

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al₈Si₃Cu ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE
KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mikdat GURTARAN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al₈Si₃Cu ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE
KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mikdat GURTARAN
(171080302)**

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ULUDAĞ

TEMMUZ 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171080302 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mikdat GURTARAN ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Al₈Si₃Cu ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ULUDAĞ**

Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Deniz UZUNSOY**

Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR

İstanbul Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : **17.07.2019**

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**

Bursa Teknik Üniversitesi /...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mikdat GURTARAN

İmzası :

X

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi ile birlikte özellikle otomotiv ve uçak sanayinde kullanımı her geçen gün artan alüminyum alaşımının aşınma ve korozyon davranışı incelenmiştir. Bu süreçte öncelikle beni akademik camia için hazırlayan, bilgi ve tecrübesiyle yönlendiren, her türlü zor zamanımı anlayışla karşılayan ve bu süreçte desteklerin en büyüğüne veren ve ayrıca sahip olduğu akademik ve kişisel ahlakını bir ömür boyu kulağıma küpe edeceğim değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi sayın Muhammet ULUDAĞ'a şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca, bilgi birikiminden ziyadesiyle faydalandığım ve tezimin büyük bir kısmını oluşturan korozyon deneylerinin gerçekleştirilmesinde her türlü kolaylığı sağlayan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi sayın Mustafa KOCABAŞ ve ekibine şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca, cihaz kullanımı açısından her türlü kolaylığı sağlayan ve bana her zaman güvenen değerli hocam Prof. Dr. Deniz UZUNSOY'a teşekkürlerimi sunuyorum. Özellikle laboratuvarında cihaz kullanımı esnasında çokça kahrımı çeken ve her türlü desteği sağlayan özelde araştırma görevlileri sayın Cantekin KAYKILARLI ve Burak KÜÇÜKELYAS hocalarıma ve genel olarak BTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde görevli diğer araştırma görevlilerine çok teşekkür ediyorum. Her türlü yardımını büyük bir mütevazilikle esirgemeyen, akademik başarılarının yanı sıra sahip olduğu üstün karakteriyle öğrencilere her türlü alanda yol gösteren ve gönlümüzde taht kuran çok kıymetli Doç.Dr. sayın Derya DIŞPINAR hocama ve ekibine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Yüksek lisansım boyunca şahsıma yapmış olduğu yardımlardan çok, göstermiş olduğu kardeşliği vesilesiyle dostum Arsim OSMANİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum. Cihaz kullanımı açısından yardımlarını esirgemeyen UZMAN KAPLAMA SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Ve ayrı bir parantez açmak istediğim, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, iyi ve kötü günümde her zaman yanımda hazır bulunan, hayatımın en değerlileri olan anneme, babama ve abime teşekkürlerin en büyüğüne ediyorum.

Temmuz 2019

Mikdat GURTARAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Al ve Alaşımlarının Genel Özellikleri.....	2
2.1.1 Döküm alüminyum alaşımları	3
2.1.2 Al-Si-Cu alaşımları	5
2.1.3 Döküm hataları ve bifilm teorisi.....	6
2.1.3.1 Porozite oluşumu.....	8
2.1.3.2 Sıcak yırtılma	8
2.1.4 Döküm hatalarını azaltma yöntemleri.....	9
2.1.4.1 Yüksek kalitede ergiyik oluşturma.....	9
2.1.4.2 Yüzey türbülansının engellenmesi	11
2.2 Al Döküm Alaşımlarında Isıl İşlem	13
2.2.1 Çözeltiye alma	15
2.2.2 Su verme	16
2.2.3 Yaşlandırma	17
2.3 Al Döküm Alaşımlarının Aşınma Davranışları.....	18
2.4 Al Döküm Alaşımlarının Korozyon Davranışları	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	26
3.1 Ön Çalışma	27
3.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar	28
3.2.1 Numune hazırlamada kullanılan cihazlar	28
3.2.2 Isıl işlem için kullanılan cihazlar	31
3.2.3 Mikroyapı analizi için kullanılan cihazlar	33
3.2.4 Termal analiz için kullanılan DSC analiz cihazı	34
3.2.5 Aşınma cihazı	34
3.2.6 Korozyon cihazı.....	36
3.3 Yapılan Testler	36
3.3.1 Sertlik ölçümü.....	36
3.3.2 Mikroyapı analizi.....	37
3.3.3 DSC analizi	38
3.3.4 Aşınma testi	39
3.3.5 Korozyon testi.....	40
3.3.6 SEM analizi.....	40

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
4.1 Ön Çalışma Sonuçları.....	42
4.2 Mikroyapı Analiz Sonuçları	42
4.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları	54
4.4 DSC Sonuçları	55
4.5 Aşınma Test Sonuçları	57
4.6 Korozyon Test Sonuçları.....	66
4.7 SEM Analiz Sonuçları.....	72
4.7.1 Aşınmış yüzeylerde SEM analiz sonuçları	72
4.7.2 Korozyona uğrayan numunelerde SEM analiz sonuçları	74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
5.1 Sonuçlar.....	76
5.2 Öneriler.....	78
TEŞEKKÜR	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	86

KISALTMALAR

DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EMF	: Elektromotif Potansiyel Serisi
MERLAB	: Merkezi Laboratuvar
OCP	: Açık Devre Potansiyeli
PDP	: Potansiyodinamik Polarizasyon
RPT	: Azaltılmış Basınç Testi
SDAS	: İkincil Dendrit Kolları Arası Mesafe
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu



SEMBOLLER

E_{kor}	: Korozyon Potansiyeli
HB	: Brinell Sertlik
I_{kor}	: Korozyon Akım Yoğunluğu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Döküm Al alaşımlarının içerdiği temel alaşım element(ler)ine göre sınıflandırılması.	4
Çizelge 2.2 : Farklı sıcaklıklarda Al matriks içindeki Si ve Cu çözünürlüğü.	6
Çizelge 2.3 : Al döküm alaşımlarına uygulanan ısıt işlemler.	14
Çizelge 2.4 : Elektromotif Potansiyel Serisi (EMF veya EMK).	22
Çizelge 3.1 : Al ₈ Si ₃ Cu alaışımının kimyasal kompozisyonu.	26
Çizelge 4.1 : İkincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS - μm).	50
Çizelge 4.2 : Elektrokimyasal deney verileri.	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Küresel olarak alüminyum tüketimi; a) gelişmiş ekonomiler, b) gelişmekte olan ekonomiler.....	2
Şekil 2.2 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen primer alüminyum miktarı (ton).....	3
Şekil 2.3 : Faz diyagramı (Al-Cu-Si); a) likidus projeksiyonu, b) katı halde fazların dağılımı	5
Şekil 2.4 : Çift katlı oksit film kusuru girişi: (1) yüzey türbülansı ile bir kırılma dalgası oluşur, (2) oksit tabakalarının iki istenmeyen tarafı birbirine temas eder ve (3) çift oksit film, dökme sıvının içinde gizli bir çatlak gibi yerleşir.	7
Şekil 2.5 : Döküm esnasında türbülans oluşumu.....	7
Şekil 2.6 : Gaz giderme işleminin şematik gösterimi	10
Şekil 2.7 : Kalıba giren sıvı metal; a) düşük hız, b) kritik hız, c) yüksek hız.....	12
Şekil 2.8 : Besleyici ve yolluk tasarımı, a) basamaksız, b) keskin basamaklı, c) yuvarlaklaştırılmış basamaklı	12
Şekil 2.9 : Farklı filtre çeşitleri; a) filtre iç yapısı, b) 2 boyutlu ağ filtre, c) 3 boyutlu seramik filtre	13
Şekil 2.10 : T6 ısıtma işlem kademeleri	14
Şekil 2.11 : T6 ısıtma işlem prosesi.....	15
Şekil 2.12 : Farklı aşınma mekanizmalarının mikroskop görüntüleri; a) adhezif, b) abrasif, c) korozyon, d) yorulma.....	19
Şekil 2.13 : Yüksek saflıktaki alüminyumun yüzeyinde oluşan koruyucu oksit yapısının gösterimi	23
Şekil 3.1 : Farklı parametreler altında elde edilen numunelerin şematik gösterimi. .	26
Şekil 3.2 : Tez çalışmasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve çalışma parametrelerinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.3 : Ön çalışmanın şematik gösterimi.	28
Şekil 3.4 : Numune kesiminde kullanılan cihazlar; a) STRUERS marka kesme cihazı, b) METKOM marka kesme cihazı.....	29
Şekil 3.5 : Numune kesim sırasının şematik gösterimi.	29
Şekil 3.6 : Zımparalama ve parlatma işlemlerinin yapıldığı cihazlar; a) üniversitedeki cihaz (ATM), b) firmadaki cihaz (Metkon).	30
Şekil 3.7 : Metkon Ecopress 100 markalı bakalite alma cihazı.....	30
Şekil 3.8 : Protherm marka elektrik dirençli fırın.....	31
Şekil 3.9 : Binder markalı etüv.....	32
Şekil 3.10 : Emco test markalı brinell sertlik ölçüm cihazı.....	32
Şekil 3.11 : Optik mikroskoplar; a) clemex programı ile entegreli çalışan mikroskop, b) parlatma sonrası ilk incelemelerin yapıldığı Huvitz markalı mikroskop.....	33
Şekil 3.12 : Taramalı elektron mikroskobu.	33
Şekil 3.13 : Linseis marka DSC analiz cihazı.....	34
Şekil 3.14 : Bruker UMT 2 markalı aşınma cihazı.....	35
Şekil 3.15 : DVT markalı abrasif aşınma cihazı.....	35

Şekil 3.16 : Korozyon testi için kullanılan Gamry Interface 1010B cihazı ve deney düzeneği.	36
Şekil 4.1 : Ön çalışma sonucu elde edilen, a) sertlik değerleri, b) 3 saat çözeltiye alınmış ve 16 saat yaşlandırılmış alaşımın mikroyapı görüntüsü.	42
Şekil 4.2 : İlavesiz numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.	43
Şekil 4.3 : Sr ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.	44
Şekil 4.4 : Sr + Ti ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.	45
Şekil 4.5 : Ti ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.	46
Şekil 4.6 : B İlaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.	47
Şekil 4.7 : Sr + B ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri	48
Şekil 4.8 : İlavesiz, Sr ilaveli ve Sr+Ti ilaveli numunelerin sahip olduğu ötektik oranların gösterimi.	51
Şekil 4.9 : Ti, B ve Sr+B ilaveli numunelerin sahip olduğu ötektik oranların gösterimi.	52
Şekil 4.10 : Tüm numunelerin farklı T6 ısıtım işlem kademeleri boyunca sahip oldukları ötektik alan oranları.....	53
Şekil 4.11 : Sertlik değerleri; a) Isıtım işlemsiz, b) 3 saat çözeltiye alma sonrası, c) 3 saat çözeltiye alma ve 16 saat yaşlandırma sonrası.....	54
Şekil 4.12 : DSC analiz sonuçları; a) ilavesiz, b) Sr ilaveli, c) Sr + Ti İlaveli, d) Ti İlaveli, e) B İlaveli, f) Sr + B İlaveli.	56
Şekil 4.13 : Sürtünme Katsayısı; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.	57
Şekil 4.14 : İlavesiz alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	58
Şekil 4.15 : Sr ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	59
Şekil 4.16 : Ti ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	59
Şekil 4.17 : B ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	60
Şekil 4.18 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.....	62
Şekil 4.19 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.....	63
Şekil 4.20 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen hacim kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli	63
Şekil 4.21 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen hacim kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli	64
Şekil 4.22 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma oranları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.	64
Şekil 4.23 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma oranları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.	65
Şekil 4.24 : Abrasif aşınma test sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz numuneler, b) gaz gidermeli numuneler.....	65
Şekil 4.25 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen ilavesiz alaşım için polarizasyon eğrileri.	66
Şekil 4.26 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Sr ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.	67

Şekil 4.27 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Sr + Ti ilaveli alaşımlar için polarizasyon eğrileri.	68
Şekil 4.28 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Ti ilaveli alaşımlar için polarizasyon eğrileri.	68
Şekil 4.29 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen B ilaveli alaşımlar için polarizasyon eğrileri.	69
Şekil 4.30 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Sr + B ilaveli alaşımlar için polarizasyon eğrileri.	70
Şekil 4.31 : Farklı ilave ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen alaşımların korozyon hızları; a) gaz gidermeli, b) gaz gidermesiz.	72
Şekil 4.32 : Farklı ilave ve ısıtım işlem parametreleri altında üretilen alaşımların aşınan yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri; a) ilavesiz-ısıtım işlemsiz, b) ilavesiz ısıtım işlemlili, c) Sr ilaveli-ısıtım işlemsiz, d) Sr ilaveli-ısıtım işlemlili, e) Ti ilaveli-ısıtım işlemsiz, f) Ti ilaveli-ısıtım işlemlili, g) B ilaveli-ısıtım işlemsiz, h) B ilaveli-ısıtım işlemlili.....	73
Şekil 4.33 : Farklı ilave ve ısıtım işlem parametreleri altında üretilen alaşımların korozyona uğrayan yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri; a) ilavesiz-ısıtım işlemsiz, b) ilavesiz ısıtım işlemlili, c) Sr ilaveli-ısıtım işlemsiz, d) Sr ilaveli-ısıtım işlemlili, e) Ti ilaveli-ısıtım işlemsiz, f) Ti ilaveli-ısıtım işlemlili, g) B ilaveli-ısıtım işlemsiz, h) B ilaveli-ısıtım işlemlili.....	74

Al₈Si₃Cu ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞI VE KOROZYON DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Alüminyum ve alaşımları günümüz kritik uygulamalarının vazgeçilmez mühendislik malzemelerinden biri haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında; farklı ilave döküm parametreleri (AlSr15, AlTi5B1, Al3B, AlSr15+AlTi5B1 ve AlSr15+ Al3B ilavesi) ve gaz giderme gibi ergiyik işlem parametreleri altında üretilen Al₈Si₃Cu alaşımının aşınma ve korozyon davranışı üzerine T6 ısıtılmasının nasıl etki ettiği incelenmiştir. Çalışmanın temel konularından biri T6 ısıtılma işlemi olduğundan, bu numune için optimum mekanik sonuçların elde edileceği ısıtılma işlem parametresini belirlemek amacıyla bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen optimum ısıtılma işlem parametresi tüm test numunelerinin yarısına uygulanmıştır. Malzemelerin mikroyapısal özellikleri hakkında yorum yapabilmek ve malzemeleri daha iyi tanımak amacıyla gerekli metalografik işlemler gerçekleştirildikten sonra mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri ışığında gerekli SDAS ve ötektik alan oran değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca malzemelerin ısıtılma işlem öncesi, çözeltiye alma ve yaşlandırma sonrası termal analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel konularından biri olan aşınma testinde abrasif aşınma tekniğinden faydalanılmıştır. Deneyler, yağlı ve yağsız ortam şartları için 3 N yük ve 20 m yol parametreleri altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca aşındırma işlemi için 5 mm çapında krom ile sertleştirilmiş çelik bilye kullanılmıştır. Buna ek olarak, aşınma deneyleri yağsız ortam parametresi altında farklı bir abrasif aşınma tekniği kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Burada 30 grade zımpara kağıdı üzerinde, 10 N yük altında 30 m yol boyunca aşınma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli kısmını oluşturan korozyon deneyleri oda sıcaklığında ve karıştırma yapılmadan geleneksel 3 elektrot yöntemi ile yapılmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl, karşıt elektrot olarak grafit çubuk ve çalışma elektrotu olarak ise numuneler kullanılmıştır. Deneyler % 3,5 sodyum klorür (NaCl) çözeltisinde yapılmış, açık devre potansiyeli (OCP) verileri ve potansiyodinamik polarizasyon (PDP) eğrileri çizdirilmiştir. Korozyon akım yoğunluğu (ikor) değerleri kullanılarak korozyon hızları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al₈Si₃Cu alaşımı, sertlik, mikroyapı, T6 ısıtılma işlemi, aşınma davranışı, korozyon davranışı

EFFECT OF T6 HEAT TREATMENT ON WEAR BEHAVIOR AND CORROSION RESISTANCE IN AL8Si3CU ALLOY

SUMMARY

Aluminum and its alloys have become one of the indispensable engineering materials of today's critical applications. In this thesis; the effect of the T6 heat treatment on the wear and corrosion behavior of the Al8Si3Cu alloy produced under different additional casting parameters (addition of AlSr15, AlTi5B1, Al3B, AlSr15 + AlTi5B1 and AlSr15 + Al3B) and degassing was investigated. Since one of the main subjects of the study is T6 heat treatment, a preliminary study was carried out to determine the heat treatment parameter for which optimum mechanical results would be obtained for this sample. The optimum heat treatment parameter was applied to half of all test samples. In order to be able to comment on the microstructural properties of the materials and to get to know the materials better, the microstructural examinations were performed after the necessary metallographic processes were performed. SDAS and eutectic area ratio values were calculated thanks to microstructure examinations. In addition, thermal analyzes of the materials were performed before heat treatment, after solution treatment and after aging. One of the main subjects of the study was abrasive wear technique. The tests were carried out under 3 N load and 20 m road parameters for oily and oil free environment conditions. During the study, 5 mm diameter chrome hardened steel balls were used for the wear process. In addition, abrasion tests were carried out using a different abrasive wear technique under the oil free environment parameter. Here, under 10N load along 30 m road, abrasion process was carried out on the 30 grade abrasive paper. Corrosion tests, which constitute another important part of the study, were carried out with conventional 3 electrode method at room temperature and without mixing. Ag / AgCl was used as the reference electrode, graphite rod was used as the opposite electrode and samples were used as the working electrode. The experiments were performed in 3.5% sodium chloride (NaCl) solution, open circuit potential (OCP) data and potentiodynamic polarization (PDP) curves were plotted. Corrosion rates were calculated by using corrosion current density (I_{corr}) values.

Keywords: Al8Si3Cu alloy, hardness, microstructure, T6 heat treatment, wear behavior, corrosion behavior

1. GİRİŞ

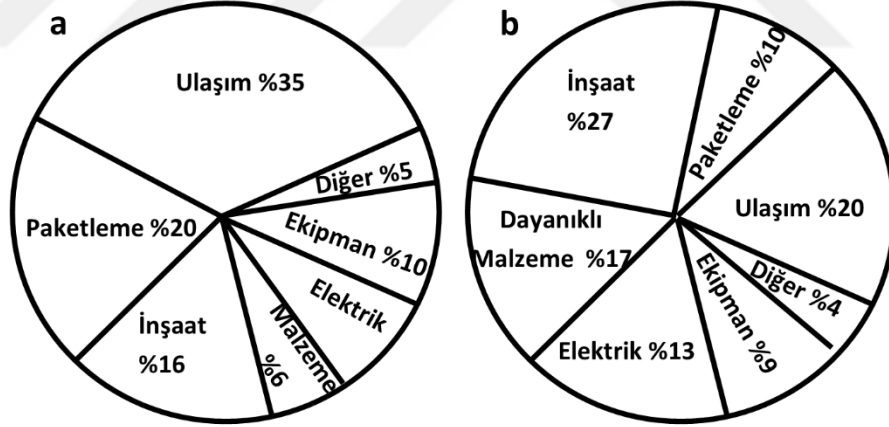
Alüminyum ve alaşımları otomotiv, uzay ve uçak sanayi gibi birçok endüstride kullanılan mühendislik malzemelerindendir. Bu malzemeler diğer birçok mühendislik malzemelere göre sahip olduğu iyi özellikler sayesinde birçok uygulama için özellikle son yıllarda daha ideal bir hal almıştır. Al ve alaşımları; kolay dökülebilirlik, işlenebilirlik, yüksek özgül dayanım, iyi korozyon direnci ve üstün ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip olduğu için çok geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir [1]. Son zamanlarda Al ve alaşımlarının sahip olduğu bu üstün özellikler geleneksel uygulamaların biraz daha dışına çıkılarak çok daha spesifik çalışmalarda bu malzemelerin kullanılabilirliğini düşündürür hale gelmiştir. Birçok mühendislik uygulamada çeliğe alternatif olarak kullanılmaktadır. Kritik uygulamalarda kullanılmak istenilen bu malzemelerin mekanik özellikleri de kullanım yerine göre geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır [2, 3]. Bu çalışma ile döküm yöntemiyle farklı parametreler altında imal edilmiş Al8Si3Cu alaşımının aşınma ve korozyon davranışları incelenmiştir. Mikroyapısal ve termal incelemeler sonucunda elde edilen bulgular ile değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, özellikle ısı işlemin malzemenin belirtilen özelliklerine nasıl etki ettiği detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Tezin amacı; alüminyum ve alaşımlarının kritik uygulamalarda kullanımının başlamasıyla birlikte bu malzemelerin mikroyapı özellikleri istenilen şekilde düzenlenmek suretiyle mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi çok önemli bir hâl almıştır. Birçok sanayi uygulamasında malzemelerin aşınma ve korozyon davranışları araştırma konusu olmuştur. Ayrıca literatür incelendiğinde farklı parametreler altında imâl edilen Al ve alaşımlarının aşınma ve korozyon davranışları üzerine çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez ile birlikte çok geniş bir çalışma yelpazesi oluşturulmuş ve farklı döküm parametreleri altında üretilmiş Al8Si3Cu alaşımında T6 ısı işleminin korozyon ve aşınma davranışları incelenmiştir. Bu çalışma ile birçok sanayi uygulamasının ihtiyaç duyduğu bilgiler tek bir çalışma ile elde edilmek istenmiş ve literatürde var olan bilgi boşluğu doldurmak amaçlanmıştır

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Al ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

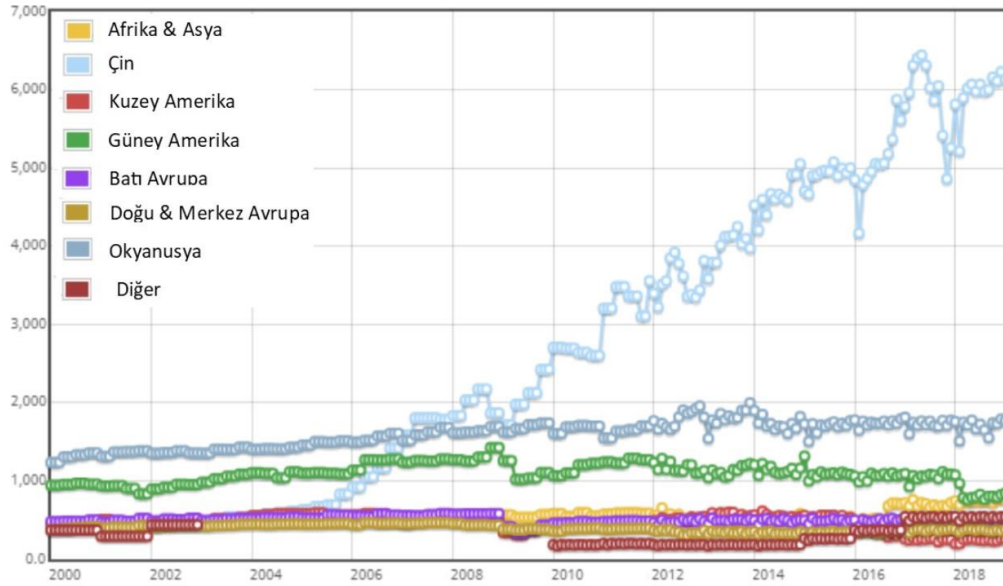
Alüminyum doğa en fazla bulunan elementler içinde üçüncü sırada yer almaktadır. Doğada saf halde bulunmayan Al boksitten elde edilmektedir. Yoğunluğu çelik, bakır ve diğer birçok sanayide yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemelerine göre çok daha düşüktür. Ancak, Al alaşımları saf alüminyuma göre 10-15 kat daha mukavemetli hal getirilebilmektedir. Al ve alaşımları yüksek korozyon direncine sahiptir, kolay bir şekilde dökülebilmekte ve işlenebilmektedir. Otomotiv, uzay, uçak, ambalaj ve tarım endüstrilerinde yaygın bir şekilde tercih edilen Al ve alaşımlarının dünya piyasasında saygın bir değere sahip olduğu ifade edilebilmektedir. Özellikle otomotiv endüstrisinde düşük özgül ağırlık özelliği kullanılarak yakıttan tasarruf sağlama amacıyla kullanımı her geçen gün artmaktadır [4].



Şekil 2.1 : Küresel olarak alüminyum tüketimi; a) gelişmiş ekonomiler, b) gelişmekte olan ekonomiler [5].

Şekil 2.1’de küresel anlamda ve farklı amaçlar doğrultusunda kullanılan alüminyumun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki kullanım alanı yüzdeleri özetlenmiştir. Şekil üzerinden de görüldüğü gibi Al paketleme, ulaşım, ekipman ve malzeme tasarımı, inşaat ve elektrik sektörleri gibi birbirinden çok bağımsız alanlarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Kullanım oranı ise ülkenin ekonomik durumuna ve ihtiyaç duyulan alana göre farklılıklar göstermektedir.

Al ve alaşımları üretimi birincil ve ikincil olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil alüminyum üretimi sonucu çok daha kullanışlı ve temiz bir metal elde edilmektedir. Alüminyum kullanımının en büyük avantajlarından bir tanesi de geri dönüşümünün yapılabilmesi olmasıdır. Sekonder üretimle alüminyumun tekrar kullanışlı bir hale getirilmesiyle hem çevresel atık oluşumunun önüne geçilmekte aynı malzemenin birçok defa kullanımı sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de primer Al’nin dünya ülkeleri tarafından farklı yıllardaki üretimi verilmiştir [6].



Şekil 2.2 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen primer alüminyum miktarı (ton)[6].

2.1.1 Döküm alüminyum alaşımları

Al ve alaşımlarını üretmekte en çok tercih edilen yöntem döküm yöntemidir [7]. Bu yöntem birçok parçanın aynı anda üretilmesi, seri imalata uygun oluşu, parça boyutunda hemen hemen hiçbir kısıtlamanın olmayışı, diğer üretim tekniklerine göre oldukça ekonomik oluşu ve oldukça yüksek maliyetli cihaz gerektirmemesi gibi özellikleri sayesinde kabul görmüştür. Alüminyum yaklaşık olarak 660 °C’de ergimektedir. Çok yüksek ergime sıcaklığına sahip olmadığından ayrıca enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Döküm Al alaşımları içerdiği alaşım elementlerine göre sınıflandırılmıştır (Çizelge 2.1) [8].

Alaşım elementleri, malzemenin yetersiz ve eksik kalan özelliklerini iyileştirmek üzere yapı içerisine dahil edilen elementler olarak tanımlanır. Bu elementler yapı

içerisinde farklı faz oluşumları vesilesiyle malzemeye istenilen özellikleri kazandırmaktadır [9].

Çizelge 2.1 : Döküm Al alaşımlarının içerdiği temel alaşım element(ler)ine göre sınıflandırılması.

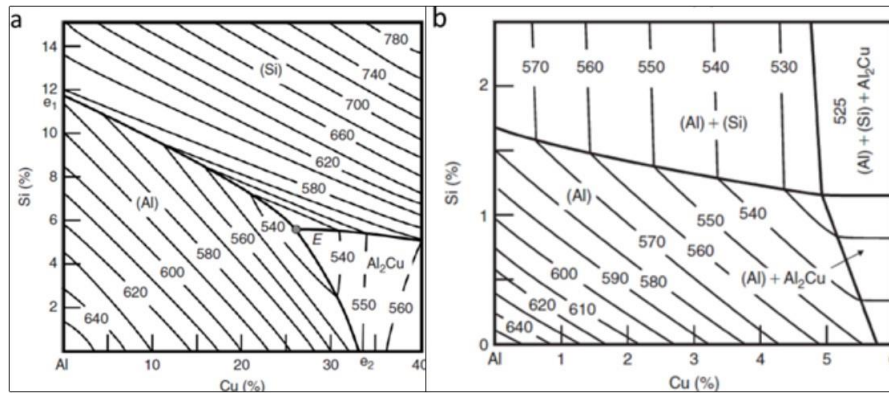
Alaşım Sınıfı	Alaşım İçeriği
1XX.X	Saf Alüminyum
2XX.X	Al-Cu Alaşımı
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Si-Mg Alaşımı
4XX.X	Al-Si Alaşımı
5XX.X	Al-Mg Alaşımı
6XX.X	Kullanılmamakta
7XX.X	Al-Zn Alaşımı
8XX.X	Al-Sn Alaşımı
9XX.X	Al-Diğer Element Alaşımları

Alüminyumun kullanım alanları göz önünde bulundurularak istenilen özellikleri elde edebilmek için alaşım elementlerinin alüminyuma nasıl etkilerde bulunduğu bilinmesi çok önemli bir husustur. Saf alüminyum; silisyum, bakır, magnezyum, çinko, kalay ve diğer birçok alaşım elementi ile alaşımlandırılabilir. Kullanılan her alaşım elementinin malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi farklıdır. Al₈Si₃Cu alaşımının major alaşım elementleri Si ve Cu'dur. Si ilavesi döküm prosesi için oldukça önemlidir. Ergiyeğin akışkanlığını artırarak sıvı metalin kalıbı çok daha iyi bir şekilde doldurulması ve bu sayede döküm kalitesinin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca ötektik ve ötektik-üstü Al-Si alaşımlarında Si ilavesi matrisi mekanik olarak mukavim hale getirmekte ve malzemeye aşınmaya karşı direnç kazandırmaktadır [10]. Bakır ise Al-Si alaşımlarında çökelme sertleşmesi ile malzeme sertliğini (aging hardening) arttırdığı için kullanılmaktadır. Bakır alaşım elementi olarak eklendiğinde malzemenin korozyon direncini, sürünme dayanımını ve kaynak edilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak mekanik özelliklere ve

işlenebilirliğe sağladığı katkıda sayesinde tercih edilmektedir. Mangan ve magnezyum alaşım elementi olarak kullanıldığında genellikle aynı etkileri göstermektedir. Bu alaşım elementleri sağladıkları yüksek mukavemet ve korozyon direnci sebebiyle kullanılmaktadır. Magnezyum malzemenin kaynak edilebilirliğini geliştirmekte ve malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmektedir. Kullanılan bir diğer alaşım elementi ise çinkodur. Zn ilavesi ile malzemenin korozyon özelliklerinde düşüş gözlenirse de özellikle 7000 serisi Al alaşımlarında mekanik özelliklere oldukça iyi etki etmektedir [11].

2.1.2 Al-Si-Cu alaşımları

Ticari amaçlı üretilen Al-Si-Cu alaşımları uzun yıllardır özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Genellikle %3-10,5 Si oranına sahip (daha yüksek de olabilir) Al alaşımlarına yine yaklaşık %1,5-4,5 oranlarında Cu ilavesiyle elde edilmektedirler. Son zamanlarda bu alaşımlar (Örn; Al6Si3,5Cu) otomotiv endüstrisi kapsamında daha önce dökme demirden üretilen motor bloğu ve silindir kafalarının üretiminde kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları özel özelliklerin istendiği yerlerde çok karmaşık bir hâl alabilmektedir. Örneğin; içten yanmalı motorlardaki pistonlar 332 (Al-12Si-1Cu-1Mg-2Ni) alaşımından üretilmektedir. Tamamen 390 (Al-17Si-4Cu-0,55Mg) alaşımından üretilmiş silindir blokları karmaşık alaşım sisteminin en güzel örneklerindendir [5].



Şekil 2.3 : Faz diyagramı (Al-Cu-Si); a) likidus projeksiyonu, b) katı halde fazların dağılımı [12].

Şekil 2.3’de Al-Cu-Si alaşımının üçlü faz diyagramı verilmiştir. Bu faz diyagramı kullanılarak düşük oranlarda demir ve magnezyum içeren Cu alaşım elementi ilaveli Al-Si alaşımlarının faz bileşimleri güvenilir bir şekilde analiz edilmektedir. Doymuş Al katı çözeltisi sadece Al₂Cu ve Si ile dengede kalabilmektedir. Üçlü ötektik (Al +

$\text{Al}_2\text{Cu} + \text{Si}$) 520 °C – 525 °C’de oluşmakta ve %26–31 Cu ile %5-6,5 Si içermektedir [12]. Ötektik sıcaklıkta (525°C) katı alüminyumdaki bakır ve silisyumun maksimum çözünürlükleri sırasıyla%4,5 Cu ve%1,1 Si’dir. Sıcaklık düştükçe Çizelge 2.2’de de görüldüğü üzere, bakır ve silisyumun alüminyumdaki çözünürlüğü de azalır [12].

Çizelge 2.2 : Farklı sıcaklıklarda Al matrisi içindeki Si ve Cu çözünürlüğü [12].

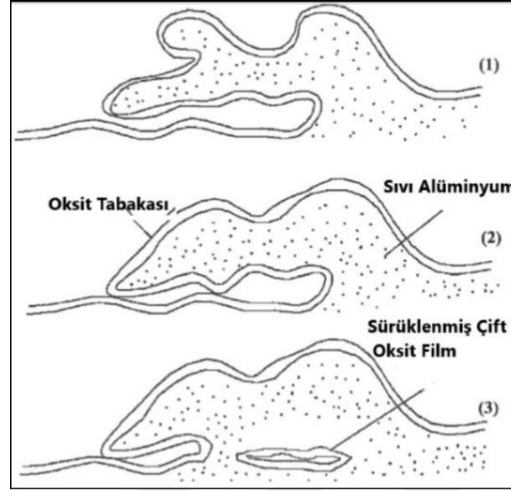
Sıcaklık (°C)	500	460	400	300
Cu (%)	4,1	3,6	1,5	0,4
Si (%)	0,85	0,6	0,25	0,1

2.1.3 Döküm hataları ve bifilm teorisi

Döküm işleminin diğer üretim yöntemlerine göre birçok üstün özelliğinin olmasının yanı sıra tercih edilmesini kısıtlayan bazı özellikleri de mevcuttur. Bunların en başında malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerini olumsuz yönde etkileyen döküm kusurları gelmektedir. Literatürde alüminyum alaşımları üzerinde görülen döküm kusurları ayrıntılı bir şekilde çalışılmış [13-17] ve hâlâ çalışılmaktadır. Döküm hataları farklı birçok sebepten meydana gelebilmektedir. Döküm hatalarının oluşumundaki en temel faktörler; yanlış besleyici ve yolluk tasarımının kullanılması, yanlış kalıplama yönteminin kullanılması, yanlış ergitme yöntemlerinin tercih edilmesi, yanlış alaşımlandırma yapılması, döküme temiz bir ingot ile başlanmaması ve çevre faktörleri şeklinde kısaca özetlenebilmektedir.

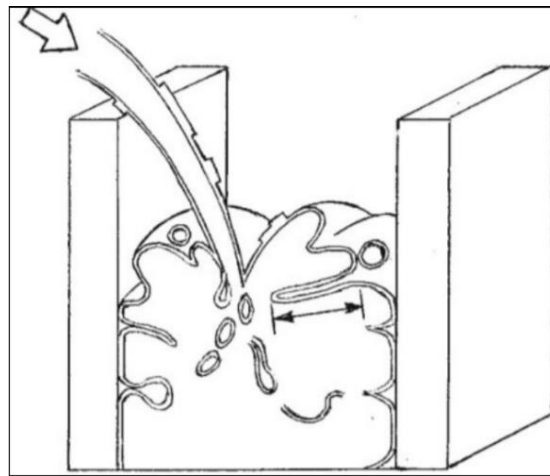
Prof. Campbell tarafından [9] (20. yüzyılın sonlarında ve 21. yüzyılın başlarında) oksit yapılarının döküm hataları üzerindeki etkisi ilk olarak araştırılmıştır. Bu araştırmalar ışığında daha önce literatürde bahsi geçen döküm kusurlarının temel nedeninin ergiyik içine bir şekilde dahil olan oksit filmler olduğu ileri sürülmüştür. O zamana kadar kabul edilmiş birçok döküm kusuru oluşum mekanizmasına yeni bir yaklaşım getiren Prof. Campbell ilk defa bifilm terimini kullanmış ve ileri sürdüğü teoriyi ‘Bifilm Teorisi’ olarak adlandırmıştır. Bifilm; ergiyik Al üzerinde oluşan koruyucu Al_2O_3 oksit tabakasının döküm esnasında türbülans oluşumunun da etkisiyle kırılıp birbiri üzerinde katlanmasıyla meydana gelmektedir. Birbiri üzerinde katlanan bu oksit

filmler (çift katlı oksit film) katılaşma ile birlikte malzeme içerisinde kalmakta ve birçok döküm kusurunu meydana getirmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Çift katlı oksit film kusuru girişi: (1) yüzey türbülansı ile bir kırılma dalgası oluşur, (2) oksit tabakalarının iki istenmeyen tarafı birbirine temas eder ve (3) çift oksit film, dökme sıvının içinde gizli bir çatlak gibi yerleşir [9].

Bifilmler old ve young bifilm olarak iki türde kategorize edilmiştir. Old bifilmler dökümde kullanılan ingottan gelen oksitlerin oluşturduğu bir yapıyı temsil ederken, young bifilmler döküm esnasındaki türbülans sonucu meydana gelmektedir. Şekil 2.5’de de görüldüğü üzere uygun döküm şartlarının (uygun kalıp, yolluk ve besleyici sistemleri) olmadığı dökümlerde türbülans oluşumu nedeniyle sıvı metal üzerinde oluşan oksit tabakası kırılmakta ve birbiri üzerinde katlanarak yapı içinde sıvı metal ile birlikte katılaşmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarında en çok rastlanılan porozite ve sıcak yırtılma gibi döküm kusurlarının temel oluşum mekanizmaları bifilm teorisine atfedilmiştir [9, 15, 18-20].



Şekil 2.5 : Döküm esnasında türbülans oluşumu [9].

2.1.3.1 Porozite oluşumu

Porozite Al döküm alaşımlarında en çok görülen ve mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki yapan döküm kusurlarından bir tanesidir. Literatürde porozite oluşum mekanizması gaz ve çekinti porozitesi olmak üzere iki alt başlıkta açıklanmıştır [21]. Hidrojen gibi atomsal boyutu küçük olan ve nüfuziyet kapasitesi yüksek olan gazın ergiyen metal içine dahil olması oldukça kolaydır. Hidrojenin ergiyik içine bu şekilde dahil olması ve katılaşma ile yapıda kalmasıyla oluşan porozite çeşidi gaz porozitesi olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca belli kesite sahip kalıba dökülmüş ergiyiğin katılaşması esnasında malzemede hacim kaybının meydana geldiği ve bu şekilde de çekinti (shrinkage) porozitesinin oluştuğu söylenmiştir.

Campbell ve Dışpınar [18] tarafından porozite oluşum mekanizmasına yeni bir yaklaşım ileri sürülerek bifilmelerin bu kusurun oluşumundaki temel neden olduğunu açıklanmıştır. Birbiri üzerinde katlanarak yapı içerisine dahil olan bu çift katlı oksit filmlerin iç basınçları nedeniyle açıldıkları ve poroziteyi oluşturdukları ifade edilmiştir. Literatürde bahsi geçen hidrojenin porozite oluşu üzerinde temel bir etkiye sahip olmadığı, sadece tetikleyici bir görev üstlendiği ifade edilmiştir. Ayrıca, Dışpınar ve Campbell [22, 23] tarafından RPT (Reduced Pressure Test) adında bir cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz sayesinde katılaşma esnasında ergiyik üzerinde negatif bir basınç oluşturulmakta ve yapıda poroziteyi oluşturan bifilm yapıları daha büyük bir şekilde elde edilmektedir. Yapılan bu işlem ile bifilm karakterizasyonu çok daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

2.1.3.2 Sıcak yırtılma

Al ve alaşımlarında en çok rastlanılan bir diğer döküm kusuru ise sıcak yırtılma. Sıcak yırtılma kusuru aşağıdaki belirsizlikleri içinde barındıran bir kusur olarak görülmektedir.

- ✓ Rastlantısal ve gelişigüzel bir şekilde oluşmaktadırlar.
- ✓ Ana yırtılma ve uzantıları taneler arasında oluşmaktadır.
- ✓ Kusur yüzeyi dentritik yapıya sahiptir.
- ✓ Kusur yüzeyi genellikle ağır oksitlerle kaplıdır.
- ✓ Genel olarak büzülmenin meydana geldiği sıcak noktalarda görülmektedir.
- ✓ Her zaman aynı koşullarda görülmemektedir.

✓ Belirli alaşımlara özeldir ve her alaşımda görülmemektedir.

Sıcak yırtılma olayı daima "aynı koşullar altında her zaman oluşmaz" olarak tanımlanmıştır. Ancak Uludağ ve ark. [19, 24] tarafından bu belirsizliğe yeni bir yaklaşım önerilmiştir: Sıcak yırtıkların oluşması için eriyik içinde çok az sayıda bifilm bulunması ve bu özel bifilm eriyiğin içinden akması ve sıcak noktada birikmesi gerekmektedir. Ayrıca yırtılmanın meydana gelmesi için bifilm sıcak nokta tarafından oluşturulan gerilme ve gerinim oranı ile hizalanmalıdır. Öte yandan eriyik kirli ise, bifilmelerin gözenek oluşturması sıcak yırtılmanın yerini alır. Yapı içerisinde çeşitli boyut ve yoğunluklara sahip parçacıkların izlenmesi, bu parçacıkların yerinin rastgele olduğunu göstermiştir ki, sıcak noktada katılaşabilen bifilmelerin yırtılmaya neden olabileceği düşünülmüştür.

2.1.4 Döküm hatalarını azaltma yöntemleri

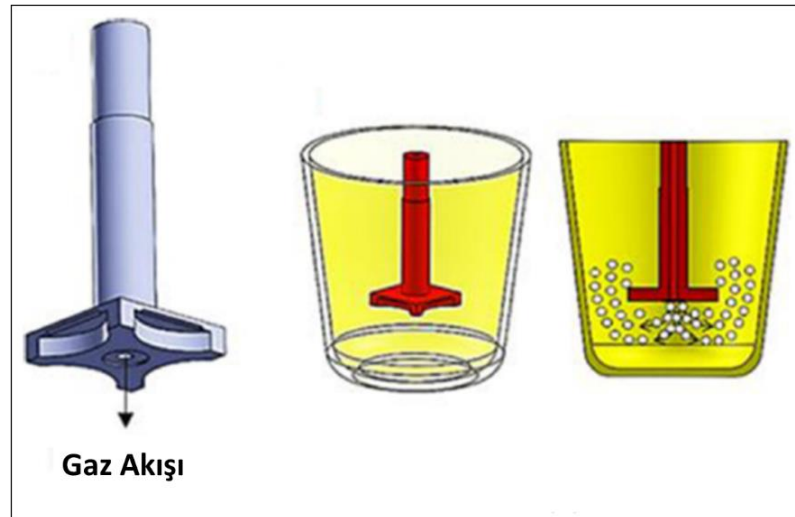
2.1.4.1 Yüksek kalitede ergiyik oluşturma

Yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzeme elde etmek için döküm hatalarının en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bunun için de yapılması gereken ilk iş yüksek kalitede bir sıvı metal oluşumunu sağlamak veya yüksek kaliteye sahip olmayan sıvı metali çıkarabildiğimiz en yüksek kaliteye çıkarmaktır. Yüksek kalitede ergiyik oluşturmak için bifilm oluşumunu engellemek veya oluşan bifilmeleri ergiyik içerisinden uzaklaştırmak gerekmektedir. Ayrıca inklüzyonlar ve bifilm açılmasını sağlayan hidrojen gibi gazların ergiyikten uzaklaştırması da döküm kalitesini arttırmaktadır [25].

Yüksek kalitede ergiyik oluşturmak için döküm öncesi ergitme işlemi kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bilindiği üzere ergitmede kullanılan ingotlar birincil ve ikincil Al olabilmektedir. İngot kalitesi barındırdığı oksit miktarına göre değişmektedir. Birincil olarak üretilen Al'nin ergitilmesiyle çok daha temiz (daha az oksitli) bir ergiyik oluşurken ikincil olarak üretilen Al'nin ergitilmesiyle oluşan ergiyik kalitesi daha düşüktür [26, 27]. Kullanılan ingotlardan gelen oksit miktarı ne kadar fazla ise ergiyikte old bifilmelerin oluşumu da o kadar fazla olmaktadır. Ayrıca ergitme işlemi için kullanılan fırın da temiz bir ergiyik için oldukça önemlidir. Fırın türü ve çalıştırıldığı ortam dökümü optimum hale getirmek üzere tercih edilmelidir [25]. Döküm işlemi oldukça dikkat ve hassasiyet gerektiren bir işlemdir. Döküm için kullanılan ekipmanlar prosesi sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilecek kadar yeterli

olması gerekmektedir. Döküm işleminde sıvı metali kalıp boşluğuna boşaltmak prosesin en önemli basamaklarından bir tanesidir. Döküm esnasında yeni oksit filmler oluşturmamak için yüzey türbülansının oluşması engellenmektedir [28, 29].

Ergiyiğe uygulanacak bazı işlemler ile döküm kalitesini arttırmak mümkündür [24, 28-33]. Bu işlemler; gaz giderme işlemi [34, 35], alaşım elementi ilavesi [31, 33, 36] ve filtrasyon [9, 28] şeklinde özetlenebilmektedir. Gaz giderme işlemi ergiyik içerisine dahil olan küçük atomlu hidrojenin ergiyikten uzaklaştırılması amaçlı yapılan bir prosestir. Bu işlem ile ergiyiğin içine daldırılan ve ergiyik ile herhangi bir tepkime vermeyen bir çubuk yardımıyla potanın alt kısmından başlamak suretiyle ergiyik ile herhangi bir tepkime vermeyen Ar gibi inert bir gaz ergiyik içerisine gönderilmektedir (Şekil 2.6) [35]. Yoğunluğu alüminyumun yoğunluğundan çok daha düşük olan bu gaz potanın üst kısmına doğru hareket etmektedir. Argon gazının bu hareketi beraberinde yapı içinde bulunan hidrojeni de potanın üst kısmına doğru taşınmasını sağlamaktadır [35]. Dıspınar ve ekibi [34] tarafından gaz giderme işleminin bifilmeler üzerinde etkili olduğu savunulmuştur. İnert gazın potanın alt kısmından üst kısmına doğru hareket ederken yapıya bir şekilde dahil olmuş oksit filmleri de beraberinde cürufa taşıdığı savunulmuştur. Bifilmelerin ergiyik içerisinden bu şekilde uzaklaştırılması ile çok daha temiz bir sıvı metal elde edilmekte ve döküm kalitesi arttırılmaktadır.



Şekil 2.6 : Gaz giderme işleminin şematik gösterimi [35].

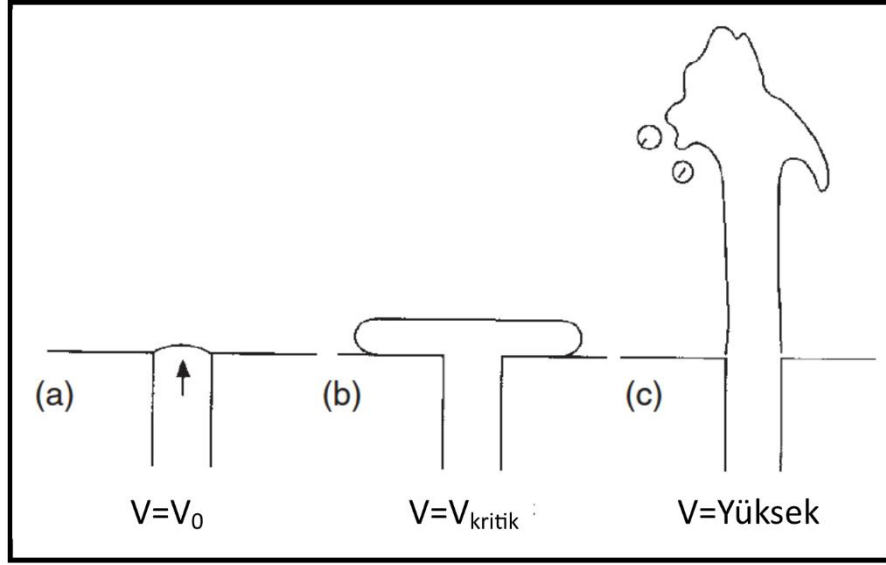
Saf malzemelerin mekanik özelliklerini özel uygulamalar için optimize etmek veya olduğundan daha iyi bir seviyeye getirmek için alaşım elementi ilavesinin gerçekleştirildiği yukarıda açıklanmıştır. Dökümde kullanılan alaşım elementleri döküm kalitesine direkt etki etmektedir. Titanyum, stronsiyum ve bor master

alaşımları şeklinde Al ergiyik içine dahil edilmektedir. Döküm alüminyum alaşımlarında Ti ve B tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Tane incelticilerin bifilm üzerine etkisi araştırmacılar tarafından çalışılmaya devam etmektedir [37]. Çünkü, Ti ve B master alaşımlarının tane inceltme işlevinin yanı sıra bifilmli ergiyikten uzaklaştırabileceği düşünülmektedir [30]. Burada temel mekanizma yoğunluğu alüminyumun yoğunluğundan daha yüksek olan B veya Ti ergiyik içine ilave edildiği zaman potanın alt kısmına doğru hareket etmesi ve bu hareket ile beraber bifilmliğin de pota dibine doğru yönlendirilmesi şeklinde açıklanmaktadır. Böylece potanın üst kısmında çok daha temiz (bifilmliğin arınmış) bir sıvı metal oluşturulmakta ve döküm kalitesi iyileştirilmektedir.

2.1.4.2 Yüzey türbülansının engellenmesi

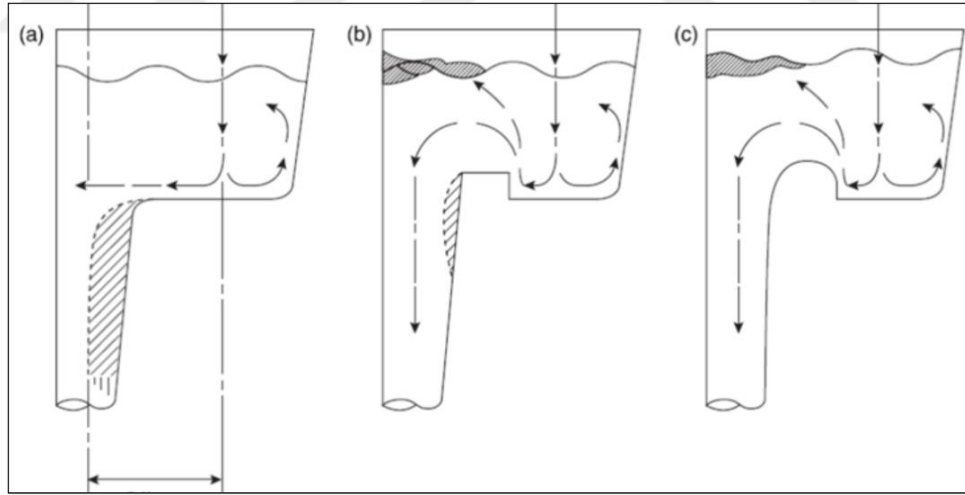
Döküm süresince yüzey türbülans oluşumunun engellenmesi çok kritik ve karmaşık bir hâl almaktadır. Yüzey türbülansı oluşumunun önüne geçmek için uygun yolluk, besleyici ve kalıp sistemleri dizayn etmek gerekmektedir. Yüzey türbülansı, yüksek sıcaklıklarda dökümü gerçekleştirilen sıvı alüminyum üzerinde oluşan koruyucu oksit tabakasının kırılıp yapıya dahil olmasına neden olan faktördür. Bu süreçte young bifilm oluşumu, eğer yüzey türbülansı engellenmezse, kaçınılmazdır [25].

Prof. Campbell [25] döküm işleminde sıvı metalin akış hızının optimum hale getirilmesi gerektiğini vurgulamış ve her metal için ayırt edici bir özellik olan ‘kritik döküm hızı’ kavramını ileri sürmüştür. Kritik döküm hızı ile birlikte sıvı metalin kalıbı türbülanssız bir şekilde dolduracağı iddia edilmiştir. Sıvı metalin kalıbı, kalıbın alt kısmından başlamak suretiyle doldurması ve kalıp boşluğuna giren sıvı metalin kalıp kenarlarına doğru eşit bir şekilde hareket etmesi (Şekil 2.7) ile bu işlemin gerçekleştirilmesi sonucu en uygun döküm parçalarının elde edilebileceği iddia edilmiştir. Kritik hızın her döküm için optimize edilmesi bifilm oluşumunu engellemek için maalesef yeterli olamamaktadır. Uygun kalıp, yolluk ve besleyici tasarımı yapmak da döküm kalitesini arttıran başka faktörlerdir. Yanlış yolluk ve besleyici sistemlerinde yapılan dökümlerde bifilm oluşumunun önüne geçmek neredeyse imkansızdır [25]. Bu nedenle yolluk ve besleyici tasarımında sıvı metal hızını kontrol altına almak ve türbülans oluşumunu engellemek için dikkatli olmak gerekmektedir. Sıvı metalin, besleyici sisteminden yolluk sistemine ve yolluk sisteminden de kalıba ulaşması belli bir düzen ve hızda olmak zorundadır.



Şekil 2.7 : Kalıba giren sıvı metal; a) düşük hız, b) kritik hız, c) yüksek hız [25].

Metalin direkt olarak kalıba değil de böyle bir düzen ile dökümünün gerçekleştirilmesi çok daha verimli sonuçlar doğurmaktadır. Besleyici tasarımında keskin köşe oluşumundan her zaman kaçınmak ve sıvı metalin yolluğa çalkantısız bir şekilde iletmek gerekmektedir. Bu nedenle farklı besleyici ve yolluk sistemleri (basamaksız, keskin basamaklı ve yuvarlaklaştırılmış basamaklı) zamanla geliştirilmiştir (Şekil 2.8).

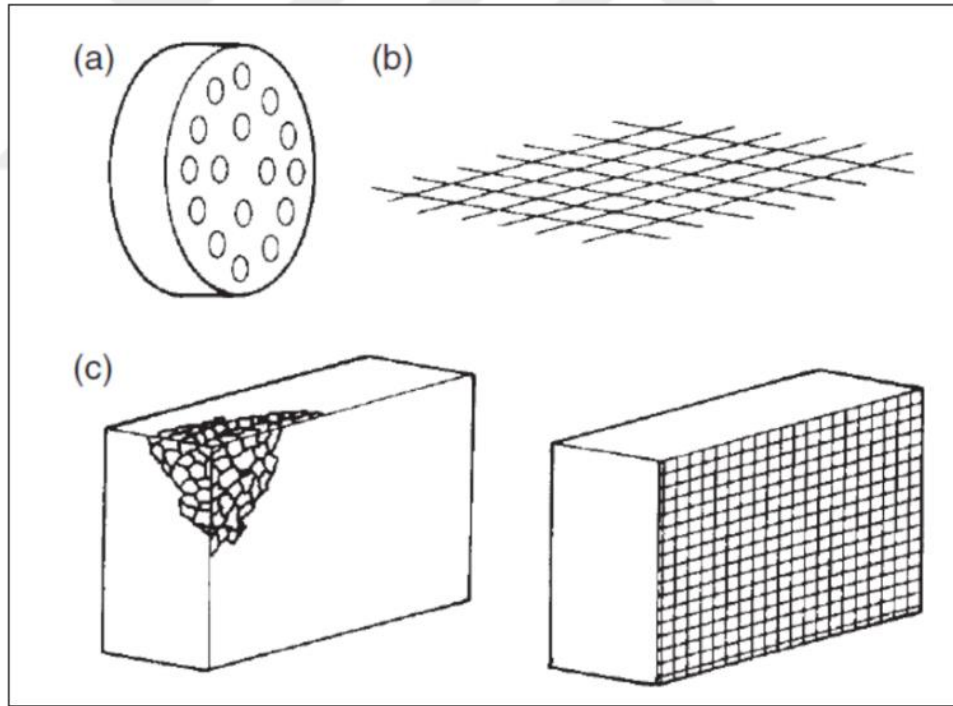


Şekil 2.8 : Besleyici ve yolluk tasarımı, a) basamaksız, b) keskin basamaklı, c) yuvarlaklaştırılmış basamaklı [25].

Şekil 2.8’de verilen besleyici sistemleri içinde basamaksız olan sistem incelendiğinde besleyiciye beslenen ergiyeğin yüzeyde çok fazla türbülans meydana getirdiği ve yolluk sisteminin neredeyse yarısına temas etmeden kalıp boşluğuna doğru ilerlediği görülmektedir. Bu şekilde bir besleyicinin Al dökümlerinde kullanımı oldukça fazla bifilm meydana getirmektedir. Yüzey türbülansını engellemek için besleyici içerisine

bir basamak yerleştirilerek Şekil 2.8b'deki sistem oluşturulmuştur. Kullanılan basamak keskin köşelere sahip olduğundan bu sistemde de çalkantılar meydana gelmiş ve yine yolluk sistemine temas etmeden kalıba ilerleyen ergiyik olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2.8c'de görülen yuvarlaklaştırılmış basamak kullanımı ile besleyici optimum hale getirilmiştir.

Temiz bir ergiyik elde etmek için sıvı metalin içinde var olan inklüzyonların kontrol altına alınması gerekmektedir. Genellikle inklüzyonlar yolluğun son kısmına entegre edilen filtreler sayesinde kontrol edilmektedir [28, 38, 39]. Filtre kullanımı inklüzyonlar ile beraber bifilmelerin de kalıba dahil olmasını engelleyebilmektedir. Ayrıca, filtre kullanımı ile döküm hızı daha iyi kontrol edilebilmekte ve kritik döküm hızı (Al için 5 m/sn) kontrol altına alınabilmektedir. Böylece, döküm esnasında young bifilm oluşumu da engellenmektedir. Sektörde kullanılan birçok farklı filtre vardır (Şekil 2.9). Filtrenin gözenek boyutu ve yapıldığı malzeme bu malzemenin en önemli karakteristikleridir.



Şekil 2.9 : Farklı filtre çeşitleri; a) filtre iç yapısı, b) 2 boyutlu ağ filtre, c) 3 boyutlu seramik filtre [25].

2.2 Al Döküm Alaşımlarında Isıl İşlem

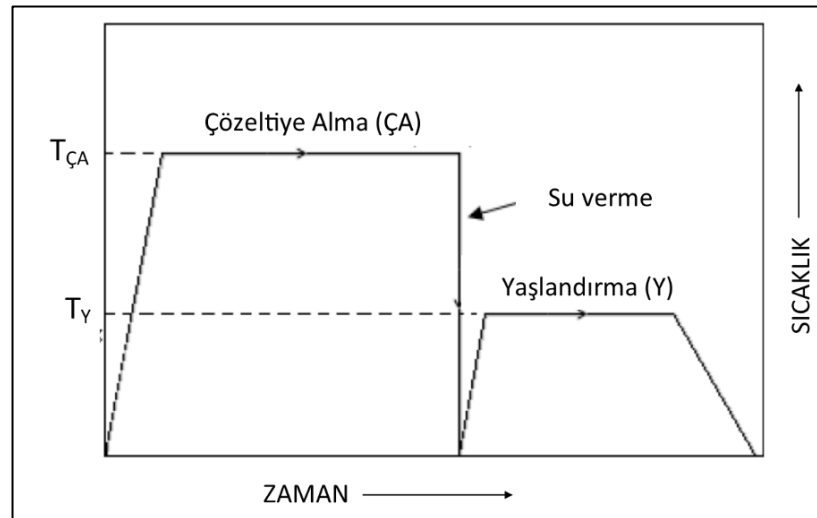
Döküm ile imâl edilen Al ve alaşımları farklı ısıl işlem tekniklerine tabi tutulabilmektedir. Malzemenin kullanılacağı yere göre ve malzemenin istenilen üstün

özelliklere göre farklı ısıtım işlem teknikleri kullanılmaktadır. Çizelge 2.3’de döküm Al alaşımlarına uygulanan ısıtım işlemleri verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Al döküm alaşımlarına uygulanan ısıtım işlemleri [40].

Isıtım İşlem	Amerika Standartları
Isıtım işlemsiz	F
Döküm sonrası yaşlandırma	T5
Tavlama	O
Su verme (+ doğal yaşlandırma)	T4
Su verme ve tamamlanmamış yapay yaşlandırma	(T6)
Su verme ve yaşlandırma	T6
Su verme ve aşırı yaşlandırma	T7

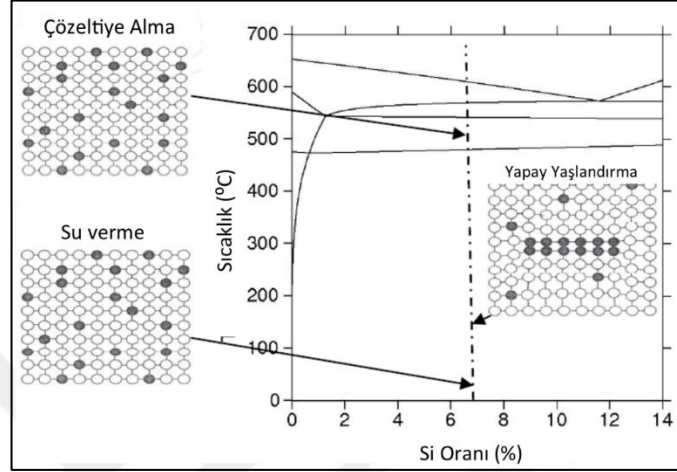
Genel olarak döküm yöntemiyle elde edilen malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için ısıtım işlemi yapılır da bazı döküm Al alaşımları için ısıtım işleminin tercih edilmediği de olmaktadır. Al ve alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmede en çok tercih edilen ısıtım işlemi T6 ısıtım işlemidir. T6 ısıtım işlemi çözeltiye alma, su verme ve yapay yaşlandırma kademelerinden meydana gelmektedir (Şekil 2.10) [82].



Şekil 2.10 : T6 ısıtım işlem kademeleri [8].

Şekil 2.11’de Al ve alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştiren T6 ısıtım işleminin temel mekanizması şematik olarak gösterilmiştir. Yapı içerisinde var olan ikincil

fazların yapı içerisine dağılmasını sağlamak için ötektik sıcaklığın hemen altında yeteri kadar uzun bir sürede çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra malzeme farklı soğutma teknikleriyle (suda, yağda veya havada) oda sıcaklığına kadar soğutulmaktadır. Daha sonra çözeltiye alma sıcaklığına nazaran çok daha düşük bir sıcaklıkta yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir [8].



Şekil 2.11 : T6 ısıtım işlemi süreci [12].

2.2.1 Çözeltiye alma

Homojen ve aşırı doymuş bir yapı elde etmek için belli sıcaklıklarda ve belli sürelerde çözeltiye alma işlemi uygulanmaktadır. Çözeltiye alma işleminden sonra malzemenin aşırı doymuş yapısını oda sıcaklığında tutmak için su verme işlemi yapılmaktadır. Al-Si-Cu alaşımlarında çözeltiye alma işlemi ile aşağıda belirtilen 3 temel mekanizma gerçekleştirilmektedir [41]:

- ✓ Malzemenin temel yapısının homojenizasyonu,
- ✓ Al_2Cu gibi intermetaliklerin çözündürülmesi,
- ✓ Ötektik silikonun morfolojisinin değiştirilmesi.

Dendritik katılaşma sonucu çözünen elementlerin sebep olduğu segregasyon malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [8]. Çözeltiye alma sıcaklığı (homojenleştirme) çözünme sıcaklığı ve dendrit kolları arası mesafe kullanılarak tayin edilmektedir. Isıl işlem uygulanabilen Cu gibi mukavemet artırıcı alaşım elementleri katı çözünürlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çözünürlük sıcaklık düştükçe önemli bir şekilde düşmektedir [8].

Silisyum yapısının boyutu ve morfolojisi malzemenin mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Silisyum yapısının taneleme ve küreselleştirme işlemi ısıtım işlemi

ile gerçekleştirilebilmektedir. F. Paray ve J. Gruzleski [42] tarafından bu işlemin (i) ötektik silisyumun parçalanması veya çözülmesi, (ii) ayrılmış Si partiküllerinin küreselleşmesi şeklinde iki kademedede yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çözeltiye alma ısı işlemi ile birlikte iğnemsî bir şekilde oluşan Si yapısı, orijinal morfolojilerini koruyan çok daha küçük parçalara ayrılmakta ve böylece ortalama tane boyutunda düşüş gözlenmektedir. Zaman ve sıcaklığın etkisiyle bu parçalar küreselleşmeye başlamaktadır.

Çözeltiye alma ısı işleminde zaman faktörü oldukça önemli bir faktördür. Çok kısa sürelerde gerçekleştirilen çözeltiye alma işlemi ile ikincil fazların çözünmemesi gibi bir durumla karşılaşma ihtimali yüksek iken, çok uzun sürelerde gerçekleştirilen bu işlem sonucunda ise gereğinden fazla enerji harcanabilmektedir [43]. Çözeltiye alma işlemi tek kademedede gerçekleştirilebildiği gibi birçok kademedede de gerçekleştirilebilmektedir. Tek kademedede gerçekleştirilen çözeltiye alma işlemi özellikle Al-Si-Cu alaşımı için yaklaşık 495-500 °C civarında yapılmaktadır. Bunun nedeni, malzemede daha yüksek sıcaklıklardan aniden oda sıcaklığına düşmesi esnasında yapıda iç gerilmelerin meydana gelme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Bununla birlikte, bakırca zengin olan fazların Al matriks içerisinde yeniden ergime riski yine bu işlemi sıcaklık konusunda sınırlandıran parametre olarak göze çarpmaktadır [44, 45]. Yapıda görülen bu yeniden ergime işlemi nihai döküm parçalarının mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir. Düşük magnezyum içerikli Al-Si-Cu alaşımları için yapılan çalışmalarda belirtilen sıcaklıkların kullanılması gerektiği vurgulanmıştır [46, 47].

2.2.2 Su verme

Su verme prosesi çözeltiye alma işleminin ardından gerçekleştirilmektedir. Bu işlem; düşük sıcaklıklarda aşırı doymuş katı çözelti elde etmek, çökelti oluşturan alaşım elementlerini ve sertleştirme elemanlarını (intermetalikler vs.) azami ölçüde katı çözelti içinde hapsetmek ve yapı içindeki boşlukları kafes içerisinde sıkıştırmak temel amaçları çerçevesinde uygulanmaktadır [48].

Su verme hızı, yüksek oranda doyumluk elde etmek için oldukça önemlidir. Al-Si döküm alaşımlarında yüksek difüzyon sonucu oluşan çökeltelerde yüksek doyumluk elde etmek için 450 °C – 200 °C aralığındaki soğuma oldukça kritiktir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda süper doyumluk değerleri çok düşükken, çok düşük sıcaklıklarda da

difüzyon oranı oldukça düşüktür. Bu nedenle yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa geçiş hızının optimize edilmesi gerekmektedir. Birçok araştırmacı 4 °C/sn.' nin su verme hızı için optimum olduğunu desteklemiştir [48-50]. Al matriks içerisinde yer alan elementlerin çözelti içinde hareketliliğini engellemek için daha yüksek bir soğutma hızının tercih edilmesi iyi sonuçlar doğurmamaktadır [48]. Yavaş soğutma ile artık gerilemelerin önüne geçilebilmektedir, ancak bölgesel sertleşme, tane sınırı azalması, korozyon eğiliminin artması ve yaşlanma işlemi için gerekli sürenin uzaması gibi birçok problem meydana gelmektedir [51]. Genellikle en iyi mekanik özellikler hızlı soğutma ile elde edilmektedir. İstenilen mikroyapıyı elde etmek ve daha küçük atomlu yapıların çökelti içinde kalmasını sağlamak için hızlı soğutma ortamları kullanılmaktadır [52]. Soğutma hızı tercih edilen soğutma ortamı ile optimize edilmektedir. Al ve alaşımlarında su verme işlemi için su ortamı (kaynayan su, soğuk su, oda sıcaklığında su vs.), yağ ortamı ve hava ortamı gibi birçok farklı soğutma ortamı kullanılmaktadır. Suda soğutma en çok tercih edilen tekniktir, ancak sonuç olarak en çok problemin (termal şok, çatlama vs.) karşılaşıldığı teknik de yine bu tekniktir.

2.2.3 Yaşlandırma

Yaşlandırma işlemi, çökeltme sertleşmesi ısıl işlem prosesinin son basamağını oluşturmaktadır. Bu işlem ile mukavemetin iyileştirilmesi özellikle Al ve alaşımlarında oldukça fazla tercih edilmektedir. Yaşlanma süresinin ve sıcaklığının kontrolü ile çok çeşitli mekanik özellikler elde edilmektedir. Bu proses ile malzemenin çekme dayanımı geliştirilebilmekte, artık gerilmeler giderilebilmekte ve mikroyapı stabilize edilebilmektedir. Yaşlandırma işlemi oda sıcaklığında doğal bir şekilde yapılabileceği gibi 90 ile 260 °C arasındaki sıcaklıklarda yapay olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Doğal yaşlandırma ile malzeme özelliklerinin optimum hale getirmek çok daha uzun bir süre gerektirmektedir. Bu nedenle yapay yaşlandırma işlemi daha çok tercih edilmektedir[8].

Çözeltiye alma ve su verme işleminden sonra matris yüksek doygunluğa sahiptir. Çökelti difüzyon etkisi ile zamanla büyümekte ve Ostwald olgunlaşmasına göre büyümeye devam etmektedir [53]. Belirtilen her kademe malzemenin kimyasal kompozisyonuna, daha önce yapılan çözeltiye alma ve su verme işlemine ve yapay yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak farklılıklar doğurmaktadır [8]. Yaşlandırma ile

malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştiği 1906 yılında Ardel [54] tarafından bulunmuştur. Oda sıcaklığında magnezyum, bakır ve diğer elementlerden bir miktar içeren Al alaşımının belli süre bekletilmesi ile sertliğinde artış olduğu araştırmacı tarafından görülmüştür. Daha sonra mekanizmayı anlamaya ve geliştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [55, 56].

Al-Si-Cu alaşımlarında çökelme sertleşmesi ile malzeme mukavemetinin iyileştirilmesi atomsal boyutta oluşan Al_2Cu partikülleriyle alakalıdır. Al_2Cu partiküllerinin meydana gelmesi için sistemin sahip olduğu faz diyagramında kısmi çözünürlüğün olması gerekmektedir. Kısmi çözünürlük ile uygun sıcaklıklarda Al matris içinde kısmen yerleşen Cu atomlarının Al atomları ile bağlanması sağlanmakta ve oluşan bileşiğin mukavemet arttırıcı olarak çökmesi sağlanmaktadır [57, 58].

2.3 Al Döküm Alaşımlarının Aşınma Davranışları

Farklı endüstrilerde çok farklı uygulamalarda kullanılan Al ve alaşımlarından çoğu zaman yüksek aşınma özellikleri beklenmektedir [59]. Dinamik veya statik birçok uygulamada özgül dayanımının düşük olması sebebiyle Al kullanımı arttırılmaya çalışılmaktadır. Al ve alaşımlarının aşınma davranışlarını etkileyen en önemli parametreler, inklüzyonlar, alaşım elementi ilavesi, ısıtım işlem ve yapıda oluşan intermetaliklerdir.

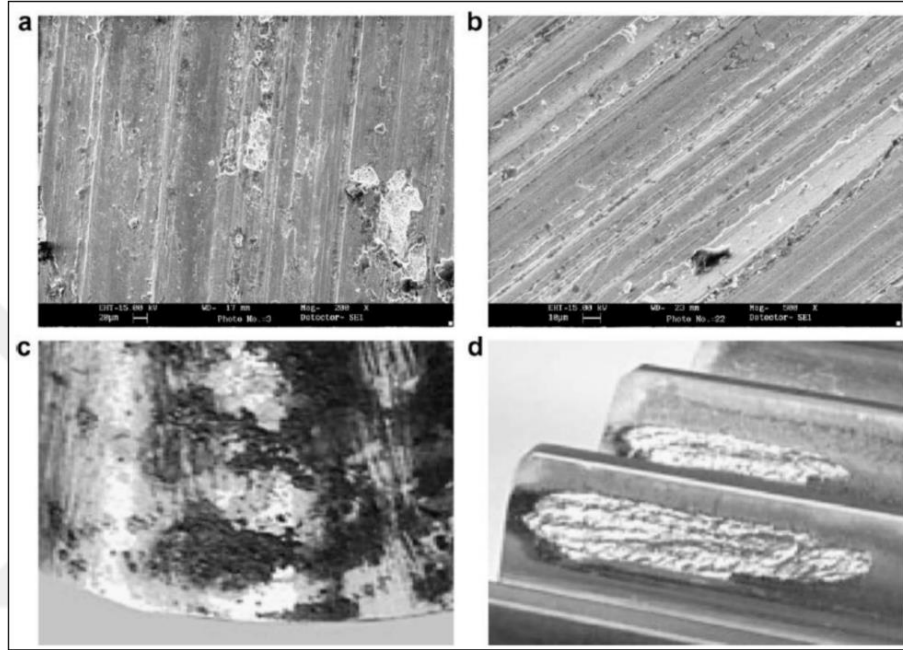
Aşınma, bir malzemenin belli etkiler sonucu yüzeyinde meydana gelen kısmi kütle azalması şeklinde tanımlanmaktadır. Malzemelerin yüzey özelliklerinin ve kimyasal kompozisyonlarının detaylı bir şekilde bilinmesiyle birlikte aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılacağı ifade edilmiştir [60]. Malzemelerin aşınma davranışlarını ele alan temel mekanizmalar aşağıda verilmiştir:

- ✓ Hafif aşınma: Delaminasyon ve oksidasyon.
- ✓ Şiddetli: Adhezif, yayıngan ve abrasif.
- ✓ Sürtme: Adhezif ve yayıngan.
- ✓ Kazınma: Abrasif.
- ✓ Oyulma: Yorgunluk ve dış saldırı.

Malzeme yüzey özelliklerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak aşınma türleri farklı başlıklar altında incelenebilmektedir. Mohammeda J. ve ekibi [61] malzemelerin

aşınma özelliklerini farklı mekanizmalar için (adhezif, abrasif, korozif ve yorulma aşınması) açıklamıştır.

Adhezif aşınma (Şekil 2.12a) iki farklı düz yüzeyin birbiri üzerinde kayma hareketi sonucu gerçekleşmektedir. Bağıl hareket tek veya iki yönlü olabilmektedir. Malzeme yüzeyinden gelen aşınma ile küçük boyutta parçalar oluşmakta ve iki yüzey arasında kalan bu parçaların yüzeylere yapışması ile malzemenin aşınması desteklenmektedir.



Şekil 2.12 : Farklı aşınma mekanizmalarının mikrograf görüntüleri; a) adhezif, b) abrasif, c) korozif, d) yorulma [60].

Abrasif aşınma (Şekil 2.12b) sert bir aşındırıcının kendisine göre daha yumuşak bir malzeme üzerindeki etkisi sonucu meydana gelmektedir. Bu yöntem aşınma sistemleri içinde en bilinen tür olarak ön plana çıkmaktadır. Bir diğer önemli aşınma çeşidi de korozif aşınmadır (Şekil 2.12c). Korozif aşınma, aşınmanın herhangi bir korozif ortamda gerçekleşmesi sonucu oluşmaktadır. Aşınmanın olmadığı malzeme yüzeyinde korozif etkiler sebebiyle koruyucu oksit yapılar oluşmaktadır. Aşınma hareketi ile yüzeylerde herhangi bir şekilde yapışma özelliği göstermeyen alüminyum oksit (Al_2O_3) ve krom oksit (Cr_2O_3) oluşmakta ve bu sayede malzemelerin aşınma davranışları iyileşebilmektedir. Malzeme aşınması maruz kaldığı sürekli yük ile de oluşabilmekte ve bu mekanizma yorulma aşınması şeklinde açıklanmaktadır (Şekil 2.12d). Malzemenin maruz kaldığı dinamik yüklenme ve bu yükün boşalması sonucu malzeme yüzeyinde veya yüzeye yakın bölgelerde büyük fragmentler meydana gelmekte ve sonuç olarak malzemede çatlaklar oluşabilmektedir [60].

Al ve alaşımlarının aşınma direncini iyileştirmek için farklı çalışmalar yapılmıştır [62, 63]. Bu alaşımların aşınma davranışları alaşım elementi ilavesi ve uygulanan farklı ısıtım teknikleri ile optimize edilmeye çalışılmıştır [64]. M. S. Prabhudeva ve ark. [65] tarafından A356 alaşımının aşınma davranışına Cu ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Elde ettikleri bilgilere göre Cu ilavesi bu alaşımın kuru ortamdaki aşınma davranışını iyileştirmiştir. G. Rajaram ve ark. [66] tarafından Al-Si alaşımlarının aşınma davranışlarını yüksek sıcaklıklarda ele alınmış ve artan sıcaklık ile birlikte malzemenin aşınma davranışında kötüleşmenin meydana geldiği ifade edilmiştir. A. Mandal ve ark. [67] tarafından A356-TiB₂ kompozitlerinin aşınma davranışları kuru ortam için araştırılmıştır. Çalışmada test parçaları T6 ısıtım işlemine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak TiB₂ miktarının malzemenin aşınma davranışını iyileştirdiği açıklanmıştır. A.B. Gurcan ve T.N. Baker [68] tarafından AA6061 alaşımının ve kompozitinin T6 ısıtım işlem koşulu altında pi-on-disk yöntemi kullanılarak aşınma davranışları test edilmiştir. Sonuç olarak %60 oranında SiC ilavesi ile elde edilen kompozitin aşınma davranışının en yüksek seviyede olduğu ifade edilmiştir. Hekmat-Ardakan, A. ve ark. [69] tarafından A390 alaşımının aşınma davranışı farklı Mg oranları altında incelenmiştir. Çalışmada abrasif korozyon davranışı test edilmiş ve T6 ısıtım işlemi aşınma testi öncesinde test parçalarına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ötektik Si morfolojisi ilave edilen Mg oranına göre daha küçük formlarda elde edilmiş, ayrıca artan Mg oranıyla birlikte matriks içerisinde Mg₂Si partiküllerinin oluşumu sağlanmış ve bu sayede malzemenin aşınma davranışında iyileşmeler görülmüştür. Lashgari, H. R. ve ark. [70] tarafından A356-%10B₄C döküm kompozitinde T6 ısıtım işleminin aşınma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. T6 ısıtım işlemi 540 °C’de 5 saat süreyle çözeltiye alma, sıcak suda su verme ve 170 °C’de 8 saat süreyle yapay yaşlandırma parametreleri altında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile, yapıya B₄C bağlanmasının T6 ısıtım işlemi ile daha etkili olduğu söylenmiştir. Matrikse bağlanan bu yapı ile malzeme daha sert bir şekilde oluşmuş ve bu dam malzemenin aşınma davranışına olumlu bir şekilde yansımıştır. Yang, Ching-Yi ve ark. [71] tarafından A357 alaşımında Sr ve Sb modifikasyonunun malzemenin aşınma davranışı özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yine T6 ısıtım işlemi test öncesine numunelere uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre Sr ve Sb modifikasyonu ile malzemenin aşınma davranışında iyileşme görülmüştür. Chandrashekharaiyah, T. M., ve S. A. Kori [31] tarafından Al-Si alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinin malzemenin aşınma davranışına nasıl etki ettiği incelenmiştir. Çalışmada

Al-1Ti-3B master alaşımı α -Al tanelerini inceltme amaçlı tane inceltici olarak kullanılırken Al-10Sr master alaşımı ötektik Si morfolojisini modifiye edici olarak tercih edilmiştir. Sonuç olarak tane inceltici ve modifiye edici master alaşımlarının ilavesinden alaşımın aşınma davranışının olumlu yönde etkilendiği ifade edilmiştir. Rao, AK Prasada ve ark. [32] tarafından ötektik altı Al alaşımında (Al7Si) tane inceltici ilavesinin malzemenin aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiş tane inceltici olarak 4 farklı master alaşımı (Al-1Ti-3B, Al-3Ti, Al-3B ve Al-5Ti-1B) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda malzemenin aşınma davranışının kullanılan farklı master alaşımlarına bağlı olmadığı, sadece dendrit kolları arası mesafenin bu davranışa etki ettiği açıklanmıştır. Tane inceltici ilavesi ile dendrit kolları arası mesafe küçülmüş, α -Al yapısı daha küçük elde edilmiş ve bu da malzemenin aşınma davranışını iyileştirmiştir. Basavakumar, K. G. ve ark. [36] tarafından Al-7Si ve Al-7Si-2,5Cu döküm alaşımlarının modifikasyon ve tane inceltme gibi ergiyik işlemlerinden sonra aşınma davranışları incelenmiştir. Çalışma ile ergiyik işlemlerinin malzemenin mekanik özellikleri üzerinde ne kadar önemli bir etki oluşturduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak sadece tane inceltici, sadece modifiye edici veya aynı anda tane inceltici ve modifiye edici ilavesi ile bu alaşımların aşınma davranışlarının iyileştirilebileceği açıklanmıştır. Kori, S. A., ve T. M. Chandrashekharaiyah [72] tarafından ötektik altı ve ötektik Al alaşımlarının (Al-0.2, 2, 3, 4, 5, 7 ve 12Si) aşınma davranışları üzerine tane inceltici ve modifiye edici ilavelerinin etkileri incelenmiştir. Test sonuçlarına göre farklı kompozisyonlara sahip tüm alaşımlar için tane inceltici ve/veya modifiye edici master alaşımlarının ilavesi ile aşınma özelliklerinin arttığı belirtilmiştir.

2.4 Al Döküm Alaşımlarının Korozyon Davranışları

Korozyonu; bir malzemenin görünümünün ve mekanik özelliklerinin atmosfer, deniz suyu, çeşitli çözeltiler veya organik ortamlar gibi saldırgan ortamlarda yavaş, aşamalı veya hızlı bir şekilde bozulmaya uğraması şeklinde tanımlanmak mümkündür [73]. Bir malzemenin korozyon davranışının belirlenmesi ortam ve malzeme farklılıklarından dolayı oldukça zor bir süreçtir.

Metallerin korozyon özellikleri redüksiyon olarak yazılan reaksiyonların hidrojen referans elektrotu kullanılarak ölçülen standart potansiyellere göre en yüksek pozitiften (en soy) en düşük negatife (en aktif) doğru sıralanarak elde edilen “elektromotor kuvvet serisi” (Çizelge 2.4) sayesinde yorumlanabilmektedir. Bu seriye

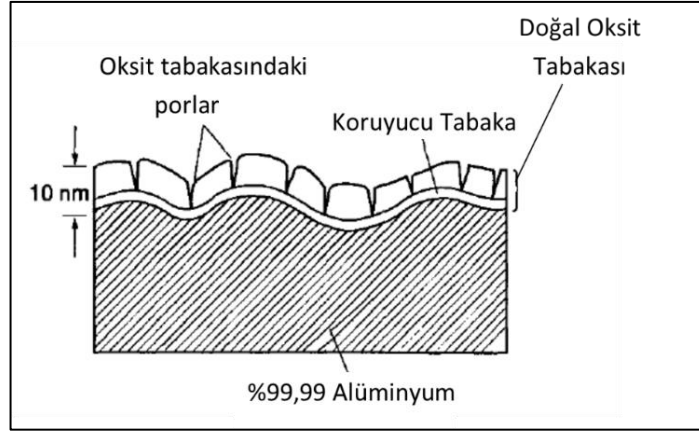
EMF ya da EMK serisi denir. Bu seriye göre tablonun üst kısmında bulunan metaller ile daha alt kısmında bulunan bir metal aynı ortamda bulunduğu takdirde üstte bulunan metalde redüksiyon oluşurken altta bulunan (aktif olan metal) metal korozyona uğramaktadır. Çizelge 2.4'ten de görüldüğü gibi Al termodinamik olarak aktif bir metaldir. Ancak birçok malzemeye göre çok daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu kolaylıkla söylenebilmektedir. Alüminyum bu özelliğini yüzeyine kuvvetlice bağlanmış olan doğal ve koruyucu oksit tabakasının varlığına borçludur (Şekil 2.13). EMF serisine göre endüstride kullanılan metalleri tam olarak temsil edemediğinden dolayı galvanik seriler günümüzdeki uygulamalarda daha yaygın kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyinde oluşan bu ince (yaklaşık 5-10 nm) oksit film bazı işlemler sonucunda hasar görse bile tekrardan oluşarak malzemeyi korumaya devam etmektedir. Filmin kendi kendini tamir edemeyecek koşulda hasar görmesi sonucu malzemede korozyon oluşumu hızlanmaktadır [73-76].

Çizelge 2.4 : Elektromotif Potansiyel Serisi (EMF veya EMK) [77].

Elektrot Reaksiyonu	Standart Elektrot Potansiyeli
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Au}$	+1.420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$	+0.340
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$	0.000
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$	-0.440
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Al}$	-1.662
$\text{K}^+ + \text{e}^- = \text{K}$	-2.924

Her malzemede olduğu gibi Al ve alaşımlarında da malzemenin kimyasal yapısı ve içeriği ile malzemenin çalıştığı ortam, malzemenin korozyon özelliklerini belirleyen en temel unsurlardır. Al ve alaşımları günümüz şartlarında atmosfer ortamında, toprak altı uygulamalarında ve deniz suyu altındaki uygulamalarda kullanılabilmektedir. Farklı uygulamalarda kullanımı her geçen gün daha da artan bu malzemelerin saldırgan ortamlara karşı korozyon dirençlerinin arttırılması büyük önem arz etmektedir. Döküm ile elde edilen Al ve alaşımlarının korozyon özelliklerini

iyileştirmek için alaşım elementi ilavesi gibi farklı yöntemlerin çalışması hâlâ devam etmektedir.



Şekil 2.13 : Yüksek saflıktaki alüminyumun yüzeyinde oluşan koruyucu oksit yapısının gösterimi [77].

Al ve alaşımlarında en çok rastlanılan korozyon türlerinden bir tanesi çukurcuk korozyonudur [78-82]. Al ve alaşımlarında çukurcuk korozyonu 4 farklı çukurcuk oluşum mekanizmasına sahiptir [82]:

- ✓ Pasif film üzerinde oluşan çukurcuk,
- ✓ Pasif film içinde oluşan çukurcuk,
- ✓ Kritik çukurlanma potansiyelinin altında kısa bir süre için başlayan ve büyüyen çukurcuk,
- ✓ Belirli bir potansiyelin üzerinde oluşan kararlı çukurcuk.

Al ve alaşımlarının üzerinde oluşan pasif filmler yarı iletken özellik sergilemektedir [83]. Malzemenin çukurluluk oluşumuna karşı duyarlılığı pasif filmin elektronik özelliklerine bağlıdır. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit filmin içerdiği hata miktarı ne kadar düşükse oyuklanmaya karşı gösterdiği direnç o kadar yüksektir [33, 82].

Literatürde Al ve alaşımlarının korozyon davranışlarının açıklanmaya çalışıldığı çalışmalar mevcuttur [11, 33, 84, 85]. Öztürk ve ark. [11] tarafından Sr modifikasyonu yapılmış A356 döküm alaşımlarında mikroyapı özellikleri ve korozyon davranışları arasındaki bağlantı araştırılmış ve korozyon davranışının belirlenmesinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve potansiyodinamik polarizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda artan Sr miktarının malzemenin korozyon davranışını iyileştirdiği ifade edilmiştir. Uludağ ve ark. [33] tarafından yine A356 döküm alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinin korozyon

davranışları üzerine etkisi potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre en düşük korozyon hızı ilavesiz test numunelerinde meydana gelirken gaz giderme işleminin ilave parametreler üzerinde korozyon olayı açısından bir etki oluşturmadığı söylenmiştir. Osorio W.R. ve ark. [86] tarafından ötektik altı Al alaşımında dendrit arası mesafe ile malzemenin korozyon özellikleri arasında bir ilişki aranmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dendrit kolları arasındaki mesafe arttıkça korozyon hızı artmaktadır. Yine Osorio W.R. ve ark. [84] tarafından Al9Si alaşımında mikroyapı özelliklerinin, ısıtılma işleminin ve ötektik modifikasyon işleminin korozyon özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Korozyon davranışı elektrokimyasal empedans testi ve 0,5 M NaCl çözeltide ve oda sıcaklığında çizilen Tafel eğrileri sayesinde elde edilmiştir. Bu çalışmada ötektik modifikasyonu ile malzemenin korozyon özelliklerinde düşüş görülse de T4 ısıtılma işlemi ile korozyon özelliklerinin telafi edildiği bildirilmiştir. Kucera V. ve D. Vojtech [85] Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının üstün korozyon özelliklerine sahip olduğu ancak lokalize şekilde oluşan oyuk korozyonu oluşumuna karşı müsait bir malzeme olduğu söylemiştir. Yaptıkları güncel bir çalışmada AA 7075 alaşımında T5 ve T6 ısıtılma işleminin korozyon davranışları üzerindeki etkisi incelenmiş, en yüksek korozyon hızı T5 ısıtılma işlemi görmüş malzemede oluşmuş ve T6 ısıtılma işleminin lokalize olan korozyona karşı maksimum direnç sağladığı bildirilmiştir. Cardinale A. M. ve ark. [87] tarafından ötektik altı AlSi alaşımlarında korozyon davranışına nadir element ilavesinin nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Çalışmada nadir element olarak La, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy ve Er elementleri tercih edilmiştir. İlave edilen nadir elementlerin malzemenin korozyon direncini arttırdığı bildirilmiştir. Al ve alaşımlarında tane inceltme işleminin korozyon davranışı üzerine etkisini inceleme yapılan çalışmalar elde edilen bulguları genellemek adına oldukça yetersiz kalmakla birlikte oldukça fazla bilgi karmaşıklığına da neden olmuştur. Bu konuyu çalışan birçok araştırmacı tane boyutunun küçülmesinin korozyon davranışı üzerinde olumlu bir etki oluşturduğunu söylese de [88-90] tam tersi görüşler de mevcuttur [91, 92]. Bilindiği üzere oldukça fazla korozyon türü vardır ve bir mekanizmaya olumlu yönde etki eden bir işlem başka bir korozyon mekanizmasına olumsuz yönde etki edebilmektedir. Örneğin; $(\text{Na}_2\text{SO}_4) + \text{NaCl}$ çözeltisinin kullanıldığı bir sistemde tane inceltme işlemi oyuk korozyonunu engelleyebilmektedir, ancak taneler arasında meydana gelen intergranular korozyona da sebebiyet verebilmektedir [93]. Her ne kadar farklı görüşler olsa da küçük tane

boyutuna sahip Al ve alaşımlarında korozyon direncinin daha iyi olduğu kabul edilmiştir.



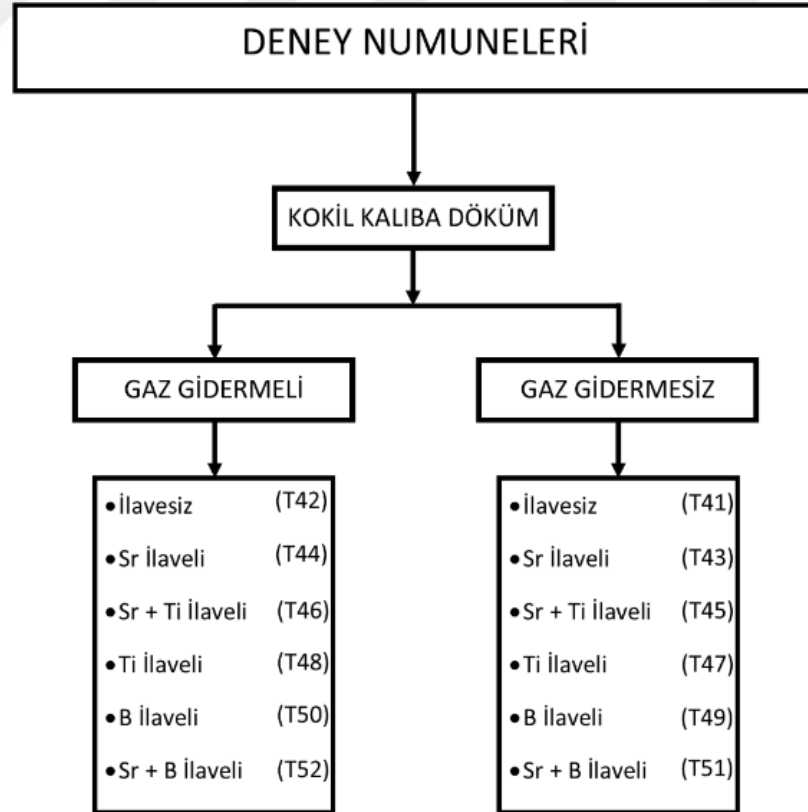
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tezde otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de verilen Al8Si3Cu alaşımını çalışılmıştır.

Çizelge 3.1 : Al8Si3Cu alaşımının kimyasal kompozisyonu.

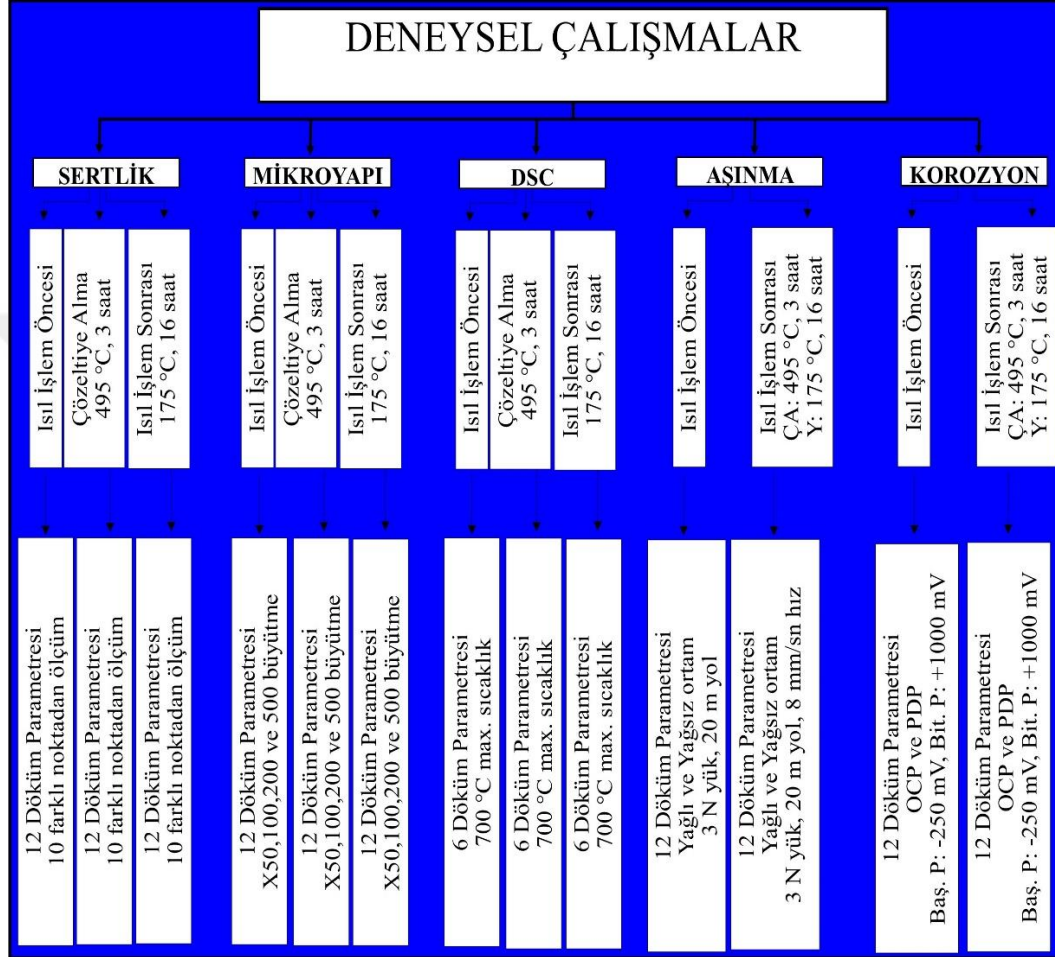
Alaşıım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
Al8Si3Cu	8.14	0.64	3.12	0.44	0.22	0.49	0.02	Kalan

Kokil kalıp kullanılarak Şekil 3.1’de şematik olarak sunulmuş olan deney parametreleri altında döküm yöntemiyle üretilmiş numuneler bu çalışmada kullanılmıştır. İlave parametreler; Sr ilavesi, tane inceltici ilavesi (Ti ve B) ve bu ilavelerin birlikte kullanılması (Sr + B ve Sr + Ti) şeklindedir. İlave parametre olarak numunelere gaz giderme işlemi de uygulanmıştır.



Şekil 3.1 : Farklı parametreler altında elde edilen numunelerin şematik gösterimi.

Bu çalışma kapsamında belirtilen şartlar altında elde edilen parçaların gerekli metalografik numune hazırlama teknikleri sonrasında sertlik ölçümleri, DSC analizleri, aşınma ve korozyon testleri ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Tezin genel çalışma amacı olan T6 ısıl işleminin optimum parametrelerini belirlemek için de ayrıca bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir.

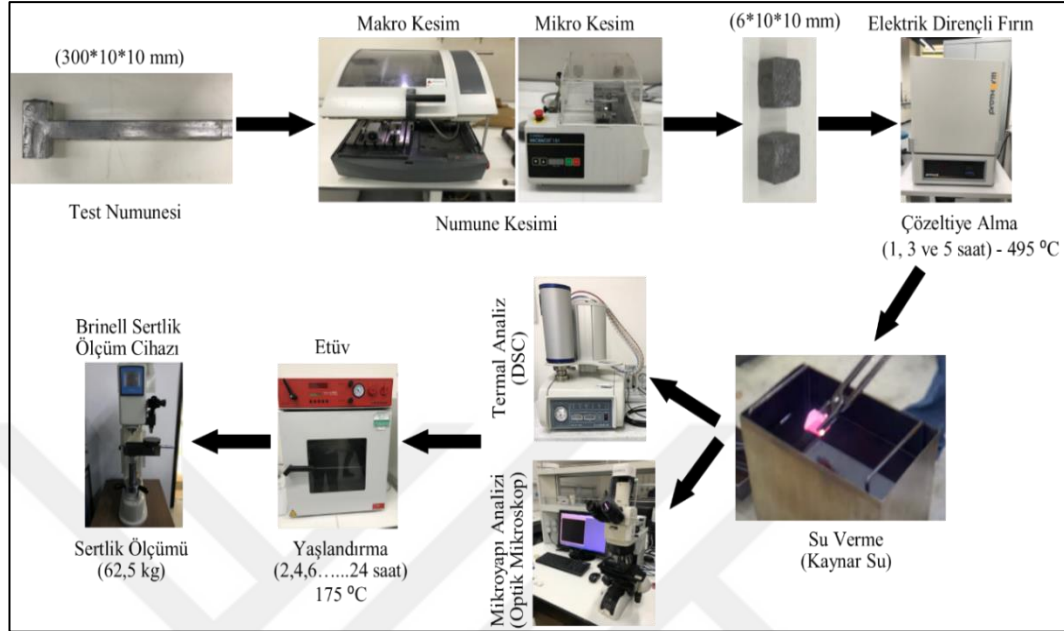


Şekil 3.2 : Tez çalışmasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve çalışma parametrelerinin şematik gösterimi.

3.1 Ön Çalışma

Isıl işlem bu tez çalışmasının kritik parametrelerinden olmuştur. Bu sebepten gerçekleştirilen T6 ısıl işleminde çözeltiye alma ve yaşlandırma proseslerinde optimum şartların elde edilmesi bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Ön çalışma, çözeltiye alma işleminde optimum şartlarının belirlenmesi için 1, 3 ve 5 saat süreyle 495 °C’de gerçekleştirilmiştir. 1, 3 ve 5 saat çözeltiye alınan numuneler ayrı ayrı 24 saat boyunca 175 °C’de yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Farklı çözeltiye alma

şartları altında yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerden her iki saatte örnekler alınarak sertlik ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem parametresini belirlemek için gerçekleştirilen ön çalışma Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Ön çalışmanın şematik gösterimi.

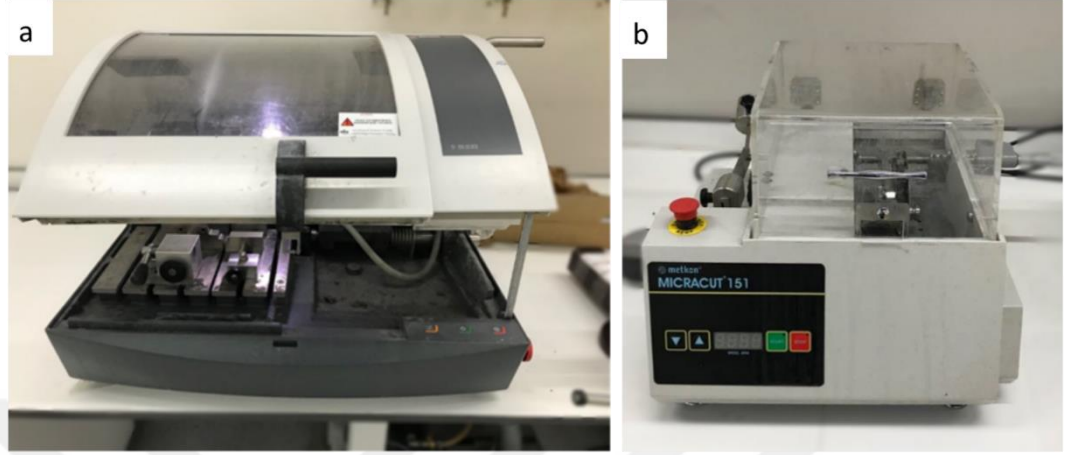
3.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

3.2.1 Numune hazırlamada kullanılan cihazlar

Makro ve mikro kesme cihazları;

Kokil kalıba döküm işlemi sonucunda elde edilen parçaların gerekli testleri yapmak üzere makro ve mikro olarak istenilen boyutlara kesilmesi Şekil 3.3’de verilen makro ve mikro kesim cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3a’da verilen makro cihazı döküm parçalarının kesiminde ekseri olarak kullanılmıştır. Cihaza sabitlenen parçaların kesimi cihazın sağ kısmında bulunan ve kesici diskin hareket yönünü belirleyen kol sayesinde gerçekleştirilmektedir. Kesme işlemi cihaz içerisinde ve kapalı bir ortamda gerçekleşmektedir. Cihaz kapağında yüksek darbeye karşı dayanıma sahip cam tercih edilmiştir. Ayrıca malzeme ısınmasını engellemek için sisteme su ilavesi yapılmıştır. Şekil 3.3b’de verilen mikro kesme cihazı ise sadece DSC numunelerinin kesimi için kullanılmıştır. Kesme işlemi sulu bir ortamda gerçekleştirilmiş olup kesme için maksimum 1 kg yük uygulanmıştır. Bütün test numunelerinin her bir test için sonuçlarını sağlıklı bir şekilde kıyaslayabilmek için

kesim işlemi belli bir düzen ile gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.4'te temsili olarak ifade edilmiştir.



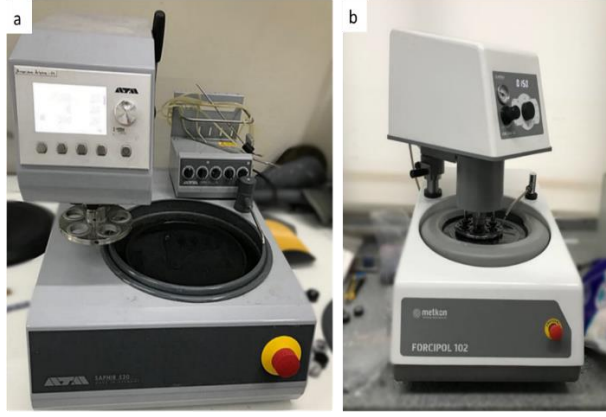
Şekil 3.4 : Numune kesiminde kullanılan cihazlar; a) STRUERS marka kesme cihazı, b) METKOM marka kesme cihazı.



Şekil 3.5 : Numune kesim sırasının şematik gösterimi.

Zımpara ve Parlatma Cihazı;

Makro ve mikro kesme işlemi sonunda elde edilen parçaların testlerinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için numunelere zımparalama işlemi yapılmıştır. Tüm testler için farklı parametreler altında yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri Şekil 3.5'de verilen cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Cihaz istenilen devir/dakika şeklinde ayarlanabilmekte ve sulu ortamda zımpara yapabilme kabiliyeti gösterebilmektedir. Cihaza, zımparalanacak malzemeler bakaliteye alma işleminden sonra eklenebilmekte ve bu işlem otomatik olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında el ile zımparalama ve parlatma tercih edilmiştir. Cihazın döner disk manyetik olmakta ve manyetiklik özelliği olan zımpara ve parlatma yüzeyleri cihaza kolaylıkla entegre edilebilmektedir.



Şekil 3.6 : Zımparalama ve parlatma işlemlerinin yapıldığı cihazlar; a) üniversitedeki cihaz (ATM), b) firmadaki cihaz (Metkon).

Şekil 3.5b’deki cihaz sadece aşınma numunelerinin zımparalanmasında kullanılmıştır. Aşınma testi için çok hassas bir cihaz kullanıldığı için numunenin yüzey özelliklerinin oldukça iyi olması ve herhangi bir boyut uyumsuzluğunun mevcut olmaması gerekmektedir. O nedenle firmadan bu hususta yardım alındı. Numuneler 2 farklı zımpara ölçüsünde (100 ve 800 grade) 10’ar dakika önlü arkalı zımparalanarak oldukça düzgün test numuneleri haline getirilmiştir. Numune zımparalama işlemi otomatik olarak gerçekleşmiş olup 150 devir/dakikada sabit kuvvet altında gerçekleştirilmiştir.

Bakalite Alma Cihazı;

Aşınma testi uygulanacak numunelerin düzgün geometride olmasını sağlamak için bakaliteye alma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 : Metkon Ecopress 100 markalı bakalite alma cihazı.

Bakalite alma işlemi Şekil 3.6’da verilen cihazda yapılmıştır. Tüm numuneler için ortak parametreler kullanılmış olup, işlemlerin hepsi 180 °C’de 12 dakika pişirme süresince gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Isıl işlem için kullanılan cihazlar

Fırın;

T6 ısıtım işlemi kapsamında numunelerin belirli bir sıcaklığa ısıtılması için ve o sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesi için Şekil 3.7’de verilen fırın tercih edilmiştir. Fırın çalıştırılmadan önce çıkmak istenilen sıcaklık, çıkmak istenilen sıcaklığa çıkış süresi, istenilen sıcaklıkta bekleme süresi ve ardından soğuma süresi verileri girilmekte ve çalıştırılmaktadır. Numuneler fırın içerisine manuel olarak uzun bir laboratuvar makası ve eldiven yardımıyla konulmuş, herhangi bir güvenlik zafiyeti yaşanmamıştır. T6 ısıtım işlemi için malzemelerin çözeltiye alma işlemi bu fırında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 : Protherm marka elektrik dirençli fırın.

Etüv;

T6 ısıtım işlemi için Şekil 3.7’de resmedilen fırından alınan numuneler kaynar suda su verme işleminin ardından yapay yaşlandırma işlemini gerçekleştirmek için Şekil 3.8’de verilen Binder Etüvüne bırakılmıştır. Numunelerin kalmasını istediğimiz sıcaklık etüve manuel olarak girilmiştir. Etüvün herhangi bir kapanma süresi olmamakla birlikte istenilen zamanda kapatılabilmektedir. Ayrıca etüv vakuma da alınabilmekte ve çalışmalar çok daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.9 : Binder markalı etüv.

Sertlik ölçüm cihazı;

Sertlik ölçüm cihazı T6 ısıtım işlem verimliliğinin ölçülmesinde baz alınmak üzere kullanılmıştır.



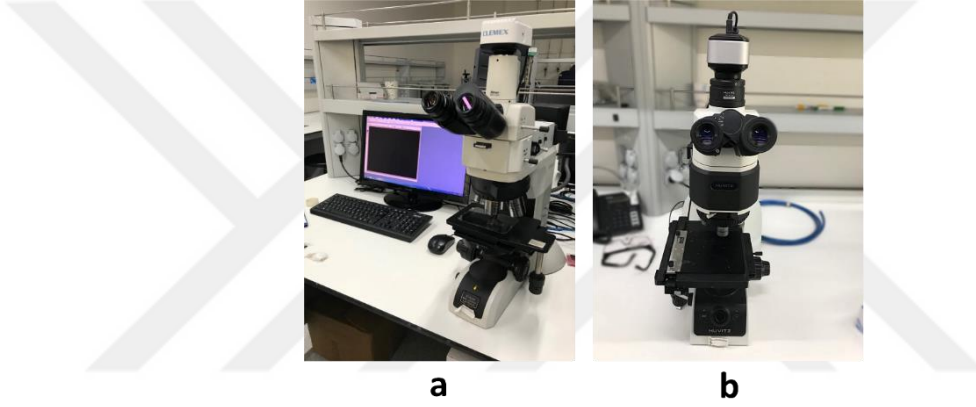
Şekil 3.10 : Emco test markalı brinell sertlik ölçüm cihazı.

Yöntem olarak Brinell yöntemi tercih edilmiş ve bu test için Şekil 3.9’da verilen cihaz kullanılmıştır. Bu yöntem ile numune üzerine belli bir miktar manuel yük uygulanmış ve daha sonra cihazın otomatik yük yükleme gerçekleştirilmiştir. Numuneler için cihaz içerisinde Alüminyum-Brinell (Al-HB) olarak kodlanan step seçilmiş olup numuneye toplamda 62,5 kg yük yüklenerek sertlik değerleri alınmıştır. İz çapı optik gözlemleyici sayesinde yapılmış ve gerekli çap değerlerinin sisteme girilmesiyle sertlik değerleri elde edilmiştir.

3.2.3 Mikroyapı analizi için kullanılan cihazlar

Optik mikroskop;

Mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmek üzere hazırlanan numuneler Şekil 3.10'da verilen iki farklı optik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 3.10b'de verilen mikroskop zımpara ve parlatma işlemi esnasında numune yüzey özelliklerinin kontrolü için kullanılmıştır. Şekil 3.10a'da verilen optik mikroskopta ise numunelerin mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu mikroskop Nikon görüntü analiz sistemi ile desteklenmekte ve bilgisayara entegreli bir şekilde çalışmaktadır. Büyütme oranı olarak 50,100,200 ve 500 büyütme kapasitesine sahip bu mikroskop ile farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 3.11 : Optik mikroskoplar; a) clemex programı ile entegreli çalışan mikroskop, b) parlatma sonrası ilk incelemelerin yapıldığı Huvitz markalı mikroskop.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM);

Aşınma ve korozyon testlerine tabi tutulmuş numunelerin SEM incelemeleri Şekil 3.11'deki cihaz yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12 : Taramalı elektron mikroskobu.

Cihaz 2 milyon büyütme kapasitesine sahiptir ve düşük vakumda yüksek çözünürlüklü sonuç veren, plazma tekniği ile görüntü kirliliğini önleyen, peltier soğutma ile ıslak numuneleri çalışabilen ve elementel analiz ve haritalama yapabilen bir cihaz olarak üstün özelliklere sahiptir.

3.2.4 Termal analiz için kullanılan DSC analiz cihazı

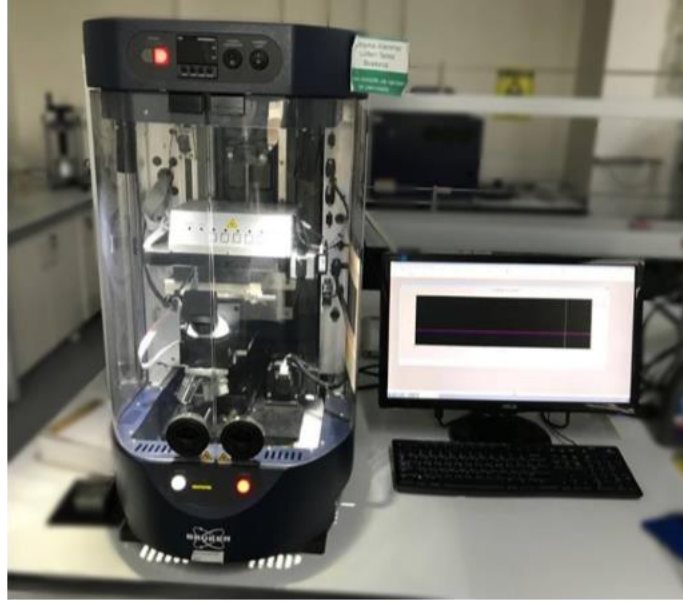


Şekil 3.13 : Linseis marka DSC analiz cihazı.

Gaz giderme işlemi yapılmamış numunelerin DSC analizleri Şekil 3.12’de verilen cihazda gerçekleştirilmiştir. Gram ağırlığında numuneler bir pense yardımıyla koparılmış ve hassas terazide tartılarak cihaza yerleştirilmiştir. Daha sonra bilgisayara entegreli olan cihaza çıkmak istediğimiz sıcaklık, çıkmak istediğimiz sıcaklığa ısınma süresi, oda sıcaklığına soğuma süresi ve numune ağırlığı manuel olarak girilmiştir. Cihazı çalıştırmadan hemen önce Ar gazı ile dolu olan tüpün vanası açılarak sistem vakuma alınmıştır.

3.2.5 Aşınma cihazı

Aşınma testlerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 3.13’te resmedilen Bruker UMT 2 markalı cihaz kullanılmıştır. Cihaz diğer aşınma test cihazlarına göre oldukça hassastır. Yatay ve dikey yönde maksimum 4 N yük ve 10 mm/sn hızla aşınma gerçekleştirebilmektedir. Test numunelerinin boyut ve şekilleri bu cihaza yerleştirilmek üzere özenle hazırlanmıştır. Numuneler cihaz tablasına manuel olarak sabitlenmektedir. Bilgisayar kontrolünde numune yüzeyine yaklaştırılan aşınma iğnesi ile işlem gerçekleştirilmektedir. Numune yüzeyine yaklaştıktan sonra cihaza verilen bir komut sayesinde işlem otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.14 : Bruker UMT 2 markalı aşınma cihazı.

Aşınma esnasında öncelikle numuneye 0,3 N gibi bir yük 20 saniye boyunca uygulanmakta ve daha sonra istenilen aşınma parametreleri devreye girmektedir. Yağlı ortamda aşınma işlemi gerçekleştirmek için cihazın farklı bir hücresi vardır. Bu hücreye 7 mm kalınlığında 2 numune sığabilmektedir. Hücreye sabitlenen numunelerin aşınmaları ise hücrenin cihaz tablasına entegre edilmesinden sonra gerçekleştirilmektedir.

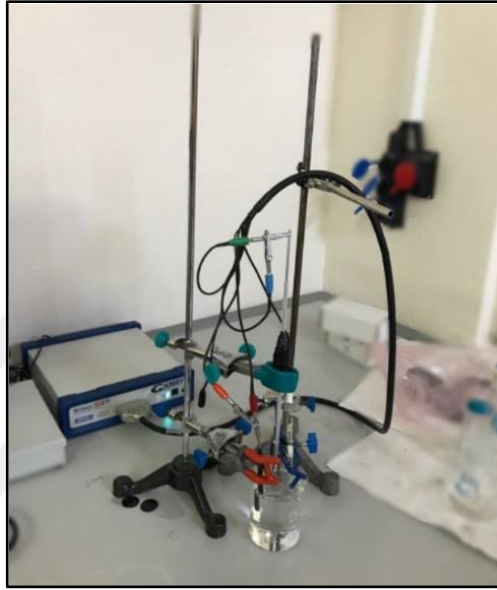
Abrasif aşınma testi için Şekil 3.14'te gösterilen cihaz kullanılmıştır. Cihaz, dönel silindirik merdaneye sabitlenen zımpara kağıdının numuneyi hem silindirik merdaneye yatay hem de dikey olarak aşındırmaktadır. Farklı kuvvet ve yol parametreleri ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.15 : DVT markalı abrasif aşınma cihazı.

3.2.6 Korozyon cihazı

Korozyon testlerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 3.15’te verilen Gamry Interface 1010B cihazı kullanılmıştır. Cihaz bilgisayar entegreli çalışmaktadır. Çözeltiye birlikte daldırılan referans elektrot, test numunesi ve karşı elektrotun sabitlendiği tutucuların olduğu ayrı bir sistem mevcuttur. Deney düzeneği hassas bir şekilde hazırlandıktan sonra bilgisayar üzerinden ilgili program vasıtasıyla komut verilmekte ve deneyler sıralı bir şekilde otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.16 : Korozyon testi için kullanılan Gamry Interface 1010B cihazı ve deney düzeneği.

3.3 Yapılan Testler

3.3.1 Sertlik ölçümü

Sertlik ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle test numuneleri ölçüm için hazır bir hale getirilmiştir. Makro kesim yöntemiyle 20X20X10 mm boyutlarında numuneler kesilmiş ve daha sonra bu numuneler 4’e bölünmüştür. Toplam 12 parametre için aynı kesim işlemi tekrarlanmıştır. Her bir parametre için elde edilen 4 numunenin bir tanesi ısıtıl işlem öncesi sertlik ölçümü için, bir tanesi çözeltiye alma sonrası sertlik ölçümü için ve bir tanesi de yaşlandırma sonrası sertlik ölçümü için kullanılmıştır. Kalan son numune ise her ihtimale karşılık yedek olarak saklanmıştır. Isıtıl işlem görmemiş numunelerin sertlik ölçümleri yapılmadan önce numune hazırlama işlemleri yapılmıştır. Bu süreçte numune yüzeylerindeki oksit ve pürüzlülükler 2 farklı grade (600 ve 800) derecesine sahip zımpara kağıtları kullanılarak yok edilmiştir.

Sertlik ölçümleri yapılmadan önce numune yüzeylerinin düz olduğuna özen gösterilmiştir. Daha sonra numunelerin sertlikleri sertlik ölçüm cihazı sayesinde ölçülmüştür. Yöntem olarak Brinell sertlik yöntemi tercih edilmiştir. Sertlik ölçümleri numune yüzeylerinin farklı bölgelerinden 10'ar defa alınmış, nihai sonuç için bu on değer aritmetik ortalaması hesaplanmış ve sonucun homojen olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Sertlik sonucu elde edilirken cihazın kalibrasyonu tam olmadığından optik incelemeler sonucu bulunan değerler kabul edilmiştir. Bu incelemeler ile bilyenin numune üzerinde bıraktığı iz çapı cihaza manuel olarak girilmiş ve sertlik değerleri bu şekilde elde edilmiştir.

3.3.2 Mikroyapı analizi

Mikroyapı analizinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için numunenin istenilen ölçekte hazırlanmasına azami özen gösterilmiştir. Makro olarak 20X20X10 mm boyutlarında kesilen parçanın 4'e bölünmesiyle her bir parametre için mikroyapı test numunesi oluşturulmuştur. Her bir parametre için ayrı ayrı elde edilen bu 4 numuneden bir tanesi ısıtılma işlemi öncesi mikroyapı analizi için, bir tanesi çözeltiye alma işlemi sonrası mikroyapı analizi için ve bir tanesi de yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapı analizi için kullanılmıştır. Kalan son numune ise her ihtimale karşılık yedek olarak saklanmıştır. Mikroyapı analizi gerçekleştirilmeden önce numune test için hazır hale getirilmiştir. Bu süreçte her bir numune 4 farklı grade (600, 800, 1200 ve 2400) derecelerine sahip zımpara kâğıtları ile zımparalanmış ve yüzeylerinde bulunan oksit tabakası ve pürüzlülük yok edilmiştir. Zımparalama işlemi sulu bir ortamda gerçekleştirilmiş ve test numunelerinden zımpara sonucu kopan parçaların tekrar numune yüzeyini çizmeleri engellenmiştir. Ayrıca herhangi bir ısınma söz konusu olmadığından mikroyapısal bir değişimin gerçekleşmesinin önüne geçilmiştir. Zımparalanan her numuneye parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi için döner diske sabitlenen parlatma çuhası kullanılmış ve beraberinde 1 µm'lik elmas sıvı tercih edilmiştir. Elmas sıvının parlatma işlemindeki etkinliğini arttırmak için etil alkol ilavesi yapılmıştır. Parlatma işlemi her bir numune için yaklaşık olarak 20 dakika sürmüş ve sonunda mikroyapı incelemesi için numuneler hazır hale getirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse markalı bir optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Bilgisayara entegreli bir şekilde çalışan bu mikroskop yardımı ile 50, 100, 200 ve 500 büyütmelerinde görüntüler elde edilmiştir. Dağlamasız olarak elde edilen mikroyapı görüntüleri bilgisayara kaydedildikten sonra vakit kaybetmeden

numuneler Keller çözeltisi ile dağlanmış ve aynı numuneler aynı büyütme oranlarında tekrar mikroyapısal olarak incelenmiştir. Bu işlemlerin hepsi 3 saat çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri sonrası için hazırlanan test numuneleri üzerinde de gerçekleştirilmiştir.

SDAS ölçümleri;

Elde edilen mikroyapı görüntüleri üzerinde Nikon görüntü analiz sistemi sayesinde SDAS hesaplamaları yapılmıştır. Analiz sistemine yüklenen mikroyapı görüntüsünün kalibrasyonu sağlıklı bir şekilde gerçekleştirildikten sonra ölçümler yapılmıştır. Her parametre numunesine ait mikroyapı görüntüsü için 10 farklı SDAS uzunluğu ölçülmüş ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. SDAS ölçümleri dağlanmamış numunelerin mikroyapı görüntüleri üzerinden alınmış olup, 50 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri kullanılmıştır. SDAS ölçümleri ısıtma işlem görmemiş, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış numuneler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Ötektik oran hesaplamaları;

Ötektik oran hesaplamaları her bir numuneye ait iki mikroyapı görüntüsü üzerinde gerçekleştirilmiş ve 500 büyütmedeki görüntüler tercih edilmiştir. Nikon görüntü analiz sistemi üzerinden ötektik bölgelerin toplam alanı, uzunlukları ve ötektik alanın toplam alana oranı gibi sonuçlar çıktı olarak elde edilmiştir. Ötektik oran hesaplamasının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmış ve ötektik silislerin renk tonları en uygun şekilde ayarlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Ötektik oran hesaplamaları ısıtma işlem görmemiş, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış numuneler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

3.3.3 DSC analizi

Farklı parametreler altında üretilmiş numunelerden gaz giderme işlemine tabi tutulmamış numunelerin DSC analizleri yapılmıştır. Makro kesim ile 20X20X5 mm boyutlarında kesilen numuneler daha 4 eşit parçaya bölünmüştür. Elde edilen parçalardan bir tanesi ısıtma işlem görmemiş numunelerin, bir tanesi çözeltiye alınmış numunelerin ve bir tanesi de yaşlandırılmış numunelerin DSC analizlerini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Son parça ise her ihtimale karşılık yedek olarak saklanmıştır. Her bir parametre için kesim işlemi gerçekleştirildikten sonra ısıtma işlem

görmemiş numunelerin hepsi kaba zımpara ile zımparalanmış ve sırayla DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir ısıtım işlem parametresinin DSC analizi sıra ile yapılmış olup ısıtım işlem sonrası herhangi bir bekleme söz konusu olmamıştır. Isıtım işlem görmemiş numunelerin DSC analizleri bittikten sonra çözeltiye alınmış numunelerin DSC analizleri sıra ile yapılmıştır. Test numuneleri 3 saat süre ile 495 °C’de çözeltiye alınmış ve kaynar suda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından numuneler zımparalanmış ve DSC analizine tabi tutulmuştur. Çözeltiye alma sonrası DSC analizleri her numune için tamamlandıktan sonra T6 ısıtım işlemi görmüş numunelerin DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri tek tek ve sıra ile 3 saat boyunca 495 °C’de çözeltiye alınmış, ardından kaynar suda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Su verme işleminin ardından numuneler 175 °C derecedeki etüve bırakılmış ve 16 saat boyunca yapay yaşlandırılmıştır. T6 ısıtım işlemi tamamlanan her bir numune bekletilmeden DSC analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen tüm veriler bilgisayara kaydedilmiştir.

3.3.4 Aşınma testi

Aşınma testi için öncelikle numune hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları 20X20X10 mm olacak şekilde makro kesme cihazı kullanılarak ayarlanmıştır. Her bir parametre için 6’şar adet numune kesilmiş olup bu numunelerinin yarısına belirtilen parametreler altında T6 ısıtım işlemi uygulanmıştır. Elde edilen tüm numuneler bakalite alınmıştır. Her bir parametre için (T6 ısıtım işlemi dahil) 3 adet test numunesi elde edilmiş olup bu numunelerden bir tanesi yağsız ortamda aşınma için diğeri ise yağlı ortamda aşınma yapmak için kullanılmıştır. Son numune ise her ihtimale karşılık yedek olarak saklanmıştır. Aşınma cihazının çok hassas olması nedeniyle numunede herhangi bir yamukluğun olmaması istendiğinden zımparalama işlemleri otomatik zımparalama cihazı sayesinde gerçekleştirilmiştir. Yağlı ortamda yapılacak test numunelerinin kalınlığı 7 mm ve daha aşağı olacak şekilde ayarlanmıştır. Zımparalama işlemi için 2 farklı grade (100 ve 800) kullanılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra aşınma testine geçilmiştir. Aşınma testi yağlı ve yağsız ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri olarak 3N yük, 8 mm/sn hız ve 20 m yol tercih edilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen aşınma testine ek olarak farklı bir aşındırma tekniği olan abrasif aşınma da test numunelerine ayrıca uygulanmıştır. Abrasif aşınma ile test numuneleri

10 N yük altında ve 10, 20 ve 30 m yol boyunca aşındırılmıştır. Aşındırma işlemi 30 grade zımpara kâğıdı üzerinde gerçekleştirilmiş olup, işlem sadece yağsız ortam şartlarında yapılmıştır.

3.3.5 Korozyon testi

Isıl işlem görmemiş ve T6 ısıl işlemi görmüş numunelerin korozyon testleri yapılmıştır. Korozyon testi için öncelikle sodyum klorür (NaCl) kullanılarak 0,1 M'lık çözelti hazırlanmıştır. Çözelti hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin yüzeyleri korozyon testleri için hazır hale getirilmiştir. Bu süreçte numuneler 1200 numaralı zımpara kâğıdı ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Ardından zımparalanan yüzey üzerinde 1 cm²'lik bir alan açık kalacak şekilde numunenin diğer yüzeyleri sıcak silikon ile kaplanmıştır. Elektrokimyasal testler Gamry Instrument Model Interface 1010B cihazında üç elektrotlu sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyler oda sıcaklığında ve karıştırmasız ortamda yapılmıştır. Burada, döküm numuneleri çalışma elektrotu, grafit çubuk karşı elektrot ve Ag/AgCl elektrot ise referans elektrot olarak kullanılmıştır. Numunelere açık devre potansiyeli (OCP) ve potansiyodinamik polarizasyon testi (PDP) olmak üzere sırasıyla 2 farklı korozyon testi uygulanmıştır. OCP testinde optimum süreyi belirlemek için deney süresi ilk başta uzun tutulmuş (60 dk) daha sonra en kısa sürede en uygun sonuca göre testin süresi 900 saniye olarak belirlenmiştir. OCP testinin ardından (Potansiyodinamik Polarizasyon) PDP testine geçilmiştir. Potansiyodinamik eğriler OCP'ye göre başlangıç potansiyeli -250 mV ve bitiş potansiyeli +1000 mV olarak seçilmiş ve tarama 1 mV/sn hızda yapılmıştır. Bir numune için tüm korozyon testlerinin toplam süresi yaklaşık bir saati bulmuştur. Isıl işlem görmemiş numunelerin korozyon testleri bittikten sonra 3 saat çözeltiye alınmış ve 16 saat yapay yaşlandırılmış aynı numunelerin korozyon testleri yapılmıştır. Isıl işlem görmemiş numunelere uygulanan her işlem ısıl işlem görmüş test numunelere de aynı parametreler altında uygulanmıştır. Her bir işlem koşulu için deneyler 3'er kez tekrarlanmıştır.

3.3.6 SEM analizi

Aşınma ve korozyon testine tabi tutulan test numunelerinin SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizi elde edilen test sonuçları dikkate alınarak yapılmış olup, elde edilen sonuçlar ışığında tüm numuneler üzerinde değil dikkat çeken sonuçlar veren numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizi gerçekleştirilmeden önce

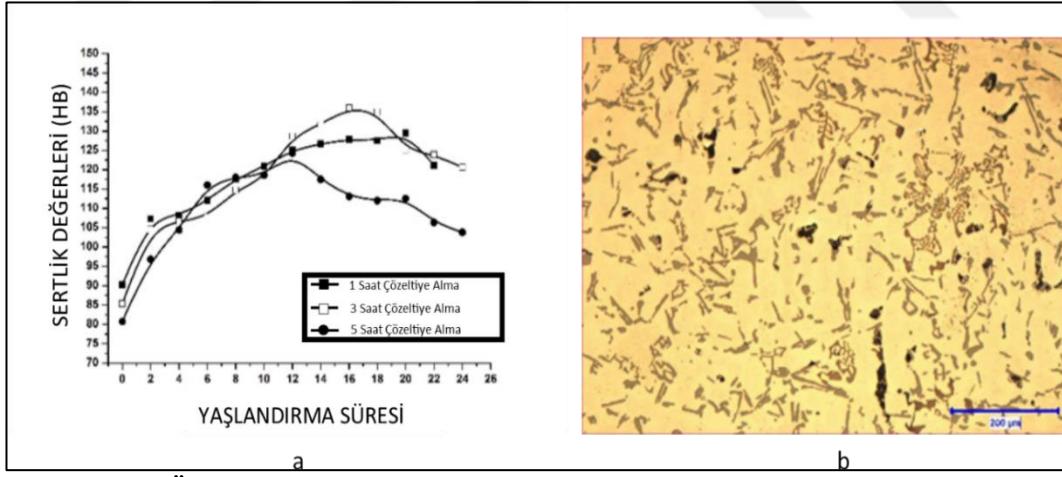
korozyon testine maruz kalan numunelerde silikon temizleme işlemi yapılmıştır. Ayrıca, numune yüzeyinde var olan kirlilikleri yok etmek amacıyla numuneler etil alkol ile kısa süreli bir yıkamaya tabi tutulmuş ve numune yüzeyleri olası kirlilerden arındırılmıştır. Korozyon ve aşınma numunelerinin SEM incelemeleri farklı zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Her numune için farklı büyütmelerde ve numunenin her bölgesini temsil eden görüntüler elde edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Ön Çalışma Sonuçları

T6 ısıt işlemleri için optimum çözeltiye alma ve yaşlandırma sürelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ön çalışma sonucunda 3 saat çözeltiye alma ve 16 saat yaşlandırma parametrelerinde en yüksek sertlik değeri (yaklaşık 135 HB) elde edilmiştir. Yaşlandırma süresine göre elde edilen sertlik değerleri ile 3 saat çözeltiye alma ve 16 saat yaşlandırma parametresine ait temsili mikroyapı görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere en yüksek sertlik değerinin 3 saat çözeltiye alma ve 16 saat yapay yaşlandırma sürelerinde elde edildiği açıkça görülmektedir. Bu tez çalışmasında da numunelere uygulanacak T6 ısıt işlemleri 495 °C’de 3 saat çözeltiye alma, kaynar suda su verme ve 175 °C’de 16 saat yaşlandırma şeklinde gerçekleştirilmiştir.

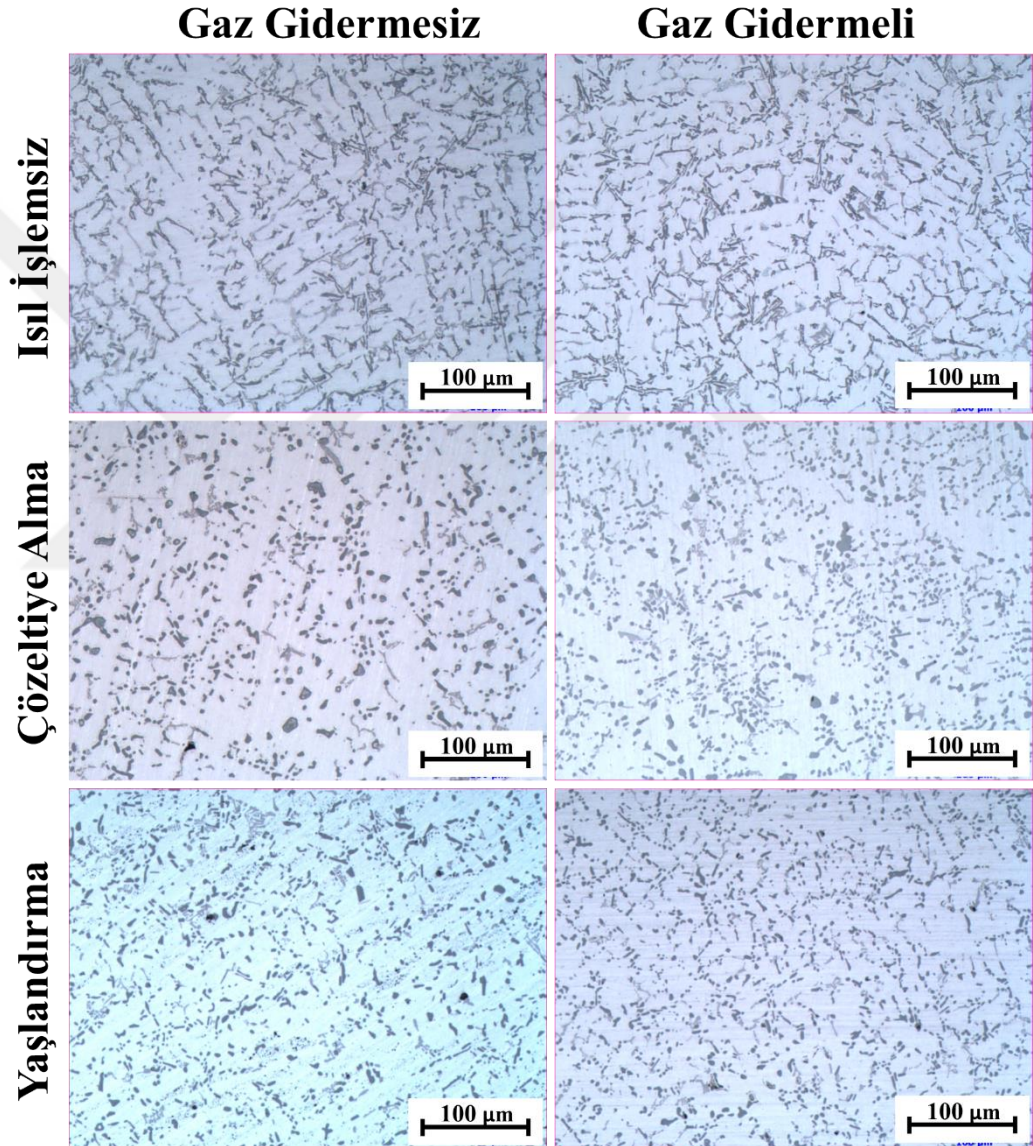


Şekil 4.1 : Ön çalışma sonucu elde edilen, a) sertlik değerleri, b) 3 saat çözeltiye alınmış ve 16 saat yaşlandırılmış alaşımın mikroyapı görüntüsü.

4.2 Mikroyapı Analiz Sonuçları

Farklı döküm parametreleri altında elde edilmiş numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Şekil 4.2’de herhangi bir alaşım elementi ilavesi yapılmayan Al alaşımının farklı ısıt işlem ve ergiyik işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Bilindiği üzere Al-Si alaşımlarında, Si’nin morfolojisi iğnemi

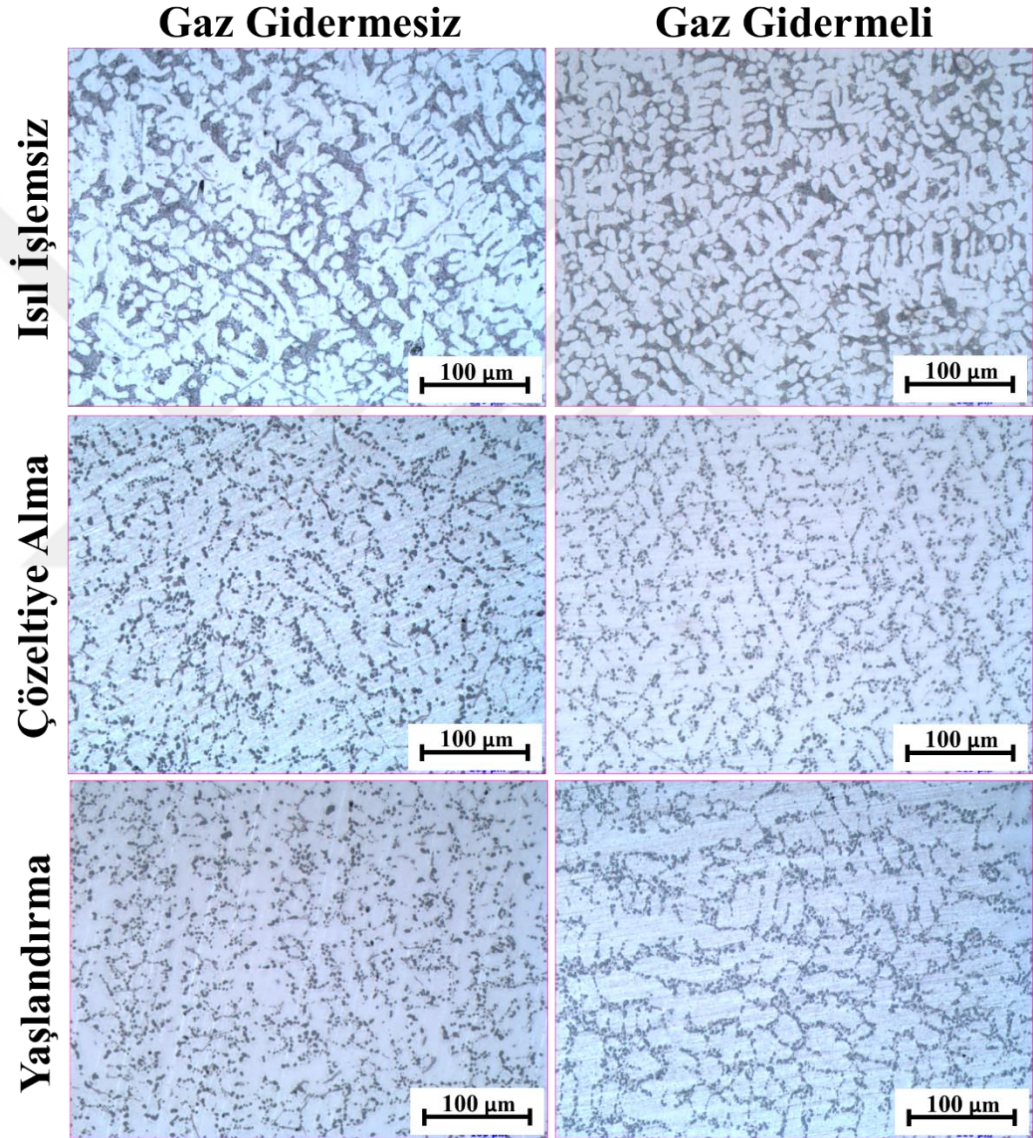
bir şekilde seyretmektedir ve bu da malzeme özelliklerine olumsuz yansımaktadır. Isıl işlem görmemiş numunelerin mikroyapısında Si'nin iğnemi morfolojisi açık bir şekilde görülmektedir. Bu yapı çözeltiye alma işlemi ile birlikte Al matriks içinde daha yuvarlak bir hal almış ve daha eş eksenli olarak yapı içerisinde dağılmıştır. Yaşlandırma işlemi ile birlikte çok daha küçük taneli Si ve Cu yapıları tespit edilmiştir. İlavesiz numune için gaz giderme işleminin mikroyapı üzerinde çok fazla etkili olmadığı görüntülerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2 : İlavesiz numunelerin farklı döküm ve ısıl işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.

Sr ilaveli numunelerden farklı parametrelerin incelenmesi sonucu elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir. İlavesiz numune ile birlikte düşünüldüğünde Sr ilavesi ile birlikte iğnemi yapısı yapı içerisinde daha yuvarlak bir

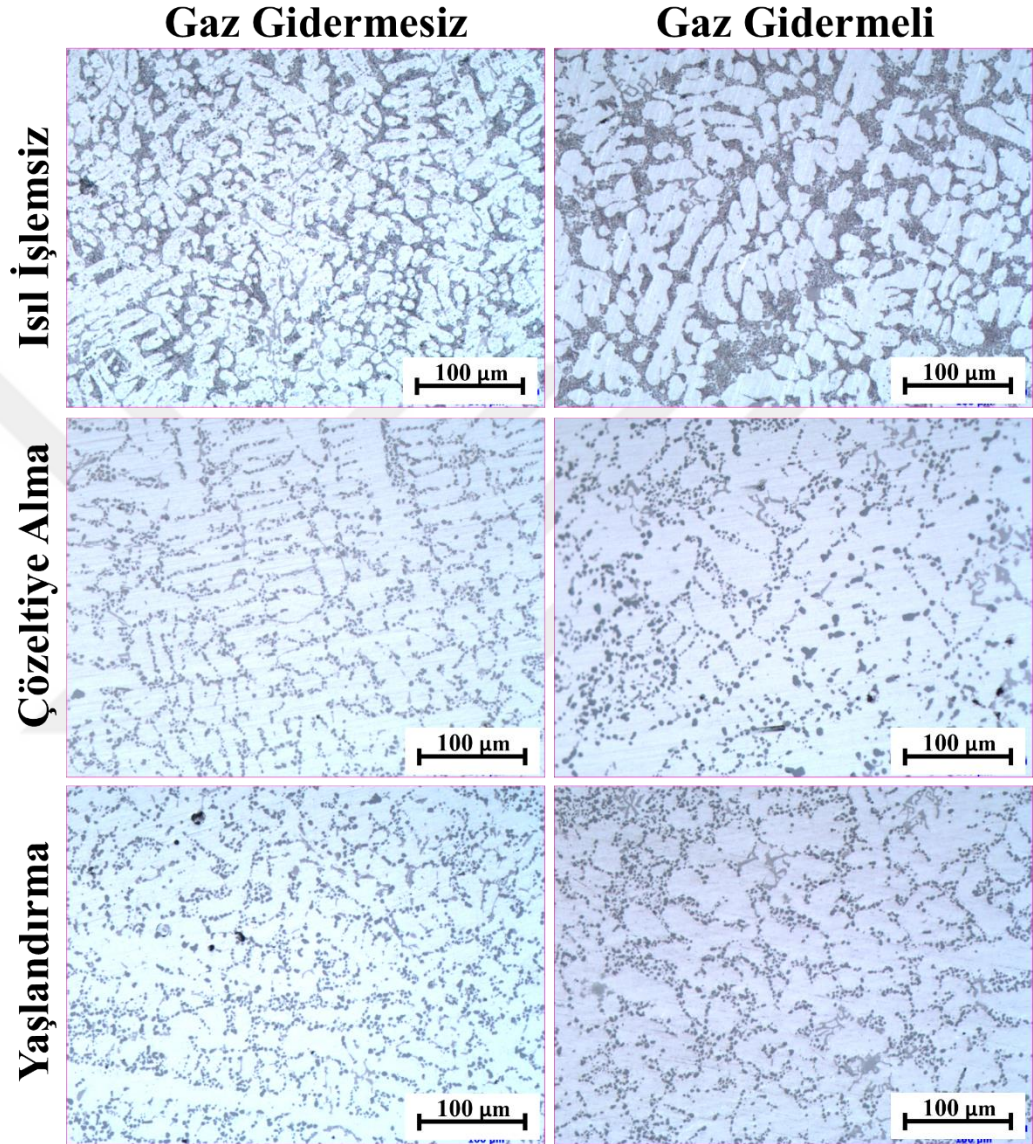
morfolojiye dönüşmüştür. Sr modifikasyonu işlemi ötektik Si düzenlemesi verilen görüntüler üzerinde de açıkça görülmektedir. Sr ilavesi ile birlikte dendritler çok daha belirli bir şekilde meydana gelmiştir. Çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemi ile birlikte düzenlenen Si ve Cu ötektikleri çok daha küçük taneler şeklinde oluşmuştur. Gaz giderme işlemi yaşlandırılmış numunede dendrit arası mesafeyi arttırmış, ısıt işlemsiz ve çözeltiye alınmış numunelerin mikroyapılarında gözle görülür bir değişime neden olmamıştır.



Şekil 4.3 : Sr ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıt işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.

Alaşım elementi olarak master alaşımları şeklinde ergiyik içine dahil edilen AlSr15 ve AlTi5B1 master alaşımlarının malzeme mikroyapısı üzerine etkisi Şekil 4.4’de görülmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Sr ilavesi ile daha küçük taneli

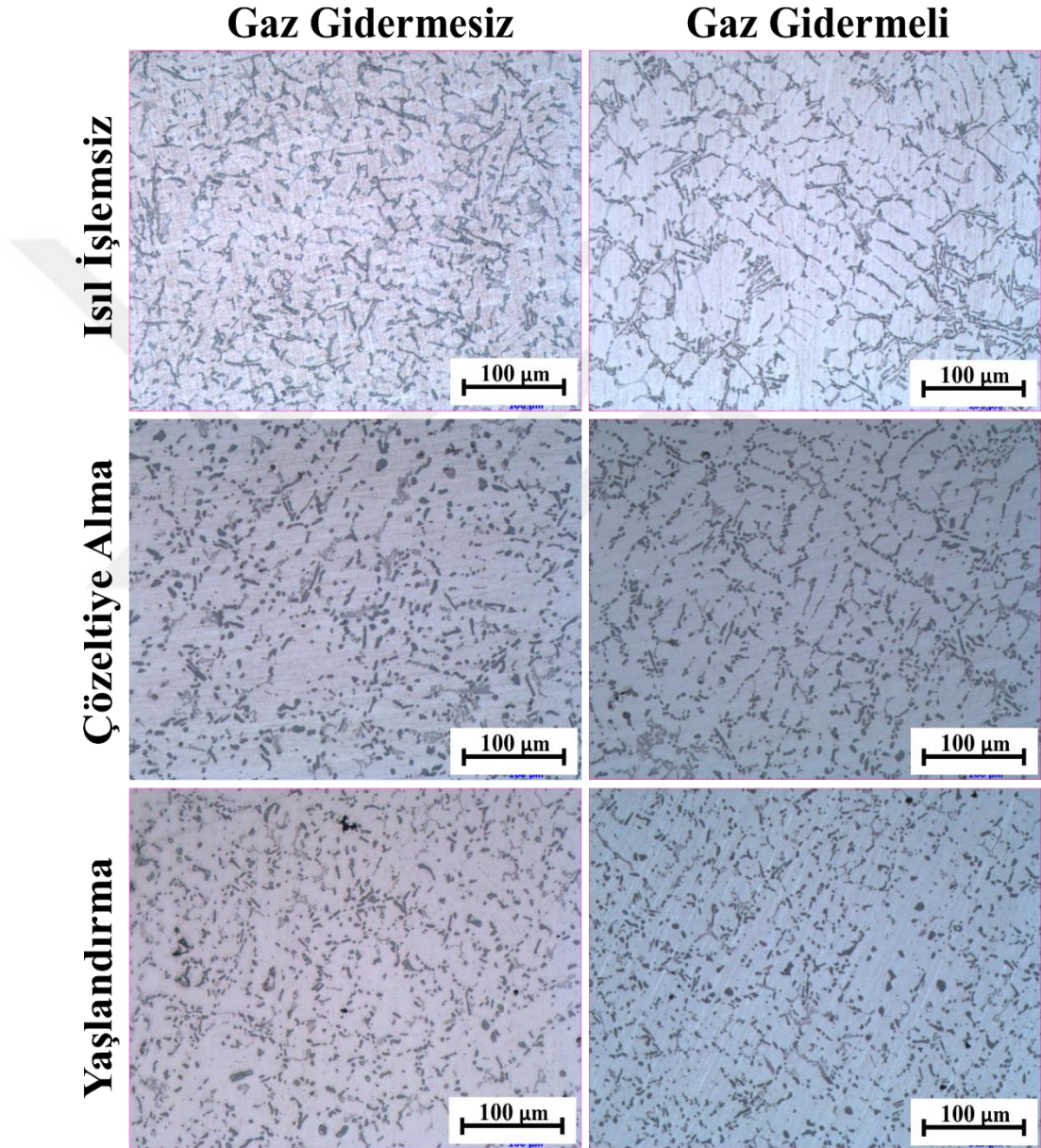
bir ötektik yapının oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.4’de verilen ısıt işlemsiz görüntü incelendiğinde, Sr ilavesinden dolayı Si ve Cu yapılarının iğnemi şekilde oluşmadığı görülmüştür. Isıt işlem ile birlikte öncesinde belirgin olan dendritler yapıda dağılmış ve daha homojen bir görüntü oluşmuştur.



Şekil 4.4 : Sr + Ti ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıt işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.

Şekil 4.5’te Ti ilaveli alaşımın farklı parametreler altında elde edilmiş mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Titanyum içeren master alaşımı ergiyik içerisine eklendiği andan itibaren $TiAl_3$ intermetalikleri meydana gelmekte ve bu intermetalikler ergiyik içerisinde dağılmaktadır [94]. Katılaşma esnasında, sıvı metal ilk önce $TiAl_3$ intermetalikleri çevresinde çekirdeklenmeye başlamaktadır. Milyonlarca $TiAl_3$ intermetaligi çevresinde meydana gelen katılaşma sonucunda daha küçük taneli bir

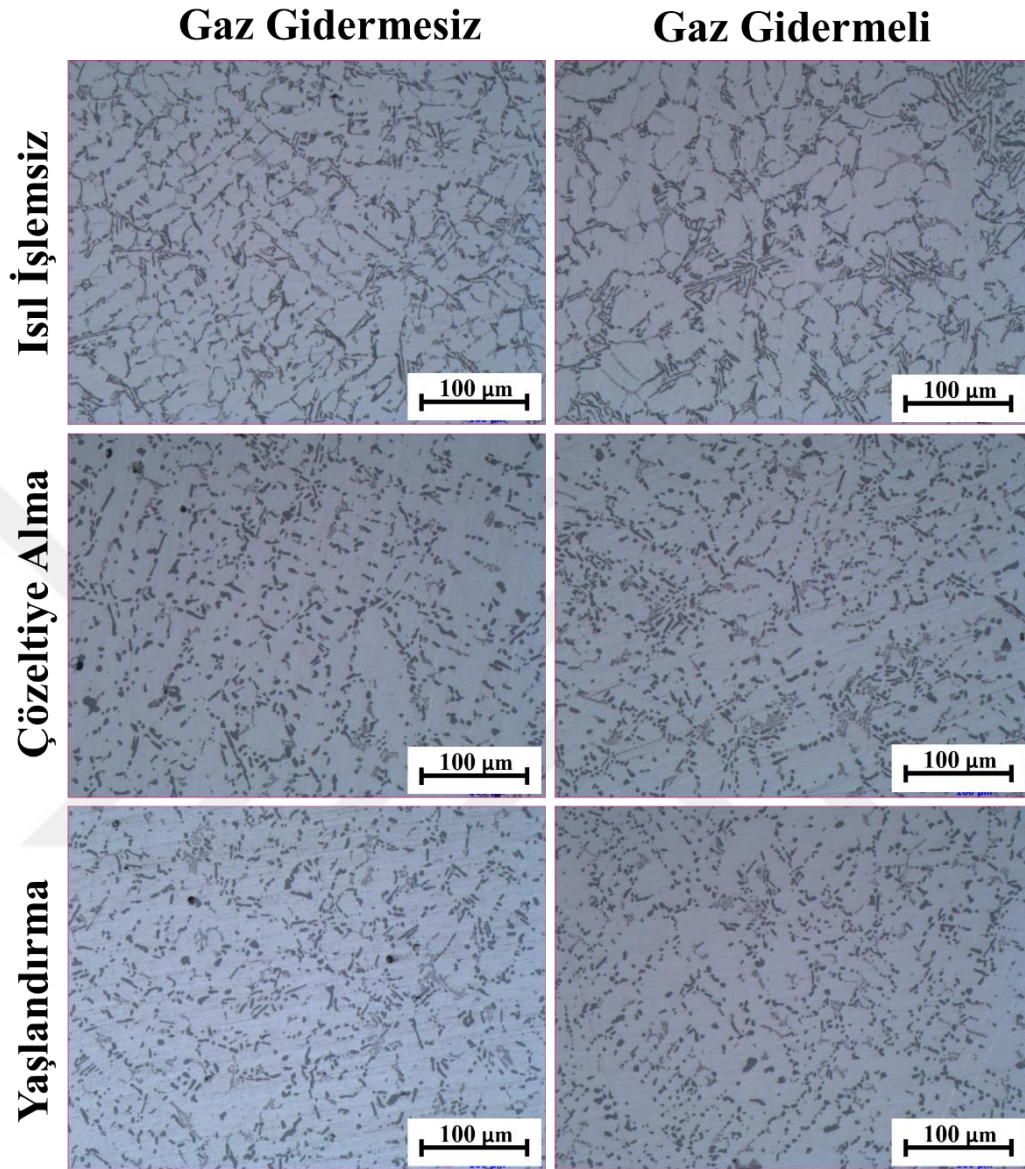
morfoloji meydana gelmektedir. Titanyumun bu etkisi aynı şekilde Şekil 4.3’de görüldüğü gibi stronsiyum ile birlikte ilave edildiğinde de görülmektedir. Al Isıl işlemsiz test numuneleri incelendiğinde herhangi bir modifikasyon işlemi olmadığı için yapı içerisinde iğnemi Si morfolojisi gözlemlenmiştir. Ötektik yapılar çözeltiye alma işlemi ile daha homojen hale getirilse de yaşlandırma işlemi ile ötektik yapıların çok daha homojen dağıldığı görülmüştür.



Şekil 4.5 : Ti ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıl işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.

B ilavesi sonucu farklı ısıl işlem ve ergiyik işlem parametreleri altında elde edilen test numunelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 4.6’da verilmiştir. B ilavesi de Ti ile aynı

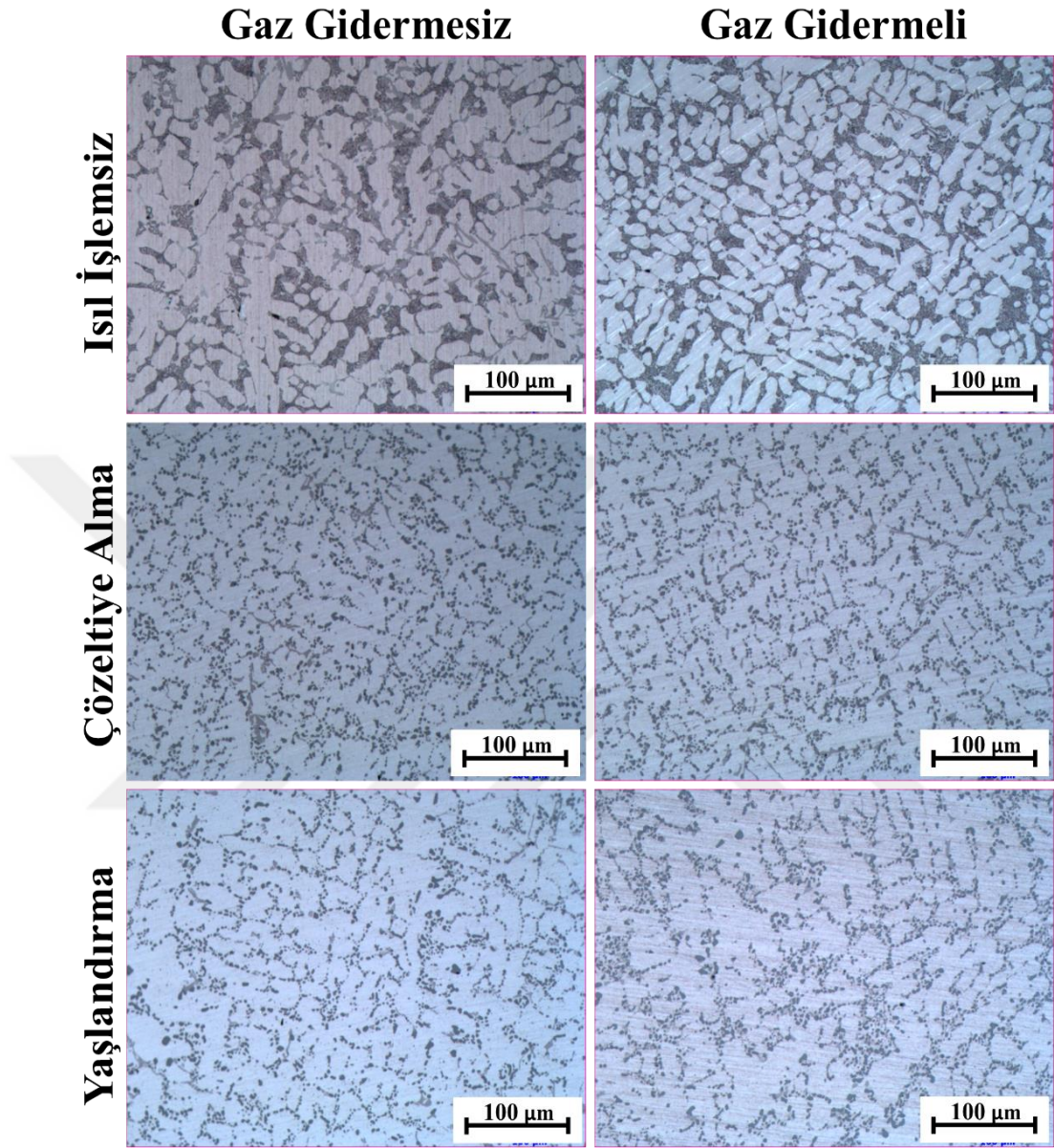
amaç için (tane inceltme) eklendiğinden, mikroyapıya Ti ile benzer şekilde etkiye bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.6 : B ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıl işlem parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri.

Bor ilavesi ile birlikte ergiyik içinde çok sayıda küçük boyutlarda AlB_2 intermetalikleri meydana gelmektedir. Katılaşma esnasında bu intermetalikler çevresinde ilk çekirdeklenmeler meydana gelmekte ve katılaşma esnasında dendritler birbirlerine daha yakın bir şekilde oluşmaktadır. Böylece daha ince taneli bir mikroyapı meydana gelmektedir [95]. Buna ek olarak, çözeltiye alma işlemi ile birlikte ötektik Si yapısı modifiye edilmiş ve mikroyapı daha ince taneli ve daha homojen bir dağılıma sahip bir ötektikten meydana gelmiştir. Meydana gelen bu ötektik yapısı yaşlandırma işlemi

sonrasında da morfolojisini korumuştur. Çözeltiye alma sonrası yapıda çözünen CuAl_2 fazlarının yaşlandırma sonrasında yapıya dağıldığı yine Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.7 : Sr + B ilaveli numunelerin farklı döküm ve ısıtım parametreleri altında elde edilen mikroyapı görüntüleri

Şekil 4.7’de tane inceltici olarak ilave edilen B ile modifikasyon amaçlı ilave edilen Sr’nin birlikte ilavesi sonucu elde edilen test numunelerinin farklı parametreler altında elde edilen mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Sr + B ilavesi ile mikroyapı Sr + Ti ilavesinde görünen mikroyapıya benzer özelliklerde oluşmuştur. Sr ilavesi ile kaba bir formda oluşan Si morfolojisinin daha ince ve küresel bir şekilde oluştuğu gözlemlenirken, Ti ilavesi ile meydana gelen AlTi_3 çevresinde çekirdeklenmelerin

oluşmasıyla daha küçük taneli bir mikroyapı elde edilmiştir. Buna ek olarak, ısıtma işlemi ile birlikte daha eş eksenli tanelerin oluştuğu görülmüştür.

SDAS sonuçları;

Elde edilen mikroyapı görüntüleri üzerinde ikincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS) hesaplanmış ve Çizelge 4.1’de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Veriler sırası ile incelenecek olursa ısıtma işlemi görmemiş ve herhangi bir alaşım elementi ilavesi yapılmamış alaşımlar (T41 ve T42) için dendrit kolları arası mesafe birbirlerine yakın değerlerdedir. Çözeltiye alma işlemi sonrasında az da olsa bu mesafede artış gözlenirken, yaşlandırma işlemi sonrasında gaz giderme işlemi yapılmamış alaşımda (T41) SDAS değerinde yaklaşık olarak % 40’lık bir artış gözlemlenmiştir.

Stronsiyum ilavesi ile ısıtma işlemi görmemiş T43 ve T44 alaşımlarında SDAS değerleri sırasıyla 15,17 ve 16,53 mikron olarak elde edilmiştir. Çözeltiye alma işlemi ile birlikte SDAS değerleri sırasıyla 17,51 ve 16,58 mikron seviyelerine yükselmiştir. Yaşlandırma işlemi ile birlikte gaz giderme işlemi yapılmamış alaşımın SDAS değeri, aynı ısıtma işlem parametresi altındaki T41 alaşımının SDAS değerine göre yaklaşık olarak % 37 düşmüştür. Gaz giderme işlemi yapılmış alaşımın SDAS değeri ise ilavesiz T42 alaşımının SDAS değeri ile hemen hemen aynı seviyelerde elde edilmiştir (% 2).

Tane inceltici (Ti) ve modifiye edici (Sr) alaşım elementlerinin ilave edildiği ısıtma işlemi görmemiş alaşımlarda (T45 ve T46) SDAS değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada Ti ilavesi ile birlikte dendrit kolları arasındaki mesafenin küçülmesi beklenmektedir. Ancak Sr ilavesi ile birlikte ergiyik kalitesinde düşüş meydana gelmiştir. Sr, hidrojen gibi gazların ergiyik içindeki çözünürlüğünün artırarak oksit film kusurunun oluşmasına sebebiyet vermektedir [96]. Katılaşma esnasında yapı boşluklarında ve özellikle dendritler arasında katılaşan oksit filmler dendrit kollarının birbirlerine yaklaşmasını sınırlandırmaktadır. Çözeltiye alma işlemi ile birlikte bu değerler daha da artarken yaşlandırma işlemi ile tanelerde küçülmeler meydana gelmiştir. Tane inceltici olarak ilave edilen Ti, ısıtma işlemi görmemiş T47 ve T48 alaşımlarının SDAS değerlerini yaklaşık olarak sırasıyla %17 ve %15 oranlarında düşürmüştür. Burada Ti’nin tane inceltme üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Çözeltiye alma işlemi ile birlikte tane kabalaşması meydana gelmiştir.

Yaşlandırma işlemi tane boyutunda küçülmeye neden olmuştur, ancak gaz giderme işlemin SDAS değerleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür.

B ilavesi SDAS değerlerini gözle görülür bir şekilde etkilememiştir. Burada tane inceltme işleminin etkinliği için oluşturulan AlB_2 miktarı kritik bir rol oynamaktadır. SDAS değerinde herhangi bir değişimin oluşmaması ilave edilen Al_3B master alaşım miktarının yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [97]. Isıl işlem görmemiş alaşımlar incelendiğinde (T49 ve T50) SDAS değerleri gaz giderilmiş alaşım için 15,91 mikron, gaz gidermesiz alaşım için ise 16,89 mikron olarak elde edilmiştir. Sr+B ilaveli alaşımlar (T51 ve T52) ele alındığında ilave parametreler ısıtıl işlem görmemiş alaşımlar için SDAS değerlerini düşürürken bu düşüş gaz giderilmiş alaşımda (T52) daha fazladır. Her ne kadar Sr ilavesi ile sıvı metal kalitesi düşse ve bu düşüş tane inceltme prosesini olumsuz yönde etkilese de, gaz giderme işlemi ile birlikte oksit film kusurunun etkinliğini azaltan hidrojen gazı ergiyikten uzaklaştırılmaktadır. Bu da dentritler arasında katılaşan oksit film sayısı ve boyutunu düşürdüğü için SDAS değerini de düşürmüştür.

Çizelge 4.1 : İkincil dendrit kolları arası mesafe (SDAS - μm).

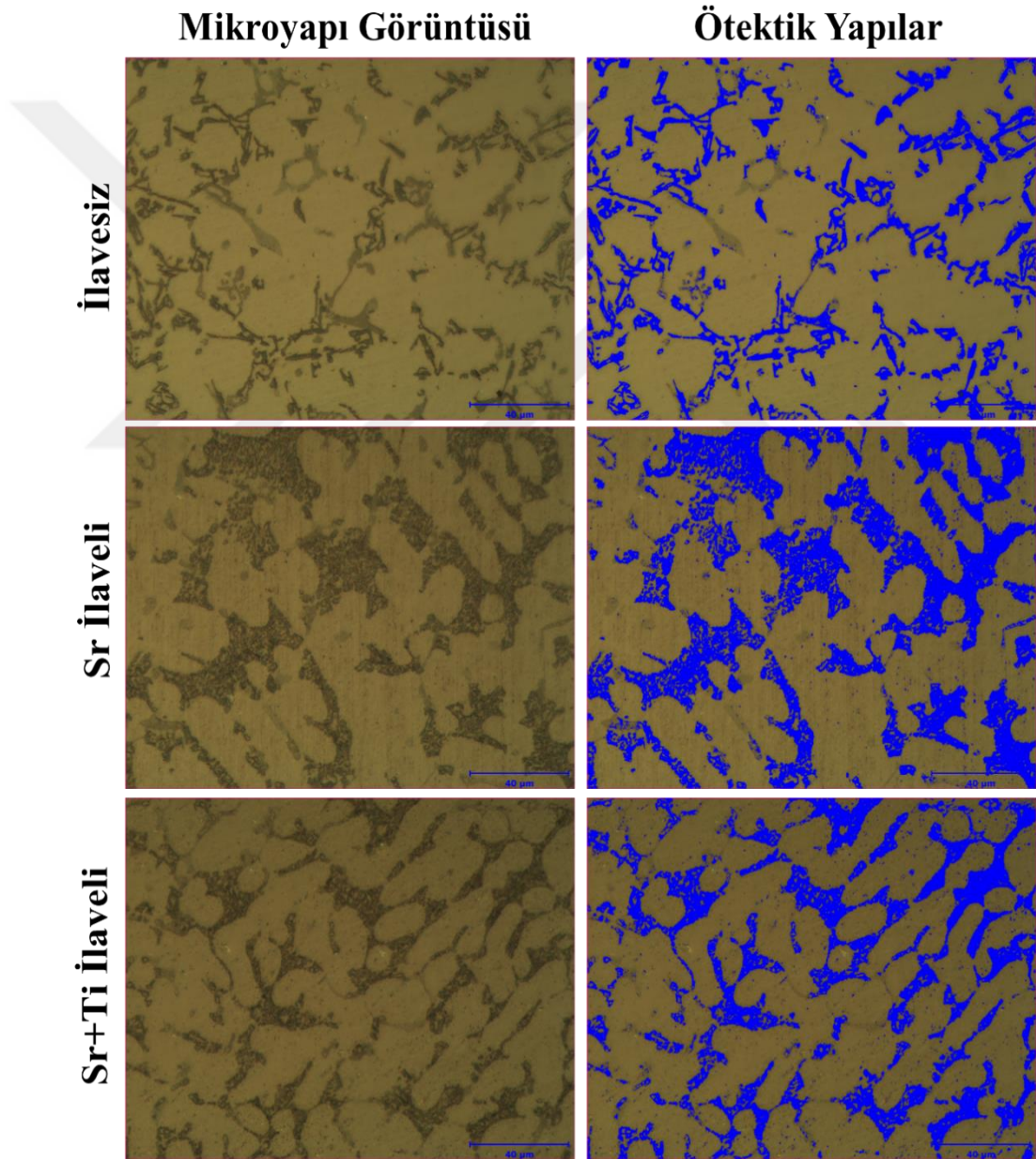
	Isıl İşlemsiz	Çözeltiye Alma	Yaşlandırma
T41	16.74	17.78	23.33
T42	16.94	17.97	19.26
T43	15.17	17.51	14.84
T44	16.53	16.58	18.85
T45	19.24	18.01	17.11
T46	17.43	19.55	17.02
T47	13.96	19.50	16.03
T48	14.48	18.56	15.61
T49	16.89	18.42	18.26
T50	15.91	18.87	22.89
T51	15.40	14.67	14.76
T52	14.64	15.78	15.77

Tüm SDAS sonuçları beraber incelendiğinde en düşük SDAS değeri tane inceltilmiş T47 alaşımında elde edilirken, en yüksek SDAS değeri ilavesiz ve ısıtıl işlem gerçekleştirilmiş T41 alaşımında elde edilmiştir. Isıl işlem ile birlikte hemen hemen tüm SDAS değerlerinde artış meydana gelmiştir. Burada, yaşlandırma süresi veya sıcaklığı oldukça sınırlı da olsa tane kabalaşmasına sebebiyet vermiştir. Al-Si-Cu alaşımları, yaşlandırma işleminde düşük sıcaklık değişimlerinden oldukça fazla

etkilenmektedir. Düşük sıcaklık farklılıkları bile malzemenin mikroyapısına, tane şekline ve boyutuna etki etmektedir [98-100].

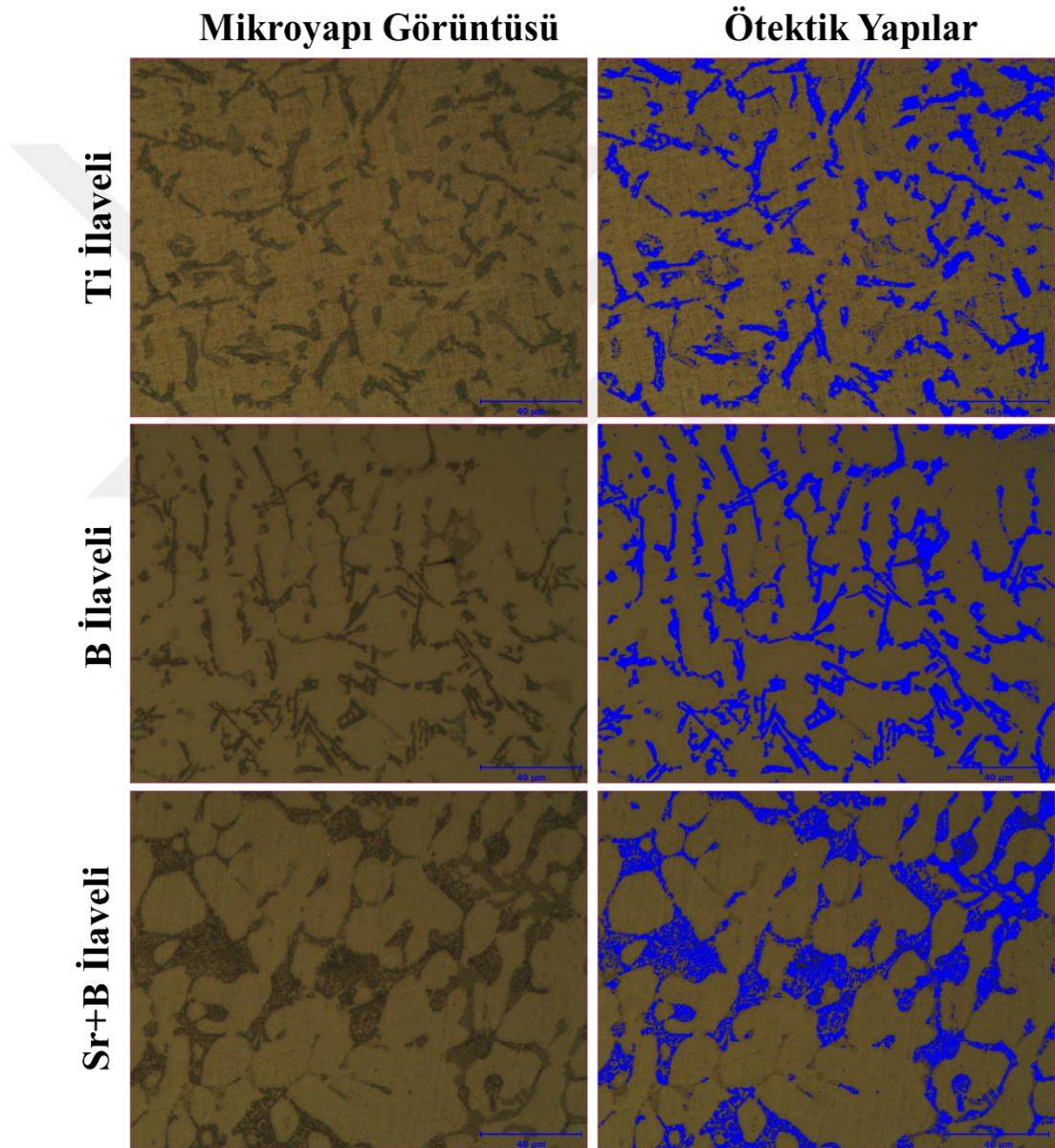
Ötektik oran sonuçları;

Mikroyapısal incelemeler ışığında numunelerin ötektik alan değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.8 ve 4.9’da farklı ilave parametreleri altında elde edilmiş test numunelerinin mikroyapı incelemeleri altında elde edilen ötektik alan oranlarının şekilsel olarak gösterimleri sunulmuş olup, elde edilen ötektik alan değerleri Şekil 4.10’da ısıtıl işlem kademeleri de dahil edilerek verilmiştir.



Şekil 4.8 : İlavesiz, Sr ilaveli ve Sr+Ti ilaveli numunelerin sahip olduğu ötektik oranların gösterimi.

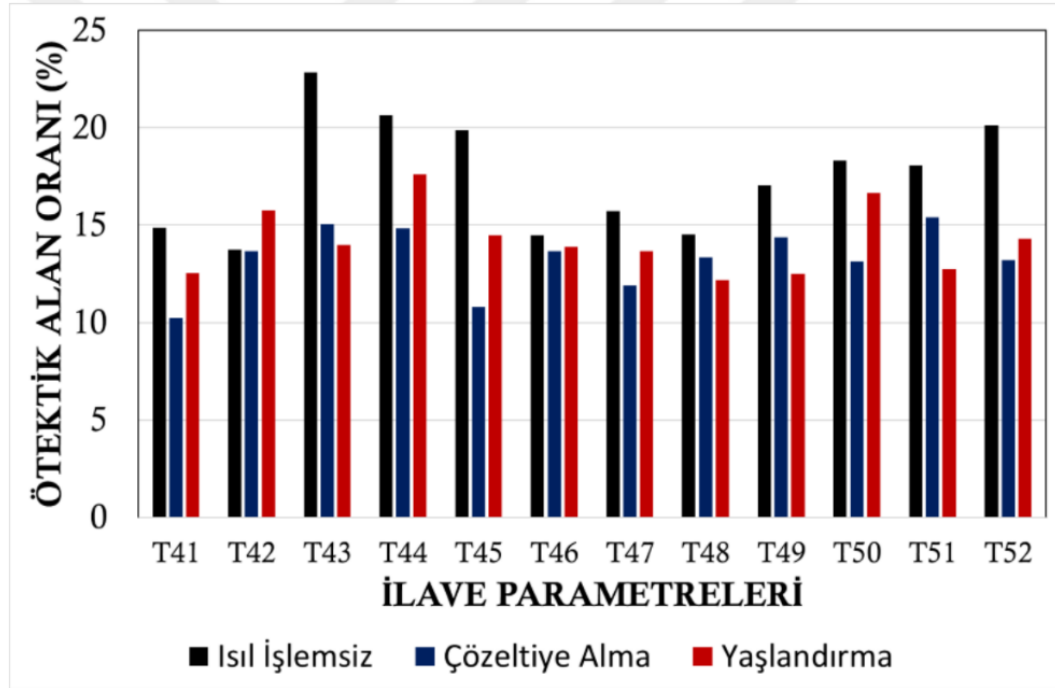
Bilindiği üzere Al-Si-Cu alaşımlarında ikili ötektik yapılar (Al-Si ve Al-Cu) mevcuttur [8]. İlavesiz alaşım incelendiğinde ısıtıl işlem öncesi ötektik alanın çözeltiye alma ve yaşlandırma sonucu elde edilen ötektik alan oranından daha yüksek olduğu görülmüştür. Çözeltiye alma işlemi 495 °C’de gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı içerisinde var olan CuAl_2 fazları 500 °C’nin hemen altında yapı içerisinde çözülmeye başlamaktadır [8]. Bu çözülme ile birlikte toplam ötektik alanda gözlemlenen düşüş normal karşılanmaktadır. Gaz giderme işlemi ile birlikte ötektik alan oranları ısıtıl işlem öncesi ve sonrası yaklaşık olarak aynı seviyelere gelmiştir.



Şekil 4.9 : Ti, B ve Sr+B ilaveli numunelerin sahip olduğu ötektik oranların gösterimi.

Isıl işlem yapılmamış Sr ilaveli alaşımda gaz giderme öncesi ve sonrası ötektik alan değerlerinin çözeltiye alma ve yaşlandırma sonrası elde edilen değerlerden daha

yüksek olduğu görülmüştür. Sıcaklık etkisiyle özellikle Al-Cu ötektiklerinin yapı içerisinde dağıldığı gözlenmiştir. Bu da toplam ötektik alan değerinin ısıtma işlem kademeleriyle birlikte azalmasına neden olmuştur. Sr + Ti ilaveli alaşımlarda da yine ısıtma işlem öncesi ötektik alanın daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak gaz giderme işlemi ile birlikte, sıcaklığın ötektik alan üzerindeki etkisi azalmıştır. Gaz giderilmiş alaşım için ısıtma işlem öncesi ve sonrası elde edilen ötektik alan değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ti ilaveli numunelerde de ısıtma işlem öncesi ötektik alan oranı hem gaz giderme öncesi, hem de gaz giderme sonrası daha yüksek elde edilirken, bu oran çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleriyle birlikte düşmüştür. B ilaveli test numunelerinde de ısıtma işlem ile birlikte ötektik alan oranında azalma görülmüştür. Sr + B ilaveli test numunelerinde de ısıtma işlem ile birlikte ötektik alanda meydana gelen düşüş hem gaz giderme öncesi hem de gaz giderme sonrası elde edilmiştir.

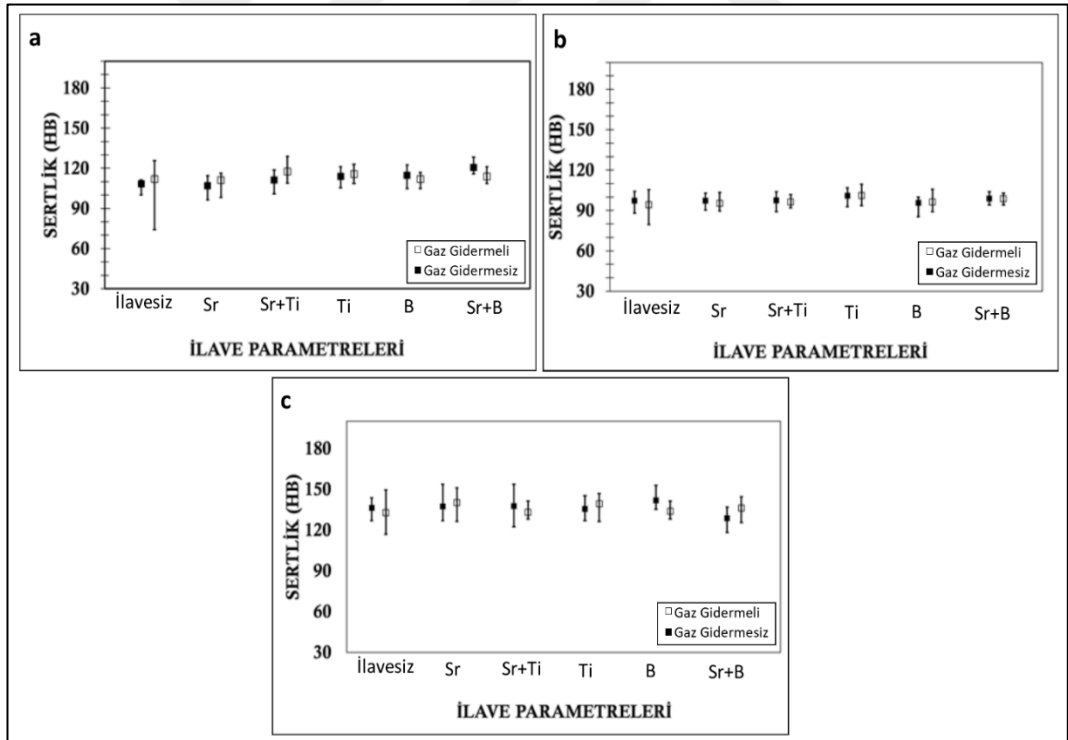


Şekil 4.10 : Tüm numunelerin farklı T6 ısıtma işlem kademeleri boyunca sahip oldukları ötektik alan oranları.

Sonuçlar toplu olarak değerlendirilecek olursa, yaşlandırma işlemi ile birlikte gaz giderme öncesi ve sonrası elde edilen ötektik alan değerlerinin farklı ısıtma işlem kademeleri altında birbirlerine çok uzak değerlerde olmadığı görülmüştür. T6 ısıtma işlemi ile birlikte CuAl₂ fazı, yapı içerisinde kısmen çözündüğünden toplam ötektik alanda bir düşüş gözlemlense de, gaz giderme işleminin bu çalışma için ötektik alan üzerinde belirli bir etkinliğine rastlanmamıştır.

4.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları

Farklı döküm ve ısıl işlem parametreleri altında elde edilen test numunelerinin sertlik değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11a incelendiğinde farklı ilave parametrelerinin alaşımın sertlik değerleri üzerinde farklı etki yarattığı görülmektedir. Sr modifikasyonunun malzemenin sertlik değeri üzerinde etkili olmadığı, hatta gaz giderme işlemi ile de Sr modifikasyonunun sertlik üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu görülmüştür. Sr modifikasyonu ile gevrek Si partikülleri modifiye edilip yapı daha sünek bir hale getirildiğinden elde edilen sonuçlar olağan karşılanmaktadır. Moustafa, M. A. ve ekibi [101] tarafından A413 alaşımında Sr modifikasyonunun malzeme sertliğini yaklaşık %13 düşürdüğü söylenmiştir. Modifiye edici ve tane inceltici alaşım elementlerinin birlikte ilavesi (Sr + Ti ve Sr + B) malzemenin sertlik değerini yükseltmiştir. Ayrıca farklı tane incelticilerin ilavesi ile sertlik değerlerinde benzer şekilde artış gözlenmiştir. Ancak bu artış Basavakumar, K. G. ve arkadaşlarının [102] ötektik altı Al alaşımında elde ettikleri sertlik değerleri gibi oldukça düşüktür.



Şekil 4.11 : Sertlik değerleri; a) Isıl işlemsiz, b) 3 saat çözeltiye alma sonrası, c) 3 saat çözeltiye alma ve 16 saat yaşlandırma sonrası.

Bakır, katılaşma esnasında Al ile bir araya gelerek CuAl_2 veya $\alpha\text{-Al}+\text{CuAl}_2$ lamelleri olarak çökelen intermetalik bir faz oluşturur [103]. Buna ek olarak, yapı içerisindeki demir varlığına ve miktarına bağlı olarak Cu_2FeAl_7 veya $\text{Q-Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6$ gibi

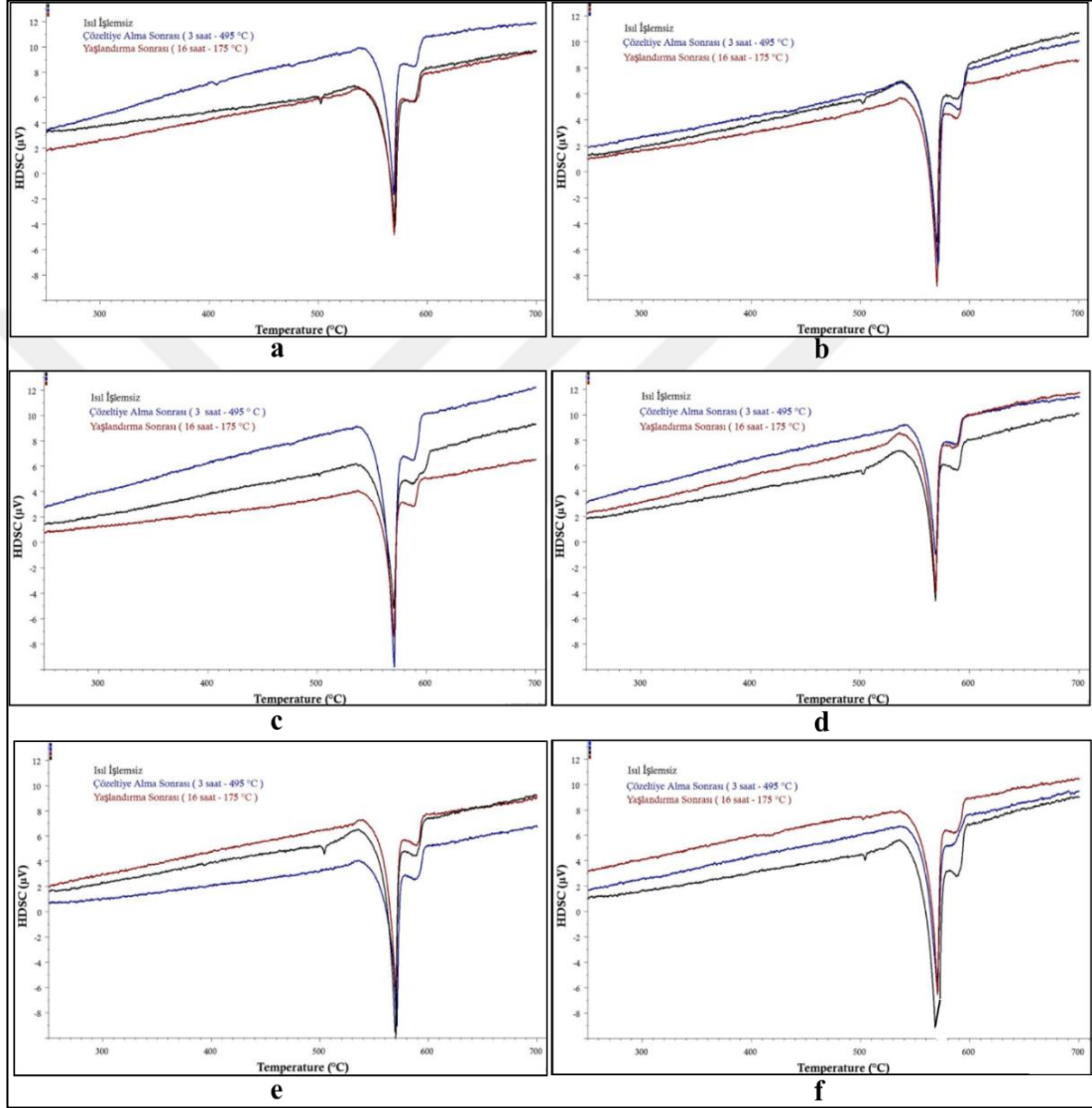
intermetalikler de oluşabilmektedir [104]. CuAl_2 fazı, interdendritik bölgelerde lamel şeklinde veya ince bir şekilde dağılmış $\alpha\text{-Al}$ ve CuAl_2 parçacıklarından oluşmaktadır. FeSiAl_5 yapıları gibi çekirdeklenme bölgelerinin varlığı veya katılma sırasında yüksek soğutma hızları ince CuAl_2 partiküllerinin oluşumuna neden olmaktadır. Lamel şeklinde oluşan CuAl_2 fazının ısıtma işlemi ile birlikte çökelti oluşturma kapasitesi partikül şeklinde oluşan CuAl_2 fazının çökelti oluşturma kapasitesinden daha düşüktür. Bu nedenle oluşan intermetalik boyut ve içeriği ısıtma işlemi verimliliği üzerinde direkt bir etkiye sahiptir ve bu da malzeme sertliğine yansımaktadır [104].

Isıtma işlemi malzemenin sertliğini etkileyen en önemli parametre olarak ortaya çıkmıştır. Farklı ilave parametrelerine sahip numunelerin sertlik değerleri çözeltiye alma işlemi ile düşmüştür (Şekil 4.11b). Bu sonuç oldukça olağandır, çünkü çözeltiye alma işlemi ile ikincil fazlar yapı içerisinde dağılmış ayrıca iğnemsiz Si yapılarının etkinliği azalarak malzeme daha sünek bir hale gelmiştir. Daha sonra yapılan yaşlandırma işlemi ile malzemelerin sertlik değerlerinde oldukça yüksek artışlar görülmüştür (Şekil 4.11c). Boşluklara ve Al matriks içine çökelen ikincil fazlar ve intermetalikler malzemenin daha mukavemetli bir hal almasını sağlamıştır [8]. Tüm parametreler birlikte incelendiğinde en yüksek sertlik değeri yaşlandırılmış B ilaveli numuneden elde edilirken en düşük sertlik değeri de çözeltiye alınmış B ilaveli numuneden elde edilmiştir.

4.4 DSC Sonuçları

Farklı parametreler altında elde edilen numunelerin termal analiz (DSC) sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. Isıtma işlemi görmemiş numunelerin termal analiz sonuçları toplu bir şekilde değerlendirilirse farklı sıcaklıklarda 3 farklı ekzotermik pikin elde edildiği söylenebilmektedir. Ekzotermik piklerden ikisi Al-Cu ve Al-Si ötektik fazlarının ergidiği sıcaklıklarda (sırasıyla yaklaşık 500 °C ve 570 °C) oluşmuştur. Al-Si-Cu üçlü ötektiğinin çözündüğü sıcaklık olan yaklaşık 590 °C’de ise üçüncü pik meydana gelmiştir. 3 saat çözeltiye alma işleminden sonra birinci pik gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni Al-Cu ötektiğinin yapı içerisinde çözünmesine bağlanmıştır. İkinci ve üçüncü pikler ise aynı sıcaklıklarda oluşmuş, sadece ekzotermik reaksiyon için gereken enerjinin çok daha az olduğu gözlemlenmiştir. Yaşlandırma işlemi ile birlikte yine birinci pike rastlanmamış ve ikinci ve üçüncü pikler aynı sıcaklıklarda elde edilmiştir. Numunelerin hepsinde ekzotermik reaksiyon

gerçekleşmiş olup proses esnasında numuneden dışı ısı akışı olmuştur. Farklı döküm parametreleri malzemenin termal davranışına farklı etkide bulunmuştur. Her ne kadar elde edilen pikler her parametre için aynı sıcaklıkta olsa da malzeme ile referans malzeme arasındaki ısı akışı farkı birbirlerinden oldukça farklıdır. Ti ilaveli numunelerde ısı akışı en az iken B ve Sr+Ti ilaveli numunelerde ısı akışı en fazladır.

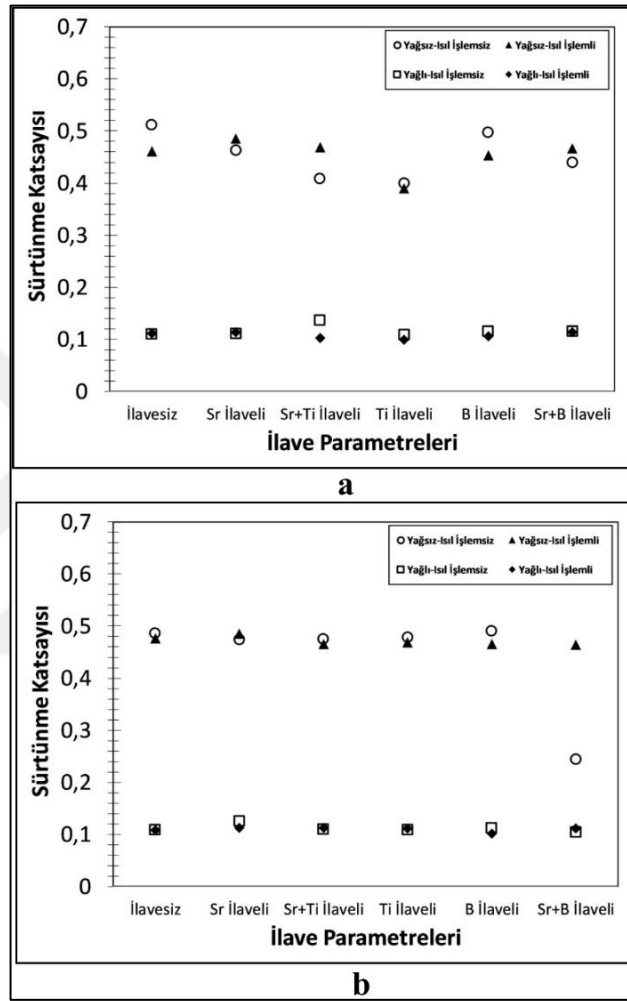


Şekil 4.12 : DSC analiz sonuçları; a) ilavesiz, b) Sr ilaveli, c) Sr + Ti ilaveli, d) Ti ilaveli, e) B ilaveli, f) Sr + B ilaveli.

İlavesiz ve Ti ilaveli test numunelerinde mevcut ötektik alan değerlerinin diğer test numunelerine göre daha az seviyelerde olduğu Şekil 4.10’da görülmektedir. Termal analiz süresince ısıtma ile birlikte daha az ötektik alana sahip bu test numunelerinde, ötektik alanın ergitilmesi için gerekli enerji miktarı daha az olduğundan ısı akışı daha az meydana gelmiştir. Diğer test numuneleri (Sr, Sr+Ti, B ve Sr+B ilaveli) daha yüksek ötektik alan oranına sahip olduğu için harcanan enerji daha fazladır.

4.5 Aşınma Test Sonuçları

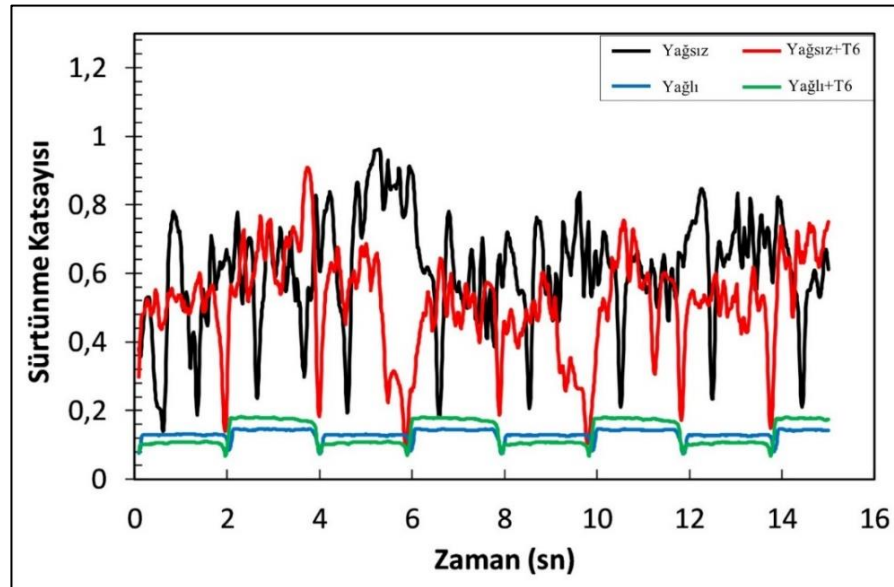
Farklı döküm parametreleri altında elde edilmiş numunelerin aşınma karakteristikleri iki farklı aşınma tekniği kullanılarak açıklanmıştır. Şekil 4.13'te farklı ilave parametreleri altında elde edilmiş test numunelerinin, farklı aşınma ortamı ve aşınma parametreleri altında elde edilen sürtünme katsayıları verilmiştir.



Şekil 4.13 : Sürtünme Katsayısı; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.

Şekil üzerinde de görüldüğü üzere yağsız ortamda tüm numunelerin sürtünme katsayıları daha yüksektir. Bu oldukça olağan bir durumdur, çünkü yağlı ortamda gerçekleştirilen aşınma testinde aşındırıcı ile aşınan yüzey arasına dolan yağ, git-gel dinamik hareketlerini kolaylaştırmakta ve malzemenin daha az aşınmasını sağlamaktadır. Bu sonuç malzemenin yağ ortamının malzeme katsayısına olan etkisinden meydana gelmektedir. Gaz gidermesiz numuneler incelendiğinde yağlı ortamda gerçekleştirilen aşınma test sonucunda numunelerin sürtünme katsayıları ısıtım işlem öncesi ve sonrası birbirlerine çok yakın değerlerde elde edilmiştir. 3 N gibi çok

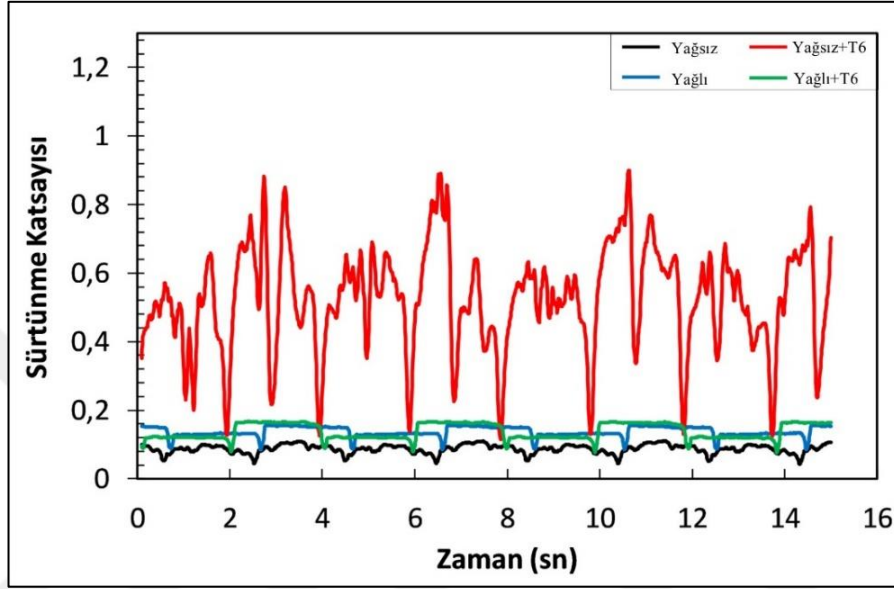
hassas yük altında çalışıldığından elde edilen bu yakın değerler malzemenin spesifik sürtünme katsayısı değerlerini temsil etmektedir. İlavesiz, Sr ve Sr+B ilaveli numunelerde ısıtılmanın ortalama sürtünme katsayısı değeri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir. Sr+Ti ilaveli test numunesinde ısıtılmamış numunede sürtünme katsayısı daha yüksek elde edilmiştir. Yağsız ortam incelendiğinde ısıtılmanın farklı ilave parametrelerine sahip numunelerde farklı etkiler doğurmuştur. Sr ve Sr+B ilaveli numunelerde ısıtılma işlemi ile sürtünme katsayısında bir düşüş gözlenirken, diğer parametrelerde sürtünme katsayısı ısıtılma işlemi ile birlikte artmıştır. Çözeltiliye alma işlemi esnasında meydana gelen kısmi ikincil faz çözümleri alaşımların sürtünme katsayılarını arttırıcı bir etki yaratmıştır. Gaz giderilmiş test numunelerinin sürtünme katsayıları incelendiğinde yağsız ortamda tüm parametreler için yakın değerler elde edilirken B ilaveli test numunesinde oldukça düşük olan sürtünme katsayısı değeri ısıtılma işlemi ile birlikte artmıştır. Yağlı ortamda ise bu değerler her ilave parametresi için hemen hemen aynı seviyede elde edilmiştir. Uygulanan aşınma testi sonuçları malzemenin yüzey özelliklerinin, hatta malzeme yüzeyinde deneyin gerçekleştirildiği $0,4 \text{ cm}^2$ 'lik bir alanın özelliğinden oldukça fazla etkilenmektedir. Burada malzeme yüzeyindeki döküm işlemi sonucunda meydana gelen porozite gibi kusurların varlığı aşınma testini etkileyeceğinden gaz giderme işleminin etkisinden bahsetmek mümkün olacaktır.



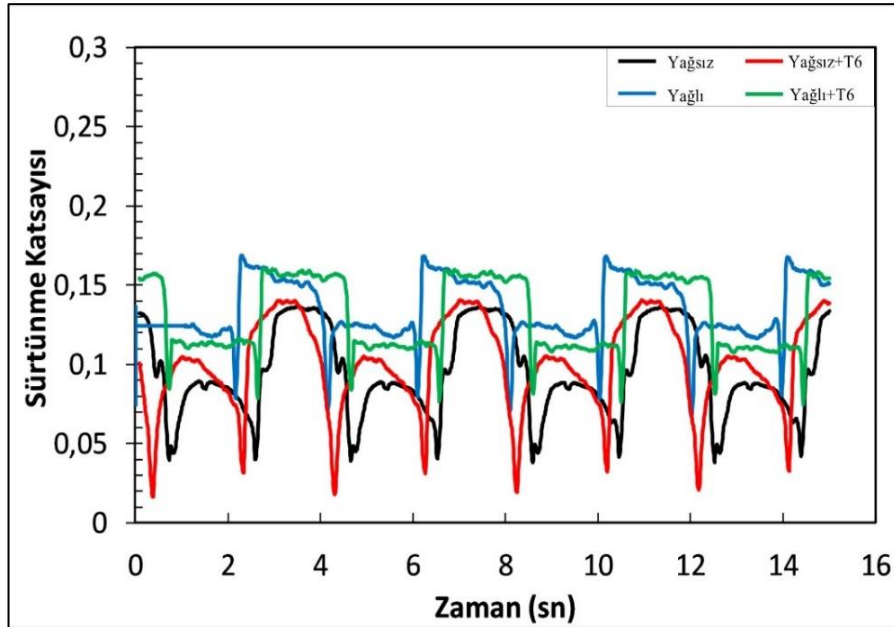
Şekil 4.14 : İlavesiz alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.14'te farklı aşındırma ortamları ve ısıtılma işlem parametreleri için ilavesiz test numunesinin sürtünme katsayısının zamanla değişimi verilmiştir. Yağlı ortamda

gerçekleştirilen aşınma testinde gerek ısıtma işlem öncesi gerekse ısıtma işlem sonrası sürtünme katsayısı düzenli bir değişim oluşturmıştır. Yağsız ortamda yapılan test numunlerinde zaman ile sürtünme katsayısı çok farklı değerlerde elde edilmiştir. Aşınma sırasında numune yüzeyinden kopan malzemenin aşındırıcı uç üzerine yapışıp git-gel hareketi sonucu tekrar ayrılmasıyla sürtünme katsayısının farklı değerlerde elde edilmesine neden olmuştur.



Şekil 4.15 : Sr ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

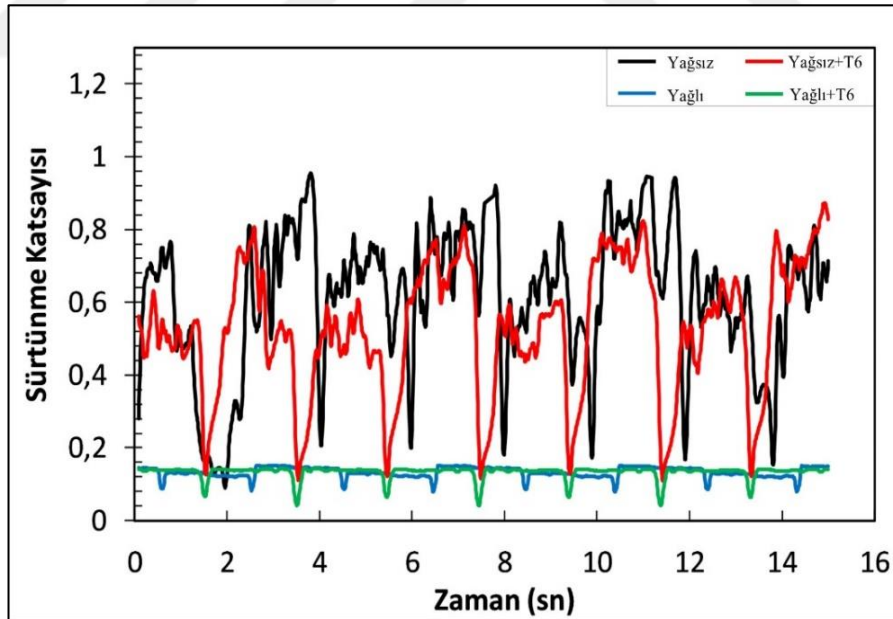


Şekil 4.16 : Ti ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.15'te farklı aşındırma ortamları ve ısıtma işlem parametreleri için Sr ilaveli test numunesinin sürtünme katsayısının zamanla değişimi verilmiştir. Isıtma işlem görmüş test

numunesinin yağsız ortamdaki aşınma testi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı değerleri farklı zamanlarda birbirinden oldukça farklı değerlerde elde edilse de, aşınma testi boyunca birbirine yakın simetride bir sürtünme katsayısı – zaman grafiği elde edilmiştir. Diğer parametreler için aşınma testinin ilk saniyesinden itibaren git-gel hareketi boyunca sabit sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiş olup, bu da eğrilerin birbirini tekrar eden düzende elde edilmesini sağlamıştır.

Şekil 4.16’da farklı aşındırma ortamları ve ısıtım işlem parametreleri için Ti ilaveli test numunesinin sürtünme katsayısının zamanla değişimi verilmiştir. Ti ilave parametrelili test numunelerinde her aşınma ve ısıtım işlem parametresi için sürtünme katsayısı – zaman eğrileri oldukça kararlı bir şekilde elde edilmiştir. Kararlı sonuçların elde edilmesi, sürtünme katsayısının aşınma testi boyunca numunenin farklı bölgeleri için daha yakın değerlerin elde edilmesi anlamına gelmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, bu malzemenin aşınma karakteristiğinin sadece aşınan bölge için değil malzeme geneli için de yorumlanabilmesine imkan tanımaktadır. Buna ek olarak, sürtünme katsayısı değeri diğer ilave parametrelerine göre özellikle yağsız ortam için daha düşük elde edilmiştir.



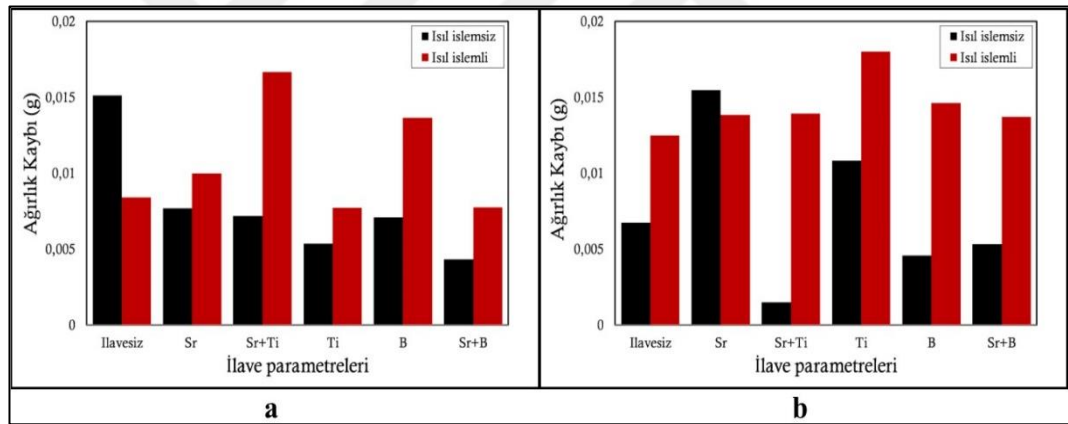
Şekil 4.17 : B ilaveli alaşımda zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.17’de farklı aşındırma ortamları ve ısıtım işlem parametreleri için B ilaveli test numunesinin sürtünme katsayısının zamanla değişimi verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde ısıtım işlem görmüş ve görmemiş test numuneleri için yağsız ortamda sürtünme katsayı değerleri farklı saniyelerde oldukça farklı değerlerde elde edilmiştir.

Bu anlamda bir kararsızlık gibi görülsede genel olarak tekrarlanan sonuçların gözlenmesi ortalama sürtünme katsayısı değerinin doğru bir şekilde hesaplandığını ortaya koymaktadır. Yağlı ortam parametresi için hem ısıtım işlem öncesi hem de sonrası sürtünme katsayısı – zaman eğrileri belli bir düzen ve simetride elde edilmiştir.

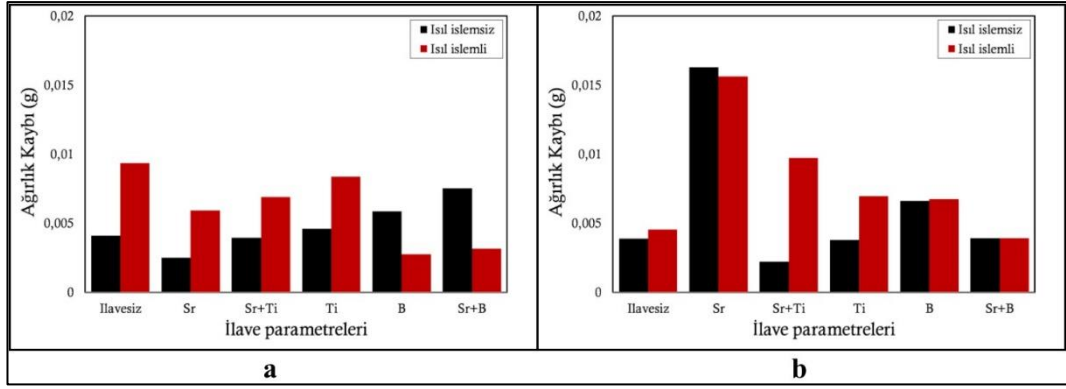
Tüm sürtünme katsayısı grafikleri her bir test numunesi için incelenecek olursa ısıtım işlem öncesi ilavesiz alaşımların kuru ortamda gerçekleştirilen testlerin sonucunda en yüksek sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada düzensizlik ısıtım işlem sonrası elde edilen değerlere göre daha fazladır. Bunun nedeni, yapı içerisinde var olan ve α -Al yapısından daha sert bir özellik taşıyan yapıların (ötektik silis, oksit film veya intermetalikler) malzeme içerisine daha bölgesel dağılmalarıdır. T6 ısıtım işlemi ile birlikte malzemenin sürtünme katsayısında aynı düzensizliklerin olduğu görülmüştür. Yağ ortamı ile birlikte aşınan zaten düşük olan aşındırma kuvveti sert faza sahip bölgeler üzerinde de çok fazla etkili olmadığı için daha homojen bir aşındırma gerçekleşmiştir. Sr ilaveli alaşımda ise ısıtım işlem öncesi sürtünme katsayısı çok düşük değerlerde elde edilmiştir. Bunun nedeni, ötektik Si partiküllerinin α -Al içerisinde daha küçük ve ince partiküller halinde oluşmasıyla malzeme genelinde daha sünek ve sert faz dağılımı açısından daha homojen bir yapının elde edilmesidir. T6 ısıtım işlemi ile birlikte ikincil fazların malzeme sertliği üzerindeki etkisi aşınma karakteristiğine de yansımış, ve bu nedenle sürtünme katsayısı daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Yağ ortamında ise ısıtım işlem öncesi ve sonrası sürtünme katsayıları düşük seviyelerde elde edilmiştir. Ti ilaveli alaşımda tüm sürtünme katsayısı değerleri düşük seviyelerde elde edilmiştir. Kuru ortamda gerçekleştirilen testlerde, aşınma miktarının çok az olduğu görülmektedir. Tane inceltme işlemi ile birlikte tane sınırı artmaktadır. Tane sınırı ise α -Al yapısına göre daha serttir. Tane sınırının artışı malzemenin aşınma davranışını iyileştirmiş olup, bu iyileşme T6 ısıtım işlem öncesi ve sonrasında görülmüştür. Buna ek olarak, yağlı ortamda da sürtünme katsayısı değerleri eşit seviyelerdedir. Buradaki fark ise, yağsız ortamda malzeme özelliğinin iyileşmiş olması iken, yağsız ortamda uygulanan kuvvetin yetersiz kalmasıdır. B ilaveli alaşımda tane inceltme kapasitesinin Ti kadar etkili olmadığı SDAS değerleri incelenirken tartışılmıştır. Kaba α -Al yapılarının mevcut olduğu bu alaşımda kuru ortamda sürtünme katsayıları daha yüksek elde edilmiştir. Bununla beraber, yağlı ortamda sürtünme katsayıları daha düşük seviyelerdedir. Şekil 4.18’te yağsız ortamda gerçekleştirilen aşınma test sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları

gösterilmiştir. Gaz giderme işlemi yapılmış numuneler incelendiğinde, T6 ısıtma işlemi ile birlikte ağırlık kaybında bir artış gözlenmiştir. T6 ısıtma işlemi ile birlikte malzemenin aşınma davranışında iyileşmeler beklenmesine rağmen, malzeme yüzeyi ve yüzeyine yakın bölgelerde aşınma davranışının kötüleştiği görülmüştür. Gaz giderme işlemi yapılmış numunelerde de aynı sonuçların elde edildiğini söylemek mümkündür. T6 ısıtma işlemi ile birlikte özellikle malzeme yüzeyi, malzeme iç kısmına göre daha sünük bir hale gelmiştir. Çeliklerde rastlanılan ‘karbonsuzlaşma’ olayının benzeri bir durum ile karşılaşmıştır. Aşınma testi 3 N gibi bir yük altında gerçekleştirildiğinden elde edilen aşınma sonuçları malzemenin yüzey özelliklerini bağlamaktadır. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde gaz giderme işleminin ağırlık kaybını arttırdığı söylenebilmektedir. Özellikle gaz giderilmiş numunelerde ısıtma işlemi ile birlikte ağırlık kaybı daha da artmıştır. En yüksek ağırlık kaybı değeri Ti ilaveli + gaz giderilmiş + ısıtma işlemi görmüş numunede gözlenirken, en az ağırlık kaybına Sr+Ti ilaveli + gaz giderilmiş + ısıtma işlemi görmemiş numunede gözlenmiştir.



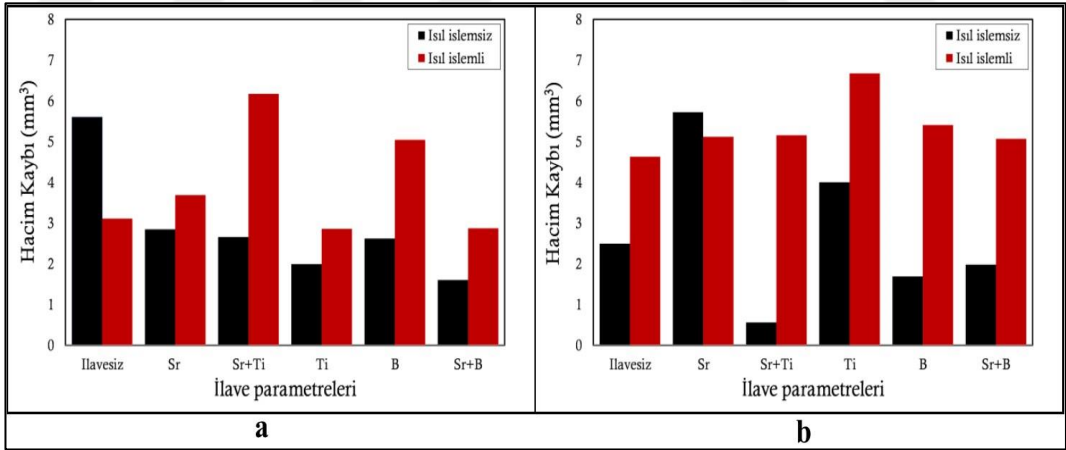
Şekil 4.18 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.

Yağlı ortamda yapılan aşınma test sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları Şekil 4.19’da verilmiştir. Yağlı ortamda elde edilen ağırlık kaybı değerleri yağsız ortamda elde edilen ağırlık kaybı değerlerine göre, doğal olarak, daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Sr ilave edilmiş ve gaz giderme işlemi yapılmış numune hariç diğer tüm numunelerde ağırlık kaybı neredeyse yarıya düşmüştür. Yağsız ortamda elde edilen sonuçların benzeri yağlı ortamda elde edilmiştir. T6 ısıtma işlemi ile birlikte meydana gelen ağırlık kayıpları daha fazladır. Burada, gaz giderme işlemi yapılmamış ve B ve Sr+B ilave edilmiş numunelerde T6 ısıtma işlemi ile birlikte ağırlık kaybında azalma meydana gelmiştir.



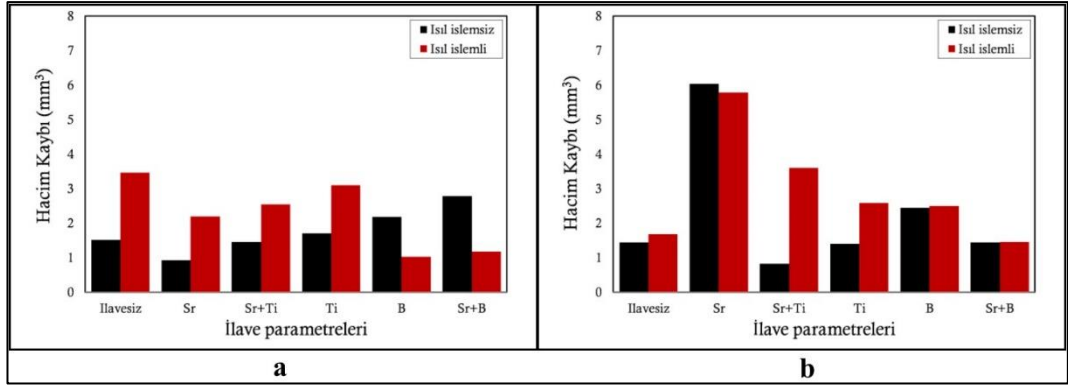
Şekil 4.19 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.

Isıl işlem ile birlikte istisnalar olmak kaydıyla malzeme yüzeyinin aşınma davranışında görülen kötüleşmeler, yağlı ve yağsız ortamda yapılan testlerin ortak sonucudur. Ancak, gaz giderme işleminin malzemenin aşınma davranışına çok farklı şekillerde etki etmiştir. Bu nedenle gaz gidermenin aşınma davranışı üzerindeki etkisinden spesifik bir şekilde bahsetmek doğru bir yorumlama olmayacaktır. Yağsız ortamda elde edilen sonuçlar incelendiğinde gaz giderme işlemi yapılmış numunelerde ısıtıl işlem ile birlikte daha hacim kaybında artış gözlenmiştir. Yağlı ortamda hacim kaybı değerleri çok daha az değerlerde elde edilmiştir.

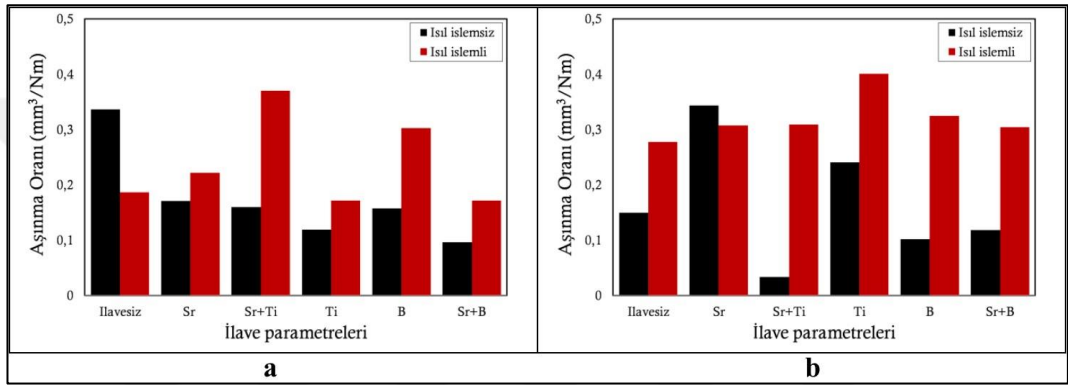


Şekil 4.20 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen hacim kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli

Yağsız ve yağlı ortamlarda aşınma testine tabii tutulan numunelerde meydana gelen hacim kayıpları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir. Ağırlık kayıp verileri üzerinde gerekli hesaplamaların yapılması sonucu hacim kayıp sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ağırlık kaybı sonuçlarının bir türevi olduğundan, grafiklerden anlaşılan her şey ağırlık kaybı sonuçlarıyla birebir örtüşmektedir.



Şekil 4.21 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerde meydana gelen hacim kayıpları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli

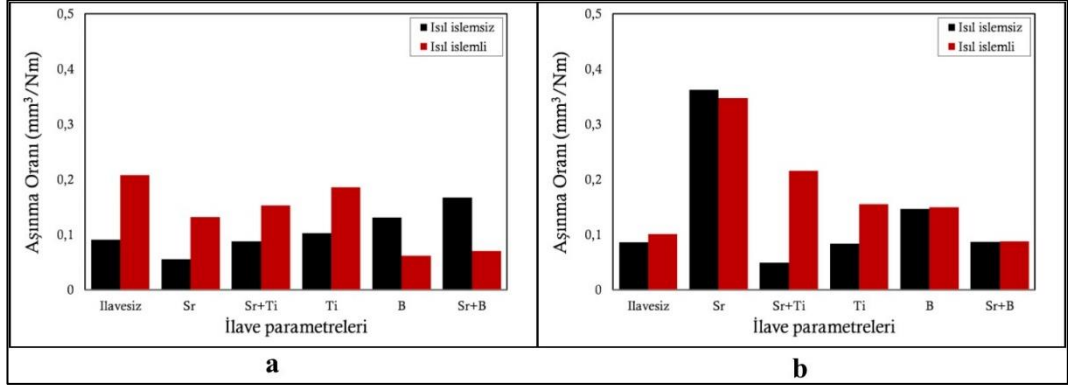


Şekil 4.22 : Yağsız ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma oranları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.

Yağlı ve yağsız ortamda gerçekleştirilen aşınma test sonuçlarına göre tüm numuneler için aşınma oranı hesaplanmış ve Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir. Yağsız ortamda gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda elde edilen aşınma oranları her numune için ayrı ayrı değerlendirilecek olursa; gaz giderilmemiş ve ilavesiz numunelerde ısıtıl işlem ile birlikte aşınma oranı azalmıştır. Gaz giderme işlemi ile birlikte aşınma oranında tersinir bir etki gözlenmiştir ve aşınma oranında artışa rastlanmıştır.

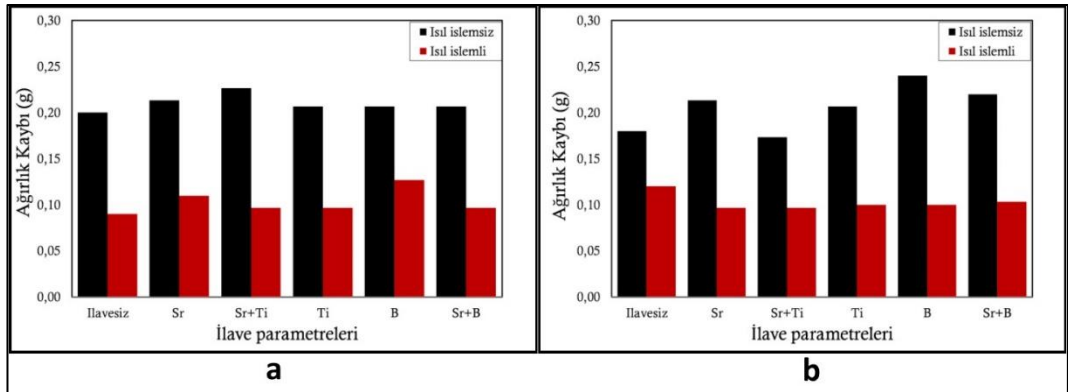
Sr ilavesi aşınma oranında düşüş gözlenirse de ısıtıl işlem ile birlikte aşınma oranında artış gözlemlenmiştir. Bu değerler gaz giderme işlemi ile daha da artmıştır. Sr+Ti ilavesi ile aşınma oranı düşmüştür. Ancak ısıtıl işlem ile birlikte hem gaz giderme öncesi hem de gaz giderme sonrası aşınma oranında artış meydana gelmiştir. Ti ilavesi ile aşınma oranı düşmüştür. Isıtıl işlem sonrası özellikle gaz giderme işlemi yapılmış numunede aşınma oranı çok daha fazla artmıştır. B ve Sr+B ilaveli numunelerde de Ti ilaveli numunelerden elde edilen sonuçların benzer örnekleri elde edilmiştir. Yağlı ortamda elde edilen aşınma oranları değerlendirilecek olursa; gaz giderilmiş ve Sr

ilave edilmiş numunelerde aşınma oranının anormal şekilde arttığı gözlenmiştir. Diğer tüm değerler yağsız ortamda elde edilen değerlere göre oldukça düşük seviyelerde elde edilmiştir.



Şekil 4.23 : Yağlı ortamda aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma oranları; a) gaz gidermesiz, b) gaz gidermeli.

Farklı parametreler altında elde edilen test numuneleri ayıca abrasif aşınma tekniği ile aşındırılmış ve elde edilen veriler Şekil 4.24'te verilmiştir. Abrasif aşınma testi sonucu ile elde edilen değerler numunenin sadece yüzey özelliklerini değil, numunenin aşınma davranışını temsil etmektedir. 10 N yük altında 60 m yol altında gerçekleştirilen bu test ile numunelerin sadece yüzeyleri değil, yüzeyden daha iç kısımları da aşındırılmıştır. Veriler incelendiğinde, ısıl işlem ile birlikte ağırlık kaybında azalmalar tüm numuneler için ortak bir sonuç olarak gözlenmiştir. Buradan, T6 ısıl işlemi ile birlikte farklı döküm parametreleri altında elde edilen numunelerin aşınma davranışlarının iyileştiği sonucuna ulaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlar her numune için yaklaşık değerlerde elde edilmiştir. Bu değer ısıl işlem görmemiş numuneler için yaklaşık olarak 0,2 g iken, ısıl işlem görmüş numuneler için 0,1 g'dır.

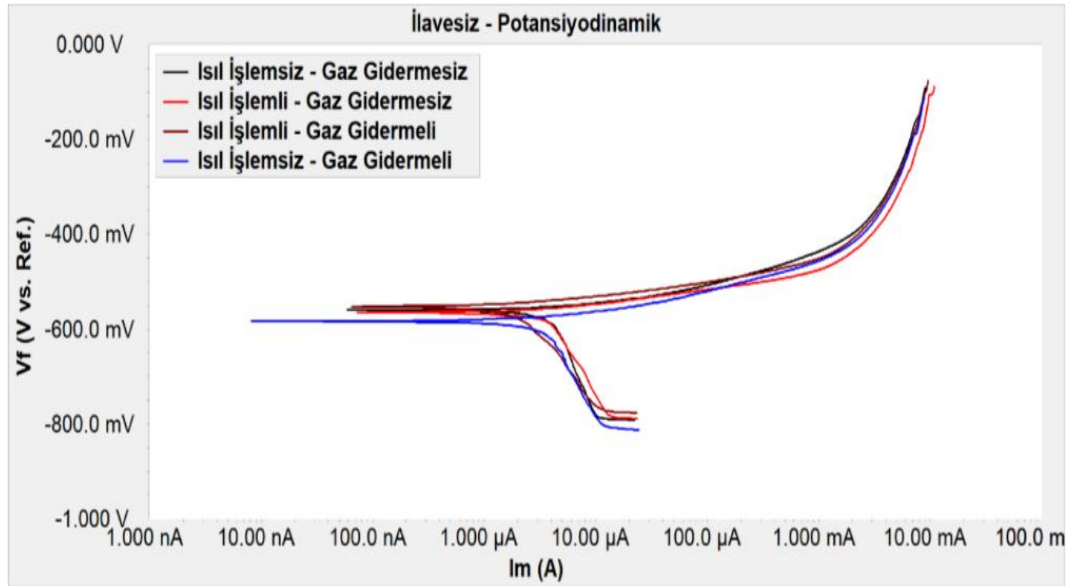


Şekil 4.24 : Abrasif aşınma test sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları; a) gaz gidermesiz numuneler, b) gaz gidermeli numuneler.

T6 ısıt işlemleri ile birlikte alaşımların aşınma davranışında iyileşmeler beklenmektedir. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur [103-105]. Bu noktada aşınma prosesinin yüzey veya kütle aşınması şeklinde değerlendirilmesi doğru yorumlamaları beraberinde getirmektedir. Daha yüksek bir kuvvet (10 N) altında gerçekleştirilen abrasif aşınmada kütle kaybı çok daha fazladır. Burada aşınma prosesi sonucu elde edilen ağırlık kaybı değerleri malzemenin aşınma karakteristiğini temsil etmektedir. Kütle aşınmasının meydana geldiği abrasif aşınma tekniğinde ısıt işlem ile birlikte malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği direncin artması literatürle uyumlu sonuçların elde edilmesi anlamına gelmektedir. Daha düşük kuvvet (3N) altında gerçekleştirilen aşındırma işlemi ise malzemenin genel aşınma karakteristiğinden ziyade yüzey aşınma özelliklerini temsil etmektedir. Burada, ısıt işlem ile birlikte malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği direnç değil, malzeme yüzeyinin aşınmaya karşı gösterdiği direncin kötüleştiği söylenebilmektedir.

4.6 Korozyon Test Sonuçları

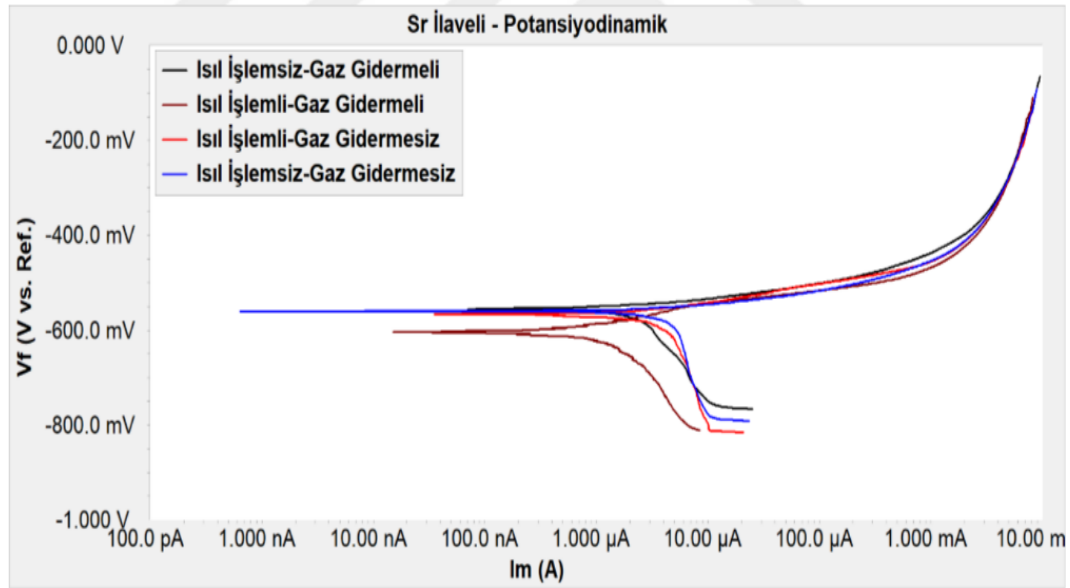
Farklı ilave döküm parametreleri (master alaşımı ilavesi) ve ergiyik işlem parametreleri (gaz giderme) altında elde edilen test numunelerine T6 ısıt işlemi öncesi ve sonrası uygulanan korozyon testlerinin sonuçları Şekil 4.25-30'da verilmiştir.



Şekil 4.25 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıt işlem parametreleri altında elde edilen ilavesiz alaşım için polarizasyon eğrileri.

Herhangi bir alaşım elementi ilavesi yapılmamış Al8Si3Cu alaşımının farklı ergiyik işlem (gaz gidermeli ve gaz gidermesiz) ve ısıt işlem (ısıt işlemli ve ısıt işlemsiz)

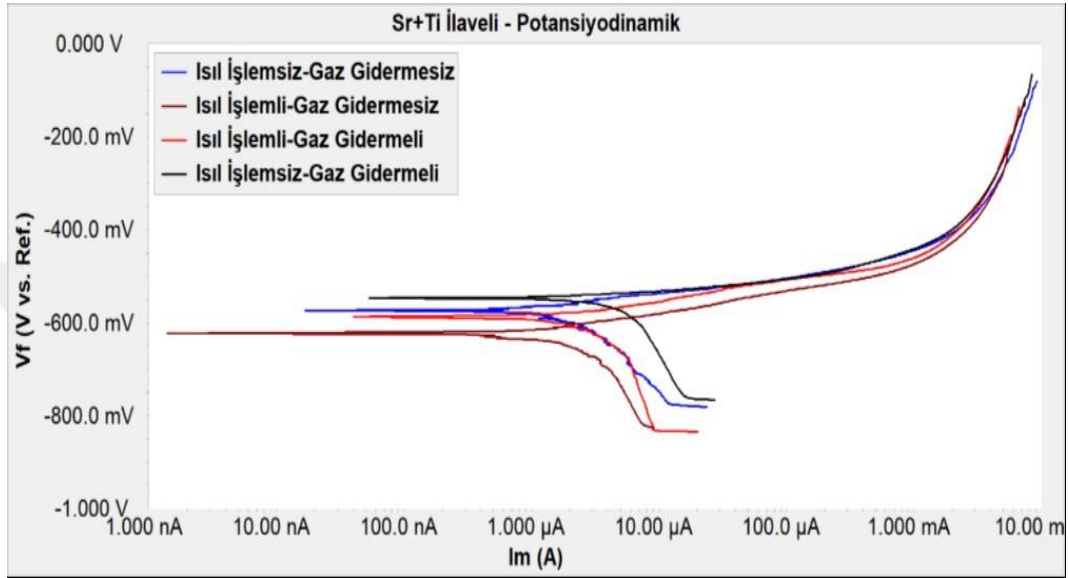
parametreleri altında elde edilen test numunelerinde korozyon karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen potansiyodinamik testinin sonuçları Şekil 4.25'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, E_{kor} değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Isıl işlem yapılmamış ve gaz giderme işlemi yapılmış numunenin test sonuçları diğer üç parametreye nazaran farklılık göstermiş, özellikle E_{kor} değerinde azalma görülmüştür. Bu da bu numunenin diğerlerine göre daha az soy davranış sergilediğinin bir göstergesidir. Genel olarak ısıtıl işlem yapılmış test numuneleri daha soy bir davranış sergilemiştir. Bir malzemenin soy davranış göstermesi o malzemenin korozyona karşı kararlı olduğu anlamına gelmektedir [11]. Bir diğer deyişle bir malzemede korozyona karşı direncin artması ile birlikte malzeme daha soy bir davranış sergilemektedir. Malzemenin T6 ısıtıl işlemi ve gaz giderme işlemi ile birlikte korozyona karşı göstermiş olduğu dirençte nasıl bir değişimin meydana geldiğini gözlemlemek için gerçekleştirilen testte ısıtıl işlem ile birlikte korozyona karşı dayanımın iyileştiği söylenebilirken gaz giderme işleminin bu konuda düzenli bir trende sahip olduğu söylenememektedir.



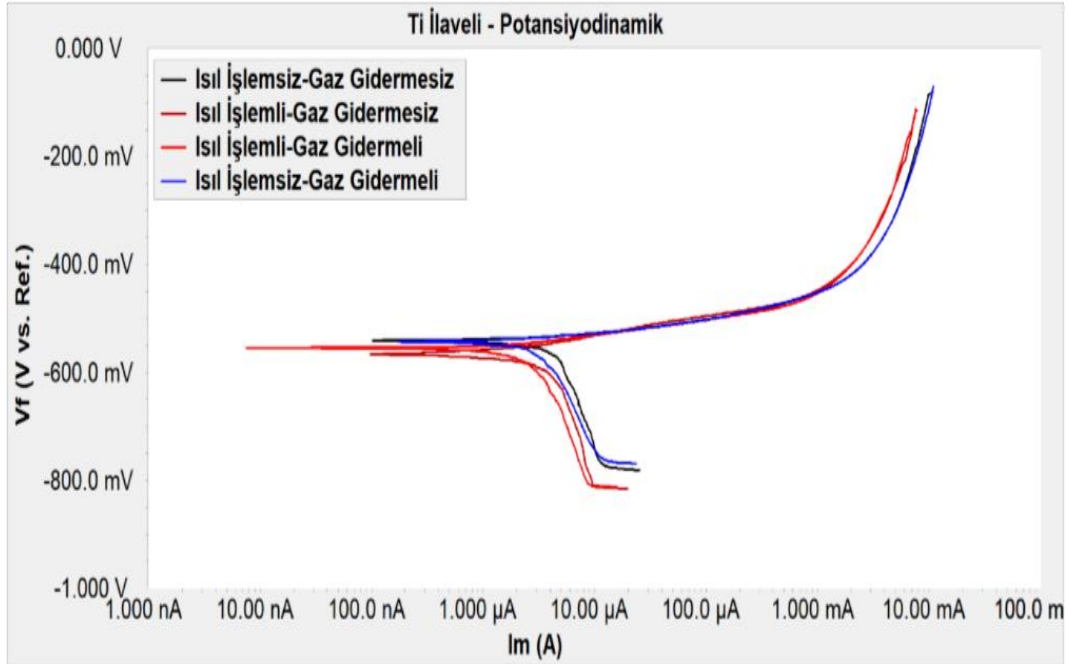
Şekil 4.26 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtıl işlem parametreleri altında elde edilen Sr ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.

Sr ilaveli test numunelerinin polarizasyon eğrileri Şekil 4.26'da verilmiştir. Eğriler incelendiğinde ısıtıl işlemli ve gaz gidermeli test numunesinin diğer test numunelere nazaran daha düşük bir E_{kor} değerine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen E_{kor} değerleri birbirlerine oldukça yakın olduğundan, bu değerlerin oldukça hassas bir şekilde hesaplanması gereken korozyon hızı veya farklı ilave ve ısıtıl işlem

parametrelerinin malzeme korozyon davranışlarının üzerindeki etkisinin incelenmesinde kullanılması sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle korozyon hızı ve ilave parametrelerinin etkisi I_{kor} değerleri üzerinden tartışılmıştır. Elektrokimyasal deneyler sonucu Sr ilaveli numunenin I_{kor} değerlerinde ısıtım işlem ile birlikte bir azalma meydana gelmiştir (Çizelge 4.2). Buna ek olarak, Sr ilavesi korozyon direncini de iyileştirmiştir.



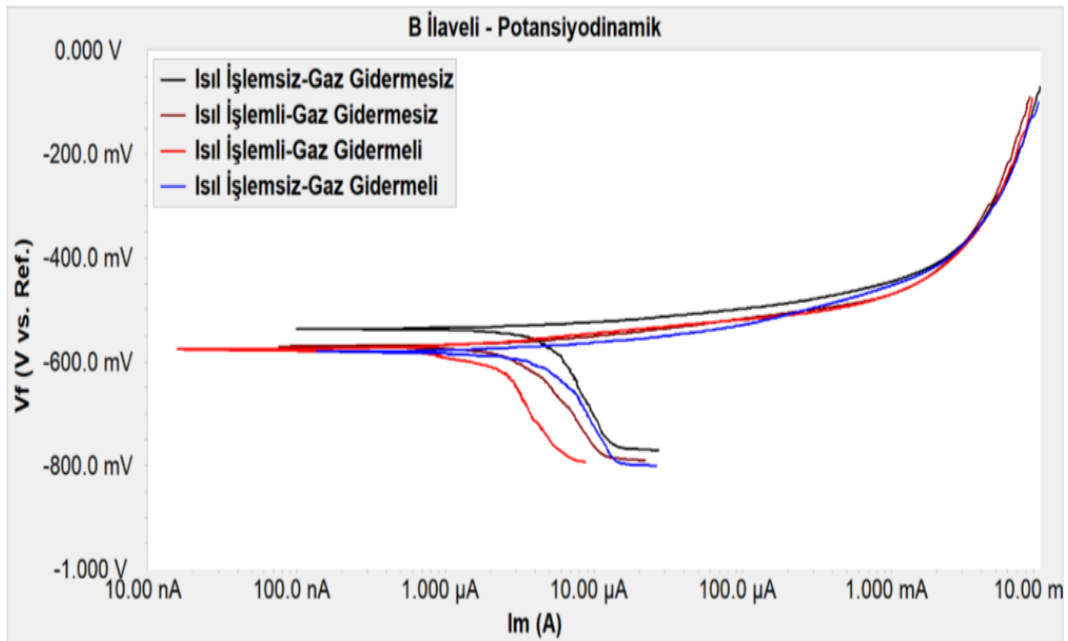
Şekil 4.27 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Sr + Ti ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.



Şekil 4.28 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen Ti ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.

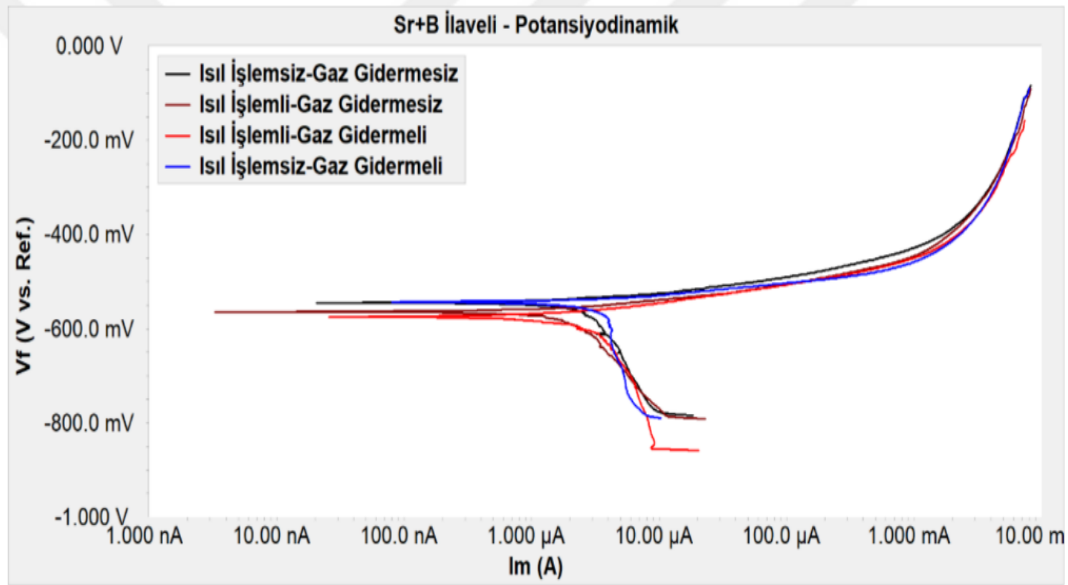
Döküm parametresi olarak tane inceltici (Ti) ve modifiye edici (Sr) alaşım elementlerinin bir arada kullanılmasıyla üretilen ve potansiyodinamik testine tabi tutulan numunelerin test sonuçları Şekil 4.27’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde farklı ısıtım işlem ve ilave parametrelerine sahip test numunelerinin E_{kor} değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. I_{kor} değerleri göz önünde bulundurulursa tane inceltme ile Sr modifikasyonu işlemlerinin birlikte uygulanması ve T6 ısıtım işlemi malzeme korozyon direncini olumlu yönde etkilemiştir. Gaz giderme işlemi Sr+Ti ilaveli malzemenin korozyon davranışını gözle görülür derecede etkilemiştir. Gaz giderme işlemi gerçekleştirilmiş tüm numuneler korozyona karşı daha kararlı bir hale gelmişlerdir.

Döküm parametresi olarak Ti tane incelticinin kullanıldığı ve farklı parametreler için polarizasyon eğrileri çizilen numunelerin sonuçları Şekil 4.28’de verilmiştir. Tüm numuneler için E_{kor} değerleri yaklaşık olarak +580 mV değerinde elde edilirken bu değer ısıtım işlem görmemiş numune için biraz daha yüksektir. Test numunelerinin I_{kor} değerleri incelendiğinde tane inceltme işlemi ile malzemenin korozyona karşı kararlılığında iyileşmenin meydana geldiği görülmektedir. Bunun yanında T6 ısıtım işleminin de yine tane inceltilmiş alaşımda korozyon davranışını iyileştirmiştir. Gaz giderme işleminin, korozyona karşı malzeme kararlılığı üzerindeki etkisi oldukça düşüktür.



Şekil 4.29 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıtım işlem parametreleri altında elde edilen B ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.

Döküm parametresi olarak B tane incelticinin kullanıldığı ve farklı parametreler için polarizasyon eğrileri çizilen numunelerin sonuçları Şekil 4.29’da verilmiştir. Eğriler incelendiğinde, Ti ilave edilmiş numunelerin E_{kor} sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. B ilavesi ile eğriler üzerinden elde edilen I_{kor} değerlerinde düşüş, yani korozyon hızında azalış, meydana gelmiştir. T6 ısıt işlemleri ile birlikte B ile tane inceltirilmiş alaşımda korozyona karşı az da olsa bir direnç artışı meydana gelmiştir. Gaz giderme işlemi ile birlikte malzemenin korozyona karşı dayanımı azalmıştır. Tane inceltici olarak B ve modifiye edici olarak Sr kullanılarak gerçekleştirilen dökümlerden elde edilen test numunelerinin farklı parametreler için polarizasyon eğrileri Şekil 4.30’da verilmiştir. Eğriler incelendiğinde yine ısıt işleminin malzemenin korozyona karşı kararlılığını olumsuz yönde etkilediği söylenebilmektedir.



Şekil 4.30 : Farklı ergiyik işlemi ve ısıt işlem parametreleri altında elde edilen Sr + B ilaveli alaşım için polarizasyon eğrileri.

Elektrokimyasal test sonucu elde edilen tüm datalar Çizelge 4.2’de sayısal olarak da verilmiştir. Şekil 4.25-30’da detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılan farklı ilave ısıt işlem parametrelerinin korozyon direnci üzerine etkisi için hesaplanan ve Çizelge 4.2’de sunulan E_{kor} ve I_{kor} verilerinden de net bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.2 : Elektrokimyasal deney verileri.

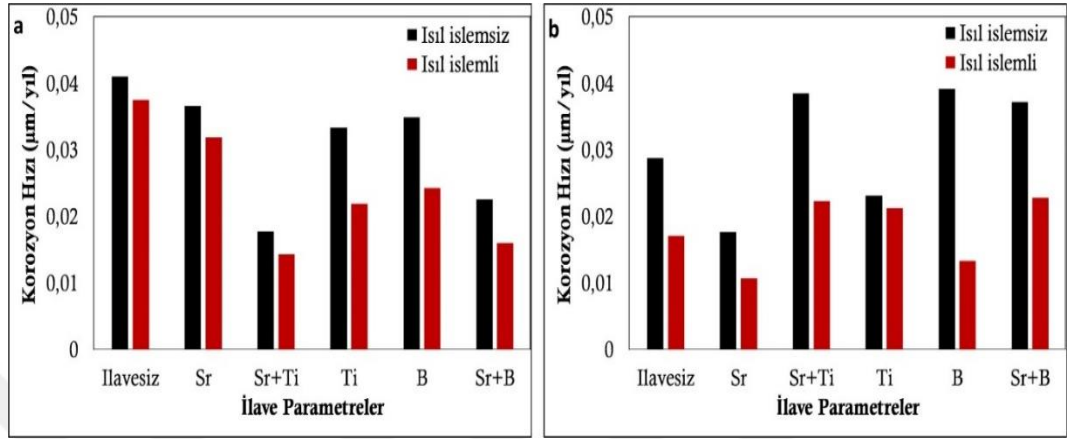
		OCP (mV)	E_{Kor} (mV)	I_{Kor} (μA)	Korozyon hızı (mm/yıl)
İlavesiz	Isıl işlemsiz	-590	-559	3.76	0.0409
	Isıl işlemli	-587	-565	3.44	0.0374

Çizelge 4.2 (devam): Elektrokimyasal deney verileri.

		OCP (mV)	EKor (mV)	IKor (μ A)	Korozyon hızı (mm/yıl)
İlavesiz - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-610	-581	2.64	0.0287
	Isıl işlemli	-576	-553	1.57	0.0171
Sr İlaveli	Isıl işlemsiz	-589	-557	3.36	0.0366
	Isıl işlemli	-613	-564	2.92	0.0318
Sr İlaveli - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-565	-555	1.62	0.0176
	Isıl işlemli	-609	-603	0.98	0.0106
Sr + Ti İlaveli	Isıl işlemsiz	-579	-569	1.63	0.0177
	Isıl işlemli	-623	-627	1.31	0.0142
Sr + Ti İlaveli - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-565	-545	3.53	0.0384
	Isıl işlemli	-634	-584	2.05	0.0223
Ti İlaveli	Isıl işlemsiz	-579	-536	3.06	0.0333
	Isıl işlemli	-613	-564	2.01	0.0219
Ti İlaveli - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-568	-543	2.12	0.0231
	Isıl işlemli	-611	-557	1.95	0.0212
B İlaveli	Isıl işlemsiz	-569	-534	3.20	0.0348
	Isıl işlemli	-588	-569	2.23	0.0243
B İlaveli - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-601	-581	3.59	0.0391
	Isıl işlemli	-588	-576	1.22	0.0132
Sr + B İlaveli	Isıl işlemsiz	-581	-544	2.07	0.0225
	Isıl işlemli	-589	-565	1.47	0.0160
Sr + B İlaveli - Gaz gidermeli	Isıl işlemsiz	-589	-544	3.41	0.0371
	Isıl işlemli	-657	-574	2.09	0.0227

Ayrıca farklı döküm ve ısıl işlem parametreleri altında elde edilen numunelerin korozyon hızları Şekil 4.31’da gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde ilavesiz-gaz gidermesiz numunenin korozyon hızı en yüksek değerde elde edilmiştir. T6 ısıl işleminin uygulanmasıyla malzemenin korozyon davranışında iyileşme görülmektedir. İlâveten gaz giderme işlemi yapılmış numunede ise korozyon direnci çok daha iyi elde edilmiştir. Gerçekleştirilen T6 ısıl işlemi ile birlikte malzeme korozyona daha dirençli bir hale gelmiştir. Döküm parametresi olarak Sr ilavesi yapılmış test numunesinde korozyon direnci ilavesiz numuneye göre daha iyi elde edilmiştir. Yapılan ısıl işlem ile birlikte korozyon davranışında gelişme görülsede bu gelişme oldukça düşüktür. Sr ilaveli test numunesine gaz giderme işleminin uygulanması ile malzeme korozyona karşı oldukça dirençli hale gelmiştir. Aynı şekilde, ısıl işlem ile birlikte malzemenin korozyon direnci artmıştır. Tane inceltici ve

modifiye edici alaşım elementlerinin bir arada kullanılması sonucu elde edilen test numunelerinin korozyon direnci ilavesiz numuneye göre çok daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Yapılan ısıt ışlem ile birlikte yine bu numunelerde de korozyon direnci artmıştır.



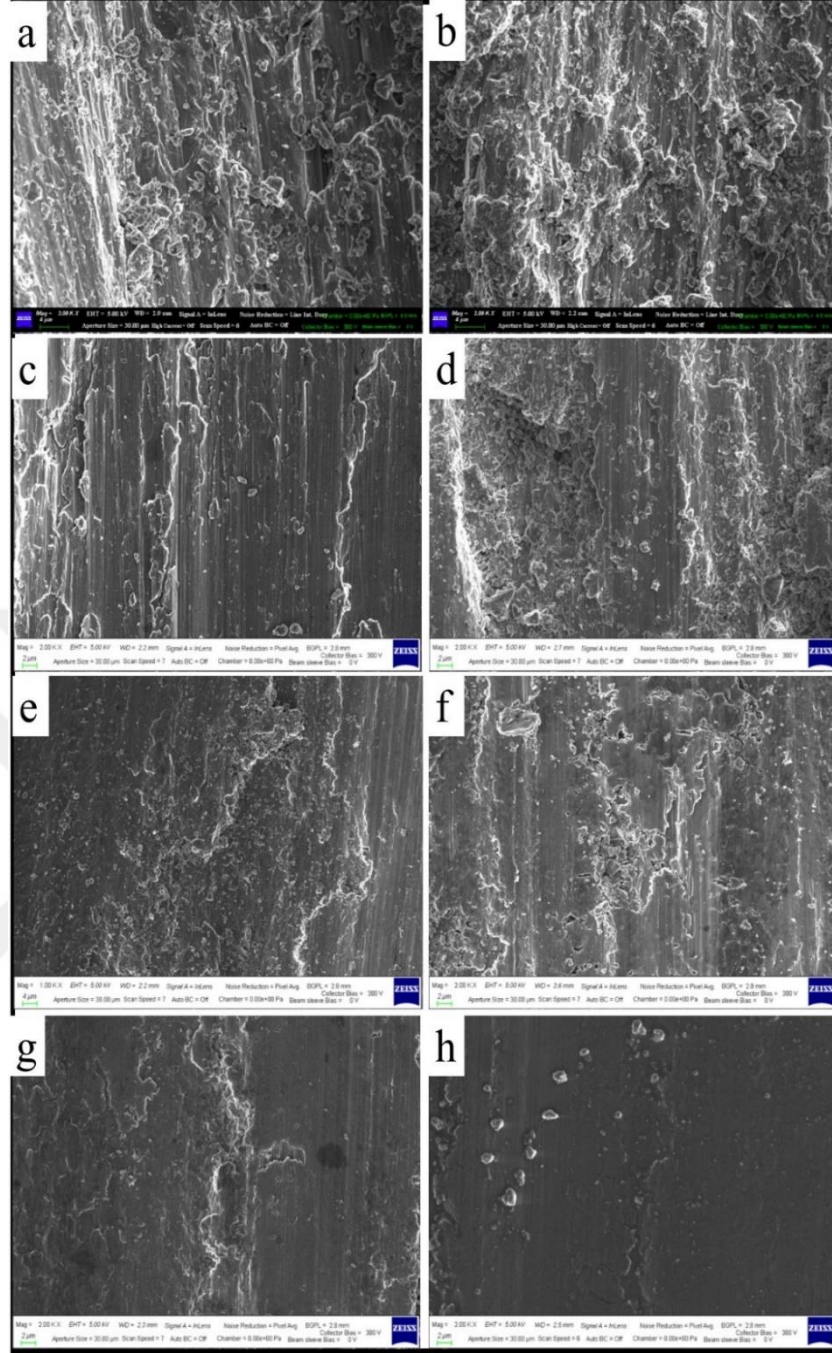
şekil 4.31 : Farklı ilave ve ısıt ışlem parametreleri altında elde edilen alaşımların korozyon hızları; a) gaz gidermeli, b) gaz gidermesiz.

Ancak, gaz giderme ışlemi malzemenin korozyon davranışını olumsuz yönde etkilemiştir. Her ne kadar bu olumsuz etki ısıt ışlem ile daha düşük seviyelere çekilse de bu numune için gaz giderme ışleminin yapılması malzemenin korozyon direnci üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Ti tane inceltici test numunesinin korozyon direnci ilavesiz numuneye göre daha yüksek elde edilmiştir. Yine ısıt ışlem ile birlikte malzeme korozyona karşı daha dayanıklı bir hal almıştır. B ilaveli numunenin korozyon direnci ilavesiz test numunesinin korozyon direncine göre daha iyi bir değerdedir. Özellikle B ilaveli – gaz gidermeli test numunesinin korozyon direnci oldukça yüksektir. Sr + B ilavesi ile malzemenin korozyon direncinde iyileşmeler görülmüştür. Özellikle gaz giderme ışlemi yapılmamış test numunesine yapılan T6 ısıt ışlemi ile birlikte malzemenin korozyon davranışı oldukça yüksek değerlerde elde edilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde OCP ve E_{kor} değerleri beklenildiği üzere yakın değerlere sahiptirler.

4.7 SEM Analiz Sonuçları

4.7.1 Aşınmış yüzeylerde SEM analiz sonuçları

Aşınma testi sonucunda elde edilen deneysel bulguları desteklemek amacıyla aşınan bölgelerde SEM analizleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen görüntüler şekil 4.32’de

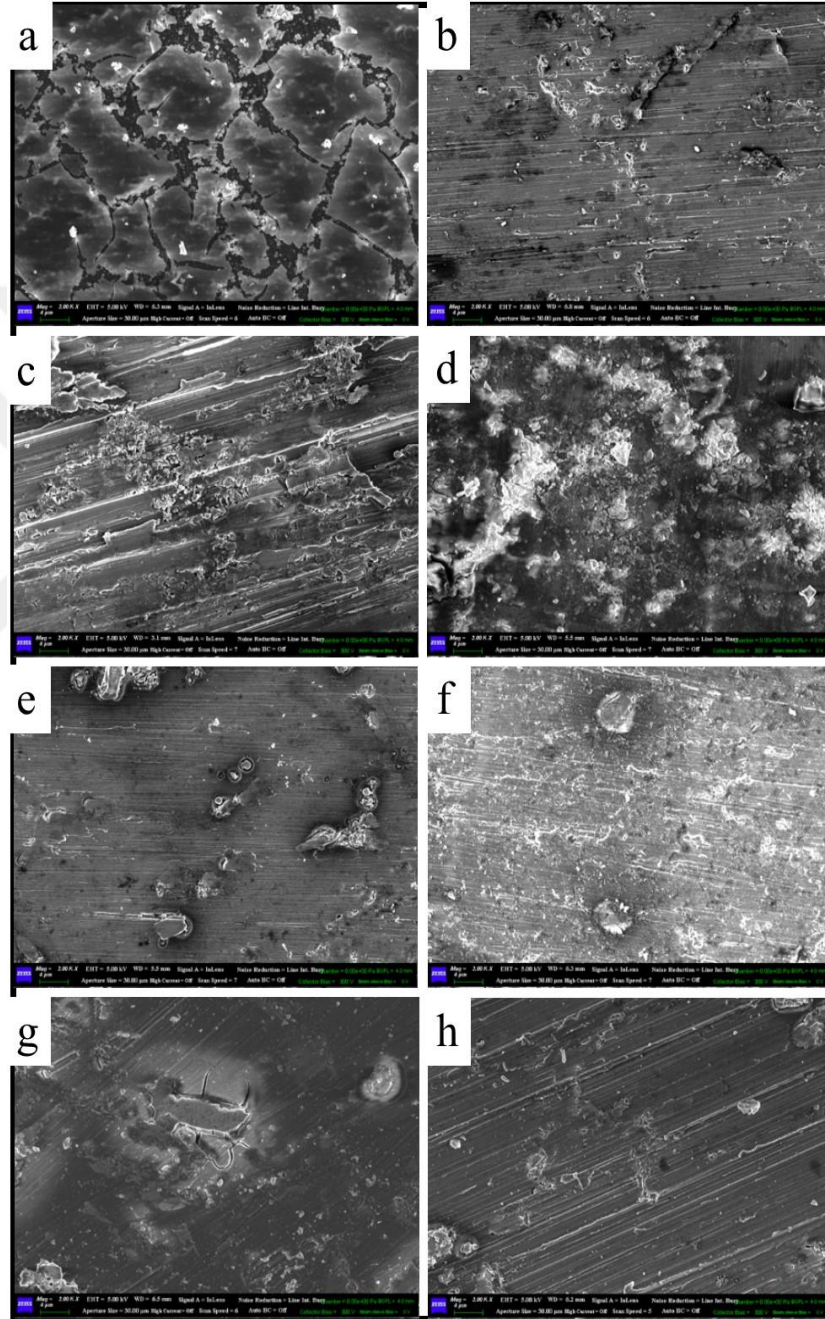


Şekil 4.32 : Farklı ilave ve ısıt işlem parametreleri altında üretilen alaşımların aşınan yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri; a) ilavesiz-ısıt işlemsiz, b) ilavesiz ısıt işleml, c) Sr ilaveli-ısıt işlemsiz, d) Sr ilaveli-ısıt işleml, e) Ti ilaveli-ısıt işlemsiz, f) Ti ilaveli-ısıt işleml, g) B ilaveli-ısıt işlemsiz, h) B ilaveli-ısıt işleml.

verilmiştir. İlavesiz test numunesinde aşınma sonucu yapı içerisinde bulunan sert yapıların (oksit yapıları) malzeme yüzeyinden aşınmanın etkisi ile ayrılması sonucu aşınan yüzeyde çukurlar meydana gelmiştir. T6 ısıt işlemi ile birlikte bu çukur oluşumu gözlenmemiş olup, aşınma işlemi sonucunda malzeme kaybı daha az oluşmuştur. Sr ilaveli numunede ise aşınma işlemi sonucunda malzeme yüzeyinde

küçük boyutlarda aşınmamış yapılar görülmüştür. Bu yapıların da α -Al yapısından daha sert olan modifiye olmuş silisler, oksit yapılar ve intermetaliklerden meydana geldiği düşünülmektedir. T6 ısıt işlemleri ile birlikte malzeme yüzeyi aşınmaya karşı dirençsiz bir hal almış ve aşınma ile birlikte malzeme kaybı artmıştır.

4.7.2 Korozyona uğrayan numunelerde SEM analiz sonuçları



Şekil 4.33 : Farklı ilave ve ısıt işlem parametreleri altında üretilen alaşımların korozyona uğrayan yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri; a) ilavesiz-ısıt işlemsiz, b) ilavesiz ısıt işlemlili, c) Sr ilaveli-ısıt işlemsiz, d) Sr ilaveli-ısıt işlemlili, e) Ti ilaveli-ısıt işlemsiz, f) Ti ilaveli-ısıt işlemlili, g) B ilaveli-ısıt işlemsiz, h) B ilaveli-ısıt işlemlili.

Korozyon testi sonucunda numunelerde korozyona uğrayan yüzeylerin SEM analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 4.33'te verilmiştir. İlavesiz alaşımda genellikle α -Al sınırlarında korozyon meydana gelmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ısıtıl işlem ile birlikte malzemede meydana gelen korozyon azalmıştır. Sr ilavesi ile malzemenin korozyon davranışı iyileşmiştir. Burada, korozyon işlemi etkisiyle numune yüzeyinde oksit yapılar meydana gelmiştir. Ti ilavesi ile korozyon bölgesel bir şekilde oluşmuştur. Burada malzemenin yüzey özellikleri ve porozite miktarı korozyona uğrayan bölgelerin seçici bir şekilde oluşmasına neden olmuştur. Korozyon daha çok porozitelerin olduğu yerlerde meydana gelmiştir. T6 ısıtıl işlemi ile birlikte malzemenin korozyona karşı dayanımı artsa da burada da porozitenin etkisinden bahsetmek mümkündür. B ilave edilmiş test numunesinde yine aynı, korozyonun numunenin kusurlu (poroziteli) bölgelerinde daha çok meydana geldiğini söylemek mümkündür. Burada, daha sert bir yapı olan ötektik yapıların korozyona uğramasıyla malzeme yüzeyinde deformasyon meydana gelmiştir. T6 ısıtıl işlemi ile birlikte bu etki azalmış ve malzeme dayanımı artmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Al₈Si₃Cu alaşımı için ilave döküm parametreleri malzeme mikroyapısı üzerinde etkili olmuştur. AlTi₅B₁ master alaşımının ilavesi ile T6 ısıtıl işlemi öncesi en ince taneli mikroyapı elde edilirken, ilavesiz alaşımda 16,74 mikron SDAS değeri ile en kaba taneler elde edilmiştir. T6 ısıtıl işlemi ile tane kabalaşması meydana gelmiş ve özellikle ilavesiz numunede 23,33 mikron değeri ile en kaba taneler oluşmuştur. Gaz giderme işleminin malzeme mikroyapısı üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı anlaşılmıştır.

Malzeme sertliği ilavesiz alaşım için yaklaşık 100 HB değerlerinde elde edilmiştir. Sr+Ti ilavesi malzeme sertliğini arttırsa da bu artış oldukça azdır. Bunun yanında alaşım elementi ilavesi ile elde edilen sonuçların kararlılığı iyileşmiştir. Çözeltiliye alma işlemi ile birlikte tüm alaşımlar için malzeme sertliği düşmüştür. Yaşlandırma işlemi ile birlikte malzeme sertliği oldukça artmış ve en yüksek sertlik değeri Sr+Ti ilaveli alaşımda elde edilirken, en düşük sertlik değeri Sr+B ilaveli alaşımda elde edilmiştir. Gaz giderme işleminin malzeme sertliği üzerinde belirli bir trend ile etki ettiği söylenememektedir.

Termal analiz incelemesi ile Al-Si ötektığının ve CuAl₂ fazının yapı içerisinde çözünmeye başladığı sırasıyla 570 ve 500 °C'lerde ekzotermik pikler elde edilmiştir. T6 ısıtıl işlemi ile birlikte Al-Si ötektığı kısmen çözündüğü için 500 °C'de ekzotermik pik tüm test numuneleri için meydana gelmemiştir. Burada referans malzeme ve Ti ilaveli ve ilavesiz arasındaki ısı akışı en az değerlerde elde edilirken, diğer tüm test numunelerinde daha fazla ve birbirlerine yakın ölçeklerde ısı akışı meydana gelmiştir.

Yağsız ortamda gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda, ısıtıl işlem ve gaz giderme öncesi aşınmaya karşı en iyi direnci gösteren alaşım Sr+B ilaveli alaşımdır. Bununla birlikte Ti ilaveli malzemenin de aşınma direnci iyi seviyelerde elde edilmiştir. Gaz giderme işlemi ile birlikte Sr+Ti ilaveli alaşımın aşınma davranışı gelişmiştir. Ancak, elde edilen tüm sonuçlara göre gaz giderme işleminin belirli bir etkinliğinden

bahsetmek mümkün değildir. T6 ısıt işlemleri ile malzemelerin aşınma davranışları kötüleşmiştir. Aşınma işlemi sonucunda en çok malzeme kaybı gaz giderilmiş, T6 ısıt işlemi görmüş Ti ilaveli alaşımda meydana gelmiştir. Yağlı ortamda yapılan aşınma testleri sonucunda aşınmaya karşı en iyi direnç ısıt işlem görmemiş ve gaz giderme yapılmamış B ilaveli alaşımda görülmüştür. Gaz giderme sonrasında özellikle Sr ilaveli alaşımların aşınma davranışları anormal derecede kötüleşmiştir. T6 ısıt işlemi yağlı ortam şartlarında da malzemenin aşınma davranışını kötüleştirmiştir.

Kütle aşınmasının meydana geldiği abrasif aşınma deneyi sonucunda malzemenin aşınma özelliklerini temsil eden sonuçlar elde edilmiştir. Burada ilginç olan T6 ısıt işlemi ve gaz giderme öncesi ilavesiz alaşımların aşınma özelliğinin en iyi seviyelerde olmasıdır. Ayrıca aşınma sonucu meydana gelen kütle kaybı her alaşım için birbirlerine yakın değerlerdedir. Gaz giderme sonrası ise S+Ti ilaveli alaşımda en iyi aşınma özellikleri görülmüştür. T6 ısıt işlemi tüm malzemelerin aşınma davranışını iyileştirmiştir ve elde edilen bu sonuç malzeme karakteristiğini temsil etmektedir.

Elektrokimyasal deneyler sonucunda ilave ve ısıt işlem parametreleri altında elde edilen test numunelerinin E_{kor} değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Burada göze çarpan iki durum söz konusudur. Birincisi; tüm test numuneleri için T6 ısıt işleminin korozyon davranışını geliştirdiğidir, ikincisi ise alaşım elementi ilavesi malzemenin korozyona karşı dayanımını arttırdığıdır. Master alaşımı ilavesine göre incelenecek olunursa, ilavesiz test numunesinin ısıt işlem öncesi korozyon direnci en kötü seviyelerdedir. Elde edilen korozyon hız değerleri incelendiğinde Sr ilaveli , gaz giderilmiş ve T6 ısıt işlemine tabi tutulmuş alaşımların korozyon davranışının en iyi olduğu söylenebilmektedir.

T6 ısıt işleminin korozyon davranışları üzerine etkisi incelenecek olursa, T6 ısıt işlemi ile birlikte tüm master alaşım ilaveli test numuneleri için korozyon dayanımının iyileştiği söylenebilmektedir. Elde edilen bu sonuç literatür ile uyumludur. T6 ısıt işleminin farklı ilave parametreleri altında üretilen malzemelerin korozyon davranışları üzerinde pozitif bir etkiye sahip olsa da, bu etki tüm malzemeler için farklı oranlardadır. Gaz giderilmiş B ilaveli test numunesinde T6 ısıt işlemin korozyon davranışları üzerine olan olumlu etkisi diğerlerine göre daha yüksek değerdedir. Gaz giderilmemiş ilavesiz numunede ise ısıt işlem etkinliği en az olarak elde edilmiştir.

Ayrıca, gaz giderme işleminin korozyon davranışı üzerinde belirli bir etkinliğinin olmadığı söylenebilmektedir.

5.2 Öneriler

İlave parametrelerin malzeme mikroyapısı üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi adına literatürde bir çok çalışma mevcuttur. Bu nedenle daha önce çalışılmamış olan alaşım elementlerinin veya master alaşımlarının kullanımı ve bunların malzeme mikroyapısı üzerindeki etkinliği incelenebilir.

T6 ısıtıl işlemi malzemelerin mekanik özelliklerini geliştiren en önemli işlemlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada T6 ısıtıl işlemi atmosfer kontrolsüz bir fırında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem etkinliğinin daha iyi incelenmesi için atmosfer kontrollü fırınların kullanımı elde edilen sonuçların doğruluğunu arttıracaktır. Bunun da ötesinde, T6 ısıtıl işlemi için özel olarak fırın tasarlamak veya ilgili kuruluşlara konunun önemine binaen bu konuda feedbackler vererek tavsiyelerde bulunmak ısıtıl işlem adına daha sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında aşınma testleri belirli parametreler altında gerçekleştirilmiştir. Endüstrideki kullanım yerleri daha detaylı incelenerek farklı test koşulları altında aşınma testlerinin tekrar tekrar yapılması sonuç çeşitlilik ve verimliliğini arttırabilir. Kullanılan yol, aşınma hızı, kuvvet ve aşındırma ortamı gibi parametreler çeşitlendirilerek bu çalışma daha da geliştirilebilir.

Bir malzemenin korozyon davranışının belirlenmesi oldukça fazla zaman alabilen ve oldukça kompleks bir süreçtir. Bu nedenle, bu çalışmada korozyon dayanımı ele alınan her bir test numunesinin çok daha uzun süreler sonucunda korozyona karşı dirençleri test edilebilir ve sonuçlar kıyaslanabilir. Ayrıca, malzemenin korozyon davranışının belirlenmesinde farklı koroziyon ortamları kullanılabilir. Buna ek olarak, bu çalışmada korozyon deneyleri için numuneler hazırlanırken korozyona uğrayacak bölgelere sadece ince zımpara yapılmıştır. Parlatma işlemi de dahil edilerek hazırlanan bir yüzeyde korozyon dayanımı ölçülebilir.

TEŞEKKÜR

Bu proje Bursa Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından tarafından 190Y001 proje numarası altında desteklenmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Cole, G. & Sherman A.** (1995). Light Weight Materials For Automotive Applications, *Materials Characterization*, 35(1), 3-9.
- [2] **Davis, J.R.,** (1993). *Aluminum And Aluminum Alloys*. ASM International.
- [3] **Ye, H.** (2003). An Overview of The Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 12(3), 288-297.
- [4] **Kaufman, J.G. & E.L. Rooy,** (2004) *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, And Applications*. ASM International.
- [5] **Polmear, I., StJohn, D., Nie, J. F., Qian, M.** (2017). *Light Alloys: Metallurgy of The Light Metals*. Butterworth-Heinemann.
- [6] **World Aluminum,** Erişim: 15 Nisan 2019, <http://www.world-aluminium.org/statistics/alumina-production/#linegraph>.
- [7] **Zeren, M.** (2005). Effect of Copper And Silicon Content on Mechanical Properties in Al-Cu-Si-Mg Alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 169(2), 292-298.
- [8] **Mohamed, A. & Samuel, F.** (2012). A Review on The Heat Treatment of Al-Si-Cu/Mg Casting Alloys, *Heat Treatment-Conventional and Novel Applications*, 55-72.
- [9] **Campbell, J.** (2003). *Castings*. Elsevier.
- [10] **Wang, Q. G., Apelian, D., Lados, D. A.** (2001). Fatigue Behavior of A356-T6 Aluminum Cast Alloys. Part I. Effect of Casting Defects, *Journal of Light Metals*, 1(1), 73-84.
- [11] **Öztürk, İ., Ağaoğlu, G. H., Erzi, E., Dispınar, D., Orhan, G.** (2018). Effects Of Strontium Addition On The Microstructure And Corrosion Behavior Of A356 Aluminum Alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 763, 384-391.
- [12] **Sundman, B., Jansson, B., Andersson, J. O.** (1985). The Thermo-Calc Databank System, *Calphad*, 9(2)153-190.
- [13] **Buffiere, J. Y., Savelli, S., Jouneau, P. H., Maire, E., Fougères, R.** (2001). Experimental Study of Porosity And Its Relation to Fatigue Mechanisms of Model Al-Si7-Mg0. 3 Cast Al Alloys, *Materials Science and Engineering: A*, 316(1-2), 115-126.
- [14] **Eskin, D. G. & Katgerman, L.** (2004). Mechanical Properties in The Semi-Solid State and Hot Tearing of Aluminium Alloys, *Progress in Materials Science*, 49(5), 629-711.
- [15] **Rappaz, M., Drezet, J. M., & Gremaud, M.** (1999). A New Hot-Tearing Criterion, *Metallurgical and materials transactions A*, 30(2), 449-455.
- [16] **Skallerud, B., Iveland, T., Härkegård, G.** (1993). Fatigue Life Assessment of Aluminum Alloys with Casting Defects, *Engineering Fracture Mechanics*, 44(6), 857-874.
- [17] **Campbell, J. & Harding, R. A.** (1994). Solidification Defects in Castings, *Talat Lecture*, 3207, 29.
- [18] **Dispınar, D., & Campbell, J.** (2011). Porosity, Hydrogen and Bifilm Content in Al Alloy Castings, *Materials Science and Engineering A*, 528(10-11), 3860-3865.

- [19] **Uludağ, M., Çetin, R., & Dişpinar, D.** (2016). Bifilms and Hot Tearing of Al-Si Alloys, *Shape Casting: 6th International Symposium*, (ss. 3-10), Springer.
- [20] **Uludağ, M. & Dişpinar, D.** (2017). Assessment of Mechanism of Pore Formation in Directionally Solidified A356 Alloy, *Archives of Foundry Engineering*, 17(1), 157-162.
- [21] **Kubo, K., & Pehlke, R. D.** (1985). Mathematical Modeling of Porosity Formation in Solidification, *Metallurgical Transactions B*, 16(2), 359-366.
- [22] **Dişpinar, D. & Campbell, J.** (2004). Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 1: Porosity Phenomena, *International Journal of Cast Metals Research*, 17(5), 280-286.
- [23] **Dişpinar, D. & Campbell, J.** (2004). Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 2: Quantification, *International Journal of Cast Metals Research*, 17(5), 287-294.
- [24] **Uludağ, M., Çetin, R., Dişpinar, D., & Tiryakioğlu, M.** (2018). The Effects of Degassing, Grain Refinement & Sr-Addition on Melt Quality-Hot Tear Sensitivity Relationships in Cast A380 Aluminum Alloy, *Engineering Failure Analysis*, 90, 90-102.
- [25] **Campbell, J.** (2004) *Castings practice: the ten rules of castings*, Elsevier.
- [26] **Dişpinar, D., Kvithyld, A., & Nordmark, A.** (2011). Quality Assessment of Recycled Aluminium, *Light Metals*, 731-735.
- [27] **Uludağ, M., Çetin, R., Dişpinar, D., Tiryakioğlu, M.** (2017). Characterization of The Effect of Melt Treatments on Melt Quality in Al-7wt% Si-Mg Alloys, *Metals*, 7(5), 157.
- [28] **Davami, P., Kim, S. K., Tiryakioğlu, M.,** (2013). The Effect of Melt Quality And Filtering on The Weibull Distributions of Tensile Properties in Al-7% Si-Mg Alloy Castings, *Materials Science and Engineering A*, 579, 64-70.
- [29] **Dişpinar, D.** (2006). Determination of Metal Quality of Aluminium and Its Alloys (Doktora Tezi), Erişim Adresi: <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/10/>.
- [30] **Dişpinar, D. & Campbell, J.** (2007). Effect of Casting Conditions on Aluminium Metal Quality, *Journal of Materials Processing Technology*, 182(1-3), 405-410.
- [31] **Chandrashekharaiyah, T. & Kori, S.** (2009). Effect of Grain Refinement and Modification on The Dry Sliding Wear Behaviour of Eutectic Al-Si Alloys, *Tribology International*, 42(1), 59-65.
- [32] **Rao, A. P., Das, K., Murty, B. S., Chakraborty, M.,** (2004). Effect of Grain Refinement on Wear Properties of Al and Al-7Si Alloy, *Wear*, 257(1-2), 148-153.
- [33] **Uludağ, M., Kocabaş, M., Dişpinar, D., Çetin, R., Cansever, N.,** (2017). Effect of Sr and Ti Addition on the Corrosion Behaviour of Al-7Si-0.3 Mg Alloy, *Archives of Foundry Engineering*, 17(2), 125-130.
- [34] **Dişpinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Di Sabatino, M., Arnberg, L.,** (2010). Degassing, Hydrogen and Porosity Phenomena in A356, *Materials Science and Engineering: A*, 527(16-17), 3719-3725.
- [35] **Mostafaei, M., Ghobadi, M., Uludağ, M., Tiryakioğlu, M.,** (2016). Evaluation of The Effects of Rotary Degassing Process Variables on The Quality of A357 Aluminum Alloy Castings, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47(6), 3469-3475.
- [36] **Basavakumar, K. G., Mukunda, P. G., Chakraborty, M.,** (2007). Influence of Grain Refinement and Modification on Dry Sliding Wear Behaviour of Al-

- 7Si and Al-7Si-2.5 Cu Cast Alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 236-245.
- [37] **Campbell, J.** (2006). An Overview of The Effects of Bifilms on The Structure and Properties of Cast Alloys, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 37(6), 857-863.
 - [38] **Bozchaloei, G. E., Varahram, N., Davami, P., Kim, S. K.,** (2012). Effect of Oxide Bifilms on The Mechanical Properties of Cast Al-7Si-0.3 Mg Alloy and The Roll of Runner Height After Filter on Their Formation, *Materials Science and Engineering: A*, 548, 99-105.
 - [39] **Miresmaeili, S. M., Shabestari, S. G., Boutorabi, S. M. A.,** (2003). Effect of Melt Filtration on Porosity Formation in Sr-Modified A356 Aluminium Alloy, *International Journal of Cast Metals Research*, 16(6), 541-548.
 - [40] **Zolotarevsky, V. S., Belov, N. A., Glazoff, M. V.,** (2007). *Casting Aluminum Alloys.*, Amsterdam.
 - [41] **Barresi, J., Kerr, M. J., Wang, H., Couper, M. J.,** (2000). Effect of Magnesium, Iron And Cooling Rate on Mechanical Properties of Al-7Si-Mg Foundry Alloys, *Transactions-American Foundrymens Society*, 100, 563-570.
 - [42] **Paray, F., & Gruzleski, J. E.** (1992). Modification—a Parameter to Consider in the Heat Treatment of Al-Si Alloys, *Cast Metal.*, 5(4), 187-198.
 - [43] **Gauthier, J., Louchez, P. R., Samuel, F. H.,** (1995). Heat treatment of 319.2 Aluminium Automotive Alloy Part 1, Solution Heat Treatment, *Cast Metals*, 8(2), 91-106.
 - [44] **Crowell, N. & Shivkumar, S.** (1995). Solution Treatment Effects in Cast Al-Si-Cu Alloys (95-107), *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 103, 721-726.
 - [45] **Mohamed, A. M. A., Samuel, A. M., Samuel, F. H., Doty, H. W.,** (2009). Influence of Additives on The Microstructure and Tensile Properties of Near-Eutectic Al-10.8% Si Cast Alloy, *Materials & Design*, 30(10), 3943-3957.
 - [46] **Ouellet, P., & Samuel, F.** (1999). Effect of Mg on The Ageing Behaviour of Al-Si-Cu 319 Type Aluminium Casting Alloys, *Journal of Materials Science*, 34(19), 4671-4697.
 - [47] **Wang, P. S., Lee, S. L., Lin, J. C., Jahn, M. T.,** (2000). Effects of Solution Temperature on Mechanical Properties of 319.0 Aluminum Casting Alloys Containing Trace Beryllium, *Journal of Materials Research*, 15(9), 2027-2035.
 - [48] **Apelian, D., Shivkumar, S., Sigworth, G.,** (1989). Fundamental Aspects of Heat Treatment of Cast Al-Si-Mg Alloys, *AFS transactions*, 97, 727-742.
 - [49] **Seifeddine, S., Timelli, G., & Svensson, I. L.,** (2007). The Influence of Quench Rate on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys A356 and A354, *International Foundry Research*, 59(1), 12-21.
 - [50] **Zhang, D. L., & Zheng, L.** (1996). The Quench Sensitivity of Cast Al-7 Wt Pct Si-0.4 Wt Pct Mg Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27(12), 3983-3991.
 - [51] **Staley, J.,** (1987). Quench Factor Analysis of Aluminium Alloys, *Materials Science and Technology*, 3(11), 923-935.
 - [52] **Emadi, D., Whiting, L. V., Sahoo, M., Sokolowski, J. H., Burke, P., Hart, M.,** (2003). Optimal Heat Treatment of A356. 2 Alloy, *TMS Light Metals*.
 - [53] **Voorhees, P.W.,** (1985). The theory of Ostwald ripening, *Journal of Statistical Physics*. 38(1-2):231-252.
 - [54] **Ardell, A.,** (1985). Precipitation Hardening, *Metallurgical Transactions A*, 16(12), 2131-2165.

- [55] **Kumai, S., Hu, J., Higo, Y., Nunomura, S.,** (1992). Hardness Characteristics in Aged Particulate SiC/A356 Cast Aluminium Alloy Composites, *Scripta Metallurgica et Materialia*, 27(1), 107-110.
- [56] **Zanada, A., & Riontino, G.** (2000). A Comparative Study of The Precipitation Sequences in Two AlSi7Mg Casting Alloys and Their Composites Reinforced by 20% Al₂O₃ Discontinuous Fibres, *Materials Science Forum*, 331, 229-234.
- [57] **Lumley, R. N., Polmear, I. J., Groot, H., Ferrier, J.,** (2008). Thermal Characteristics of Heat-Treated Aluminum High-Pressure Die-Castings, *Scripta Materialia*, 58(11), 1006-1009.
- [58] **Qiu, X., Wang, J. Q., Gyansah, L., Zhang, J. X., Xiong, T. Y.,** (2017). Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of A380 Aluminum Alloy Deposited by Cold Spray, *Journal of Thermal Spray Technology*, 26(8), 1898-1907.
- [59] **Lumley, R.,** (2010) *Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications*, Elsevier.
- [60] **Dwivedi, D.,** (2010). Adhesive Wear Behaviour of Cast Aluminium–Silicon Alloys: Overview, *Materials & Design*, 31(5), 2517-2531.
- [61] **Jasim, K.M. & Dwarakadasa, E.** (1987). Wear in Al-Si Alloys Under Dry Sliding Conditions, *Wear*, 119(1), 119-130.
- [62] **Hassan, A. M., Alrashdan, A., Hayajneh, M. T., Mayyas, A. T.,** (2009). Wear Behavior of Al–Mg–Cu–Based Composites Containing SiC Particles, *Tribology International*, 42(8), 1230-1238.
- [63] **Prasad, B. K., Venkateswarlu, K., Modi, O. P., Jha, A. K., Das, S., Dasgupta, R., Yegneswaran, A. H.,** (1998). Sliding Wear Behavior of Some Al-Si Alloys: Role of Shape and Size of Si Particles and Test Conditions, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 29(11), 2747-2752.
- [64] **Sarkar, A.,** (1975). Wear of Aluminium-Silicon Alloys, *Wear*, 31(2), 331-343.
- [65] **Prabhudev, M. S., Auradi, V., Venkateswarlu, K., Siddalingaswamy, N. H., Kori, S. A.,** (2014). Influence of Cu Addition on Dry Sliding Wear Behaviour of A356 Alloy, *Procedia Engineering*, 97, 1361-1367.
- [66] **Rajaram, G., Kumaran, S., Rao, T. S.,** (2010). High Temperature Tensile and Wear Behaviour of Aluminum Silicon Alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 528(1), 247-253.
- [67] **Mandal, A., Murty, B. S., Chakraborty, M.,** (2009). Sliding Wear Behaviour of T6 Treated A356–TiB₂ In-Situ Composites, *Wear*, 266(7-8), 865-872.
- [68] **Gurcan, A. & Baker, T.** (1995). Wear behaviour of AA6061 Aluminium Alloy and Its Composites, *Wear*, 188(1-2), 185-191.
- [69] **Hekmat-Ardakan, A., Liu, X., Ajersch, F., Chen, X. G.,** (2010). Wear Behaviour of Hypereutectic Al–Si–Cu–Mg Casting Alloys with Variable Mg Contents, *Wear*, 269(9-10), 684-692.
- [70] **Lashgari, H. R., Zangeneh, S., Shahmir, H., Saghafi, M., Emamy.,** (2010). Heat Treatment Effect on The Microstructure, Tensile Properties and Dry Sliding Wear Behavior of A356–10% B₄C Cast Composites, *Materials & Design*, 31(9), 4414-4422.
- [71] **Yang, C. Y., Lee, S. L., Lee, C. K., Lin, J. C.,** (2006). Effects of Sr and Sb Modifiers on The Sliding Wear Behavior of A357 Alloy Under Varying Pressure and Speed Conditions, *Wear*, 261(11-12), 1348-1358.
- [72] **Kori, S. & Chandrashekharaiiah, T.** (2007). Studies on The Dry Sliding Wear Behaviour of Hypoeutectic and Eutectic Al–Si Alloys, *Wear*, 263(1-6), 745-755.
- [73] **Vargel, C.,** (2004) *Corrosion of aluminium*, Elsevier.

- [74] **Birbilis, N., Cavanaugh, M. K., Buchheit, R. G.,** (2006). Electrochemical Behavior and Localized Corrosion Associated with Al₇Cu₂Fe Particles in Aluminum Alloy 7075-T651, *Corrosion Science*, 48(12), 4202-4215.
- [75] **Buchheit, R.** (1995). A Compilation of Corrosion Potentials Reported for Intermetallic Phases in Aluminum Alloys, *Journal of the Electrochemical Society*, 142(11), 3994-3996.
- [76] **Foley, R.** (1986). Localized Corrosion of Aluminum Alloys—A Review, *Corrosion*, 42(5), 277-288.
- [77] **Davis, J.R.** (1999) *Corrosion of aluminum and aluminum alloys*, Asm International.
- [78] **Chen, G. S., Gao, M., Wei, R. P.,** (1996). Microconstituent-Induced Pitting Corrosion in Aluminum Alloy 2024-T3, *Corrosion*, 52(1), 8-15.
- [79] **Galvele, J. R., & Micheli, S. M.** (1970). Mechanism of Intergranular Corrosion of Al-Cu Alloys, *Corrosion Science*, 10(11), 795-807.
- [80] **Kolotyrkin, J.M.** (1963). Pitting Corrosion of Metals, *Corrosion*, 19(8), 261-268.
- [81] **Muller, I. & Galvele, J.** (1977). Pitting Potential of High Purity Binary Aluminium Alloys—I. Al-Cu Alloys. Pitting and Intergranular Corrosion, *Corrosion Science*, 17(3), 179-193.
- [82] **Szklarska-Smialowska, Z.** (1999). Pitting Corrosion of Aluminum, *Corrosion Science*, 41(9), 1743-1767.
- [83] **Frankel, G.** (1998). Pitting Corrosion of Metals: A Review of The Critical Factors, *Journal of the Electrochemical Society*, 145(6), 2186-2198.
- [84] **Osório, W. R., Garcia, L. R., Goulart, P. R., Garcia, A.,** (2007). Effects of Eutectic Modification and T4 Heat Treatment on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of An Al–9 Wt% Si Casting Alloy, *Materials Chemistry and Physics*, 106(2-3), 343-349.
- [85] **Kucera, V. & Vojtech, D.** (2017). Influence of Heat Treatment on Corrosion Behavior and Mechanical Properties of The AA 7075 Alloy, *Manufacturing Technology*, 17, 747-752.
- [86] **Osorio, W. R., Goulart, P. R., Garcia, A., Santos, G. A., Neto, C. M.,** (2006). Effect of Dendritic Arm Spacing on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Al 9 Wt Pct Si and Zn 27 Wt Pct Al Alloys, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37(8), 2525-2538.
- [87] **Cardinale, A. M., Macciò, D., Luciano, G., Canepa, E., Traverso, P.,** (2017). Thermal and Corrosion Behavior of As Cast Al-Si Alloys with Rare Earth Elements, *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 2180-2189.
- [88] **Chung, M. K., Choi, Y. S., Kim, J. G., Kim, Y. M., Lee, J. C.,** (2004). Effect of The Number of ECAP Pass Time on The Electrochemical Properties of 1050 Al Alloys, *Materials Science and Engineering: A*, 366(2), 282-291.
- [89] **Dan, S., Jiang, J. H., Lin, P. H., Yang, D. H.,** (2009). Corrosion Behavior of Ultra-Fine Grained Industrial Pure Al Fabricated by ECAP, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19(5), 1065-1070.
- [90] **Kus, E., Lee, Z., Nutt, S., Mansfeld, F.,** (2006). A Comparison of The Corrosion Behavior of Nanocrystalline and Conventional Al 5083 Samples, *Corrosion*, 62(2), 152-161.
- [91] **Mahmoud, T.,** (2008). Effect Of Friction Stir Processing on Electrical Conductivity and Corrosion Resistance of AA6063-T6 Al Alloy, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 222(7), 1117-1123.

- [92] **Osório, W. R., Freire, C. M., Garcia, A.,** (2005). The Role of Macrostructural Morphology and Grain Size on The Corrosion Resistance of Zn and Al Castings, *Materials Science and Engineering: A*, 402(1-2), 22-32.
- [93] **Sikora, E., Wei, X. J., Shaw, B. A.,** (2004). Corrosion Behavior of Nanocrystalline Bulk Al-Mg-Based Alloys, *Corrosion*, 60(4), 387-398.
- [94] **Sigworth, G.K. & Kuhn, T.A.** (2007). Grain Refinement of Aluminum Casting Alloys, *International Journal of Metalcasting*, 1(1), 31-40.
- [95] **Sigworth, G. & Guzowski, M.** (1985). Grain Refining of Hypoeutectic Al-Si Alloys, *AFS Transactions*, 93(172), 907-912.
- [96] **Campbell, J. & Tiryakioğlu, M.** (2010). Review of Effect of P and Sr on Modification and Porosity Development in Al-Si Alloys, *Materials Science and Technology*, 26(3), 262-268.
- [97] **Çolak, M. & Kayıkçı, R.** (2009). Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme, *Sakarya University Journal of Science*, 13(1), 11-17.
- [98] **Reif, W., Dutkiewicz, J., Ciach, R., Yu, S., Krol, J.,** (1997). Effect of Ageing on The Evolution of Precipitates in AlSiCuMg Alloys, *Materials Science and Engineering: A*, 234, 165-168.
- [99] **Wang, G., Bian, X., Liu, X., Zhang, J.,** (2004). Effect of Mg on Age Hardening and Precipitation Behavior of An AlSiCuMg Cast Alloy, *Journal of Materials Science*, 39(7), 2535-2537.
- [100] **Kang, H. G., Kida, M., Miyahara, H., Ogi, K.,** (1999). Hoyt Memorial Lecture-Age-Hardening Characteristics of Al-Si-Cu-Base Cast Alloys, *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 107, 507-516.
- [101] **Moustafa, M. A., Samuel, F. H., Doty, H. W.,** (2003). Effect of Solution Heat Treatment and Additives on The Hardness, Tensile Properties and Fracture Behaviour of Al-Si (A413. 1) Automotive Alloys, *Journal of Materials Science*, 38(22), 4523-4534.
- [102] **Basavakumar, K. G., Mukunda, P. G., & Chakraborty, M.,** (2008). Influence of Grain Refinement and Modification on Microstructure and Mechanical Properties of Al-7Si and Al-7Si-2.5 Cu Cast Alloys, *Materials Characterization*, 59(3), 283-289.
- [103] **Mondolfo, L.,** (1976). *Aluminium alloys: structure and properties*, London.
- [104] **Li, Z., Samuel, A. M., Samuel, F. H., Ravindran, C., & Valtierra, S.,** (2003). Effect of alloying elements on the segregation and dissolution of CuAl₂ phase in Al-Si-Cu 319 alloys, *Journal of Materials Science*, 38(6), 1203-1218.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mikdat Gurtaran
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.02.1994 / Erzincan
E-posta : mikdat24@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans (Devam Ediyor)** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **GURTARAN MİKDAT ULUDAĞ, MUHAMMET** (2019). Al8Si3Cu Alaşımının Aşınma Davranışı Üzerine Tane İnceltme Ve Ötektik Modifikasyonu İşlemlerinin Beraber Etkisi, IMSMATEC.
- **GURTARAN MİKDAT, ULUDAĞ MUHAMMET** (2019). A380 Döküm Alaşımının Mikroyapı Ve Sertlik Özellikleri Üzerine Farklı İlave Parametrelerinin Ve T6 Isıl İşleminin Etkisi, IMSMATEC.
- **GURTARAN MİKDAT, ULUDAĞ MUHAMMET** Al8Si3Cu Döküm Alaşımında Tane İnceltme ve T6 Isıl İşleminin Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkisi, ALUS (Ekim 2019'da sunulacak).
- **GURTARAN MİKDAT, ULUDAĞ MUHAMMET**. Al8Si3Cu Alaşımında Sr Modifikasyon İşleminin T6 Isıl İşlem Etkinliği Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, ALUS (Ekim 2019'da sunulacak)..
- **GURTARAN MİKDAT, KOCABAŞ MUSTAFA, ULUDAĞ MUHAMMET**. Al8Si3Cu Alaşımında T6 Isıl İşleminin ve Tane İnceltme İşleminin Korozyon Davranışına Etkisi, ALUS (Ekim 2019'da sunulacak)..

- **GURTARAN MİKDAT**, KOCABAŞ MUSTAFA, ULUDAĞ MUHAMMET. Heat Treatment Effect on Corrosion Resistance of Grain Refined Al8Si3Cu Cast Alloy, EUROCORR (Eylül 2019’da sunulacak).
- **GURTARAN MİKDAT**, ULUDAĞ MUHAMMET. Sr Modifikasyonu ve T6 Isıl İşleminin A380 Alaşımında Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, TÜDÖKSAD (Kasım 2019’da sunulacak).

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- ULUDAĞ MUHAMMET, **GURTARAN MİKDAT**, DIŞPINAR DERYA (2017). Observation of Effect of Ti on Properties of A356 Alloy under Different Holding Times. ICENTE’17, 606-608.
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.** ve DIŞPINAR, D., “Farklı Su Verme Ortamlarının Al-Cu Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi,” 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Türkiye, Karabük, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.** ve DIŞPINAR, D., “Alüminyum Alaşımlarında Sıcak Yırtılma Üzerine Kritik bir Değerlendirme” 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Türkiye, Karabük, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.** ve DIŞPINAR, D., “Farklı Bekletme Zamanlarında A356 Alaşımına Titanyum İlavesinin Etkisi” 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Türkiye, Karabük, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.** ve DIŞPINAR, D., “A390 alaşımında hidrojen içeriğinin döküm kalitesi ve mekanik özellikler üzerine etkisi” 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, Türkiye, Karabük, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.**, DIŞPINAR, D., “ Effect of quenching mediums on mechanical properties of Al-Cu alloy”. The 73rd World Foundry Congress, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.**, DIŞPINAR, D., “ Efficiency of Ti addition in A356 alloy under different holding time”. The 73rd World Foundry Congress, 2018
- KUÇUKELYAS, B., ULUDAĞ, M., KAYKILARLI, C., **GURTARAN, M.**, DIŞPINAR, D., “ Determination of the optimum aging time for T6 heat treatment in A380 alloy”. 19th International Metallurgy and Materials Congress, 2018
- **GURTARAN, M.**, ULUDAĞ, M., KUÇUKELYAS, B., KAYKILARLI, C., DIŞPINAR, D., “ An assesment on the effect of degassing and Sr modification on T6 heat treatment efficiency in A380 alloy”. 19th International Metallurgy and Materials Congress, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.**, DIŞPINAR, D., “ The effect of bifilm and Sr modification on the mechanical properties of A413 alloy”. 19th International Metallurgy and Materials Congress, 2018
- ULUDAĞ, M., **GURTARAN, M.**, DIŞPINAR, D., “ Investigation of Casting Quality Change of A356 by Duration in Liquid State” TMS, 2018