolitin oksit tabakası içinden Al yüzeyine difüzyonunun zayıf olduğunu göstermektedir. Bu durum korozyon direncinin artmasının göstergesidir.

Tablo 4.3: Modifiye edilmemiş ve Sr modifiyeli A356 kum ve kokil kalıp döküm numuneleri için EIS ile elde edilen elektrokimyasal parametreler.

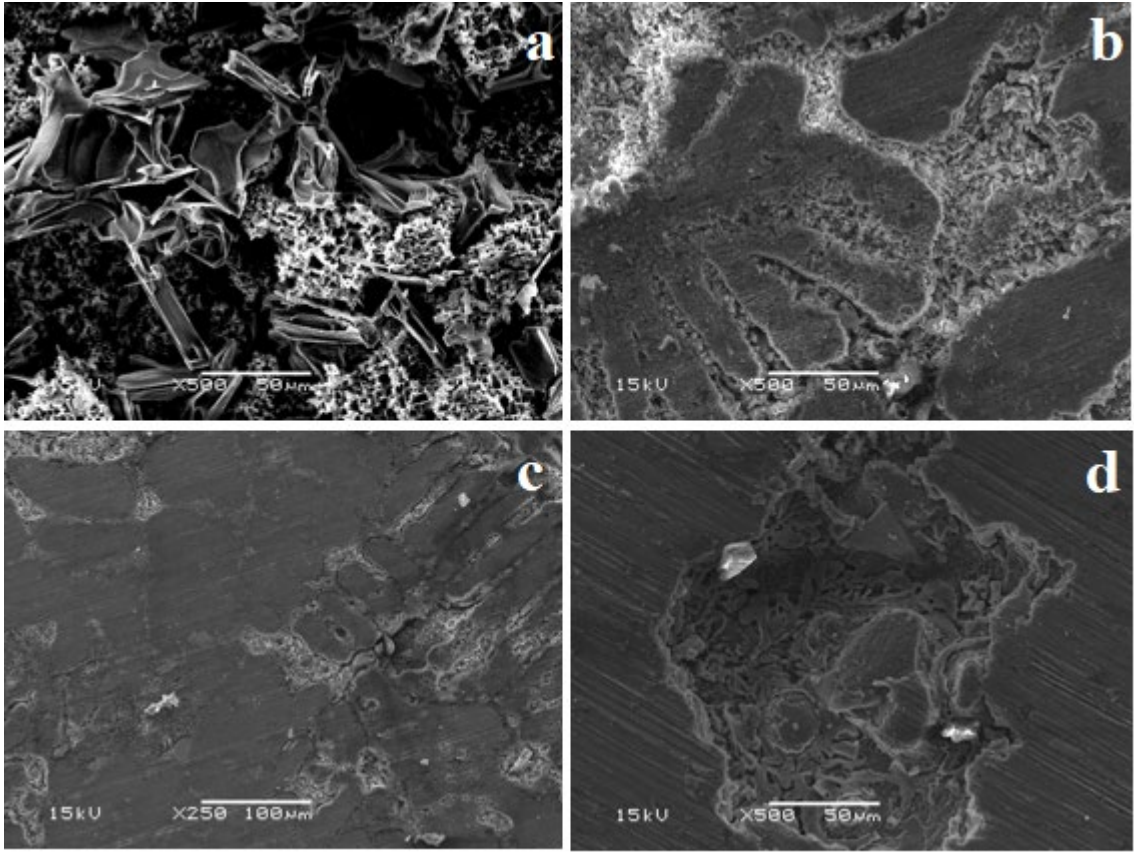
Numune	$R_{ct}(\Omega cm^2)$	$Y_0(\Omega^{-1} cm^{-2} s^n)$	n	$R_{ox}(\Omega cm^2)$	$Y_0(\Omega^{-1} cm^{-2} s^m)$	n
A356-D	464	57.9×10^{-6}	0.84	113.7	11.4×10^{-6}	0.99
A356-1D	5855	12.4×10^{-6}	0.79	478.6	6.7×10^{-6}	0.98
A356-2D	2703	17.0×10^{-6}	0.77	186.0	9.6×10^{-6}	0.98
A356-3D	3471	14.9×10^{-6}	0.77	274.2	6.9×10^{-6}	0.98
A356-S	1907	63.9×10^{-6}	0.71	4.2	14.9×10^{-6}	0.99
A356-1S	2399	6.8×10^{-6}	0.91	62.2	9.7×10^{-6}	0.97
A356-2S	3287	19.8×10^{-6}	0.88	212.2	9.4×10^{-6}	0.89
A356-3S	1668	33.8×10^{-6}	0.75	54.1	11.7×10^{-6}	0.98

4.1.4. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de kokil ve kum kalıp döküm numunelerin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Modifiyesiz alaşım numunelerinde α -dentritlerin çözündüğü, yüzey tahribatının daha çok ve Al-Si ötektik fazından oluşan bir yapıda olduğu saptanmıştır (Şekil 4.8 a). Sr ilave edildiğinde ise α -dentritlerin tam olarak çözünmediği ve yüzey tahribatının daha az olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.10: a) A356-D, b) A356-1D, c) A356-2D, (d) A356-3D korozyona uğramış kokil kalıba döküm numunelerinin SEM görüntüleri.



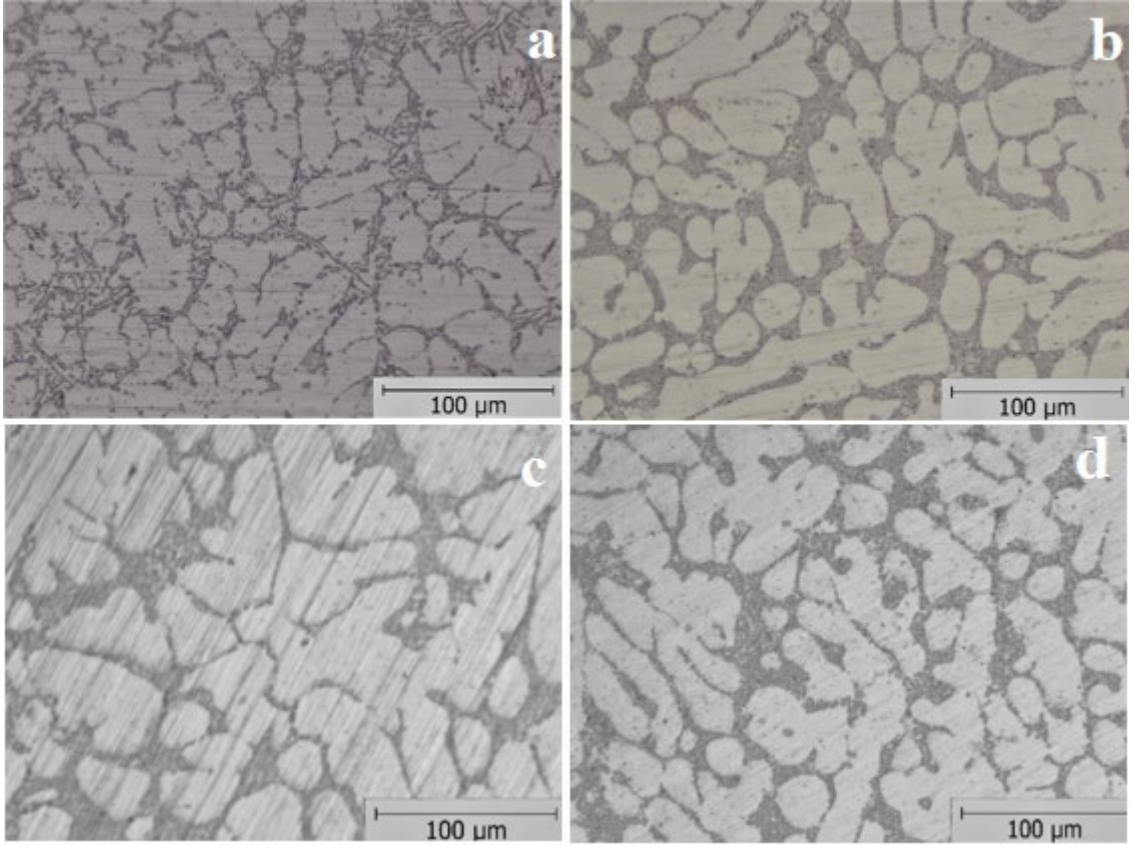
Şekil 4.11: a) A356-S, b) A356-1S ve c) A356-2S d) A356-3S korozyona uğramış kum kalıba döküm numunelerinin SEM görüntüleri.

Kum kalıp döküm numuneleri içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, modifiye edilmemiş alaşım numunelerinin korozyona uğramış yüzeylerinde dentritlerin çözündüğü ve Si'nin kaldığı belirlenmiştir. Böylece her iki döküm yönteminde de Sr ilavesiyle alaşımların korozyon direncinin arttığı saptanmıştır.

4.2. TiB/B İLAVESİNİN ETKİSİ

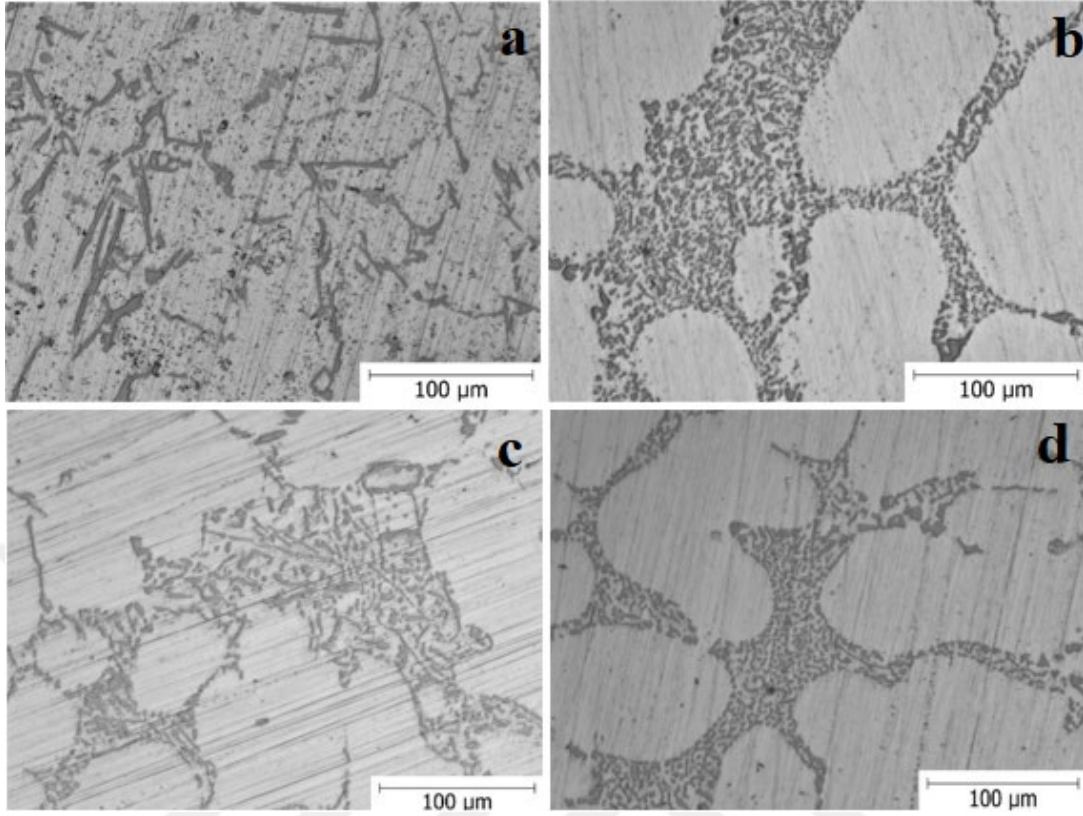
4.2.1. Metalografik incelemesi

Metalografik inceleme, kum ve kokil kalıpta AlTiB veya AlB ilavesi yapılarak döküm işlemi gerçekleştirilmiş tüm numunelerde uygulanmış olup Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de temsil eden mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.12: a) A356-D* b) A356-2D, c) A356-4D, d) A356-5D
kokil kalıp döküm numunelerinin mikroyapı görüntüleri.

Her iki döküm yönteminde modifiye edilmemiş alaşımlar kalın ve uzun Si taneciklerine sahip olduğu, 170 ppm Sr ilaveyle Si taneciklerinin incelendiği görülmektedir. Ayrıca mikroyapıda AlTiB ve AlB tane inceltme işlemi yapılmış numuneler arasında bazı farklılıklar gözlenmiştir. Tane inceltme işlemi, AlTiB ilavesi ile yapıldığında dentrit boyunun kısaldığı fakat birincil kolların uzadığı görülmüş olup AlB ilavesi ile yapıldığında ise daha küresel ve homojen bir mikroyapı elde edilmiştir.



Şekil 4.13: a) A356-S*, b) A356-2S, c) A356-4S, d) A356-5S kum kalıp döküm numunelerinin mikroyapı görüntüleri.

4.2.2. Sertlik Ölçümü

Tablo 4.4'te kokil ve kum kalıp döküm numunelerine AlTiB ve AlB ilavesi sonucu Vickers sertlik değerlerindeki değişim belirtilmiştir.

Tablo 4.4: 700°C'de kokil ve kum kalıp döküm numunelerine AlTiB ve AlB ilavesi sonucu Vickers sertlik değerleri.

Sertlik (VSD)	A356-D* A356-S*	A356-4D A356-4S	A356-5D A356-5S
Kokil Kalıp(D)	59.8	62.8	90.4
Kum Kalıp(S)	38.7	43.2	81.7

Kokil ve kum kalıpta AlB ilavesinin döküm sertliğine etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. AlTiB ilavesinin kokil kalıpta alaşım sertliğini yaklaşık 1.5 kat arttırdığı, kum kalıpta ilavesinin ise yaklaşık 2 kat arttırdığı belirlenmiştir.

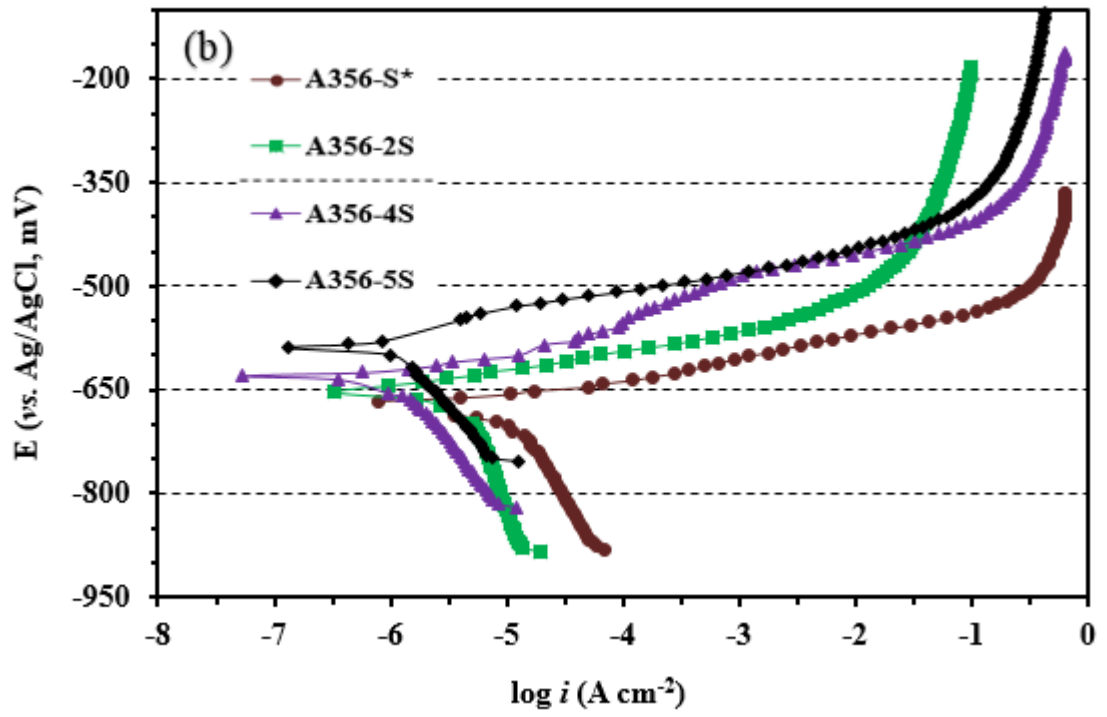
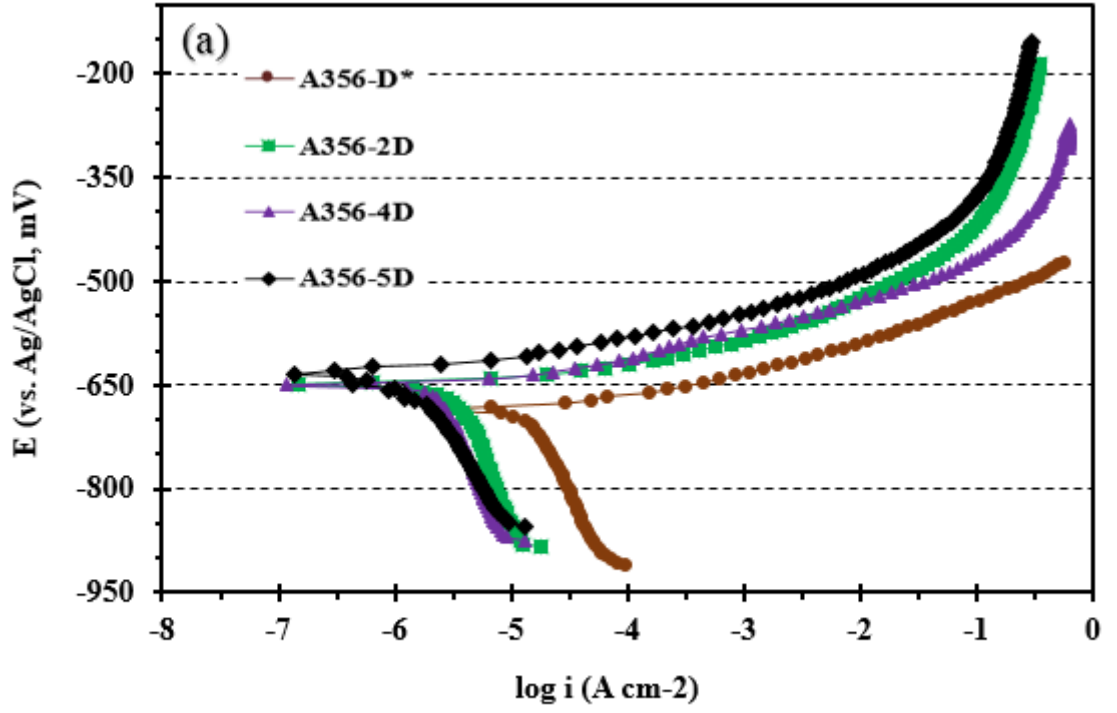
4.2.3. Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Tablo 3.3’de verilen deney koşullarına göre kokil ve kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş modifiyesiz, Sr, AlTiB ve TiB modifiyeli A356 alaşım numunelerinin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 4.14’de verilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen elektokimyasal parametreler Tablo 4.5’de verilmiştir.

Kokil kalıba döküm modifiyesiz A356 alaşımının (A356-D) i_{kor} değeri $5.82 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değeri $2.30 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızı 0.063438 mm/yıl olduğu bulunmuştur. Modifiyesiz alaşıma AIB ilavesi (A356-4D) ile i_{kor} değeri $1.80 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değeri $6.39 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızı 0.019632 mm/yıl olarak bulunmuştur. Aynı alaşıma AlTiB ilavesi sonucunda ise (A356-5D) i_{kor} değeri $0.62 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değeri $15.73 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızı 0.006785 mm/yıl olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, kum kalıba döküm modifiyesiz A356 alaşımların i_{kor} değeri $3.29 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değeri $4.25 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızı 0.035861 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Bu alaşıma AIB ilavesiyle i_{kor} değeri $0.97 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değeri $11.62 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızı 0.010625 mm/yıl iken AlTiB ilavesiyle i_{kor} değerinin $0.64 \mu\text{Acm}^{-2}$, R_p değerinin $16.42 \text{ k}\Omega$ ve korozyon hızının ise 0.006929 mm/yıl olduğu tespit edilmiştir.

Her iki döküm yöntemi ile üretilmiş A356 alaşımları arasında sırasıyla; modifiyesiz (A356-D ve A356-S), 170 ppm Sr modifiyeli (A356-2D ve A356-2S) numunelerinden, AIB ile tane inceltirilmiş (A356-4D ve A356-4S) ve AlTiB ile tane inceltirilmiş (A356-5D ve A356-5S) olan numunelere doğru korozyon direncinde artış gözlenmiştir. Her iki döküm yöntemi içinde özellikle AIB ve AlTiB ilavesinin alaşımın korozyon direncini belirgin bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir. Kokil kalıpta Sr, AlTiB ve AIB tane inceltmesi yapılmış numunelerde modifiye edilmemiş numunelere göre korozyon hızında sırasıyla % 56, 69 ve 89 düşüş gerçekleşmiştir. Kum kalıba döküm numunelerinde ise bu oran % 55, 70 ve 81 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.5’te görüldüğü gibi modifiye edilmemiş numunelerle kıyaslandığında kum kalıpta Ti ile tane inceltmesi yapılmış numunelerin (A356-5S) polarizasyon direncinde (R_p) ortalama 4 kat, kokil kalıpta yapılmış olanlarda (A356-5D) ise 7 kat artmıştır. Kokil kalıpta Ti ile tane inceltirilmiş döküm numunesinde (A356-5D) i_{kor} değeri $0.62 \mu\text{Acm}^{-2}$ iken kum kalıba döküm numunesinde (A356-5S) ise $0.64 \mu\text{Acm}^{-2}$ olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, her iki döküm yöntemi ile üretilmiş A356 alaşımlarına AlTiB ilavesinin korozyon direncini arttırdığını göstermektedir.



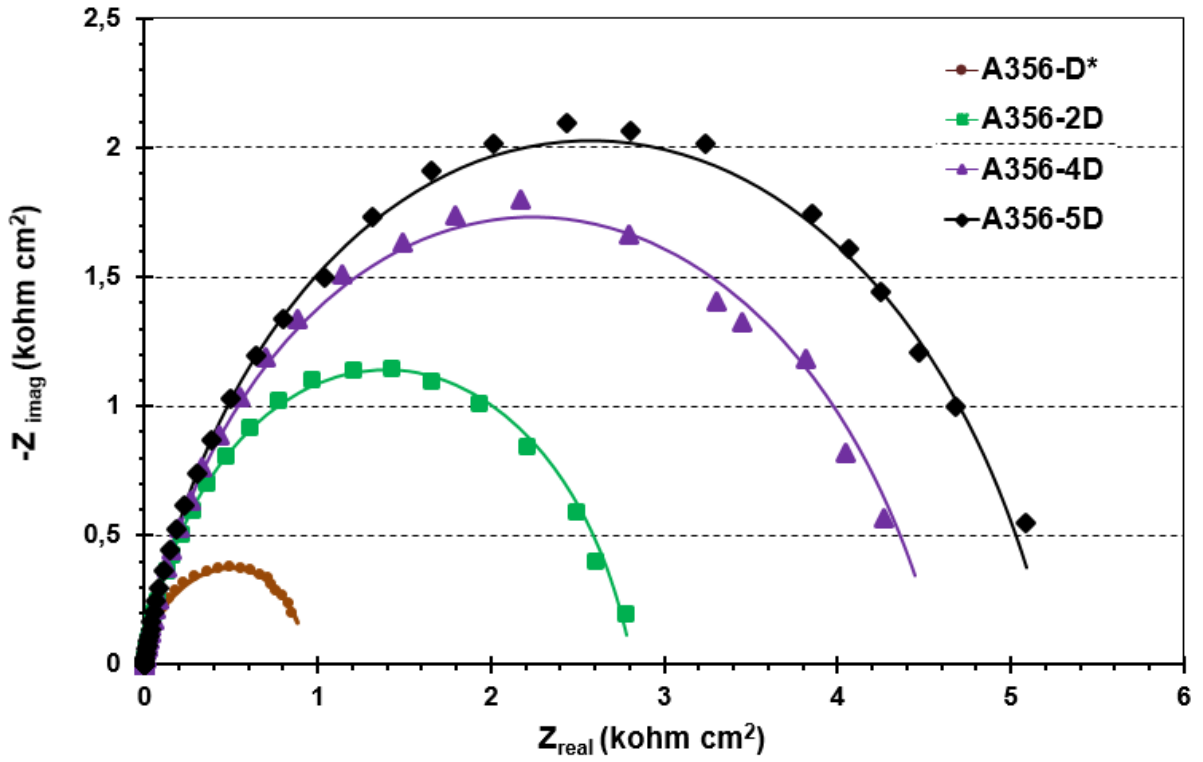
Şekil 4.14: Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ile tane inceltmiş A356 alaşım numunelerinin a) kokil kalıp döküm b) kum kalıp döküm için potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

Tablo 4.5: Şekil 4.14’de verilen potasyodinamik polarizasyon ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreler.

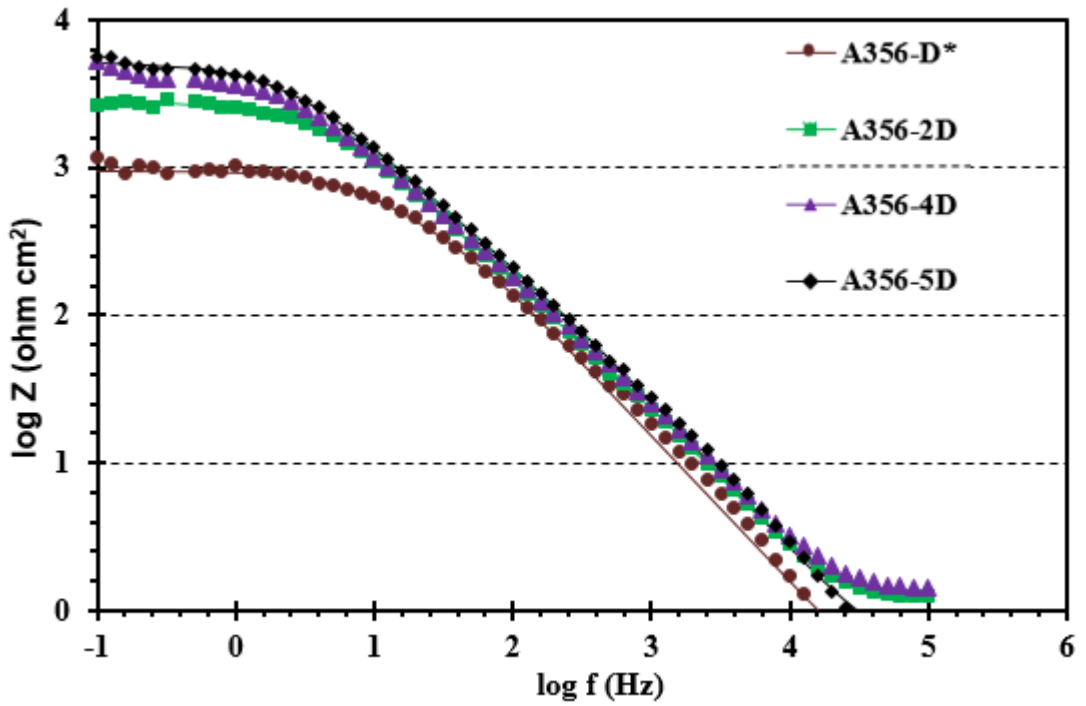
Numune		$-E_{kor}(mV)$	$i_{kor}(\mu Acm^{-2})$	$R_p(k\Omega)$	$r_{kor}(mm/yıl)$
<i>Kokil Kalıp Döküm (D)</i>	A356-D*	680	5.82	2.30	0.063438
	A356-2D	650	2.59	3.37	0.028202
	A356-4D	650	1.80	6.39	0.019632
	A356-5D	634	0.62	15.73	0.006785
<i>Kum Kalıp Döküm (S)</i>	A356-S*	675	3.29	4.25	0.035861
	A356-2S	650	1.47	6.96	0.016020
	A356-4S	630	0.97	11.62	0.010625
	A356-5S	590	0.64	16.42	0.006929

Döküm alaşımlarının korozyon davranışlarını daha iyi tanımlamak amacıyla EIS ölçümleri % 3.5’luk NaCl çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.17’de döküm numunelerine ait Nyquist, Şekil 4.16 ve Şekil 4.18’de Bode diyagramları verilmiştir. Empedans eğrileri Şekil 4.7’de verilen eşdeğer devre modeli ile modellenmiş olup elde edilen elektrokimyasal parametreler Tablo 4.6’da verilmiştir.

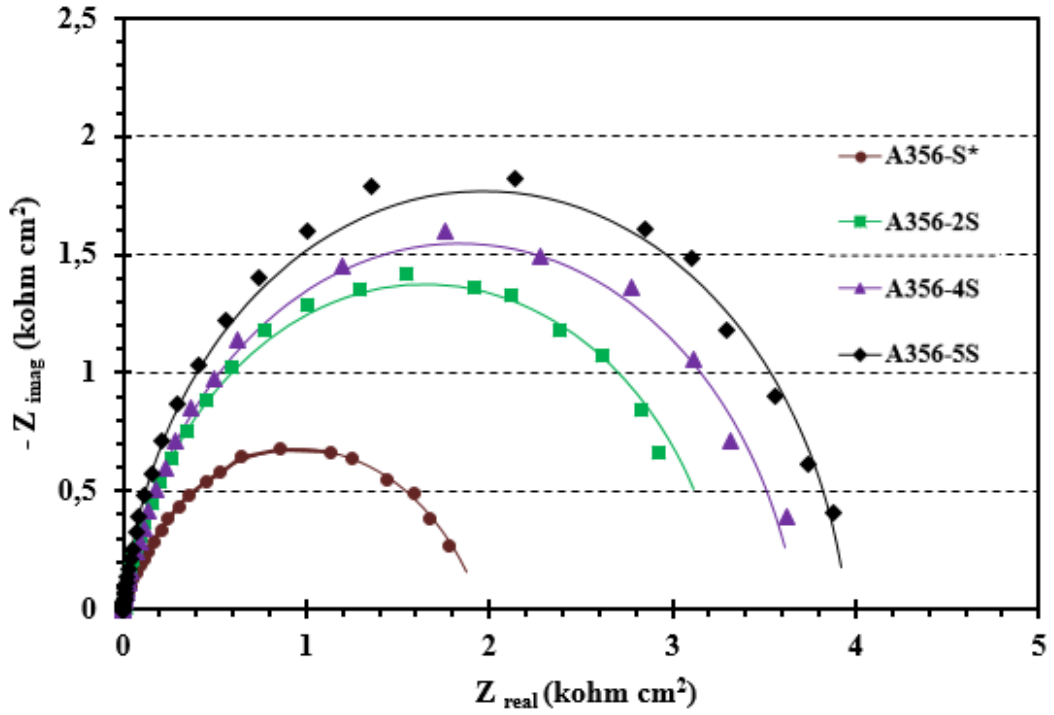
Şekil 4.15 ve Şekil 4.17’de verilen Nyquist eğrilerinde tüm kapasitif lupların şekilleri aynı iken çapları farklılık göstermektedir. Bu durum, korozyon olayının aynı mekanizma üzerinden geliştiğini ancak korozyon direncinin Sr, AlB ve AlTiB ilavesine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Her iki döküm yöntemi içinde en yüksek kapasitif lup çapları A356 alaşımına AlTiB ilavesi ile elde edilmiştir. Bode eğrilerinde düşük frekans bölgesinde görülen yüksek Z_{mod} değeri yüksek korozyon direncini işaret eder. Şekil 4.16 ve Şekil 4.18’de verilen bode diyagramları incelendiğinde en yüksek Z_{mod} değerlerinin kum ve kokil kalıp dökümlerdeki AlTiB ilavesi yapılmış A356-5D ve A356-5S numunelerinde elde edildiği belirlenmiştir.



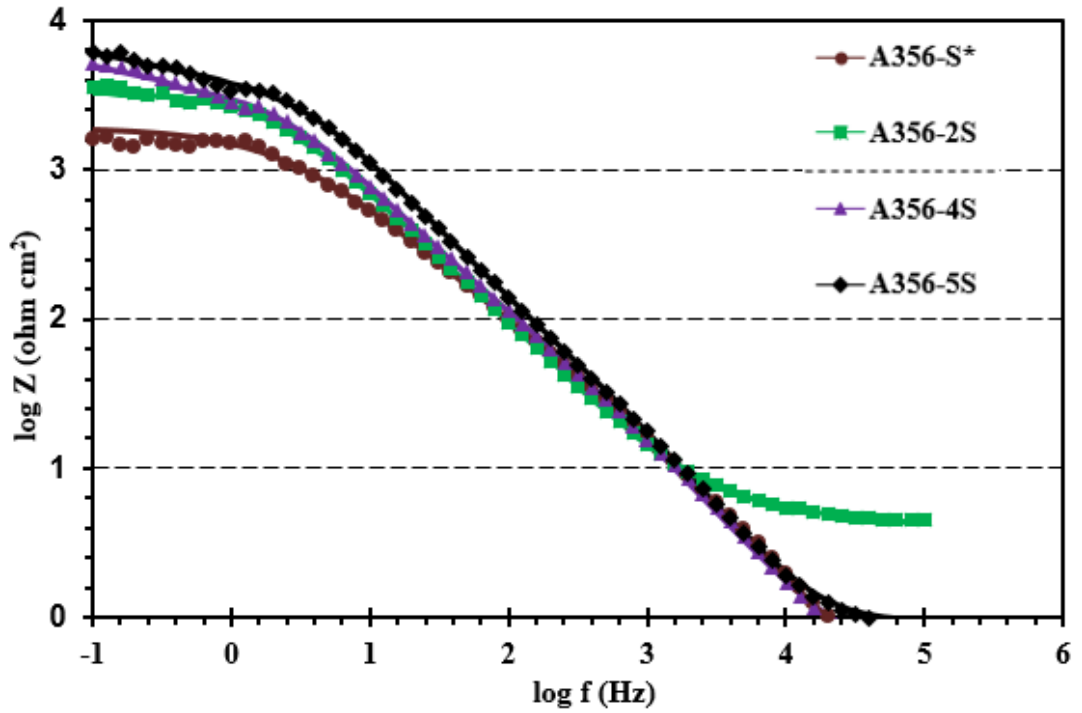
Şekil 4.15: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kokil kalıp döküm için Nyquist diyagramı.



Şekil 4.16: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AlB ve AlTiB ile tane inceltilmiş A356 alaşım numunelerinin kokil kalıp döküm için Bode diyagramı.



Şekil 4.17: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ile tane inceltirilmiş A356 alaşım numunelerinin kum kalıp döküm için Nyquist diyagramı.



Şekil 4.18: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ile tane inceltirilmiş A356 alaşım numunelerinin kum kalıp döküm için Bode diyagramı.

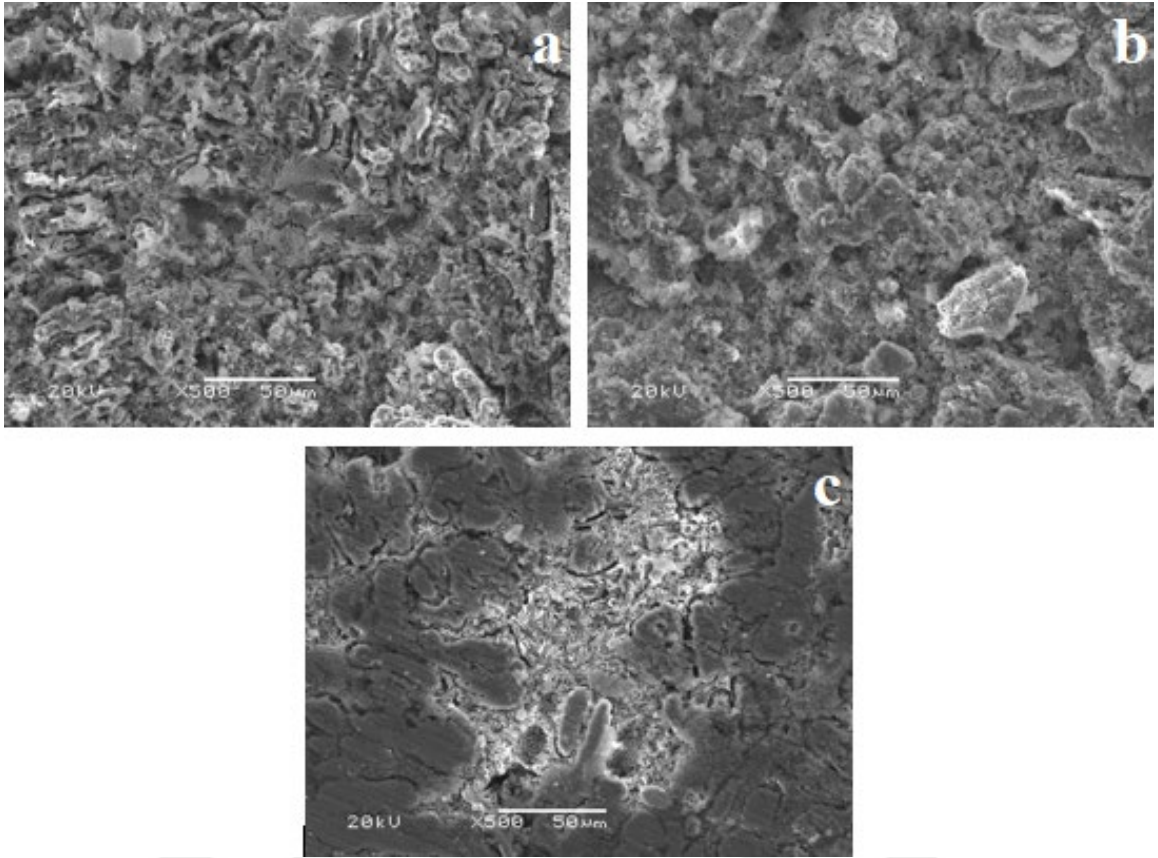
Tablo 4.6: Modifiye edilmemiş, Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ilaveli A356 kum ve kokil kalıp döküm numuneleri için EIS ile elde edilen elektrokimyasal parametreler.

Numune	$R_{ct}(\Omega\text{cm}^2)$	$Y_0(\Omega^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^n)$	n	$R_{ox}(\Omega\text{cm}^2)$	$Y_0(\Omega^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^m)$	n
A356-D*	488	64.5×10^{-6}	0.85	81.6	16.8×10^{-6}	0.99
A356-2D	2551	20.4×10^{-6}	0.79	174.7	10.6×10^{-6}	0.98
A356-4D	4501	17.9×10^{-6}	0.74	390.4	6.8×10^{-6}	0.98
A356-5D	4789	16.9×10^{-6}	0.74	469.4	5.6×10^{-6}	0.99
A356-S*	1807	66.2×10^{-6}	0.79	5.5	24.9×10^{-6}	0.99
A356-2S	3207	21.1×10^{-6}	0.89	54.1	12.2×10^{-6}	0.89
A356-4S	3671	22.7×10^{-6}	0.81	117.6	9.9×10^{-6}	0.92
A356-5S	4176	13.5×10^{-6}	0.70	387.1	9.7×10^{-6}	0.97

Her iki döküm yönteminin Sr ilavesiyle numunelerin R_{ox} değerleri artmıştır. Modifiyesiz A356 alaşımı ile kıyaslandığında AIB ve AlTiB tane incelticileri varlığında R_{ox} değerlerindeki artış daha fazladır ve buna paralel olarak CPE_{ox} değerlerinin de azaldığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, R_{ct} değeri Sr modifikasyonu, AIB ve AlTiB tane inceltici etkisi ile artmıştır. Kokil (A356-5D) ve kum kalıba (A356-5S) döküm AlTiB ilave edilmiş A356 alaşımlarında sırasıyla R_{ct} değerleri 4789 Ω ve 4176 Ω olarak bulunmuştur. Her iki döküm yöntemi içinde En yüksek R_{ox} ve R_{ct} değerleri AlTiB ilavesi sonucunda elde edilmiştir. Bu durum, her iki döküm yöntemi ile üretilmiş A356 alaşımlarına AlTiB ilavesinin korozyon direncini belirgin olarak arttırdığını göstermektedir.

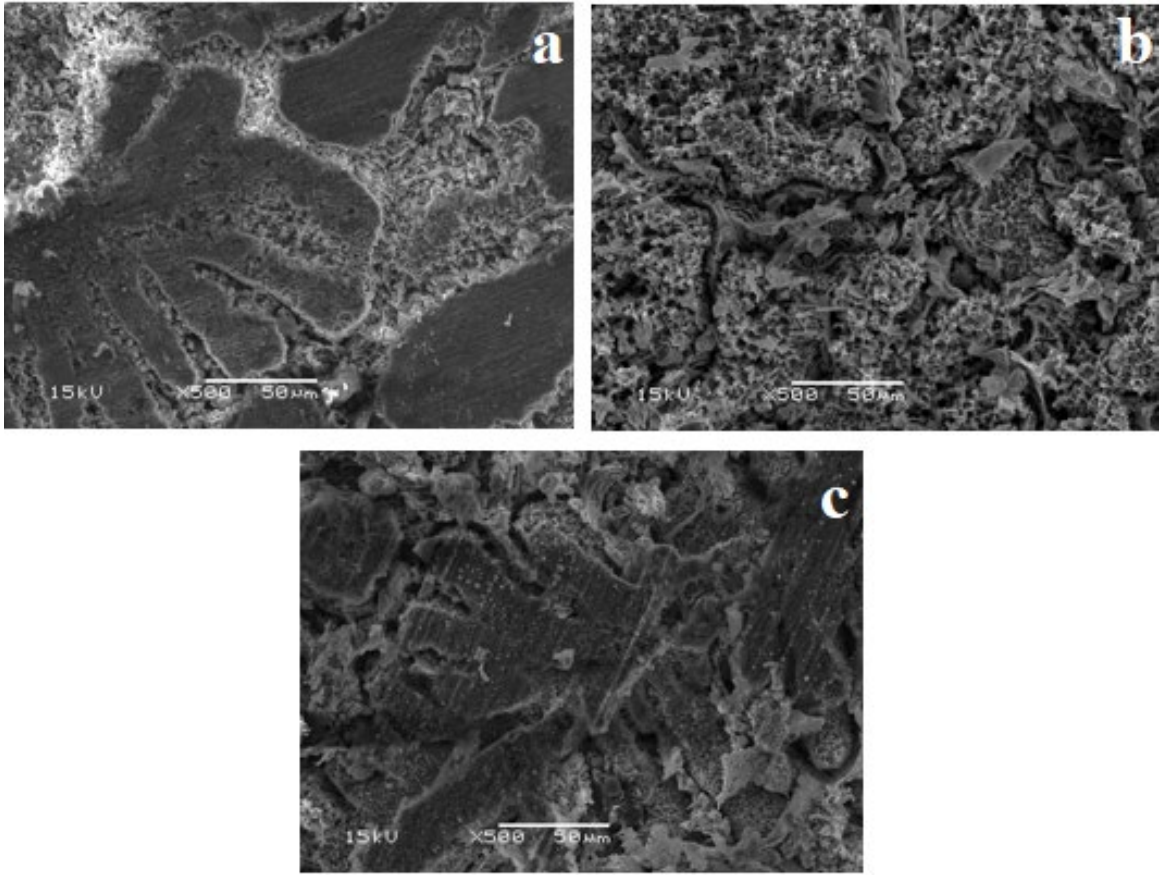
4.2.4. Korozyon Testi Sonrası SEM Analizi

Kokil ve kum kalıp dökümlerin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de görülmektedir. Kokil dökümde; 170 ppm Sr modifiyeli numunelerde (Şekil 4.19 a) sadece dentritlerin çözülmüş olarak görüldüğü, AIB ile tane inceltirilmiş numunelerde (Şekil 4.19 b) korozyona uğramış bölgenin bütün yüzeyinin çözüldüğü, AlTiB ile tane inceltirilmiş numunelerde (Şekil 4.19 c) ise çözülmüş ötektik bölgelerle birlikte hala bölgesel dentritlerin gözlemlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.19: a) A356-2D, b) A356-4D ve c) A356-5D kokil kalıp döküm numunelerin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Kum kalıba döküm numunelerinde (Şekil 4.20), kokil kalıp numunelerine benzer olarak A1B tane inceltme işlemi tamamlandığında korozyona bağlı olarak yüzeyin neredeyse tamamen tahrip olduğu, alaşım AlTiB ile tane inceltildiğinde dentritlerin çözüldüğü ve korozyona uğramış yüzeylerin üzerinde ötektik Si fazının kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.20: a) A356-2S, b) A356-4S ve c) A356-5S kum kalıp döküm numunelerinin korozyona uğramış yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Al-Si alaşımlarında ötektik bölgede Si tanecikleri katodik Al ise anodik davranış gösterir. Bu durum, bölgesel olarak galvanik hücre oluşumuna neden olarak alaşımın korozyona uğramasına neden olur. Dolayısıyla Si partiküllerinin dağılımı ve şekli korozyon olayını önemli ölçüde etkileyecektir. Kaba Si tanecikleri heterojen bir yapı oluştururken Sr, AlB ve AlTiB ilavesiyle birlikte Si tanecikleri incelmıştır. Sr Modifikasyonu ve tane inceltici varlığında daha ince olan Si tanecikleri ve oluşan homojen yapı NaCl çözeltisi içerisinde oksit tabakasının koruyucu özelliğini arttırmıştır. Kum ve kokil döküm Sr modifiyeli alaşımlarda Sr varlığıyla dentritler korozyona karşı bir direnç gösterirken, modifiye edilmemiş alaşımlarda dentritlerin kolaylıkla çözünerek korozyon olayını hızlandırdığı tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kum ve kokil kalıba döküme bağlı olarak soğuma hızındaki değişimle birlikte Sr modifikasyonu, Sr miktarı, AlTiB ve AlB tane incelticilerin A356 alaşımlarının mikroyapısı üzerine etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kokil kalıp döküm numuneleri, kum kalıp döküm numunelerine göre, soğuma hızından dolayı daha ince mikroyapıya sahiptir.
- Modifiyesiz A356 alaşımı, kaba iğnemsil silisyum fazı ile α -Al fazı içeren dendritik yapıya sahipken, Sr ilavesiyle döküm yapısı fiberli bir morfolojiye dönüşmüştür
- Sr modifikasyonu ile A356 alaşımın ötektik sıcaklığı düşerek daha iyi akışkanlık sağlanmış ve dökümün sıvı besleme özelliği artmıştır.
- Yavaş soğuma hızının Si büyümesine katkıda bulunmasından dolayı kum kalıba dökümde kokil kalıba döküme kıyasla daha belirgin bir dendritik yapı oluşmuştur.
- Tane inceltme işleminin AlTiB ile yapıldığı numunelerde, mikroyapıda dendrit boyunun kıaldığı fakat birincil kolların uzadığı görülmüştür.
- Tane inceltme işleminin AlB ile yapıldığı numunelerde ise yapı diğer döküm numunelerine oranla daha küresel ve homojendir.

Soğuma hızı ve mikroyapıları göz önünde bulundurarak Sr modifikasyonu, Sr miktarı AlTiB ve AlB tane incelticilerin A356 alaşımının korozyon özellikleri üzerine etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kum ve kokil kalıp dökümleri için modifiye edilmemiş alaşımlar, Sr modifiyeli alaşımlar ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek korozyon akım yoğunluğu değerlerine sahiptir. Kum kalıba döküm numuneleri için i_{cor} değeri $10.2 \mu A cm^{-2}$ iken kokil kalıp döküm numuneleri için bu değer $13.82 \mu A cm^{-2}$ 'dir.
- Her iki döküm yöntemi içinde Sr ilavesi ile korozyon akım yoğunluğu değerleri azalmıştır.
- Kokil kalıba döküm A356 alaşımında en düşük korozyon hızı 120 ppm Sr ilavesi (A356-1D) yapılan numunelerde görülmüştür. Bu alaşımın şarj transfer direnci (R_{ct}) Modifiye edilmemiş A356 alaşımı kıyaslandığında 13 kat daha yüksektir.

- Kum kalıp döküm numunelerinde en iyi korozyon direnci 170 ppm Sr modifiyeli (A356-2S) A356 alaşımında tespit edilmiştir. Bu alaşımın şarj transfer direnci (Rct) modifiye edilmemiş alaşım ile karşılaştırıldığında 1.7 kat daha yüksektir.
- Her iki döküm yöntemi ile üretilmiş A356 alaşımlarına AIB ve AlTiB tane inceltici ilavesi de aynı şekilde alaşımın korozyon dayanımını arttırmıştır.
- Kokil kalıba döküm A356 alaşımlarına AlTiB ilavesi alaşımın korozyon hızını 9 kat azaltırken, Kum kalıba döküm A356 alaşımlarına AlTiB ilavesi korozyon hızı 5 kat azalmıştır. A356 alaşımlarına AIB ilavesi ve Sr modifikasyonu ise her iki döküm yöntemi için alaşımın korozyon hızını sırasıyla 3 kat ve 2 kat azalmıştır.
- Modifiye edilmemiş A356 alaşımı ile kıyaslandığında AlTiB ilavesinin kum kalıp döküm numunelerinde şarj transfer direnci değerindeki artış yaklaşık 2 kat iken kokil kalıp döküm numunelerinde 10 kat'tır.
- Döküm alaşımlarının korozyon davranışı; Sr miktarına, AIB ve AlTiB tane incelticilerinin varlığına ve döküm tipine bağlı katılma hızı ile değişim göstermiştir. Her iki döküm yönteminde de modifiye edilmemiş alaşımların Sr modifiyeli, AIB ve AlTiB ilaveli alaşımlarla karşılaştırıldığında daha düşük korozyon direncine sahip olduğu tespit edilmiştir. A356 alaşımlarının korozyon direncinin Sr, AIB ve AlTiB ilavesiyle geliştirilebilir olduğu belirlenmiştir. A356 alaşımlarına AlTiB ilavesinin Sr modifikasyonu ve AIB ilavesine kıyasla korozyon dayanımını artırıcı etkisi daha yüksektir.

Tüm numunelere uygulanan sertlik testi sonuçları incelendiğinde;

- En yüksek sertlik değerleri (her iki soğuma hızında da) en iyi korozyon özelliğine sahip döküm numunelerinde ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]. Çeliksaş, M.S., Sonlu, G., Özgl, S. ve Atalay, Y. (2015). Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Mühendis ve Makine Dergisi, 56(662), 24-34.
- [2]. Ege, B., 2014, 4. Endüstri Devrimi Kapıda Mı? Bilim ve Teknik Dergisi, 558, 27-29.
- [3]. Grandfield, J.F., Eskin, D.G., Bainbridge, I.F., (2013), "Direct Chill Casting of Light Alloys.", Wiley Inc.
- [4]. Pasciak, K., Sigworth, G.K., 2001, Role of Alloy Composition in Grain Refining of 319 Alloy, AFS Transactions, Vol. 109, pp. 567-577.
- [5]. The Aluminium Association, 1988. Aluminium Statistical Review.
- [6]. Patterson, W. C. Technological Trends in the Automobile Industry and Their Impact on Aluminium Usage. 1980, Technological Forecasting and Social Change, *AFS Transactions*, 205-216.
- [7]. ASM International, 2006, ASM Handbook Volume 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International, USA.
- [8]. Handbook of Aluminium Volume 1 Physical Metallurgy and Processes, 2003.
- [9]. Car, E., 2011, Alüminyum Üretim Süreçleri, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, İstanbul, 2-15.
- [10]. Sokol'skaya, L.I., 1961, Gases in Light Metals, ed. Protheroe., London: Pergamon Press.
- [11]. Polmear, I.J., 1981. Light Metals, E. Arnold Publishers, London.
- [12]. ASM International, 2006, *ASM Handbook Volume 3, Alloy Phase Diagrams*, ASM International, USA.
- [13]. Askeland D. R., 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Çeviren: Mehmet Erdoğan, Nobel Yayınevi, Ankara, cilt 1, s. 238-245.
- [14]. Wang G., Bian X., Wang W., Zhang J., 2003, "Influence of Cu and Minor Elements on Solution Treatment of Al-Si-Cu-Mg Cast Alloys", *Materials Letter*, 57: 4083-4087.
- [15]. Aluminum and Aluminum alloys. J.R. Davis. ASM International, 2001.
- [16]. Palazzo, F., 1988. The Economics of Aluminium, Third Ed., p. 353, Roskill Information Services Ltd. London.
- [17]. Voort G.F.V., 2004, "Metallographic Techniques for Aluminum and Its Alloys", ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures, ASM International, Materials Park, USA.
- [18]. Radhakrishna, K., Seshan, S. and Seshadri, M.R., 1980. Dendrite Arm Spacing in Aluminium Alloy Casting, *AFS Transactions*, 88, 695-702.
- [19]. J.G. Kaufman, E.L. Rooy, 2004, Aluminum alloy castings: Properties, processes and Applications. ASM International.

- [20]. Gruzleski, J.E. and Closset, B.M., 1990. The Treatment of Liquid Aluminium – Silicon Alloys, American Foundrymen's Society.
- [21]. AFS Mold and Core Test Handbook. American Foundrymen's Society, 1983, 2nd Edition.
- [22]. D. Apelian. North American Die Casting Association, 2009, Alüminium Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance., Wheeling, IL, 1-68.
- [23]. Cast alüminium Alloy for High Temperature applications. J.A. Lee. Automotive Alloys, TMS (2003).
- [24]. Q.G. Wang, 2002, Microstructural Effects on the Tensile and Fracture Behavior of Aluminium Casting Alloys A356/357, Metall. Mater. Trans. A, 34, p 2003-2887.
- [25]. S.Güleç ve A.Aran, 1995, Malzeme Bilgisi I ve II (H-J. Bargel ve G.Schulze'den çeviri), İ.T.Ü. Yayını, 190, 174.
- [26]. Smith W.E., 2001, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, *Demir Dışı Alaşımlar*, Cilt 2, çeviri M.Erdoğan, Nobel Dağıtım.
- [27]. Zeytin, H. 2000, Alüminyum Alaşımları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği, Mam Mktae.
- [28]. Dai, X., Yang, X., Campbell, J. and Wood J., 2003. Effects of Runner System Design on the Mechanical Strength of Al-7Si-Mg Alloy Castings, Materials Science and Engineering A, vol. 354, p. 315-325.
- [29]. Hirsch, J., 2004, Automotive Trends in Aluminium – The European Perspective, Materials Forum, vol.28, 288.
- [30]. Dai, X., Yang, X., Campbell, J. and Wood J., 2003. Effects of Runner System Design on the Mechanical Strength of Al-7Si-Mg Alloy Castings, Materials Science and Engineering A, vol. 354, p. 315-325.
- [31]. Lumley R., 2010, “Fundamentals of Aluminium Metallurgy, 1st Edition, Production, Processing and Applications”, Application of Modern Aluminium Alloys to Aircraft, Woodhead Publishing, Cambridge.
- [32]. A.M. Samuel, H.W. Doty, S. Valtierra, and F.H. Samuel, 2014, Effect of Grain Refining and Sr-Modification Interactions on the Impact Toughness of Al-Si-Mg Cast Alloys, *Mater. Des.*, 56, p 264–273.
- [33]. K.T. Kashyap and T. Chandrashekar, 2001, Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys, *Bull. Mater. Sci.*, 24(4), p 345–353.
- [34]. P.S. Mohanty and J.E. Gruzleski, 1996, Grain Refinement Mechanisms of Hypoeutectic Al-Si Alloys, *Acta Mater.*, 44(9), p 3749–3760.
- [35]. Sigworth, G.K., Kuhn, T. A., 2007, Refinement of Aluminium Casting Alloys, AFS Transactions, Vol.115, pp.1-12.
- [36]. Onaran, K. 2003. Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 320-321.
- [37]. Erbil M., 1984. Korozyon I, Segem, Ankara, 270s.

- [38]. Reboul M., Warner T., Mayet H., Baroux B., 1997, A Ten Step Mechanism for the Pitting Corrosion of Aluminium Alloys, *Corrosion Reviews*, vol. 15, nos 3–4, p. 471–496.
- [39]. Tiryakioglu, M., Campbell, J. and Staley J. T., 2004. Evaluating Structural Integrity Of Cast Al-7% Si-Mg Alloys via Work Hardening Characteristics: 1. Concept Of Target Properties, *Materials Science and Engineering A*, vol. 368, p. 20.
- [40]. Chen, G., Du, Z. And Cheng, Y., 2012. Effect Of Mechanical Conditions On The Microstructures and Mechanical Properties of Thixoformed Al–Cu–Si–Mg Alloy, *Materials and Design*, Vol. 35, P. 774-781.
- [41]. Kori S.A., Prabhudev M.S., 2011, “Sliding Wear Characteristics Of Al–7Si–0.3Mg Alloy with Minor Additions of Copper At Elevated Temperature”, *Wear*, 271: 680–688.
- [42]. Saklakoğlu, N., Çolakoğlu, H. and Gençalp, S., 2009. Microstructural Evolution of Al4Zn3Mg Alloy Produced by SIMA Process. *Electronic Journal of Machine Technologies*, vol. 6, no. 3, p. 89-100.
- [43]. Liu, S., Zhong, Q., Zhang, Y., Liu, W., Zhang, X. and Deng, Y., 2010. Investigation Of Quench Sensitivity Of High Strength Al–Zn–Mg–Cu Alloys By Time–Temperature–Properties Diagrams, *Materials & Design*, vol. 31, no. 6, p. 3116-3120.
- [44]. Z.X. Liang, B. Ye, L. Zhang, Q.G. Wang, W.Y. Yang, and Q.D. Wang, 2013, A New High-Strength and Corrosion-Resistant Al-Si Based Casting Alloy, *Mater. Lett.*, 97, p 104–107.
- [45]. A.M. Cardinale, D. Macci, G. Luciano, E. Canepa, and P. Traverso, 2017, Thermal and Corrosion Behavior of As Cast Al-Si Alloys with Rare Earth Elements, *J. Alloys Compd.*, 695, p 2180–2189.
- [46]. Gamry Application Note, <https://www.gamry.com/application-notes/> [Ziyaret Tarihi: 6 Mart 2018].
- [47]. ASM Metals Handbook, Volume 13A. 2003. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection.
- [48]. Erbil, M., 1987. Alternatif Akım Yöntemiyle Korozyon Hızı Belirlenmesi. *Doğa*, 3:100-111.
- [49]. Erbil, M., 2004. Korozyon Hızının AC İmpedans Tekniği ile Ölçümü ve Uygulamaları. *Korozyon* 12:25-30.
- [50]. Yuan, X-Z., Song, C., Wang, H., Zhang, J., 2010, *Electrochemical Impedance Spectroscopy in PEM Fuel Cells*, Springer, New York, 978-1-84882 845-2.
- [51]. Chang, B-Y., Park, S. M., 2010, Electrochemical Impedance Spectroscopy, *Annu. Rev. Anal. Chem.*, 3, 207-29.
- [52]. Aran, A. Malzeme Bilimi Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi.
- [53]. D. Dispınar, S. Akhtar, A. Nordmark, M. Di Sabatino, and L. Arnberg, 2010, Degassing, Hydrogen and Porosity Phenomena in A356, *Mater. Sci. Eng. A*, 527(16–17), p 3719–3725.

- [54]. R. Raiszadeh, W.D. Griffiths, 2006, A Method to Study the History of a Double-Oxide Film Defect in Liquid Aluminum Alloys., *Metallurgican and Materials Transactions B*, Vol. 37, 865.
- [55]. T. Tunçay, S. Tekeli, D. Özyürek, and D. Dişpinar, 2017, Microstructure–bifilm Interaction and Its Relation with Mechanical Properties in A356, *Int. J. Cast Met. Res.*, 30(1), p 20–29.
- [56]. D. Dispınar and J. Campbell, 2011, Porosity, Hydrogen and Bifilm Content in Al Alloy Castings, *Mater. Sci. Eng. A*, 528(10–11), p 3860–3865.
- [57]. D. Dispınar and J. Campbell, 2004, Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 2: Quantification, *Int. J. Cast Met. Res.*, 17(5), p 287–294.
- [58]. Campbell J., 2003, *Castings*, Butterworths 2nd ISBN: 978-0-7506-4790-8.
- [59]. Campbell J., 2006, Entrainment Defects, *Materials Science and Technology* 22 (2), 127- 145.
- [60]. M. Timpel , N. Wanderka, R. Schlesiger, T. Yamamoto, N. Lazarev, D. Isheim, G. Schmitz, S. Matsumura, J. Banhart , 2012, The Role of Strontium in Modifying Aluminium-Silicon Alloys, *Acta Mater.*, 60, 3920-3928.
- [61]. Backerud, L., 1983, How Does a Good Grain Refiner Work?, *Light Metal Age*, pp. 6-12.
- [62]. Lu, H. T., Wang, L. C., Kung, S. K., 1981, Grain Refining in A356 Alloys, *J. Chinese Foundrymen's Association*, Vol. 29, pp. 10-18.
- [63]. Cole, G.S., Cissé, J., Kerr, H.W., Bolling, G.F., 1972, Grain Refinement in Aluminum and Aluminum Alloys, *AFS Trans*, Vol.80, pp. 211- 218.
- [64]. Sigworth, G.K., Guzowski, M. M., 1985, Grain refining of Hypo-eutectic Al-Si Alloys, *AFS Transactions*, Vol 93, pp. 907-12.
- [65]. S. Tahamtan, A. Fadavi Boostani, 2008, Quantitative Analysis of Pitting Corrosion Behavior of Thixoformed A356 Alloy in Chloride Medium Using Electrochemical Techniques, Rate-Dependent Behavior and Constitutive Model of DP600 Steel at Strain Rate from 10^{-4} to 10^3s^{-1} , issue 7, pp 2501-2505.
- [66]. R. Arrabal, B. Mingo, A. Pardo, M. Mohedano, E. Matykina, I. Rodríguez, 2013, Pitting Corrosion of Rheocast A356 Aluminium Alloy in 3.5 wt.% NaCl Solution, *Corrosion Science*, 73, pp 342-355.
- [67]. R. Arrabal, B. Mingo, A. Pardo, M. Mohedano, E. Matykina, M. C. Merino and A. Rivas, 2014, Microstructure and corrosion behaviour of A356 aluminium alloy modified with Nd, *Metaterials and Corrosion*, volume 66, issue 6, pp 535-541.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	İsmail Öztürk
Doğum Yeri	Fatih
Doğum Tarihi	03.01.1992
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 537 034 66 67
E-Posta Adresi	ozturkismail92@gmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	11.01.2019

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler
<p>Öztürk İ., Hapçi Ağaoğlu G., Erzi E., Dışınar D., Orhan G., 2018, "Corrosion Behavior of B and Ti Grain-Refined Sr-Modified A356", JOURNAL OF MATERIALS ENGINEERING AND PERFORMANCE, vol.27, pp.5197-5204.</p> <p>Öztürk İ., Hapçi Ağaoğlu G., Erzi E., Dışınar D., Orhan G., 2018, "Effects of Strontium Addition on the Microstructure and Corrosion Behavior of A356 Aluminum Alloy", JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS, vol.763, pp.384-391.</p> <p>İ.Öztürk, G. H Ağaoğlu, D. Dışınar and G. Orhan, 2017, Effect of Sr Addition on Microstructure and Corrosion Behavior of A356 Aluminum Alloys, EUROMAT 2017 Congress / European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, 17-22 September, Selanik/ Yunanistan.</p>

İ.Öztürk, G. H Ağaoğlu, D. Dişpınar and G. Orhan, 2017, Effect of B addition on the microstructures and corrosion behavior of A356 aluminum alloys, EUROMAT 2017 Congress / European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, 17-22 September, Selanik/ Yunanistan.

Öztürk İ., Hapçi Ağaoğlu G., Dişpınar D., Orhan G., 5-6 Ekim 2017, "A356 Alaşımında Katılaşma Hızı ve Sr Modifikasyonunun Mikroyapı ve Korozyon Davranışına Etkisi", 8. Alüminyum Sempozyumu, İSTANBUL, TÜRKİYE, ss.64-67.

