T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

6063 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA ALAŞIM VE FLAKS KOMBİNASYONUNA BAĞLI CÜRUF İÇERİĞİNİN YAPISAL VE ELEMENTEL ANALİZİ

Metehan DİNÇER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Programı

Danışman

Dr. Burak BİROL

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

6063 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA ALAŞIM VE FLAKS KOMBİNASYONUNA BAĞLI CÜRUF İÇERİĞİNİN YAPISAL VE ELEMENTEL ANALİZİ

Metehan DİNÇER tarafından hazırlanan tez çalışması 01.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Burak BİROL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Burak BİROL, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU, Üye

Türk-Alman Üniversitesi _____

Saygıdeğer danışmanım Dr. Burak BİROL sorumluluğunda tarafımca üzerinde çalışılan "6063 Serisi Alüminyum Alaşımında Alaşım ve Flaks Kombinasyonuna Bağlı Cüruf İçeriğinin Yapısal ve Elementel Analizi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı taahhüt ederim.

Metehan DİNÇER

Bıraktığı hatırasıyla bile bana hâlâ iyi insan olmamı öğütleyen,

yanımda olduğu yıllardaki en büyük destekçim

ve

daha iyi bir yerden hâlâ beni izlediğini bildiğim sevgili babam

Yakup DİNÇER'e

adanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresinde değerli bilgilerini ve deneyimlerini benden esirgemeyen, çok kahrımı çeken, müthiş hoşgörülü, çok kıymetli ve değerli danışman hocam Dr. Burak BİROL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezin fikir aşamasında, deney süresince ve tez yazımı sırasında maddi ve manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen, masa başında benimle uyanık kalmaya çalışan ama bazen de aynı masada uyuyakalan, umutsuzluğa kapıldığım her durumda beni motive eden ve devam etmemi sağlayan kıymetli dostum, kardeşim, kader ortağım, can dostum ve meslektaşım Bedirhan GÜRAYDIN'a teşekkür eder gözlerinden öperim.

Verdiğim mücadelenin başından sonuna kadar başım her sıkıştığında yardımıma koşan, bilimi kendisine yol ve ilke edinerek bizi de bu yolda nacizane bir yoldaş olarak kabul eden, engin bilgisiyle her daim bana ışık olan ve yol gösteren değerli abim, saygıdeğer dostum, sevgili meslektaşım, güzel insan Dr. Hamdi EKİCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma girdiği ilk andan itibaren yardıma ihtiyacım olduğunda elini taşın altına koymaktan çekinmeyen, tezimde ve deneylerimde çok büyük emeği olan sevgili kardeşim ve meslektaşım İrfan Can DİNÇER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte 20 yılı aşkın saha tecrübesini ve bilgisini benden esirgemeyen, başarabileceğime olan inancını hiç kaybetmeyen, elimizdeki sınırlı kaynağı sınırsızca önüme seren, ne kadar sert durmaya çalışsa da kalbindeki merhameti gizleyemeyen dökümhane sorumlumuz ve çok kıymetli abim sevgili Köksal BAYLAN'a, emekleri dolayısıyla kalıphane sorumlumuz Yasin ALTUNDAL abime, gerçekleştirilen döküm deneyleri sırasında en küçük bir destek için bile sürekli yanımda bulunan ve bunu zorunluluktan değil gönülden yapan dökümhane personelime, ekipman ve çalışma alanı desteği için Trinox Metal ailesine ve Burak Alüminyum'a sonsuz teşekkür ederim.

Bana inanmaktan hiçbir durumda vazgeçmeyen, her şartta benimle gülebilen, verdiğim her uğraşta elini omzumda hissettiğim, bu hayattaki ilk ve en büyük "iyi ki"'m, ablaların kuzusu Nihan DİNÇER'e koskocaman teşekkür ederim.

Metehan DİNÇER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ **IX**
KISALTMA LİSTESİ **X**
ŞEKİL LİSTESİ **XI**
TABLO LİSTESİ **XV**
ÖZET **XVI**
ABSTRACT **XVIII**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2
2 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI **4**
2.1 Alüminyumun Tarihçesi ve Gelişimi 4
2.1.1 Genel Özellikleri 5
2.1.2 Kullanım Alanları 7
2.2 Birincil Alüminyum Üretimi 12
2.3 İkincil Alüminyum Üretimi (Geri Dönüşüm) 14
2.4 Alaşımların Sınıflandırılması 18
2.4.1 Dövme Alaşımlar 18
2.4.2 Döküm Alaşımları 22
3 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI **24**
3.1 6XXX Serisine Genel Bir Bakış 24
3.1.1 Direkt Soğutmalı Döküm Yöntemi (DC Casting) 25
3.1.2 Billet Kalitesi 30
3.2 6XXX Serisi Alaşımların Karakteristik Özellikleri 31
3.3 Alaşım Elementlerinin Etkileri 34
3.3.1 Demir Etkisi 35
3.3.2 Magnezyum Etkisi 35
3.3.3 Silisyum Etkisi 35
3.3.4 Mangan Etkisi 35
3.3.5 Bakır Etkisi 36

3.3.6 Çinko Etkisi 36
3.3.7 Geçiş Metallerinin Etkisi 36
3.4 Kimyasal Bileşimin Alaşım Üzerindeki Etkisi 37
4 ALÜMİNYUM RAFİNASYONU 39
4.1 Sıvı Banyoda Kirlilik 39
4.1.1 Hidrojen 39
4.1.2 Oksit 40
4.1.3 Çekinti Boşlukları 45
4.2 Sıvı Banyoda Kirlilik Giderme Metotları 45
4.2.1 Gaz Giderme 45
4.2.2 Flakslama 46
5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 57
5.1 Malzeme Seçimi 57
5.1.1 Ön Deneyler 57
5.1.2 Alt sınır 61
5.1.3 Üst Sınır 62
5.2 Deney Tasarımı 62
5.2.1 Ergitme 64
5.2.2 Gaz Giderme 65
5.2.3 Flaks Uygulaması 66
5.2.4 Cüruf Çekme ve Döküm 76
5.3 Karakterizasyon 78
5.3.1 Elementel Analiz 78
5.3.2 EDS Analizi 79
6 DENEYSEL SONUÇLAR 81
6.1 Elementel Analiz 81
6.1.1 Flakstaki Kriyolit Oranının Metal Bileşimine Etkisi 81
6.1.2 Uygulama Yöntemlerinin Metal Bileşimine Etkisi 97
6.1.3 Element Kayıplarının Yöntem ve Flakstaki Kriyolit Oranlarına Göre Karşılaştırılması 120
6.2 Yöntem ve Flakstaki Kriyolit Oranlarının Curuf Bileşimine Etkisi 131
7 SONUÇ VE ÖNERİLER 144

KAYNAKÇA **147**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **152**

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa Fazı
°F	Fahrenayt
ɣ	Gama Fazı
dM	Metal yoğunluğu, gr/cm^3
WM	Metalin moleküler ağırlığı, gr
W0	Oksidin moleküler ağırlığı, gr
d0	Oksit yoğunluğu, gr/cm^3
°C	Santigrat

KISALTMA LİSTESİ

Al_2O_3	Alümina
Al	Alüminyum
AlF_3	Alüminyum Florid
Al^{+3}	Alüminyum İyonu
$AlCl_3$	Alüminyum Klorid
Cu	Bakır
C_2Cl_6	Hekzakloretan
H_2	Hidrojen
H	Hidrojen
HCl	Hidroklorik Asit
Ca	Kalsiyum
CaF_2	Kalsiyum Florür
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
$CaCl_2$	Kalsiyum Klorid
CO_2	Karbondioksit
Cl_2	Klor
Cl	Klor
Mg	Magnezyum
$MgAl_2O_4$	Magnezyum Alüminat
MgF_2	Magnezyum Florür
Mg^{+2}	Magnezyum İyonu
$MgCl_2$	Magnezyum Klorür
MgO	Magnezyumoksit
Mn	Mangan
KCl	Potasyum Klorür
cm^3	Santimetre küp
Si	Silisyum
Na	Sodyum
Na_3AlF_6	Sodyum Hekzafloramit
Na_2CO_3	Sodyum Karbonat
NaCl	Sodyum Klorür
$NaNO_3$	Sodyum Nitrat
Na_2SiF_6	Sodyum Silico Florid
Na_2SO_4	Sodyum Sülfat
$NaAlF_4$	Sodyum Tetra Florür
H_2O	Su

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Boksit cevherinden alümina üretim aşamaları 13
Şekil 2.2 Birincil alüminyum üretim şeması 14
Şekil 2.3 Alüminyum geri dönüşüm süreci 15
Şekil 2.4 İkinci alüminyum üretim prosesi 17
Şekil 2.5 Birincil ve ikincil alüminyum üretim süreçleri 18
Şekil 3.1 Direkt döküm tablası 26
Şekil 3.2 Billetin oluşumu süresince görülen katılaşma bölgeleri 27
Şekil 3.3 Çekirdeklenme ve oluşan çekirdeklerin büyüme süreci 28
Şekil 3.4 Direkt döküm yönteminin şematik gösterimi 29
Şekil 3.5 6063'ün çekme dayanımının Mg_2Si miktarı ile değişimi [26] 37
Şekil 4.1 Sıvı alüminyumun hidrojen çözünürlüğünün sıcaklıkla bağlantılı olarak değişimi [35] 40
Şekil 4.2 Sıvı alüminyum üzerinde oluşan oksit tabakası temsili gösterimi 41
Şekil 4.3 Genç ve yaşlı oksit yapıları 43
Şekil 4.4 Spinel faz yapılı ve MgO faz yapılı oksit filmlerinin görünüşü 44
Şekil 4.5 Basınç ve magnezyum içeriğine bağlı olarak değişen oksit tabakasının yapısı 45
Şekil 4.6 % NaCl-% KCl bileşiği erime sıcaklığı [39] 49
Şekil 4.7 Alüminyum içerisinde karşılaşılan inklüzyonlar ve parçacık boyutları 50
Şekil 4.8 Florid tuzunun rafinasyon etkisinin şematik gösterimi 53
Şekil 4.9 Cüruf çekme flaksı mekanizması 55
Şekil 5.1 Alaşım içeriği için gerçekleştirilen ön deney seti 58
Şekil 5.2 Besleme yönteminin belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti 59
Şekil 5.3 Flaks kombinasyonunun belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti 60
Şekil 5.4 Flaks uygulama yönteminin belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti 61
Şekil 5.5 Ergitme sırasında yanma odası 65
Şekil 5.6 Flaks uygulama haznesi 67
Şekil 5.7 Cüruf çekme işlemi gerçekleştirilen gelberi 77
Şekil 5.8 Döküm potası çıkarma maşası ve döküm maşası 77
Şekil 5.9 İmal edilen döküm kalıbı 78
Şekil 5.10 Elementel analiz için hazırlanan bir numune 79
Şekil 5.11 Yapılan bir analiz sırasında elementel analiz cihazı 79
Şekil 6.1 Rafinasyon flaksı uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 82
Şekil 6.2 Rafinasyon flaksı uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 83
Şekil 6.3 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 84
Şekil 6.4 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 85
Şekil 6.5 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 86

Şekil 6.6 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 87
Şekil 6.7 Örtü+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 88
Şekil 6.8 Örtü+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 89
Şekil 6.9 Rafinasyon flaksı uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 90
Şekil 6.10 Rafinasyon flaksı uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 91
Şekil 6.11 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 92
Şekil 6.12 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 93
Şekil 6.13 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 94
Şekil 6.14 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 95
Şekil 6.15 Örtü+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı 96
Şekil 6.16 Örtü+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı 97
Şekil 6.17 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı 98
Şekil 6.18 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı 99
Şekil 6.19 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı 100
Şekil 6.20 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...101
Şekil 6.21 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı 102
Şekil 6.22 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...103
Şekil 6.23 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....104
Şekil 6.24 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...105
Şekil 6.25 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....106
Şekil 6.26 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...107
Şekil 6.27 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....109
Şekil 6.28 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...110
Şekil 6.29 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....111

Şekil 6.30 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...112
Şekil 6.31 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....114
Şekil 6.32 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...115
Şekil 6.33 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....116
Şekil 6.34 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...117
Şekil 6.35 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı.....119
Şekil 6.36 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı ...120
Şekil 6.37 Alt sınır numunelerindeki alüminyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....121
Şekil 6.38 Üst sınır numunelerindeki alüminyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....121
Şekil 6.39 Alt sınır numunelerindeki magnezyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....122
Şekil 6.40 Üst sınır numunelerindeki magnezyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....123
Şekil 6.41 Alt sınır numunelerindeki silisyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....124
Şekil 6.42 Üst sınır numunelerindeki silisyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....125
Şekil 6.43 Alt sınır numunelerindeki demir kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....126
Şekil 6.44 Üst sınır numunelerindeki demir kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....127
Şekil 6.45 Alt sınır numunelerindeki bakır kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....128
Şekil 6.46 Üst sınır numunelerindeki bakır kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....129
Şekil 6.47 Alt sınır numunelerindeki mangan kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....130
Şekil 6.48 Üst sınır numunelerindeki mangan kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi.....131
Şekil 6.49 EDS analizi uygulanan cüruf numuneleri.....132
Şekil 6.50 Rafinasyon prosesine ait cüruf numuneleri.....133
Şekil 6.51 Örtü+Rafinasyon+Bekleme prosesine ait cüruf numuneleri.....134
Şekil 6.52 Alt sınır rafinasyon numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği 135
Şekil 6.53 Alt sınır rafinasyon numunelerinin EDS analizleri.....137
Şekil 6.54 Alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği.....137
Şekil 6.55 Alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi numunelerinin EDS analizleri.....138

Şekil 6.56 Üst sınır örtü+rafinasyon+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği.....139
Şekil 6.57 Üst sınır örtü+rafinasyon+bekelme prosesi numunelerinin EDS analizleri.....140
Şekil 6.58 Üst sınır örtü+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği.....141
Şekil 6.59 Üst sınır örtü+bekleme prosesi numunelerinin EDS analizleri.....142

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Alüminyumun mekanik özellikleri [2] 5
Tablo 2.2 Alüminyumun mekanik özelliklerinin farklı elementler ile karşılaştırılması [9] 6
Tablo 2.3 Dövme alaşımların önemli özellikleri [2] 7
Tablo 2.4 Dövme alaşımların başlıca kulanım alanları [2] 9
Tablo 2.5 Alüminyum dövme alaşımlarının sektörlere göre kullanım alanları ve alternatifi olduğu malzemeler 10
Tablo 2.6 Alüminyum dövme alaşım gösterimleri ve temel alaşım elementleri 19
Tablo 2.7 Alüminyum dövme alaşımlarına uygulanan ısıl işlem simgeleri ve anlamları 20
Tablo 2.8 Alüminyum döküm alaşım gösterimleri ve temel alaşım elementleri 23
Tablo 3.1 TS EN 573-3;2019 standardına göre 6063 alaşım sınırları [15] 25
Tablo 3.2 6XXX serisine ait bazı alaşımların fiziksel özellikleri 32
Tablo 3.3 6XXX alaşımına ait bazı mekanik özellikler 33
Tablo 3.4 T6 temper işlemi uygulanmış 6063 ve 6082 alaşımlarının bazı mekanik özellikleri 34
Tablo 4.1 Yaygın olarak kullanılan flaks bileşikleri 47
Tablo 4.2 740 °C'de sodyum klorür ve potasyum klorür bazlı flaks karışımına yapılan ilave bileşimlerin damlacık birleştirme yeteneğine etkisi 50
Tablo 5.1 Kullanılan alüminyum külçe analizleri 57
Tablo 5.2 Rafinasyon flaksı uygulama parametreleri 67
Tablo 5.3 Rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri 69
Tablo 5.4 Örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri 71
Tablo 5.5 Örtü flaksı + bekleme uygulaması parametreleri 74

ÖZET

6063 Serisi Alüminyum Alaşımında Alaşım Ve Flaks Kombinasyonuna Bağlı Cüruf İçeriğinin Yapısal Ve Elementel Analizi

Metehan DİNÇER

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Burak BİROL

Günümüzde flaks kullanımı döküm veriminin arttırılması, sıvı metalin temizlenmesi ve yanma dolayısıyla görülen kayıpların azaltılması amacıyla çok yaygındır. Ergimiş alüminyum içerisinde çözünmüş hidrojen, besleme sırasında içeri penetre olan oksitler gibi pek çok kirlilik barındırmaktadır. Döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce sıvı metal içerisinde bulunan bu çeşitli inklüzyonların, oksit tabakasının ve cürufun banyodan uzaklaştırılması gerekmektedir. Metal içerisindeki bu inklüzyonlar gaz giderme, çeşitli tipleri ve uygulama yöntemleri ile flaks kullanımı veya filtrasyon yöntemleri ile giderilmeye çalışılır. Kullanılan flaksların sıvı alüminyumun rafinasyonu, refrakter duvarında zamanla kalınlaşan oksit tabakasının temizlenmesi, oksit oluşumunun azaltılması ve oluşan oksitten sıvı alüminyumun ayrılması, sıvı metal içerisindeki inklüzyonların aglomere edilerek yüzeye çıkarılması ve sıvı alüminyumdan uzaklaştırılması gibi pek çok farklı amaçlar ile kullanımı mevcuttur. Bu amaçlara göre kullanılan flaks içeriği ve flaksın sıvı alüminyuma uygulama yöntemi değişenlik göstermektedir. İçerik,

uygulama yöntemi ve kullanım amacında görülen değişkenlikler gibi pek çok farklı parametre barındırması sebebiyle flaks kullanımı konusu hala tamamen doğru bir şekilde uygulanamamaktadır.

Yapılan çalışmada alaşım kombinasyonu, flaks kombinasyonu ve flaksın uygulama yönteminin değişken parametreler olarak kullanıldığı seri döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde kriyolit oranının cüruf içerisindeki alüminyum ve alaşım elementi oranları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerdeki döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuş, cüruf numuneleri ise EDS elementel analizine tabi tutularak içerikleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda uygulama yöntemi, flaks kombinasyonu ve alaşım içeriğinin cüruf zenginliğine direkt olarak etki ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, 6063 alaşımı, flaks, cüruf

ABSTRACT

Structural and Elemental Analysis of Dross Content Due to Combination of Alloy and Flux in 6063 Series Aluminum Alloy

Metehan DİNÇER

Department of Metallugical and Materials Enginering

Master of Science Thesis

Supervisor: Dr. Burak BİROL

Today, the use of flux is very common in order to increase the casting efficiency, clean the liquid metal and reduce the losses due to combustion. It contains many impurities such as hydrogen dissolved in molten aluminum and oxides penetrating during feeding. Before the casting process is carried out, these various inclusions, oxide layer and dross in the liquid metal must be removed from the bath. These inclusions in the metal are tried to be removed by degassing, various types and application methods, the use of flux or filtration methods. The fluxes used are used for many different purposes such as cleaning the liquid aluminum, cleaning the oxide layer that thickens over time on the refractory wall, reducing the oxide formation and separating the liquid aluminum from the formed oxide, bringing the inclusions in the liquid metal to the surface by agglomeration and removing them from the liquid aluminum. The flux content used for these purposes and the

method of applying the flux to liquid aluminum vary. The issue of flux usage still cannot be applied completely because it contains many different parameters such as content, application method and variations in the purpose of use.

In the study, casting experiments were carried out in which alloy combination, flux combination and flux application method were used as variable parameters. In the experiments, the effect of cryolite ratio on aluminum and alloying element ratios in the dross was investigated. The casting samples in the experiments were subjected to elemental analysis, and the dross samples were subjected to EDS elemental analysis and their contents were examined. As a result of the experiments, it was seen that the application method, flux combination and alloy content directly affect the dross richness.

Keywords: Aluminum, 6063 alloy, flux, dross

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Birincil alüminyum üretimi boksit cevheri topraktan çıktıktan sonra iki aşamalı olarak gerçekleşir. İlk aşama Bayer Prosesidir. Bayer prosesi sonunda boksit içerisinde bulunan ve alüminyumca zengin bir cevher olan alümina elde edilir. Elde edilen alümina ikinci adım olan Hall - Heroult prosesi ile birincil alüminyuma dönüştürülür.

Metaller yenilenebilir kaynaklar değildir ve yeryüzündeki kullanım miktarı ile bağlantılı olarak tükenmektedir. Bu sebeple geri dönüşüm metal sektörü için önemli bir yer tutmaktadır. Cevher tüketiminin yanı sıra yapılan enerji tasarrufu ve azaltılan çevre kirliliği geri dönüşümün son yıllarda daha da revaçta bir proses olmasını sağlamıştır. Alüminyum ise bu süreç içerisinde çok değerli bir metaldir. Çünkü yeniden kullanılabilme oranı çok yüksektir. İkincil alüminyum için yapılan üretim maliyeti, birincil alüminyum için yapılan üretim maliyetinin yaklaşık olarak %40'ını oluşturmaktadır.

İkincil alüminyum üretimi rafinasyon uygulaması gerektirmektedir. Bunun başlıca sebepleri oluşturulan sıvı banyo içerisindeki inklüzyonlar ve istenmeyen alaşım elementleridir. Bu inklüzyonların giderilmesi üzerine pek çok araştırma yapılmış, pek çok kimyasal ve uygulama yöntemi geliştirilmiştir. Sıvı banyo içerisindeki kirliliklerin giderilmesi için gaz giderme, flaks kullanımı ve filtreleme gibi pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle istenmeyen kirlilikler cüruf tabakasına çekilerek sıvı banyodan uzaklaştırılır.

Döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce oluşan cüruf ve oksit tabakasının sıvı banyodan uzaklaştırılması gereklidir. Ancak oluşan cüruf alüminyum ve alaşım elementi bakımından oldukça zengindir. Bu sebeple cürufa uygulanacak farklı kimyasal bileşiklerle bu oran aşağı çekilmeli ve döküm verimi arttırılmalıdır. Kullanılan bu kimyasal bileşikler genellikle sodyum klorür, potasyum klorür ve florid tuzlarının karışımından oluşur. Geliştirilen flakslar pek çok farklı amaçla kullanılmaktadır. Başlıca amaçlar ise; refrakter duvarından cüruf tabakasının

temizlenmesi, sıvı alüminyumun rafinasyonu, cüruf içerisindeki alüminyum oranının düşürülmesi gibi amaçlardır. İstenilen etkiye göre kullanılacak flaks bileşimi ve uygulama yöntemi farklılık göstermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Alüminyumun döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce banyo istenilen alaşım bileşimine göre alaşımlandırılır. Daha sonra gaz giderme yöntemi ile çözünmüş olan hidrojen uzaklaştırılır. Bu işlemden sonra genellikle flakslama işlemi uygulanır. Flakslama işlemi gaz giderme işlemi ile ya da gaz giderme işlemi sonrasında gerçekleştirilebilir.

Literatür incelendiğinde flaks tiplerinin çok farklı şekilde sınıflandırıldıkları görülmektedir. Flaks türlerini ana işlev olarak incelediğimizde örtü flaksları, rafinasyon flaksları, cüruf çekme flaksları, duvar temizleme flaksları, temizleme flaksları, gaz giderme flaksları ve tane küçültme flaksları olarak 7 ana gruba ayırabiliriz. Flakslamanın çok farklı uygulama yöntemleri, çok farklı bileşenleri ve çok farlı işlevleri vardır. Günümüze kadar denenmiş veya hala kullanımda olan 150 çeşit flaks olduğu düşünülmektedir. Ancak yapılan binlerce ergitme döküm deneyi sonrasında flaksların çalışma mekanizması henüz netlik kazanmamıştır.

Bu çalışmadaki amaç dökümünün gerçekleştirileceği 6063 alüminyum alaşımı kombinasyonu için, gerçekleştirilmek istenen amaca göre flaks bileşimi ve uygulama yönteminin belirlenmesidir. Bu belirleme sırasında göz önüne alınan en önemli iki etken alüminyum ve alaşım elementi kaybının en aza indirilmesidir. Bu şekilde uygun flaksın uygun şekilde kullanılarak döküm veriminin arttırılması hedeflenmektedir.

1.3 Hipotez

Flaks kullanımı, flaks içeriğinin ve uygulama yönteminin uygun kombinasyonu ile verimli hale getirilebilir. Yapılan çalışmada, çalışma mekanizması konusunda hala bir bilgiye sahip olunamayan flaks tipi ve uygulama yöntemleri konusunda soru işaretleri giderilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın çıkış amacı kriyolit oranı, flaks tipi ve uygulama yöntemi gibi farklı parametrelerin cüruf zenginliğine olan etkisi araştırmak, flaks kombinasyonu ve uygulama yöntemi ile alaşım elementi kaybının

azaltılmasının mümkün olup olmadığı öğrenmek, eğer mümkünse hangi uygulama yöntemi ve hangi flaks kobinasyonu ile yapılabileğini belirleyebilmektir. Bu çıkış yoluyla birlikte alüminyum kaybı da araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, istenen amaca göre flaks ve uygulama yöntemi önerilmesi amaçlanmıştır.

2
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Bu bölümde alüminyum alaşımları ile alakalı literatür bilgisi verilecektir.

2.1 Alüminyumun Tarihçesi ve Gelişimi

Alüminyum yeryüzünde oksijen ve silisyum ve oksijenden sonra en yüksek miktarda bulunan elementtir. Alüminyum en çok rastlanan üçüncü element olmasının yanı sıra en çok rastladığımız metalik elementtir. Kütlece yerkabuğunu yaklaşık %8'lik bir kısmını oluşturur ve kayaçlarda, mineral birikintilerinde çok az bir miktar da olsa yer alır [1]. Oksijen afinitesi yüksek olduğu için doğada karşımıza metalik formu (saf hali) ile çıkmaz [2]. Atom numarası 13'tür ve dolayısıyla değerlik elektron sayısı 3'tür. Bu değerlik elektron sayısı alümina (Al_2O_3) gibi çok güçlü oksitler oluşturmasına sebep olur [3].

Alüminyumun varlığı, oluşturduğu bileşiklerin çok kararlı olmasından dolayı 1808 yılına kadar belirlenememiştir [4]. 13 yıl sonra boksit adı verilen alüminyum oksitçe zengin bir cevher Fransa'da bulunmuştur ve alüminyum metali için halen en önemli kaynak olarak gösterilmektedir [4].

1886 yılına kadar küçük miktarda gerçekleştirilen üretimler devam etmiştir [5]. Ancak bu yılda Birleşik Amerikalı bilim insanı Charles Martin ve Fransız bilim insanı Paul Luis Heroult çok yüksek miktarda elektrik kullanımıyla birlikte alüminyumun çöktürüldüğü bir prosesin patentini almışlardır [4]. Alüminyum madeninin ergiyik kriyolit içinde çözünmesi sebebiyle gerçekleştirilebilen bu indirgeme prosesi halen ticari alüminyum üretiminde kullanılan Hall-Heroult prosesi olarak bilinmektedir ve yüksek enerji sarfiyatına rağmen halen bilinen en etkili yöntemdir [5].

Keşfi sonrası Hall-Heroult indirgeme prosesine kadar çok küçük miktarlarda üretilebilmesinden dolayı çok değerli bir metal olarak görülmüştür [3]. Küçük üretimlerinin devam ettiği sıralarda 550 dolar civarında olan kilogram fiyatı Hall-Heroult prosesinin 1890 yılında son halini almasıyla 2 dolar civarına inmiştir.

Prosesin mükemmelleştirilmesinden sonra yaşanan büyük fiyat düşüşü alüminyuma olan talebi fazlasıyla yükseltmiş ve alüminyum üretiminde çok yüksek bir artışa sebebiyet vermiştir [1]. Bu süreçte birincil alüminyum üretimi 2004 yılına kadar ortalama olarak yıllık %8,5 gibi yüksek bir oranla sürekli olarak artış göstermeye devam etmiştir.

2.1.1 Genel Özellikleri

Alüminyum üretimi son derece yeni olan bir metaldir. ,günümüzde halen kullanılan pek çok metale göre (demir,tunç, bakır gibi) üretim tarihi çok kısa olan bu metal 1890 yılında üretim olarak mükemmelleştirilmiş ve günlük yaşantımızın pek çok alanında kullanıma katılmıştır. Gün geçtikçe pek çok yeni alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Alüminyumun temel mekanik özellikleri Tablo 2.1'de ana hatları ile verilmiştir.

Tablo 2.1 Alüminyumun mekanik özellikleri [2]

Yoğunluk	2,7 gr/ cm^3
Çekme dayanımı	39-85 Mpa
Akma dayanımı	10-30 Mpa
Kopma uzaması	%30-40
Ergime sıcaklığı (saf alüminyum)	663 °C
Kristal yapısı	Kübik Yüzey Merkezli

Tablo 2.1'de verilen özellikler oda sıcaklığında bulunan katı alüminyum baz alınarak verilmiştir. İçinde bulunduğu sıcaklığa göre bu mekanik özellikler değişkenlik gösterebilir [2].

Yoğunluğu 7,87 gr/cm^3 olan demir metaline göre yaklaşık 3 kat daha hafiftir. Alaşımlandırma işlemi sayesinde mekanik dayanımlarında önemli artışlar meydana gelir. Bu dayanım artışlarına karşılık özkütlesinde çok büyük bir değişim

gerçekleşmez. Hafiflik olarak magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metal olarak dikkat çekmektedir [6].

Alüminyumun kullanımında yaşanan artışın bir diğer sebebi ise elektrik iletkenliğidir. Günümüz elektrik sektöründe bakırın hakimiyeti su götürmez bir gerçektir. Alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın elektrik iletkenliğinin ortalama olarak %60'ına denk gelmektedir. Ancak birim kütle başına iletenlik incelendiği zaman alüminyum bakırın performansının önüne geçmektedir. Bu sebeple elektrik iletim hatlarında alüminyum kullanımı artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Alüminyumun alaşımlandırılması sonucunda elektrik iletkenliği düşmektedir bu sebeple elektrik iletim hatlarında genellikle 1xxx serisi alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Birim kütle başına iletkenliğin yanı sıra fiyat olarak da bakırdan uygun olması kullanımını cazip hale getirmektedir [2].

Alüminyum oksijen afinitesi sebebiyle üst katmanında bir oksit tabakası oluşturur. Havada oluşan bu tabaka ince, çok sıkı ve gözeneksiz bir yapıdadır. Bu gözeneksiz yapı alt katmanlara oksijen iletimini ve dolayısıyla tabakanın sürekli olarak büyümesini engeller. Bu sebeple altta kalan metal üzerinde doğal bir kaplama oluşturarak korozyon dayancı oluşturur [7]. Metalik parlaklıkta olan bir alüminyum için oluşan oksit tabakası kalınlığı ortalama olarak 0,2 mikrometre civarındadır [8]. Tablo 2.2'de oda sıcaklığında bulunan saf alüminyumun farklı metallerle karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.2 Alüminyumun mekanik özelliklerinin farklı elementler ile karşılaştırılması [9]

Mekanik Özellik	**Al**	**Zn**	**Cu**	**Fe**	**Mg**
Yoğunluk (g/cm^3)	2,70	4,1	8,94	7,87	1,74
Yanma ısısı (kcal/kg)	6970	1270	-	1600	6000
Isıl iletkenlik ($Cal/ cm^2/cm\ °C$)	0,52	0,27	0,92	0,19	0,37

Tablo 2.2 Alüminyumun mekanik özelliklerinin farklı elementler ile karşılaştırılması [9] (devamı)

Sertlik (brinell)	19	-	25	70	-
Ergime sıcaklığı (°C)	663	420	1083	1535	651
Uzama (%)	43	-	50	48	-

Tablo 2.3'te alüminyum dövme alaşım serilerinin başlıca önemli özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3 Dövme alaşımların önemli özellikleri [2]

Alaşım	**Önemli Özellikleri**
1XXX	Yüksek aşınma direnci, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, yüksek hassasiyette işlenebilirlik, düşük mekanik özellikler
2XXX	Yüksek çekme dayanımı, uzama, sertlik, düşük korozyon direnci
3XXX	İyi işlenebilirlik
4XXX	Düşük ergime sıcaklığı ve dekoratif görünüm.
5XXX	Yüksek çekme dayanımı, sertlik, kaynaklanabilme özelliği ve aşınma direnci
6XXX	İyi şekillendirebilirlik, ısıl işleme yatkınlık, korozyon direnci, orta derecede mekanik dayanım
7XXX	Yüksek dayanım ve mekanik özellik

2.1.2 Kullanım Alanları

Endüstride alüminyum kullanımı yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona karşı direnci, yüksek elektrik iletkenliği sebebiyle sürekli olarak artmaktadır.

İnşaat sektöründe yüksek korozyon dayanımı sebebiyle ekstrüzyon ürünleri, yüzey kaplamaları, pencere ve kapı profilleri üretiminde, aynı zamanda dekoratif

görüntüsü sebebiyle pek çok görsel aksesuarın üretiminde alüminyum kullanılmaktadır. Düşük özgül ağırlığı sebebiyle köprülerde yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektörü %14,8 ile (2004 verilerine göre) Amerika Birleşik Devletleri'nde alüminyum kullanımının en yoğun olduğu üç sektörden biridir [10].

Ambalaj ve paketleme sektöründe en büyük yer tutan malzemelerden biri alüminyumdur. Çok farklı uygulamalara olumlu şekilde tekti verir. Bu uygulamalar taşımacılık sektöründe kullanan konteynerlerden içecek kutularına, ilaç kutularından yiyecek konserve kutularına ve evsel - endüstriyel folyo yapımına kadar çok geniş bir yelpazededir. İlaç sektöründe kullanımı zehirleyici etkisi olmaması ve kolay şekillendirilebilmesinin yanında kızıl ve mor ötesi ışınları geçirmemesi sebebiyle tercih edilmektedir. İçecek ve konserve kutularındaki kullanımı korozyona karşı direnci, zehirleyici etki göstermemesi ve taşıma sırasında sağlayacağı ağırlık kazancı düşünülerek yaygın boyutlara ulaşmıştır [11]. 2004 yılında dünya genelinde 100,5 milyar alüminyum kutu satılmıştır. Alüminyum içecek kutuları ayrıca Amerika'da geri dönüşüme uğrayan alüminyumun en büyük kaynaklarından biridir. Konteyner ve paketleme sektörü %20,3 (2004 verilerine göre) ile Amerika Birleşik Devletleri'nde alüminyum kullanımının en yoğun olduğu üç sektörden birdir [12].

Ulaşım sektöründe kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Deniz ulaşım araçları ve otomotiv sanayisinin yanında havacılık ve uzay sanayisi de alüminyum kullanımının tercih edildiği alanlardan biridir. Otomotiv sektöründe motor blokları, şanzıman aksamları gibi pek çok parça farklı alüminyum alaşımlarından üretilmektedir. Otomotiv sektöründe alüminyum kullanımının arttırılması üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir. Son dönemde alüminyum bileşiminin ön planda olduğu gövde tasarımları üzerine yoğunlaşılmıştır [4]. Orta büyüklükte bir aracın ağırlığının %35'lik bir kısmını kaporta oluşturmaktadır. Bu sebeple alüminyum bileşenli kaportaların geliştirilmesi üzerine pek çok farklı proje yapılmaktadır. Ünlü Alman otomotiv üreticisi Audi, Alcoa iş birliği ile ürettiği kaporta ve yapısal elemanları tamamen alüminyumdan ürettiği bir prototip aracında ağırlıktan %47 tasarruf sağlamıştır. Çelik yerine alüminyum kullanılarak üretilen hafif gövde sayesinde süspansiyon, motor aksamları ve fren elemanlarında

da ağırlık tasarrufu sağlanabilmiştir. Bu çalışmalar ışığında Audi 5000 model otomobilinde 370 kilogram çelik yerine 149 kilogram alüminyum kullanmış ve aracı 211 kilogram hafifleterek 150 bin kilometrede 500 litre yakıt tasarrufu sağlamıştır. Bu örnek göz önüne alınırsa otomotiv sektöründeki alüminyum kullanımı yapılan karbon salınımı ve ulaşım sebebiyle oluşan çevre kirliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Deniz ulaşım aracı olarak kullanılan küçük teknelerin ve yatların yelken direklerinin üretiminde kullanılır. Böylece ağırlık merkezi daha aşağı doğru indirilir ve denge artışı sağlanır. Düşük yoğunluk ve yüksek dayanım sebebiyle havacılık sektöründe yoğun olarak kullanılan alüminyum bir yolcu uçağının ortalama olarak %70'lik bölümünü oluşturur. Amerika Birleşik Devletleri'nde ulaşım sektörü %33,9'luk bir oranla (2004 verilerine göre) alüminyum kullanımının en yoğun olduğu üç sektörden biridir.

Enerji hatlarındaki kullanımı yüksek iletkenlik ve korozyona karşı direnci sebebiyle ön plana çıkmaktadır. Kütle başına iletkenliği daha yüksek olduğu için uzun elektrik dağıtım hatlarında bakırın yerini almaktadır. Bu kullanım Avrupa'da %10, Amerika Birleşik Devletleri'nde %9 ve Japonya'da ise %7 seviyelerindedir. Yeraltı kabloları, elektronik cihaz kasaları, transistör soğutucuları gibi pek çok farklı alanda kullanımı söz konusudur.

Makine elemanlarında kullanımı hassas toleransta işlenmesinin kolaylığı, büyük ve tek parça üretiminin kolaylığı, yüksek korozyon direnci, kompleks parçaların üretim kolaylığı gibi pek çok olumlu özellik sebebiyle artış göstermektedir [2].

Tablo 2.4'te alüminyum serilerinin başlıca kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 2.4 Dövme alaşımların başlıca kulanım alanları [2]

Alaşım	**Başlıca Kullanım Alanları**

Tablo 2.4 Dövme alaşımların başlıca kulanım alanları [2] (devamı)

1XXX	Elektrik iletim kabloları, elektronik cihazlar, kimya sanayi, ambalaj malzemesi ve derin çekme uygulamaları
2XXX	Vida, cıvata, uçak konstrüksiyonu, perçin, yüksek sıcaklıklarda çalışan dövme silindir kafa ve pistonları, uçak pervaneleri, ayrıca gerilime maruz kalan uçak ve diğer yapı parçalarında
3XXX	İyi işlenebilirlik ve orta derecede dayanım gerektiren genel uygulamalar, içecek kutuları, otobüs gövdeleri ve çatı kaplamaları
4XXX	Lehim teli, sert lehimleme, mimari uygulamalar, radyatör dilimleri
5XXX	Basınç tankları, kılcal borular, yüksek dayanım/ağırlık oranı gerektiren uygulamalar, deniz taşıtları ve otomobil endüstrisinde; uçak yakıt ve yağ hatları, yakıt tankları, mimari uygulamalar.
6XXX	İlaç ve kimya sanayinde ambalajlama, makine parçaları, mimari uygulamalar, otomotiv sektörü, köprü, vinç ve çatı kirişleri
7XXX	Tavan vinçleri, damperli kamyon kasaları, vagonlar ve uçak konstrüksiyonları

Tablo 2.5'te sektör bazında kullanım yerleri ve alternatifi olduğu malzemeler verilmiştir.

Tablo 2.5 Alüminyum dövme alaşımlarının sektörlere göre kullanım alanları ve alternatifi olduğu malzemeler

Sektör	**Kullanım Yeri**	**Alternatif Olduğu Malzemeler**
Ulaşım	Radyatörler, motor parçaları Kaporta sacı	Bakır, pirinç, dökme demir Siyah galvanizli veya diğer kaplamalı çelik sac

Tablo 2.5 Alüminyum dövme alaşımlarının sektörlere göre kullanım alanları ve alternatifi olduğu malzemeler (devamı)

Uçak ve uzay araçları	Yapı elemanları, uçak gövdesi	Çelik, plastik, magnezyum Karbon elyaflı ve diğer kompozit malzemeler
Trenler	Yolcu ve yük vagonu	Çelik
Deniz araçları	Tekne gövdesi	Ağaç, cam elyaf, çelik
İnşaat	Duvar kaplama, çatı Kaplama Pencere ve kapı doğrama	Ağaç, çelik, plastik Ağaç, galvanizli çelik, kurşun plaka Ağaç, PVC sert plastik
Ambalaj	Meşrubat kutuları, konserve kutuları,folyo Kapaklar	Teneke, plastik, cam, kompozit Plastik, kâğıt Plastik
Elektrik elektronik	Transformatör ve jeneratör İletkenler Telefon kabloları	Bakır Bakır Bakır
Makine	Yataklar Isı eşanjörleri, hidrolik sistemler	Döküm malzemeler, paslanmaz çelik Çelik
Beyaz eşya	Buzdolabı Klimalar Pişirme araçları	Paslanmaz çelik, plastik, bakır, plastik Çelik, paslanmaz çelik, bakır
Diğer uygulamalar	Sulama boruları, ziraat aletleri , Kimyasal tesisler	Dökme demir, paslanmaz çelik Paslanmaz çelik

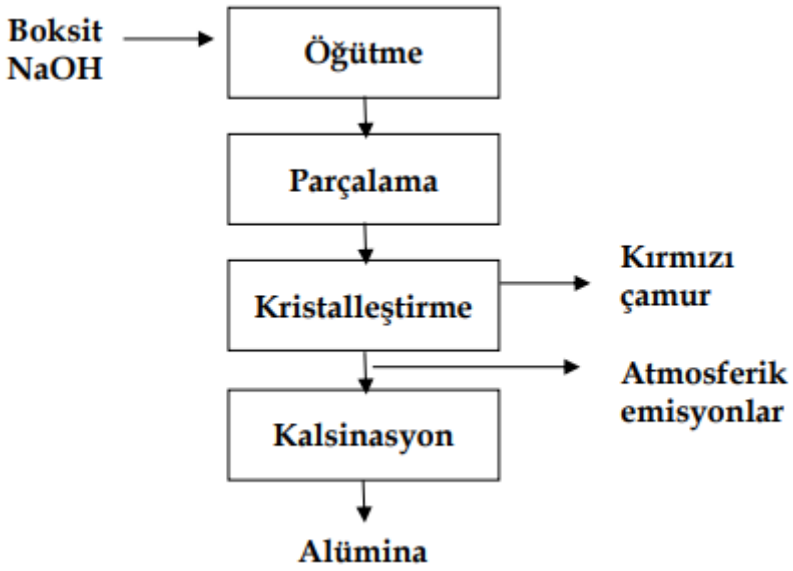
2.2 Birincil Alüminyum Üretimi

Birincil alüminyum, boksit cevherinden elde edilen metalik alüminyumdur. Alüminyum son ürün üretimi üretimi en temel çerçevede beş adımda gerçekleştirilir. Bunlar;

- Cevherin topraktan çıkarılması
- Cevherden alümina üretimi (Bayer Prosesi)
- Alüminadan birincil alüminyum üretimi (Hall - Heroult Prosesi)
- Alüminyumun fabrikasyonu
- Son ürün

Cevher topraktan çıkarıldıktan sonra Bayer prosesi ile alümina üretimi gerçekleşir [4]. Bayer prosesi çıktısı olarak elde edilen alümina (Al_2O_3) Hall - Heroult prosesi ile birincil alüminyuma dönüştürülür [5].

Boksit genellikle yüzeye yakın bir derinlikte bulunan, ortalama olarak %50 alüminyum içeriği sebebiyle de ekonomik bir cevherdir. Boksit cevherine madende uygulanan işlemler çoğu zaman ezme, kırma ve kurutma gibi çok sınırlı uygulamalardır. Ezilen boksit Karl Josef Bayer tarafından geliştirilen Bayer prosesine tabi tutularak alüminaya çevrilir. Bayer prosesi çözündürme, çöktürme ve kalsinasyon olmak üzere üç aşamadan oluşan bir prosestir. Çözündürme işlemi otoklav hücrelerinde yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta gerçekleştirilen bir proses adımıdır. Alüminyum hidroksit mineralleri sodyum hidroksit (NaOH) ile tepkimeye girerek sıvı faza geçer. Çözündürme işlemi sırasında sodyum hidroksitten etkilenmeyen ferritik demir oksitler çözelti dibinde birikerek kırmızı çamur oluşturur ve sistemden uzaklaştırılır. Çözündürme işleminden sonra ikinci adım olan çöktürme işlemi başlar. Bu işlemde elde edilen çözeltiden alüminyum hidrat çöktüresi gerçekleştirilir. Çöktürme işleminden sonra son adım olan kalsinasyon işlemine geçilir. Bu işlemde $Al(OH)_3$ yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1100 °C) kalsine edilerek içerisinde bulunan fiziksel ve kristal su uzaklaştırılır ve alümina eldesi gerçekleşir.



Şekil 2.1 Boksit cevherinden alümina üretim aşamaları

Alümina üretiminden sonraki aşama Hall-Heroult prosesidir. Bu aşamada alüminanın ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalik alüminyum eldesi gerçekleştirilir. Alümina 950-980 °C'de ve yüksek akım altında ve ergimiş florür tuz banyolarında gerçekleştirilmektedir. Elektroliz sürecinde kullanılan karbon veya grafit kaplı çelik kaplardan oluşan elektroliz hücrelerine "pot" adı verilir. Bu hücreler karbon anot ve katottan oluşmaktadır. Karbon anot ve katot birbirine seri olarak bağlıdır. Elektroliz sürecinde, alümina parçalanarak oksijen ve metalik alüminyum oluşumu gerçekleşir. Açığa çıkan oksijen karbon anot ile tepkimeye girerek CO ve CO_2 oluşturur. Sıvı alüminyum yoğunluğunun elektrolit yoğunluğundan yüksek olması sebebiyle sıvı alüminyum dibe çökerek orada birikir. Sıvı alüminyum vakum sifon kullanılarak belirli aralıklarla sistemden toplanır.

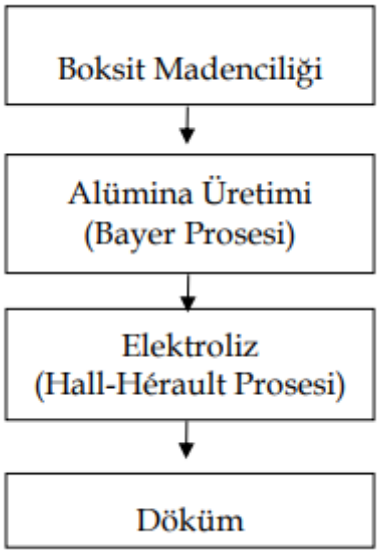
2 Al_2O_3 (çözünmüş) + 3 C (katı, anot) 4 Al (erimiş) + 3 CO_2 (gaz)

Denklemde gösterilen reaksiyonlar, alüminanın ergimiş kriyolit içerisindeki elektrolizi sırasında gerçekleşmektedir. Banyoda gerçekleşen elektroliz sonucunda alüminanın tüketimi sürekli olarak devam etmektedir. Ancak anot etkisi görülmemesi için alümina miktarının %2-6 arasında tutulması gerekmektedir. Alümina oranı %1-2'in altına düştüğü zaman gerçekleşen anot etkisi ise;

alüminanın ayrışması yerine kriyolit banyosunun metal ve florürlerine ayrışması sürecidir.

Kriyolit banyosuna florür (AlF_3), kalsiyum florür (CaF_2), magnezyum florür (MgF_2) ve lityum karbonat (Li_2CO_3) gibi tuzlar eklenerek akım verimliliği arttırılmakta ve buharlaşma dolayısıyla yaşanan kayıplar da azaltılmaktadır. Kullanılan karbon kaplamasının sebebi ise banyonun aşındırıcı etkisinin çok yüksek olmasıdır.

Üretimi gerçekleşecek 1000 kilogram metalik alüminyum için; elektrik enerjisinin yanında 1950 kilogram alümina, 500 kilogram kok ve çok az miktarda florür tuzu sarfı gerçekleşir. Şekil 2.2'de birincil alüminyum üretimi şema ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Birincil alüminyum üretim şeması

2.3 İkincil Alüminyum Üretimi (Geri Dönüşüm)

Metaller yenilenebilir kaynaklar olmadığı halde, geliştirilen geri dönüşüm teknolojileri sayesinde tekrar kullanımı mümkün olan kaynaklardır. Metal geri dönüşümü sanayinin sürdürülebilirliği, sınırlı kaynağın tekrar kullanımı, enerji sarfiyatının daha az oluşu ve ekonomik üretim sebebiyle günümüzde vazgeçilmez bir noktadadır. Alüminyum özelinde konuşulacak olursa; enerji kullanım maliyeti, metalik alüminyum üretiminin yaklaşık %40'lık kısmını oluşturmaktadır. Maliyetin yanı sıra yüksek enerji sarfiyatı, kaynakların tüketimi ve neden olduğu çevresel kirlilik sebebiyle kaçınılmak istenen bir durum haline gelmiştir. İkincil alüminyum

üretiminde, birincil alüminyum üretimi için kullanılan enerjinin yaklaşık %5'lik kısmına ihtiyaç duyulmaktadır. Yani enerji sarfiyatında %95'lik bir azalma sağlanmaktadır. Bu fark geri dönüşümün önemini açık bir şekilde göstermektedir. Alüminyum geri dönüşümüne teşvik eden bir diğer husus, alüminyumun yüksek oranda geri dönüştürülebilmesidir. Geri dönüşüm ile üretilen alüminyum oranı, tüketilen alüminyumun 1/3'lük gibi önemli bir bölümünü karşılayabilmektedir. Şekil 2.3'te geri dönüşüm sürecinin ana hatları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Alüminyum geri dönüşüm süreci

Alüminyum ve alaşımlarının üretimi sırasında atılan maddeler, geri kazanılan malzemeler, kullanılan ve kullanım ömrünün sonunda atılan malzemeler genellikle hurda olarak tanımlanır. Birincil retim için kullanılan hammadde boksit cevheri iken, ikincil alüminyum üretimi için kullanılan kaynak ağırlıklı olarak hurda olarak tanımlanan atıklardır. Hurdalar, eski hurda ve yeni hurda üzere iki ana kategoride toplanabilir. Eski hurdalar; kullanılan içecek kutuları, eski pencere çerçeveleri ve eski elektrik iletkenleri gibi kullanım ömrünü tamamlamış pek çok farklı kategoriden malzemeden oluşabilir. Yeni hurdalar; alüminyum üretimi sırasında oluşan işlem atıkları olarak tanımlanabilir. Cüruf ise alüminyum üretimi sırasında gerçekleşen ergitme, rafinasyon ve aktarma işlemleri sonrası açığa çıkan metalik alüminyum ve oksit karışımları olarak tanımlanabilir.

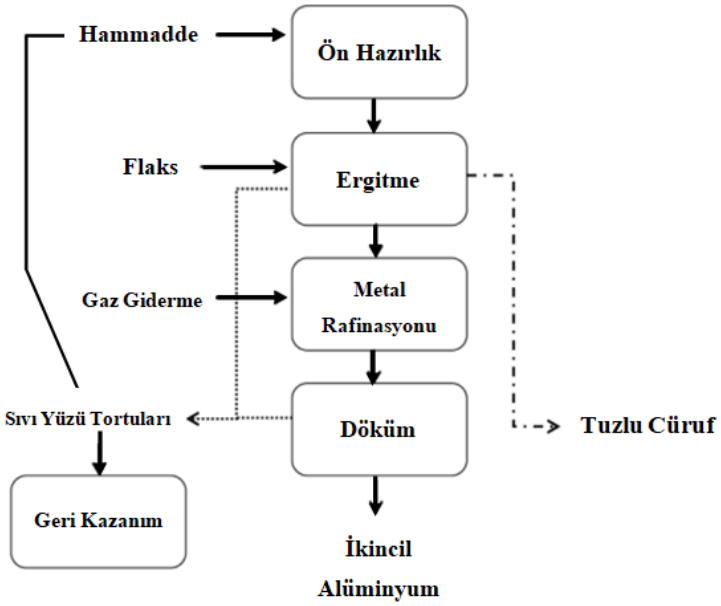
Tuzlu cüruf, çeşitli amaçlar için -metalin oksitlenmesini engelleyerek metal kaybını azaltmak, ısı kaybını azaltarak termal verimliliği arttırmak, inklüzyonların

giderilmesi, tane küçültme gibi- kullanılan tuz karışımlarının ergimiş metale eklenmesi sonrasında oluşur. Cüruf içeriği ve miktarı fırına beslenen hurda tipi ve kirliliği ile direkt olarak bağlantılıdır. Cüruf döküm işlemi öncesi yüzeyden mutlaka sıyrılmalıdır. Alüminyumun kolay oksitlenmesinden dolayı yüzeyde alüminyum oksit katmanı oluşturur. Bu katmana sıvı yüzey tortusu denir. Bu yüzey döküm işlemi öncesi mutlaka temizlenmelidir. Cüruf ve sıvı yüzey tortusu yeni hurda kategorisinde sayılabilir.

İkincil alüminyum üretiminde kullanılan bu hurdalar üretim sürecine girerken kolayca tanımlanamayabilir. Bu sebeple sisteme pek çok farklı kirlilik beslemesi de gerçekleşebilir. Bu durumun engellenebilmesi için hurdaların ön hazırlama işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Bu ön hazırlık işlemi hurdanın toplanması ve hurdanın ayıklanması olarak iki basamakta gerçekleştirilir. Bu aşamada sıvı metal kirliliğinin azaltılması, termal verimliliğin arttırılması ve sıvı metal kaybının azaltılması için yağ uçurma, nemin giderilmesi gibi işlemler de gerçekleştirilebilir.

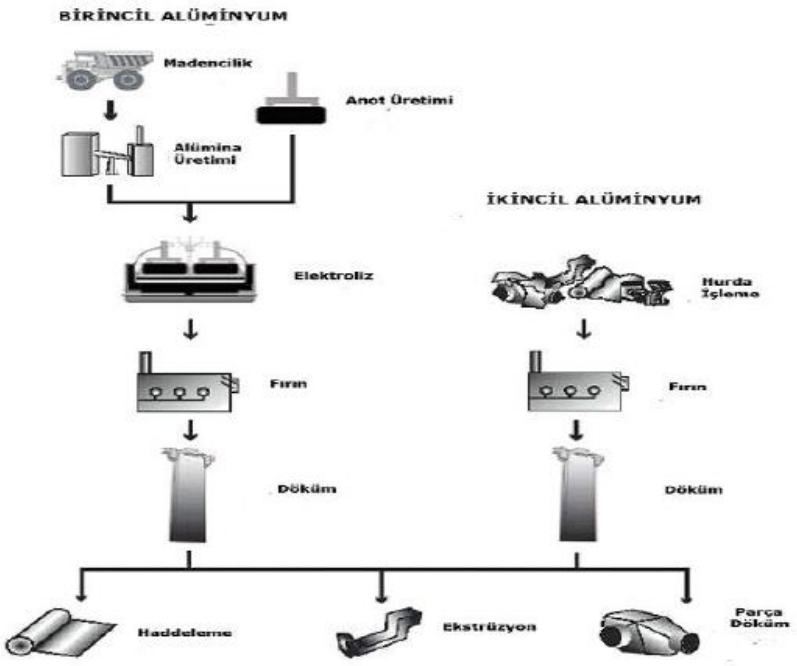
Ön hazırlık tamamlandıktan sonra ergitme prosesi başlatılır. Bu proses ergitmenin başlaması, metal rafinasyonu, döküm ve cürufun temizlenmesi - değerlendirilmesi olarak dört adımda gerçekleştirilir. Ergitme için kullanılan hurda tipine göre fırın seçilmesi gereklidir. Zira cüruf veya yüksek demir içeriği olan alüminyum hurda geri dönüşümü gerçekleştirilecekse döner fırın, büyük hurdalar için reverber fırın, temiz ve küçük hurdalar için ise yanma kaybının en aza indirilebilmesi için indüksiyon fırını kullanımı uygundur. İndüksiyon fırınları bekletme fırını olarak da kullanılabilmektedir.

Şekil 2.4'te ikincil alüminyumun genel üretim şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.4 İkinci alüminyum üretim prosesi

Geri dönüşüm süreci ergitme sonrası sıvı alüminyumun külçe, ingot veya çubuk şeklini alması ile son bulur. Daha sonra fabrikasyon işlemi başlar ve son ürün üretim süreci başlamış olur. Şekil 2.5'te birincil alüminyum, ikincil alüminyum üretimi ve son ürün üretimi basit bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Birincil ve ikincil alüminyum üretim süreçleri

2.4 Alaşımların Sınıflandırılması

Ticari saf olarak isimlendirilen alüminyum alaşımı ortalama olarak %99-99,99 alüminyum içeriğine sahiptir. Bu alaşımlar düşük mukavemet sebebiyle çok sınırlı alanlarda kullanılabilmektedir. Saf alüminyumun mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi için alaşımlama işlemi gerçekleştirilir. Alaşım elementi olarak bakır, silisyum, mangan, çinko, krom, kalay, magnezyum, demir, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum, lityum gibi pek çok farklı element kullanılabilir. Hangi elementlerin kullanılacağı alaşımdan beklenen mekanik performansa göre değişiklik göstermektedir. Alaşım elementi miktarının artması malzeme mukavemetini olumlu yönde etkiler. Ancak bunun yanında şekil alabilirlik ve elektrik iletkenliği gibi özellikler olumsuz yönde etkilenir.

Alüminyum alaşımları dövme (işlem) alaşımlar ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

2.4.1 Dövme Alaşımlar

Alüminyum dövme (işlem)alaşımları için en yaygın olarak kullanılan isimlendirme daha önce Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılan, daha sonra

Amerikan Standartlar Birliği tarafından 1957 yılında standartlaştırılan isimlendirme yöntemidir. Standart gösterimleri ve temel alaşım elementleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Alüminyum dövme alaşım gösterimleri ve temel alaşım elementleri

Gösterim	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Alaşımsız alüminyum
2XXX	Bakırlı alüminyum alaşımları
3XXX	Manganlı alüminyum alaşımları
4XXX	Silisyumlu alüminyum alaşımları
5XXX	Magnezyumlu alüminyum alaşımları
6XXX	Magnezyum ve silisyumlu alüminyum alaşımları
7XXX	Çinko içeriği yüksek alüminyum alaşımları
8XXX	Diğer alaşım elementleri
9XXX	Kullanılmayan dizi

Bu simgeleme yönteminde dört rakam kullanılmaktadır. İlk rakam temel alaşım elementini belirlemektedir. Son iki rakam herhangi bir özellik belirtmeyen ve keyfi olarak belirlenen rakamlardır. İkinci rakam ise değişimleri ve özel olarak denetlenen empürite sayısını belirtir. 1 ile 9 arasında değişkenlik gösterir. Örneğin 3004 alüminyum alaşımı; 3 serisine ait ve temel alaşım elementi mangan olan bir alaşım elementi iken, içinde özellikle denetlenen herhangi bir empürite olmadığını belirtir.

1XXX serisi; minimum %99,00 alüminyum içeren seridir. Son iki rakam ise %99'dan sonraki alüminyum içeriğini gösterir. Örneğin 1050 alaşımı için alüminyum içeriği %99,50'dir.

2XXX-8XXX arasındaki alaşım serilerine ait alaşımlar için yine ilk rakam ait olduğu seriyi ve temel alaşım bileşimini ikinci rakam ise değişimleri simgeler.

9XXX serisi yalnızca deneysel olarak geliştirilen alaşımlar için kullanılır. Deneysel üretim başarılı olduğunda ve üretimine geçildiğinde başındaki 9 alınır ve temel alaşım elementi olarak en uygun olan alaşım serisine dahil edilir. Alaşım standartlaştırılana kadar ilk rakamın önüne "X" konur ve standartlaştırıldığında bu "X" kaldırılarak seri içine dahil edilir.

Dövme alaşımlar kendi arasında ısıl işlem davranışına göre; ısıl işlem uygulanabilen dövme alaşımlar ve ısıl işlem uygulanamayan dövme alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlar genellikle 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisine ait alaşımlardır. 3XXX ve 5XXX serisine ait alaşımlara ısıl işlem uygulanmaz ve deformasyonla sertleştirilir. Bu serilere ait alaşımların dayanım özellikleri genellikle mangan ve magnezyum ile bağlantılıdır. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlem simgeleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 Alüminyum dövme alaşımlarına uygulanan ısıl işlem simgeleri ve anlamları

Gösterim	**Uygulanan Temel İşlem**
F	Fabrikasyondan sonraki hali
O	Tavlanmış – yalnızca işlem alaşımları
H	Yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekil verme sonucu sertlik ve mukavemet artışı
W	Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış
T	F, O ve H dışındaki etkileri meydana getirmek için yaşlandırma ısıl işlem görmüş

Bu gösterimlerin anlamları:

F; fabrikasyondan sonra herhangi bir işlem görmemiş halini belirtir. Mukavemet ve sertliğin değişimi için herhangi bir ilave işlem yapılmamıştır.

O; tavlanmış, yeniden kristalleştirilmiş alaşımlar için kullanılan gösterimdir. Sertlik ve mukavemetin en düşük olduğu haldir.

H; sadece deformasyon ile şekillendirilebilen alüminyum alaşımları için kullanılır. Genellikle sac ve levha gibi yassı ürün grupları için kullanılır. Deformasyon sertleştirmesi sonrası istenilen mukavemet değerinin sağlanabilmesi için gerçekleştirilen ısıl işlemdir. H gösteriminden sonra özellikle iki rakam vardır ancak üç rakam kullanılan gösterimler de görülebilir. İlk rakam yapılan esas işlemin temsilidir. Daha sonraki ikinci rakam ise elde edilen mukavemet değerini ifade eder. İkinci rakam 1 ve 9 arasında değişir. 1 en düşük, 9 ise en yüksek mukavemet değerini temsil eder. Eğer bu gösterime tam uymayan bir durum varsa üçüncü rakam kullanılır. Bu üçüncü rakam ise ait olduğu durumdan biraz farklı olduğunu gösterir. Örneğin ısıl işlem gösterimi H191 şeklinde olan bir alüminyum alaşımı için sadece deformasyonla sertleştirilmiş ve herhangi bir ara tavlama işlemi yapılmamış, çok sert ve H19'dan biraz daha farklı değerlere sahip olduğunu gösterir.

H1 herhangi bir ara tavlama işlemi gerçekleştirilmeyen sadece son tav yapılarak istenilen mukavemet değerine ulaşıldığı, H2 deformasyona devam edilebilmesi için bir ara tavlama işleminin gerçekleştirildiği ve daha sonrasında deformasyon işlemine devam edildiği, H3 ise magnezyum içeren alaşımlarında yapıyı daha kararlı hale getirmek için düşük derecelerde yapılan tavlamalar için kullanılır.

W; çözeltiye alınmış ve kalıcı olmayan bir yapıya sahip alaşımlar için kullanılır. Örnek verilecek olursa; 6063-W-12 gösterimindeki bir alaşımın 12 saatlik bir yapay yaşlandırma sonucunda 6063 alaşımı mukavemet değerlerine sahip olacağı şeklinde yorumlanmalıdır.

T; yapay veya doğal yaşlandırma işlemi uygulanmış alaşımlar için kullanılan ısıl işlem gösterimidir. Alaşım soğuk deformasyona maruz kalmış veya kalmamış olabilir. T'den sonra kullanılan ilk rakam yapılan işlemleri belirtirken sonrasında kullanılan ikinci rakam bahsedilen özelliklere uygun olmayan bir durum varsa kullanılır.

T1, sıcak işleme işlemi yapıldıktan sonra soğutularak doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş alaşımlar için kullanılır.

T2, sıcak işlemden sonra soğutulup, deformasyona uğratılıp daha sonra doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulan alaşımlar için kullanılır.

T3, çözeltiye alınan dövme alaşımların daha sonrasında soğuk deformasyona tabi tutularak sertleştirilmesi durumunda kullanılır.

T4, çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırma işlemine tabi tutulan alaşımlar için kullanılır.

T5, fabrikasyon sıcaklığında soğutularak yapay olarak yaşlandırılan (termik işlem) alaşımlar için kullanılır.

T6, çözeltiye alma işleminden sonra yapay yaşlandırma (termik işlem) işlemine tabi tutulan alaşımlar için kullanılır.

T7, çözeltiye alma işlemi ile dengeli hale getirilmiş alaşımlar için kullanılır.

T8, çözeltiye alınmış, soğuk deformasyona tabi tutulmuş ve yapay yaşlandırma (termik işlem) işlemine tabi tutulan dövme alaşımlar için kullanılır.

T9, sırasıyla çözeltiye alma, yapay yaşlandırma ve soğuk deformasyona tabi tutulan alaşımlar için kullanılır.

T10, yapay olarak yaşlandırılan ve soğuk deformasyona tabi tutulan dövme alaşımlar için kullanılır.

2.4.2 Döküm Alaşımları

Döküm alaşımları ile dövme alaşımların isimlendirilmeleri birbiri ile benzerlik göstermektedir. Döküm alaşımlarında da dövme alaşımlarda olduğu gibi dört rakamdan oluşan bir isimlendirme mevcuttur. Buradaki fark son rakamın ayrılmasıdır. Alaşım simgelerini ve temel alaşım elementlerini içeren alaşım tablosu Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Alüminyum döküm alaşım gösterimleri ve temel alaşım elementleri

Gösterim	Temel Alaşım Elementi
1XXX,X	Minimum %99,00 alüminyum içeriği
2XXX,X	Bakır
3XXX,X	Silisyum-bakır ve/veya magnezyum
4XXX,X	Silisyum
5XXX,X	Magnezyum
6XXX,X	Kullanılmayan dizi
7XXX,X	Çinko
8XXX,X	Kalay
9XXX,X	Diğer elementler

1XX,X serisi için ikici ve üçüncü rakamlar ilgili alaşımın %99,00'dan sonraki alüminyum içeriğini belirtir. Bu saflık derecesinin belirlenmesini sağlar. Ayrılan son rakam 0 ise parça dökümünü, 1 ise ingot dökümünü temsil eder.

2XX,X ve 9XX,X arasındaki diğer alaşım serilerinde ikinci ve üçüncü rakamlar keyfi verilen rakamlardır ve sıralama sayısı oluşturur. Ayrılan son rakam 0 ise parça dökümü, 1 ise ingot dökümüdür. Örneğin 413.2 alaşımı için ilk rakam olan 4 ait olduğu seriyi ve ana alaşım elementinin silisyum olduğunu. Son rakam olan 2 ingot döküm olduğunu belirler. İkinci ve üçüncü rakamlar ise özel bir anlam içermezler.

3
6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Bu bölümde 6XXX serisine ait alüminyum alaşımları ile alakalı bilgi verilecektir.

3.1 6XXX Serisine Genel Bir Bakış

6XXX serisi alaşımlar ısıl işlem uygulanabilen ve ekstrüzyon sektöründe kullanım olarak büyük bir yer tutan alaşımlardır [2]. Ana alaşım elementi magnezyum ve silisyumdur [13]. 6XXX serisi alaşımlar, alaşım bileşimlerine göre kendi aralarında üç gruba ayrılır. Bunlar;

Yüksek mukavemet beklenen alaşımlar

Yüksek ekstrüzyon kabiliyeti beklenen alaşımlar

Yüksek anodik oksidasyon kabiliyeti olan alaşımlar

Yüksek mukavemet beklenen alaşımlar genellikle konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılır [14]. Bu malzemelerin magnezyum ve silisyum oranı yüksektir. Magnezyum ve silisyum temelli olarak oluşan intermetalik miktarının fazla olması sebebiyle yüksek mukavemet gösterirler.

Yüksek ekstrüzyon kabiliyeti beklenen alaşımlar için magnezyum ve silisyum miktarlarının genellikle orta düzeyde olması istenir. Bu gruba genellikle dengelenmiş veya silisyum miktarı nispeten yüksek alaşımlar girer [2].

Yüksek anodik oksidasyon performansı beklenen alaşımlarda ise magnezyum içeriğinin yüksek silisyum değerinin ise orta düzeyde olması istenir. Fe, Zn gibi empürite olarak değerlendirebileceğimiz elementlerin ise minimum miktarda olması beklenir [4].

Temel alaşım elementi magnezyum ve silisyum olan her 6XXX alaşımında olduğu gibi 6063 alaşımı için de bazı alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Belirlenen sınırlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 TS EN 573-3;2019 standardına göre 6063 alaşım sınırları [15]

Alaşım Elementi	Alt ve Üst Sınır (%)
Magnezyum (Mg)	0,45-0,9
Silisyum (Si)	0,2-0,6
Demir (Fe)	<,035
Bakır (Cu)	<0,1
Mangan (Mn)	<0,1
Krom (Cr)	<0,1
Çinko (Zn)	<0,1
Titanyum (Ti)	<0,1

3.1.1 Direkt Soğutmalı Döküm Yöntemi (DC Casting)

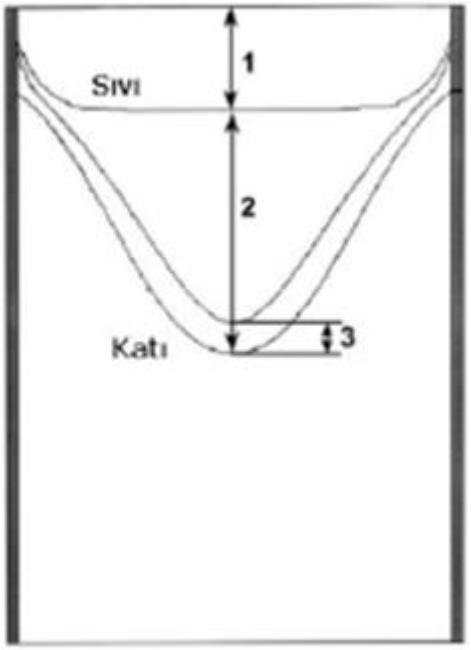
Direkt soğutmalı döküm yöntemi sıvı alüminyumun katılaştırılarak ekstrüze edilmeye hazır hale getirildiği döküm yöntemidir [16]. Sıvı metal yolluğa düştükten sonra filtreden geçirilerek döküm işleminin gerçekleştirileceği döküm tablasına gelir. Şekil 3.1'de örnek bir döküm tablası gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Direkt döküm tablası

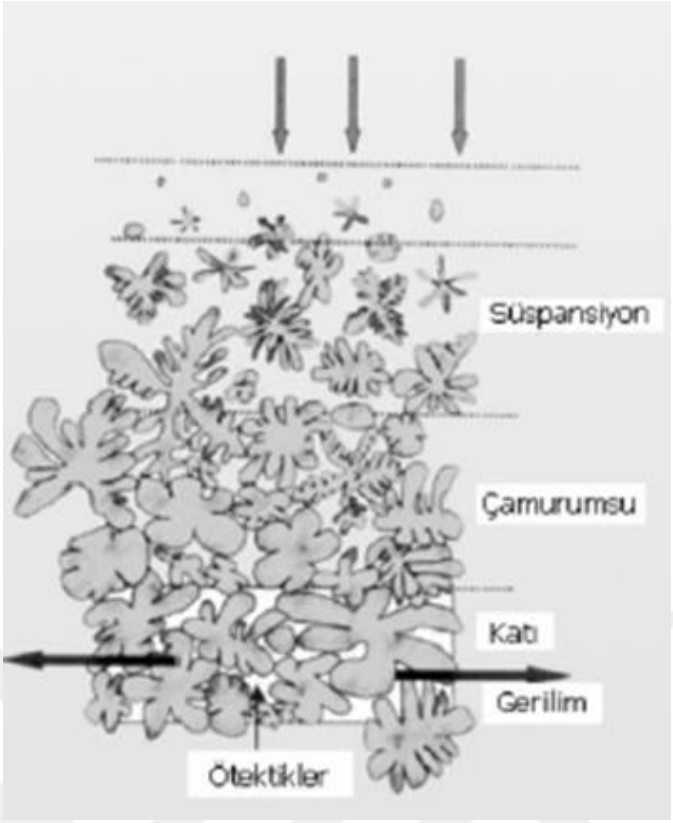
Daha sonra sıvı metal öncelikle su soğutmalı kalıp içerisinde grafit halka üzerinde ilk soğuma ve kabuk oluşumunu gerçekleştirir [6]. Başlangıçta ilk katılaşmanın gerçekleşebilmesi için sistem daha yavaş hareket ettirilir. Daha sonra hız yavaşça arttırılır ve aşağı doğru hareket eden sistem katılaşan billeti aşağı doğru çekmeye başlar. Su soğutmalı kalıp içerisinde başlayan katılaşma sonrası katı bir kabuk oluşturan alüminyumun soğuması su ile devam eder [17]. Dökümü gerçekleşen billet katılaşma sırasında üç farklı bölgeden oluşur. Bunlar; kabuk (katı), yarı katı bölge (mushy zone) ve katı bölgedir. Su ile soğutulma süreci devam eden billetin soğumanın tamamlanmadığı iç kısmındaki yarı katı bölge (mushy zone) kendi arasında süspansiyon ve çamurumsu bölge olarak ikiye ayrılır [18].

Şekil 3.2'de 1. bölge sıvı, 2. bölge süspansiyon bölgesi 3. bölge ise çamurumsu bölgedir. Çamurumsu bölgeden sonra katılaşma tamamlanır ve billet katılaşma sürecini tamamlamış olur.



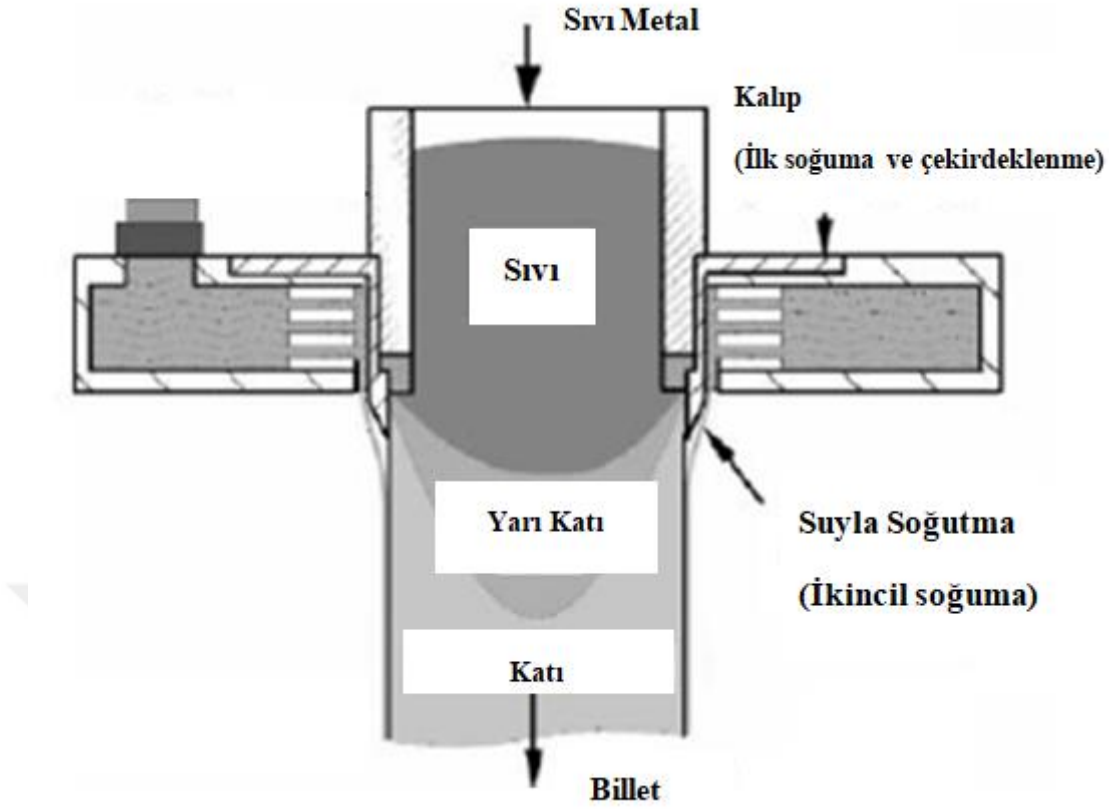
Şekil 3.2 Billetin oluşumu süresince görülen katılaşma bölgeleri

Şekil 3.3'te yarı katı bölgedeki çekirdeklenme çekirdeklerin büyüme süreci gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Çekirdeklenme ve oluşan çekirdeklerin büyüme süreci

Şekil 3.4'te direkt döküm yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.4 Direkt döküm yönteminin şematik gösterimi

Direkt soğutmalı döküm yönteminde katılaşma çok hızlı gerçekleşmektedir. Bu sebeple döküm sıcaklığı çok yüksek olmamalıdır. Katılaşma sırasında oluşan kabuk aslında meydana gelen ilk çekirdeklenmelerdir [18]. Eğer döküm sıcaklığı çok yüksek tutularak döküm işlemi gerçekleştirilirse iç bölgedeki sıvı uzun bir süre likidus eğrisi üzerinde kalarak oluşan kabuğu tekrar ergitme yoluna gidecektir ve oluşan çekirdekler kalıp duvarlarından uzaklaştıktan sonra soğuma bölgesi oluşturamayacaktır. Bu da billette gelişigüzel yönlenmiş taneler oluşumuna sebebiyet verecektir. Döküm sıcaklığı düşük tutulursa merkezdeki sıvı likidus sıcaklığı altına hızla soğuyacak ve eşeksenli küçük taneler oluşmasını sağlayacaktır. Çekirdeklenme merkeze doğru hızla ilerleyecek ve katılaşma aralıksız olarak devam edecektir [18].

Direkt soğutmalı döküm sisteminin kokil kalıba döküm yöntemine kıyasla bazı avantajları şunlardır:

Segregasyonun azaltılması

Çekinti boşluklarının ve porozitenin minimuma indirilmesi

İngot veya billetlerin yüzey kalitesinin yüksek olması

Sünekliğin arttırılarak ekstrüzyon performansının yükseltilmesi ve daha kaliteli son ürün eldesi

Bunun yanında belirli dezavantajlar da söz konusudur. Bunlar;

- Yüksek döküm hızları sebebiyle billet kalıbı terk ederken oluşan hızlı katılaşma sonucunda merkezi çatlak oluşumu
- Hızlı katılaşma dolayısıyla karşılaşılabilecek iç gerilmeler
- Düşük döküm hızlarında düşük yüzey kalitesi
- Yavaş soğuma sonucunda nispeten kaba taneli yapı oluşumu olarak sayılabilir.

3.1.2 Billet Kalitesi

Billet kalitesinin arttırılabilmesi için katılaşma mekanizmasının iyi anlaşılabilmesi gerekmektedir [6]. Sonraki adım olan ekstrüzyon prosesinde verimin arttırılabilmesi, yüzey kalitesinin iyileştirilebilmesi ve hurda miktarının düşürülebilmesi hammadde kalitesiyle doğru orantılı olarak değişmektedir.

Katılaşma mekanizması;

- Ergime noktasına yakın sıcaklıklarda döküm yapılması
- Billet ve kalıp arasındaki ısı transfer mekanizması
- Metal akışkanlığı
- Kalıp tasarımının uygunluğu
- İkincil soğutmanın verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ile bağlantılıdır.

Kalitenin artması döküm sıcaklığı ve döküm şartlarının optimize edilmesi ile sağlanabilir [14]. Döküm sıcaklıklarının düşürülmesi hızlı katılaşmaya olumlu etki sağlayacağı için tane yapısının küçülmesine ve ekstrüzyon performansının yükselmesine katı sağlayabilir. İç gerilim oluşturmayacak ya da en az dereceye

indirilecek sıcaklıklarda döküm yapılması billet kalitesini doğrudan etkilemektedir [6].

Sıcaklığın çok fazla düşürülmesi yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği ve son ürün yüzeyinden kaldırılması gereken katman kalınlığını arttıracağından ekstrüzyon verimini düşürebilir. Bu sebeple tane yapısı, iç gerilimler ve yüzey kalitesinin optimum şartlarda sağlanabileceği bir döküm prosesi tasarlanmalı ve uygulanmalıdır [16]. Kalitenin yüksek olabileceği maksimum döküm hızında çalışmak metal sektörünün ihtiyacı olan ekonomik ve kaliteli üretimi sağlamaya yardımı olacaktır.

3.2 6XXX Serisi Alaşımların Karakteristik Özellikleri

6XXX serisinin temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Al-Mg-Si alaşımı olarak da adlandırılır. Bu alaşım yapısında oluşan en temel intermetalik yapısı Mg_2Si bileşiğidir. Temel alaşım elementleri olan magnezyum ve silisyum haricinde yapıda bulunan mangan, doğal bir empürite olan demir ve geçiş elementi olarak bulunan krom genellikle yapıda düzenleyici bir rol oynar. Yapıda bulunan yüksek miktardaki çinko ve bakır korozyon direncini düşürür. Optimum seviyede eklenmeleri ise mukavemet üzerinde olumlu bir etki yaratabilir. Tane boyutu kontrolü için genellikle titanyum ve zirkonyum ilavesi gerçekleştirilir. Titanyum ilavesi bor elementi ile yapıldığında daha olumlu bir katkı verir ve tane inceltme etkisi yükseltilebilir. Talaşlı imalat kabiliyetinin artması için bizmut ve kurşun ilavesi gerçekleştirilebilir.

Magnezyum ve silisyum yapı içerisinde serbest olarak da bulunabilir. Temel alaşım elementi olan silisyum oluşturduğu Mg_2Si bileşiği yanında Al-Fe-Si fazı oluşumunda da yapı içerisinde yerini alır. Bunun yanında dökülebilirlik kabiliyetinin arttırılması ve deformasyon kabiliyetinin düşürülmeden mukavemetin arttırılabilmesi için serbest silisyum miktarının artması da istenebilir. Yüksek miktarda ve serbest olarak bulunan magnezyum korozyon direncini arttırır. Ancak serbest magnezyum miktarının çok yüksek olması ekstrüze edilebilme kabiliyetini ve mukavemeti olumsuz yönde etkileyeceği için genellikle tercih edilmez.

6XXX serisi alaşımlarda magnezyum ve silisyum dışındaki alaşım elementleri miktarı genellikle %1 civarında olup kafes parametreleri üzerinde çok önemli ve ölçülebilir bir etkiye sahip değildir. Bu sebeple ısıl genleşmesi, özgül ısısı, yüzey gerilimi gibi pek çok önemli özelliği saf alüminyumdan çok farklı değildir. Tablo 3.2'de 6XXX serisine ait bazı alaşımların fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2 6XXX serisine ait bazı alaşımların fiziksel özellikleri

Alaşım Tipi ve Temperleri	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Ergime Sıcaklık Aralığı (°C)**	**Isıl iletkenlik (0-100°C) (w/m°C)**	**Isıl iletkenlik (0-100°C) (%IACS)**	**Elektriksel Direnç (20°C) (μΩcm)**	**Elektriksel İletkenlik (20°C) (%IACS)**
6061 - TB	2,70	570-660	156	39,6	4,3	40,1
6061 - TF	2,70	570-660	156	39,6	4,0	43,1
6063 - TB	2,70	580-660	197	50,0	3,5	49,3
6063 - TF	2,70	580-660	201	51,1	3,3	52,2
6082 - TB	2,70	570-660	172	43,7	4,1	42,1
6082 - TF	2,70	570-660	184	43,7	3,7	46,6

Tablo 10'da görülen TB sembolü T4 temperini, TF sembolü ise T6 temperini temsil etmektedir. TB solüsyona alma (katı çözeltiye alma) ısıl işleminden sonra doğal yaşlandırma işlemine maruz bırakılmış, TF ise solüsyona alma ısıl işleminden

sonra yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş malzemeyi temsil etmektedir. 6XXX alaşımına ait bazı mekanik özellikler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 6XXX alaşımına ait bazı mekanik özellikler

Alaşım Tipi ve Temperleri	**Akma Dayanımı (MPa)**	**Çekme Dayınımı (MPa)**	**Uzama (%)**	**Aşınma Dayanımı (MPa)**	**Yorulma Dayanımı $50x10^5$ çevrim (MPa)**	**Sertlik (Brinell)**
6061 - TB	125	215	18	165	95	60-70
66061 - TF	265	305	11	205	95	90-100
6063 - TB	90	155	47	131	79	48
6063 - TF	180	210	8	155	85	75
6082 - TB	130	225	16	178	106	60-70
6082 - TF	270	310	9	218	124	90-100

Malzemenin kullanım sıcaklığına göre mekanik özellikleri değişmektedir. Tablo 3.4'te 6XXX serisine ait T6 temper işlemi uygulanmış 6063 ve 6082 alaşımlarının bazı mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4 T6 temper işlemi uygulanmış 6063 ve 6082 alaşımlarının bazı mekanik özellikleri

		Sıcaklık (°C)								
Alaşım ve Temper	**Mekanik Özellik**	-196	-80	-30	25	100	150	200	250	300
6063 - TF	Çekme Dayanımı (MPa)	325	263	249	242	215	145	63	30	-
	Akma Dayanımı (MPa)	248	228	220	214	193	137	45	-	-
	Uzama (%)	25	20	20	19	15	20	40	75	-
6082 - TF	Çekme Dayanımı (MPa)	525	420	-	375	334	180	105	32	-
	Akma Dayanımı (MPa)	430	360	-	305	316	155	76	21	-
	Uzama (%)	17	13	-	14	-	-	-	40	-

3.3 Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyumun alaşımlandırılmadan kullanıldığı sektörler oldukça sınırlıdır. Bunun sebeplerinin en başında düşük mukavemet gelmektedir. Alaşımlamanın diğer sebepleri akışkanlığı yükseltmek, korozyon direncini arttırmak, dökülebilirliği arttırmak ve sıcak yırtılma ihtimalini düşürmek olarak sayılabilir.

Alüminyum pek çok metal ile sıvı haldeyken kolayca karışabilmektedir. Alüminyumun yüksek sıcaklıklarda gösterdiği çözücü kabiliyeti yüksek ancak oda

sıcaklığına gelindiğinde ise daha düşüktür. Bu sebeple bakır, magnezyum. Mangan, silisyum ve çinko gibi elementlerle oluşturduğu ikili faz diyagramları arasında büyük benzerlikler vardır. Bu sebeple alaşım elementlerinin toplam oranı genellikle %15'i geçmez. Çözünürlüğün yüksek ve oda sıcaklığı arasındaki bu denli yüksek farkı çökelme sertleşmesine yol açar ve yaşlanma mekanizması temelinde yatan en büyük sebep budur.

3.3.1 Demir Etkisi

Demir alüminyum içinde bulunan doğal bir empüritedir. Az oranda bulunması mukavemete yükseltici yönde etki gösterebilir. Döküm parçalarında oluşabilecek sıcak çatlak eğilimini azaltıcı etki gösterir. Yüksek silisyum içeren alaşımlarda ise tane kabalaştırıcı etki gösterebilir. Bu sebeple demir oranının minimum değerde olmasına çalışılır.

3.3.2 Magnezyum Etkisi

Alüminyum için magnezyum en önemli alaşım elementlerinin başında gelmektedir. Alüminyum silisyum alaşımlarında demirin yarattığı olumsuz etki olan tane kabalaşmasını giderir [19]. Yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci ve aşınma direnci sağlar. Yüksek magnezyumlu alaşımlardan üretilen profillerin kaynak kabiliyeti daha yüksektir. Dövme alaşımlarda %1-6 arasında değişen magnezyum oranı şekil alabilme kabiliyetine olumlu yönde etki eder [20].

3.3.3 Silisyum Etkisi

Alaşım elementi olarak alüminyuma eklenen silisyumun akışkanlığın arttırması, dökülebilirliği kolaylaştırması, korozyon direncinin artması ve tane küçültme etkisi vardır. Kaynak kabiliyetinin artmasında etkilidir. Optimum miktarda eklenmesi işlenebilme kabiliyetini arttırır [21]. Ancak %13'ten fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarının işlenmesi çok zordur.

3.3.4 Mangan Etkisi

Mangan demirin dökülebilirliğe karşı oluşturduğu olumsuz etkiyi gidermek için demirle birlikte kullanılabilir [14]. Yeniden kristalleştirme sıcaklığını yükseltir. Mangan elementinin sınırsız olarak arttırılması demir ile bağ yaparak yüksek miktarda FeMnSi intermetaliklerinin oluşmasına sebep olabilir [14]. Bu durum

kırılganlığı arttırabilir ve sünekliği azaltabilir. Optimum düzeyde eklenmesi mekanik mukavemeti ve korozyon direncini arttırır.

3.3.5 Bakır Etkisi

Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü sıcaklık artışıyla birlikte artış gösterir. bu nedenle çökelme sertleşmesi uygulanmak istenilen alüminyum alaşımlarında kullanımı yaygındır [22]. Çökelme için gerekli olan zaman alaşım içindeki bakır oranı ve sıcaklık ile doğrudan bağlantılıdır. Çökeltinin yaratacağı olumlu etki çökelen faz miktarına, çökelti boyutuna ve dağılımına bağlıdır.

Alüminyum alaşımına sertlik kazandıran başlıca elementlerden bir bakırdır. Çekme mukavemetinin yükseltilmesi, dökülebilirliğin arttırılması ve işlenebilme kabiliyetinin arttırılması gibi olumlu etkileri vardır. Alüminyum içerisinde %5'ten fazla bakır bulunması durumunda işlenebilme kabiliyeti düşmektedir [18]. Elektrik iletkenliğine ve korozyon direncine karşı ise olumsuz bir etki göstermektedir.

3.3.6 Çinko Etkisi

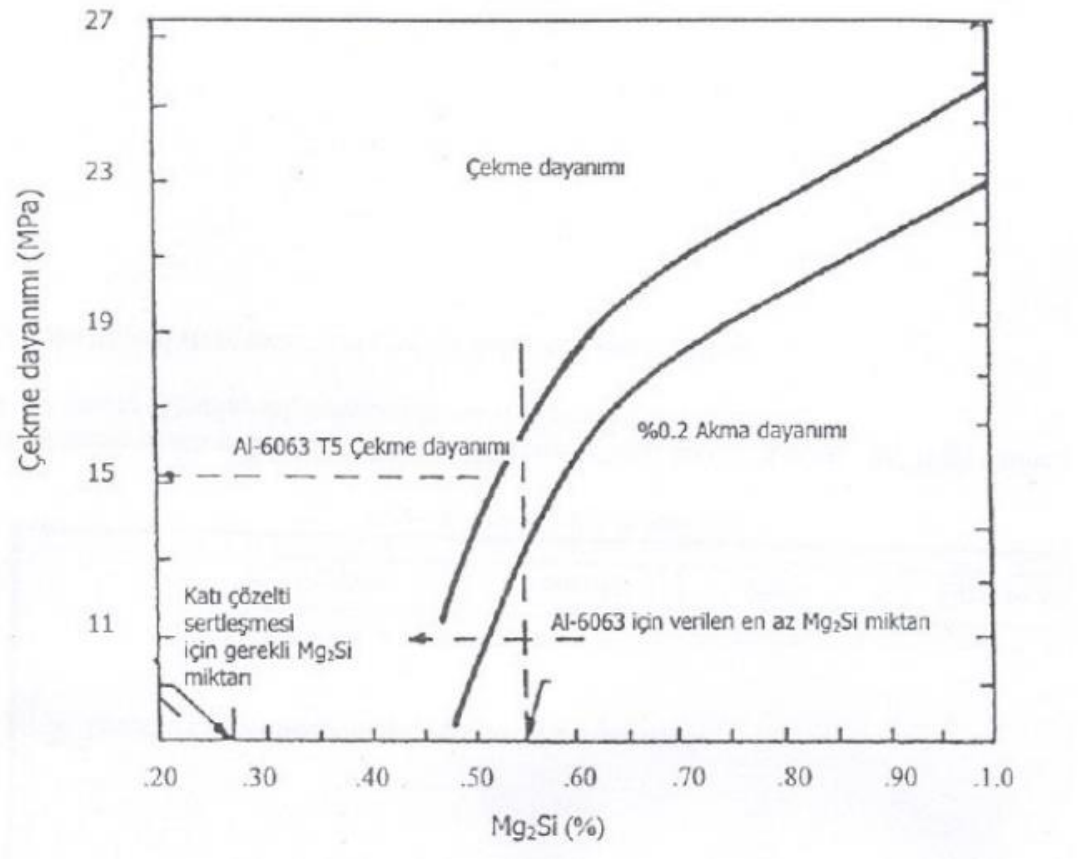
Alaşım elementi olarak eklenen çinko darbe mukavemetini yükseltici ve haddelenme kabiliyetini arttırıcı etki göstermektedir [1]. Yüksek çinko içeren alaşımlarda soğuma sırasında oluşan çekilme ve sıcak çatlat riski artmaktadır. Anodik oksidasyon uygulanacak alaşımlarda minimum seviyede olması istenir [23].

3.3.7 Geçiş Metallerinin Etkisi

Zirkonyum, krom, kurşun, bizmut ve titanyum geçiş elementi olarak sayılabilmektedir. Katı ergiyik içindeki geçiş metalleri mukavemete olumlu etki yapan çinko ve magnezyum etkisini düşürücü rol oynar. Yüksek geçiş elementi ilavesi ana alaşım elementi çözünürlüğünü düşürmektedir. Kromun soğuma hassasiyeti üzerindeki etkisi oldukça yüksektir. Titayumun alüminyum alaşımları üzerinde tane küçültücü etkisi vardır [24]. Bor ile birlikte kullanıldığında oluşturduğu bu etki artmaktadır [7]. Fazla miktarda geçiş elementi ilavesi ısıl iletkenliği düşürücü etki gösterir. Kurşun ve bizmut ilavesi talaşlı işlenebilirliği arttırmaktadır [7].

3.4 Kimyasal Bileşimin Alaşım Üzerindeki Etkisi

Ekstrüzyon sektöründe 6063 alaşımının büyük bir pazar payı vardır. Bunun sebepleri arasında korozyon dayanımının yüksek olması, anodik oksidasyon kabiliyetinin iyi olması ve yüksek mekanik özellikler sayılabilir. Mekanik özellikler oluşan intermetalik büyüklüğü, miktarı ve dağılımı ile doğrudan bağlantılıdır. Mekanik özelikler oluşan Mg_2Si miktarı ile yükselmektedir. Ancak buna karşı ekstrüze edilebilme zorlaşmaktadır [25]. Şekilde 6063 alaşımının oluşan Mg_2Si miktarına bağlı olarak çekme dayanımındaki değişimi görülmektedir.



Şekil 3.5 6063'ün çekme dayanımının Mg_2Si miktarı ile değişimi [26]

Şekil 3.5 incelendiğinde görülecektir ki; %65'in altındaki Mg_2Si miktarı malzeme dayanımını olumsuz etkilemektedir.

Yüksek dayanım elde edilmesi için eklenen silisyum miktarının çok yüksek olması yüzeyde "siyah nokta" olarak tabir edilen hatanın oluşmasına neden olabilir [27]. Yüzey kalitesinin önemli olduğu malzemelerin üretiminde öz önünde bulundurulması gereken önemli konulardan biri budur. Silisyum miktarının fazla

olması, yaşlandırma sürecinde oluşan çekirdeklenme hızı arttırarak çökelti morfolojisinin düzenlenmesinde ve dayanımın arttırılmasında olumlu etki yaratır [8]. Katı çözeltide sertleşmenin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan minimum Mg_2Si miktarı %0,3'tür.

Malzemede kaçınılmaz empürite olarak bulunan demir silisyumla birleşme eğilimi göstermektedir. Bu durum serbest silisyum miktarını etkilemektedir. Bu sebeple hem magnezyumla hem de demirle birleşmeye yetecek kadar silisyum eklendiğinden emin olunmalıdır. Gerekli miktarda ekleme yapılamaması durumunda dayanım beklenen değerlerin altında kalacaktır.

Alüminyum ve silisyumla birleşerek intermetalik oluşturma eğilimi gösteren demir en önemli safsızlıklardan biridir. Oluşan intermetalikler yeniden kristalleşme, şekil alma kabiliyeti ve elektriksek direnç gibi önemli özellikler üzerinde hayati etkilere sahiptir. Oluşan Al-Fe ve Al-Fe-Si intermetalikleri alaşımların soğuma hızına bağlı olarak kararsız fazlar da oluşturabilir. Bu durum bileşik morfolojilerini, kristal yapıları ve son ürününü mekanik özelliklerini etkiler [28].

4
ALÜMİNYUM RAFİNASYONU

Bu bölümde alüminyum rafinasyonu ile alakalı literatür bilgisi verilecektir.

4.1 Sıvı Banyoda Kirlilik

Ergimiş malzeme içerisinde bulunan inklüzyonların giderilmesi işlemi mekanik ve fiziksel özellikleri olumlu yönde etkileyeceğinden yapılması istenilen ve üzerine çeşitli uygulamaların geliştirildiği bir konu olmuştur [9]. Ergimiş metal içerisinde bulunan hidrojenin sıcaklık düştükçe azalan çözünürlüğü sebebiyle birleşerek boşluk oluşturma eğilimi göstermesi, yüzeyde bulunan ve ergimiş metal ile teması olan oksit filmin şarj sırasında malzeme içerisine beslenerek içerde hapsolması başlıca kirlilik oluşturma sebepleri arasında sayılabilir. Bu sebeple metal içerisindeki inklüzyonlar gaz giderme, çeşitli tipler ve uygulama yöntemleri ile flaks kullanımı veya filtrasyon yöntemleri ile giderilmeye çalışılır [29].

4.1.1 Hidrojen

Ergimiş alüminyum ve alaşımlarının gaz çözebilme kabiliyeti katı haldeki kabiliyetine göre daha fazladır. Oksijen ve azot gibi gazlar sıvı metal yüzeyinde bileşik oluşturma yönelimindedir [30]. Bu sebeple ergimiş metalden ayrılmaları nispeten daha kolaydır. Ancak hidrojen sıvı metal içerisine absorblanma eğilimi gösteren, düşük atom hacmi sebebiyle sıvı metale daha hızlı difüze olabilen ve rafinasyonu daha zor gerçekleşen bir gaz olarak ön plana çıkmaktadır [31].

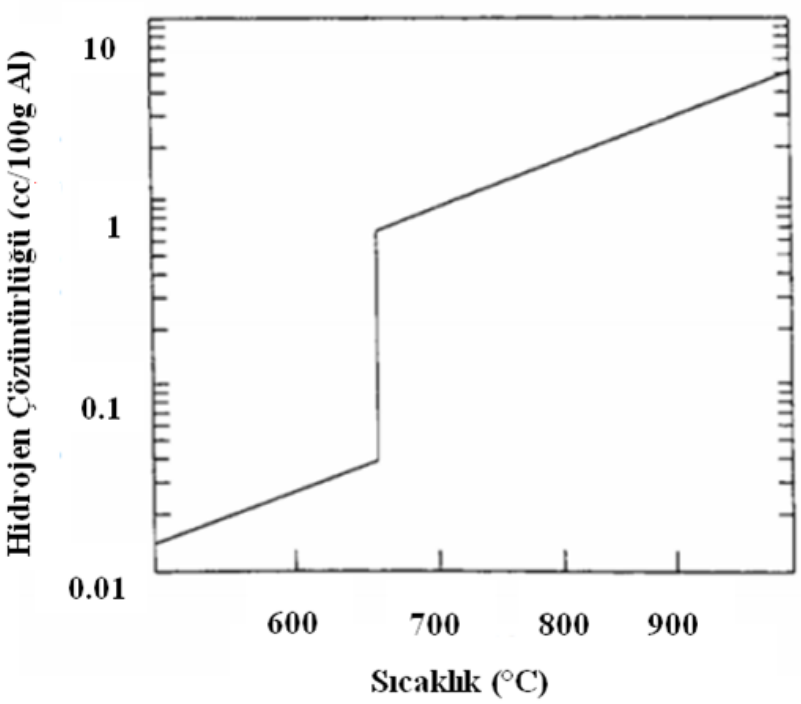
Hidrojen ve oksijenin temel kaynağı su buharıdır [32]. Bahsedilen su buharı atmosferik ortamda, döküm için kullanılacak araç-gereçlerde, kullanılan eritkenlerde ve şarj malzemelerinde bulunabilir [33]. Dolayısıyla sıvı banyoya nüfuzu için pek çok farklı ihtimal mevcuttur. Hidrojenin eriyik içerisindeki reaksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2 \quad (4.1)$$

$$½\ H_2(gaz) \rightarrow H(aq) \quad (4.2)$$

Hidrojenin çözünürlüğü alüminyum sıcaklığı ile orantılı olarak yükselmektedir. Bu sebeple malzemenin katılaşması, hidrojen çözünürlüğünü azaltmakta ve katılaşan

malzeme içerisinde boşluk oluşumuna sebebiyet vermektedir [34]. Şekil 4.1'de alüminyum içerisindeki hidrojen çözünürlüğünün sıcaklıkla bağlantılı değişimi görülmektedir.



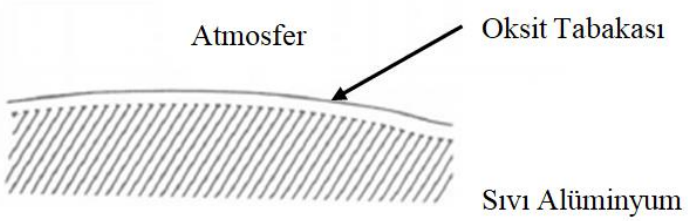
Şekil 4.1 Sıvı alüminyumun hidrojen çözünürlüğünün sıcaklıkla bağlantılı olarak değişimi [35]

Sıvı alüminyumun hidrojen çözünürlüğünün yüksek olması sebebiyle hidrojeni bünyesinde tutabilme kabiliyeti vardır. Ancak sıcaklık düşüşüyle birlikte bu kabiliyet azalmakta ve sıvı alüminyum bünyesinde bulunan çözünmüş hidrojen sıcaklık düşüşüyle beraber gaz kabarcıkları şeklini almaktadır. Hidrojen kabarcıklarının oluşum miktarı basınçla da bağlantılıdır. Üzerinde basınç olmadan yapılan kalıcı dökümlerde oluşan kabarcık oranı daha yüksektir. Oluşan kabarcıklar yapıda mikro gözenek şeklinde bulunur ve mukavemet düşüşüne sebep olur. Aynı zamanda gözeneklerin yoğun olduğu bölgede mikro çatlak, çatlak ve kırık oluşumunu tetikler [36].

4.1.2 Oksit

Metal ve alaşımları oda sıcaklığında tamamen kararlı bir yapıda değillerdir. Bu sebeple bulundukları ortam ile reaksiyona girerek oksit oluşturma eğilimi gösterirler. Sıcaklığın artması bu oluşum oranını arttırır ve gerçekleşen oksidasyon

oranı atar. Alüminyum ergiyik halde iken yüzeyinde katı bir oksit filmi oluşturur [37]. Ergitme döküm operasyonları bu katmandan olumsuz yönde etkilenir. Yüzeyde oluşan bu oksit tabakasının metali daha ileri oksit tabakalarından koruma ve hidrojen geçirgenliğini etkileme gibi olumlu etkileri de vardır [38]. Şekil 4.2'de sıvı alüminyum üzerinde oluşan oksit tabakası temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Sıvı alüminyum üzerinde oluşan oksit tabakası temsili gösterimi

Oluşan oksit filmler kararlılık yönünden birbirinden farklı özellikler gösterir. Kararlılık gösteren oksit filmleri sürekli oksit filmi, kararsız yapıda olup varlığını sürdüremeyen oksit filmleri ise süreksiz oksit filmi olarak adlandırılır. Filmin sürekli veya süreksiz oluşu oluşan oksidin moleküler hacminin metalin atom hacmine oranı ile belirlenir. Bu orana Pilling-Bedworth oranı (P - B) ismi verilmiştir. P - B oranı 1'den büyük ise oluşan film yoğun ve süreklidir [29]. P - B oranı 1'den küçük ise oluşan film süreksiz filmdir. Gözeneklidir ve koruyucu değildir.

$$\text{(P—B) oranı} = \frac{w_0 d_M}{w_M d_0} > 1 \quad \text{Sürekli film} \tag{4.3}$$

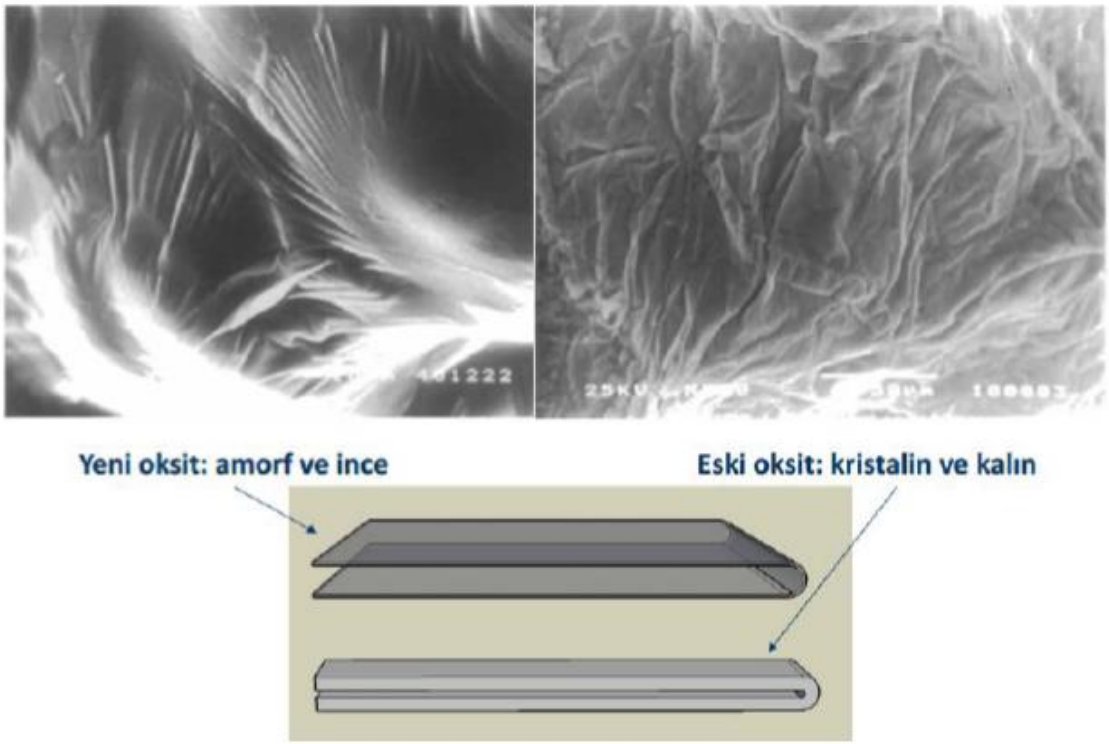
$$\text{(P—B) oranı} = \frac{w_0 d_M}{w_M d_0} < 1 \quad \text{Süreksiz film} \tag{4.4}$$

$W_{O/M}$: oksidin/metalin moleküler ağırlığı, $d_{O/M}$: oksidin/metalin yoğunluğunu verir.

Metal ve oluşan oksit filmin ikisi de sıvı ise oluşan değişimlere karşı uyum sağlamakta sıkıntı yaşanmaz [23]. Ancak oluşan oksit filmlerin birçoğu katıdır. Bu sebeple oksit film üzerinde yeni bir oksit film oluşabilmesi için hacim ve/veya uzunluk değişimleri olması gereklidir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için faz kırılmaları olmalıdır. Ergiyik üzerinde oluşan oksit büyümelerinin buna benzer olduğu düşünülmektedir.

Sürekli oksit filmlerinde oksijen atomlarının difüzyonu oksit film ile sınırlandırılmıştır ve difüzyon hızı zamanla düşer [34]. Bu metalin oksidasyondan korunmasını sağlar. Süreksiz filmlerde ise Film aralarında oluşan kırıklardan içeri doğru girmeye devam edecektir ve oksijen difüzyonu yavaşlamayacaktır. Bu sebeple süreksiz filmlerde oksidasyon hızı yavaşlamadan devam eder.

Amorf alümina oluşumu alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisi sayesinde milisaniyeler içerisinde gerçekleşir. Alüminyum iyonlarının dışa doğru difüze olmasıyla birlikte oksidasyon gerçekleşmeye başlar ve sıvı alüminyum üzerinde koruyucu bir tabaka oluşur [39]. Bu yapı yüksek bir geçirimsizlik sağlar ve çok kısa sürede büyüme eğilimi gösterir. Aşırı inceliği ile karakterize edilen bu amorf yapı "genç oksitler" olarak adlandırılır. Süre uzadıkça, bu ince ve amorf olan oksit tabakası süreksiz bir değişime uğrar. 750 °C'de ve 5-10 dakikalık sürede oksijen, oksit metal ara yüzeyine doğru hızlı bir şekilde taşınır. Bu hareket Al_2O_3 kristal yapısının çekirdeklenmesini sağlar ve eriyikteki inklüzyon içeriği azalır. bu sürece kuluçka süresi denir ve bu sürede oksit tabakası kalınlaşır. Kalınlaşan oksit tabakasına ise "yaşlı oksitler" denir. Şekil 4.3'te genç ve yaşlı oksitlerin yapısı gösterilmiştir.

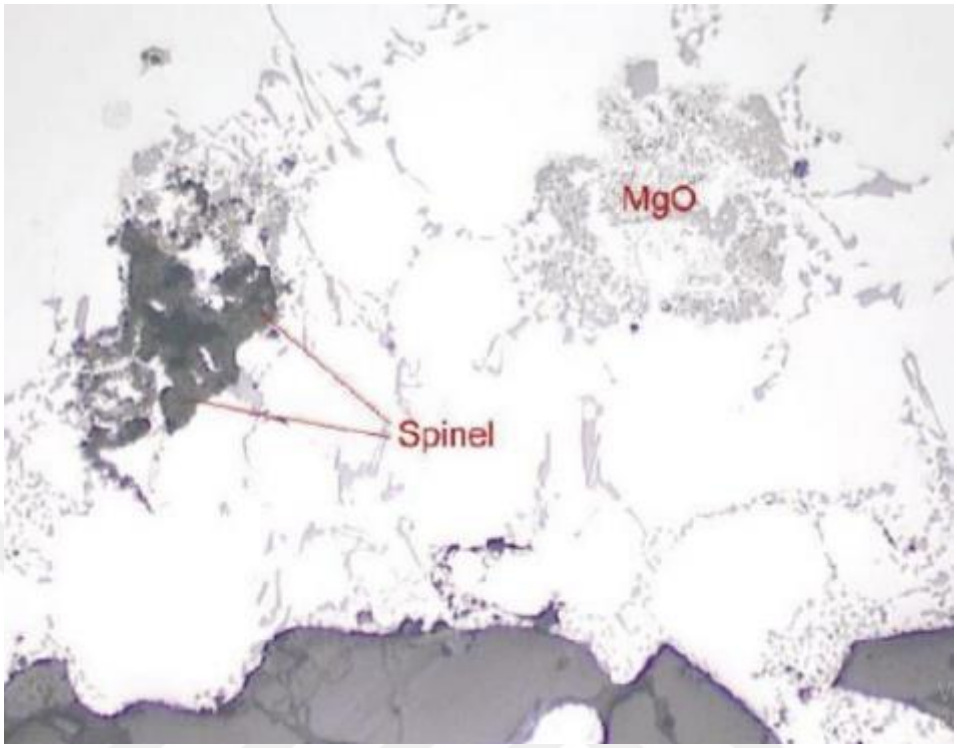


Şekil 4.3 Genç ve yaşlı oksit yapıları

Sıvı alüminyum üzerinde oluşan oksit filmlerinin sürekli olarak yüksek sıcaklığa maruz kalması gama-alüminanın alfa-alüminaya dönüşmesine sebep olur. Bu dönüşüm sırasında, su buharı ile ergiyik alüminyum reaksiyonu gerçekleşirken hidroksil giderme işlemi yerine hidrojenin ergiyiğe hapsolması durumu meydana gelir. Kristalleşme sonrasında ise kristalin oksit tabakasının içine doğru difüzyonu gerçekleşir ve oksit tabakası büyüme gösterir. Buhar basıncı ortadan kalktığı zaman dönüşüm daha kolay bir şekilde ilerler ve gama-alüminanın alfa-alüminaya dönüşümü daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Bu dönüşüm sırasında oksit hacimce %24 küçülerek oluşan tabakada kırılmalara yol açar ve kopmalı oksitlenme durumu meydana gelir.

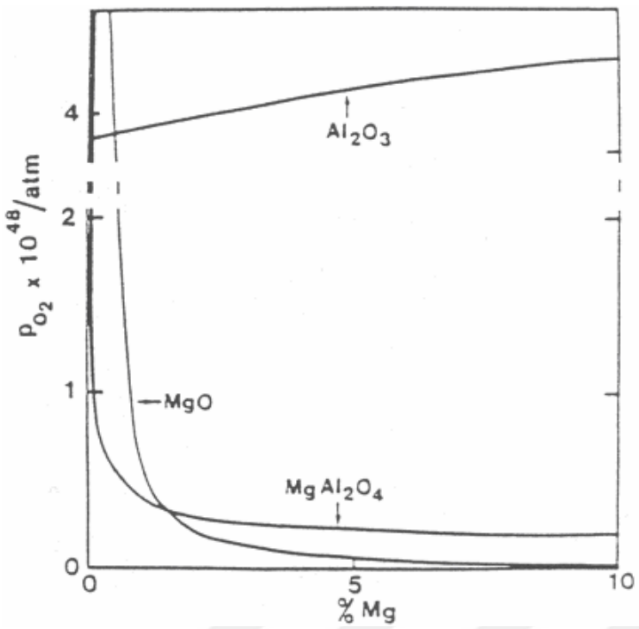
Oluşan oksitlerin içeriği alaşımlı bir alüminyum için ergiyik kompozisyonu ile bağlantılıdır. Fe, Cu, Zn, Mn gibi elementlerin oksitlenme sürecinde çok büyük bir etkisi yoktur. Oksit yapısına doğrudan etki eden alaşım elementlerinden biri magnezyumdur. Alaşımda %0,005'ten daha yüksek olan bir magnezyum varlığı, yüzey oksit adı spinel olarak da bilinen $MgO.Al_2O_3$ yapısındaki oksittir. Alaşım kompozisyonundaki magnezyum miktarı %2'nin üzerine çıktığında ise oksit

yapısının MgO olması beklenir. Şekil 4.4'te spinel faz yapılı ve MgO faz yapılı oksit filmlerinin görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.4 Spinel faz yapılı ve MgO faz yapılı oksit filmlerinin görünüşü

Şekil 4.5'teki faz diyagramında basınç ve magnezyum içeriğine bağlı olarak değişen oksit tabakasının yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Basınç ve magnezyum içeriğine bağlı olarak değişen oksit tabakasının yapısı

Yüzeyde oluşan oksit tabakasının oksitlenme miktarının artmasını engellemek ve ısı kaybını azaltmak gibi olumlu etkilerinin yanında, sıvı metal transferi sırasında oluşabilecek türbülans sonucu sıvı metal içerisine karışması dolayısıyla mekanik özellikleri olumsuz etkileme ve çatlak oluşumuna sebep olma gibi dezavantajları da vardır.

4.1.3 Çekinti Boşlukları

Metallerde çekinti boşluğu katı faz ve sıvı faz arasındaki yoğunluk farkından kaynaklanır. Malzeme sıvı fazdan katı faza geçerken hacimce bir daralma gerçekleşir ve bu katılaşan malzemenin bazı bölgelerde şekil bozukluklarına sebebiyet verebilir [17].

4.2 Sıvı Banyoda Kirlilik Giderme Metotları

Sıvı banyoda karşılaşılan kirliliklerin giderilmesi için kullanılan metotlardan bazıları aşağıda incelenmiş ve açıklanmıştır.

4.2.1 Gaz Giderme

Alüminyum döküm işlemine hazırlık sırasında gerçekleştirilen faaliyetler, yanma ortamındaki nem ve döküm için kullanılan araç gereçler sıvı alüminyum için

başlıca hidrojen sağlayıcılarıdır [5]. Yüksek kalitede bir döküm gerçekleştirebilmek için sıvı alüminyum içerisinde çözünen hidrojenin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem döküm başlamadan önce ergitme fırınında yapılabileceği gibi sıvı metal transferi süresinde sürekli olarak da gerçekleştirilebilir. Yapılacak hidrojen giderme işlemi için inert gaz olarak helyum, argon, azot ve bu gazların klor gazı ile karışımları kullanılabilir [40].

Başarılı bir gaz giderme işlemi için iki kilit nokta mevcuttur. Bunlar sıvı metal ile gazın temas süresi ve yüzey alanıdır. Burada esas nokta maksimum gaz miktarını mümkün olduğunca küçük kabarcıklar yardımı ile sıvı metal içerisinden geçirebilmektir [22]. Bu sebeple seramik dağıtıcıların kullanımı lans kullanımına göre daha faydalıdır. Aynı zamanda karıştırma işlemi de gerçekleştiren bu dağıtıcılar içeriğin homojen olmasında da etkilidirler.

Dağıtıcı veya lans kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri de sıvı metalin en dip noktasından itibaren gaz giderme işleminin başlatılmasıdır. Böylece sıvı metalin her noktasına temas edildiğinden emin olunmalıdır [3].

4.2.2 Flakslama

Döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce sıvı alüminyumun cüruf, oksit ve çeşitli inklüzyonlardan arındırılması gerekmektedir. Sıvı metalin mümkün olduğunca temiz hale getirilmesinde yaşanabilecek en büyük zorluk yüksek hurda kullanımı sebebiyle oluşacak yoğun ve kalın olan oksit/cüruf tabakasıdır. Bu sırada oluşan oksit tabakasının ve çeşitli inklüzyonların uzaklaştırılabilmesi için kullanılan genellikle sodyum klorür, potasyum klorür ve florid tuzlarından oluşan karışıma flaks adı verilir. Kullanılan flaksların sıvı alüminyumun temizlenmesi, refrakter duvarında zamanla kalınlaşan oksit tabakasının temizlenmesi, oksit oluşumunun azaltılması ve oluşan oksitten sıvı alüminyumun ayrılması, sıvı metal içerisindeki inklüzyonların aglomere edilerek yüzeye çıkarılması ve sıvı alüminyumdan uzaklaştırılması gibi pek çok farklı amaçlar ile kullanımı mevcuttur. Bu amaçlara göre kullanılan flaks içeriği ve flaksın sıvı alüminyuma uygulanma yöntemi değişkenlik göstermektedir.

Flakslar pasif ve aktif flakslar olmak üzere iki gruba ayrılır. Pasif flakslar banyo yüzeyini kaplayarak sistemin oksijen ve hidrojen ile temasını kesme amacı ile kullanılırlar. Aktif flakslar ise metal kazanımı için kullanılan flakslardır. Oluşan Al_2O_3 ile reaksiyona girerek kaybedilen alüminyumun geri kazanılması amaçlanmaktadır. Magnezyum içeriği yüksek olan alaşımlarda atmosfer ile flaks ara yüzeyinde oluşan, viskozite ve yoğunluğu arttırarak flaksın ıslanma kabiliyetini azaltan ve oksidasyonu arttırarak metal kaybını arttıran $MgAl_2O_4$ spinel fazı oluşur. Bu durum daha yüksek miktarda florid tuzu içeren bir flaks kullanımı ile çözülebilir.

4.2.2.1 Alüminyum ve Tuz

Alüminyum rafinasyonu için kullanılan çok farklı eritken kombinasyonu vardır [7]. Bu eritkenlerin büyük çoğunluğu sodyum klorür ve potasyum klorür esaslıdır. Bu karışımlara genellikle florid kökenli olmakla beraber CaF_2, NaF, KF, AlF_3, K_3AlF_6, AlCl, $NaAlCl_4$, $KAlCl_4$, Na_2SiF_6 gibi pek çok farklı bileşik eklenebilir [37]. Çok uzun süredir yapılan pek çok ergitme ve döküm deneylerine rağmen flakslama prosesinin mekanizmaları etkinlikleri ve detayları henüz netlik kazanmamıştır [41].

Kullanılan flaks bileşiklerinden yaygın olanları aşağıdaki Tablo 4.1'de verilmiştir.

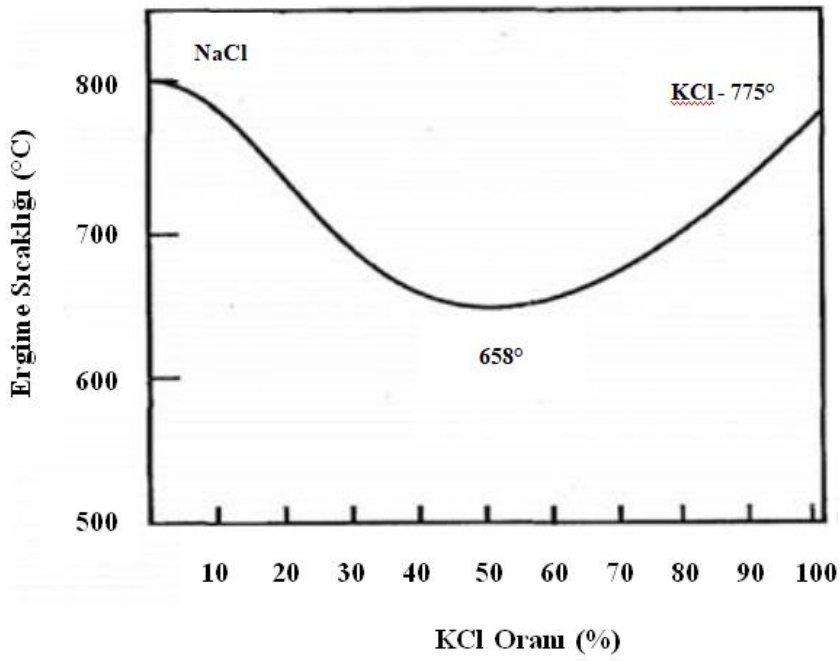
Tablo 4.1 Yaygın olarak kullanılan flaks bileşikleri

BİLEŞİK	KİMYASAL FORMÜL	YOĞUNLUK (gr/cm^3)		ERGİME NOKTASI (°C)
		KATI	SIVI	
Alüminyum Klorür	$AlCl_3$	2,440	1,31	190
Alüminyum Florür	AlF_3	3,070	-	1040
Boraks	$Na_2B_4O_7$	2,367	-	741
Kalsiyum Klorür	$CaCl_2$	2,412	2,06	772

Tablo 4.1 Yaygın olarak kullanılan flaks bileşikleri (devamı)

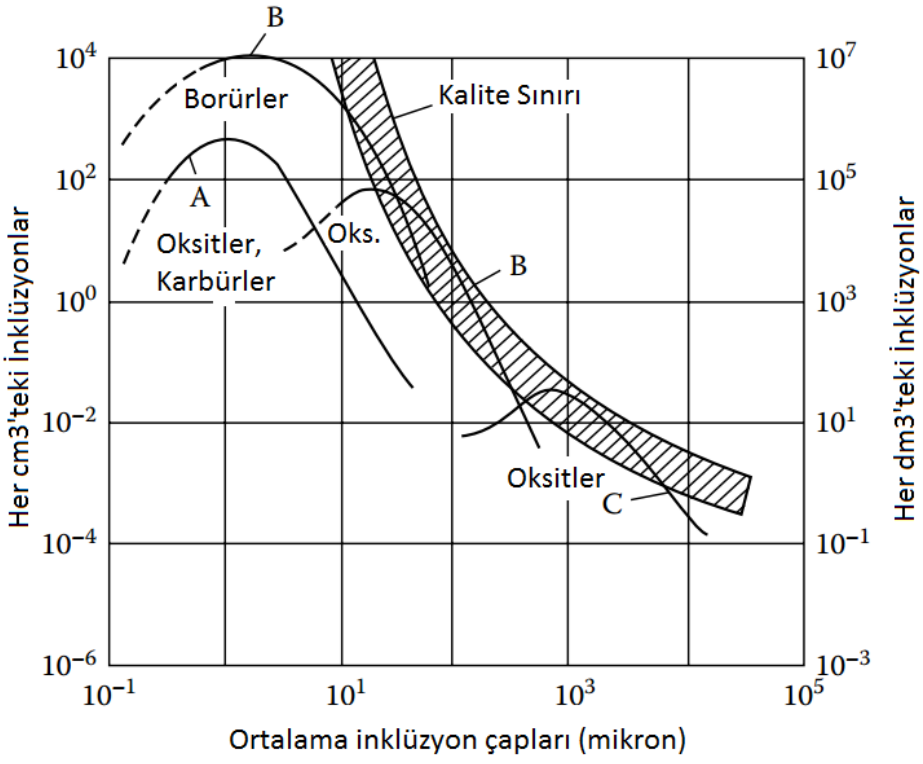
Kalsiyum Florür	CaF_2	3,180	-	1360
Karnalit	$MgCl_2KCl$	1,600	-	487
Çinko Klorür	$ZnCl_2$	2,910	-	262
Çinko Florür	ZnF_2	4,840	-	872
Kriyolit	Na_3AlF_6	2,970	-	1000
Lityum Klorür	LiCl	2,086	1,50	613
Lityum Florür	LiF	2,295	1,80	870
Magnezyum Klorür	$MgCl_2$	2,325	-	712
Magnezyum Florür	MgF_2	3,000	-	1396
Potasyum Klorür	KCl	1,984	1,53	776
Potasyum Florür	KF	2,480	8,80	880
Potasyum Borat	$K_2B_2O_4$	-	-	880
Potasyum Sülfat	K_2SO_4	2,662	-	1076
Potasyum Karbonat	K_2CO_3	2,290	-	891
Kalsiyum Klorür	$CaCl_2$	2,165	1,55	801
Kalsiyum Florür	CaF_2	2,790	1,91	980

Flaks bileşimleri için istenen ergime sıcaklığı, kullanılacağı alaşımın ergime sıcaklığından düşük olmalıdır. % NaCl ve % KCl nispeten düşük ergime sıcaklığı sergilemelerinden dolayı temel flaks bileşeni olarak kabul edilirler. Şekil 4.6'da % NaCl-% KCl bileşiği erime sıcaklığı gösterilmiştir.



Şekil 4.6 % NaCl-% KCl bileşiği erime sıcaklığı [39]

Şekil 4.7'de alüminyum içerisinde karşılaşılan inklüzyonlar ve parçacık boyutları gösterilmiştir. Taralı alan bulunan inklüzyonların derişimi için kalite sınırıdır. Bu sınırlar dövme alaşımlar için daha düşüktür. Bu sebeple dövme alaşımların inklüzyon oranını düşürmek çok daha büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4.7 Alüminyum içerisinde karşılaşılan inklüzyonlar ve parçacık boyutları

X ekseni ortalama inklüzyon çaplarını, Y ekseni metreküp başına düşen inklüzyon derişimini ifade eder. B eğrisi ergitme ve ergitmede yapılan işlemler sırasında meydana gelen iç kaynaklı inklüzyonları, C eğrisi ise döküm sırasında oluşan inklüzyonları yani oksit ve cürufu temsil etmektedir. Şekil incelendiğinde oksit temel inklüzyonların karbür veya borür temel inklüzyonlardan daha büyük çapta olma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu sebeple döküm kalitesini olumsuz yönde etkilerler. Kaliteli bir dökümün gerçekleşebilmesi için mutlaka giderilmeleri gerekmektedir.Tablo 4.2'de 740 °C'de sodyum klorür ve potasyum klorür bazlı flaks karışımına yapılan ilave bileşimlerin damlacık birleştirme yeteneğine etkisi gösterilmiştir.

Tablo 4.2 740 °C'de sodyum klorür ve potasyum klorür bazlı flaks karışımına yapılan ilave bileşimlerin damlacık birleştirme yeteneğine etkisi

İlave Bileşik (%5)	**Birleşme**	**Flaks Rengi**	**Gaz Çıkışı**	**Süre (sn.)**	**Yorum**
Hiçbiri	Yok	Berrak	Yok	>900	Reaksiyon gerçekleşmedi
$AlCl_3$	Yok	Berrak	Az	>900	İkinci ilave ve karıştırmadan sonra reaksiyon gerçekleşmedi.
$MgCl_2$	Yok	Hafif Bulutlu	Az	>900	İkinci ilave ve karıştırmadan sonra reaksiyon gerçekleşmedi.
$CaCl_2$	Zayıf	Berrak	Az	>600	İkinci ilave ve karıştırma

Tablo 4.2 740 °C'de sodyum klorür ve potasyum klorür bazlı flaks karışımına yapılan ilave bileşimlerin damlacık birleştirme yeteneğine etkisi (devamı)

MgF_2	Orta	Sisli	Az	11	Karıştırma ve hareket gerekli değil.
CaF_2	Orta	Berrak ve gri çökeltili	Az	14	Karıştırma ve hareket gerekli değil.
AlF_3	İyi	Gri, bulutlu ve beyaz çökeltili	Az	7	Damlacıkların ömrü 1 saniyeden kısa.
Na_3AlF_6	Mükemmel	Sisli, mavi bulutlu ve beyaz çökeltili	Orta	<1	Damlacık ömrü 50 saniye.

4.2.2.2 Flaks Tipleri

Literatür incelendiğinde flaks tiplerinin çok farklı şekilde sınıflandırıldıkları görülmektedir. Flaks türlerini ana işlev olarak incelediğimizde örtü flaksları, rafinasyon flaksları, cüruf çekme flaksları, duvar temizleme flaksları, temizleme flaksları, gaz giderme flaksları ve tane küçültme flaksları olarak 7 ana gruba ayırabiliriz [42].

4.2.2.2.1 Örtü Flaksı

Örtü flaksı kullanımının amacı sıvı banyoya havadaki nem dolayısıyla oksijen ve hidrojen beslenmesini engellemektir. Sıvı banyo üzerine toz halinde serpilen tuz karışımı sıcaklık dolayısıyla ergiyerek sıvı banyo ile hava temasını keser. Örtü flaksının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için tamamen ergimiş vaziyette olması gereklidir. Bu sebeple hazırlanacak tuz karışımının ergime sıcaklığı, sıvı alüminyum sıcaklığından düşük olacak şekilde ayarlanmalıdır [43].

Kullanılan tuz karışımları yüksek akışkanlık özelliği istenmesi sebebiyle düşük ergime sıcaklığına sahip (658°C) KCl-NaCl temelli karışımlardır. Yaygın olarak ilave edilen florür tuzları ise NaF ve Na_3AlF_6'dır [34]. İnce kırpıntılar ve talaşlar gibi çok küçük parçaların ergitilmesinde yüksek oksitlenme görülür. Bu tip parçaların ergitilmesi sürecinde örtü flaksı kullanımı önemlidir. Aynı zamanda

yakıcı olarak kullanılan gazlarda bulunan hidrojenin sıvı banyo tarafından kapılma hızını da düşürmektedir. Hidrojen içeren bir yakıtın tepkimeye girmesi sonucu oluşan H_2O ve hidrojen salınımı tepkimeleri aşağıda verilmiştir [44].

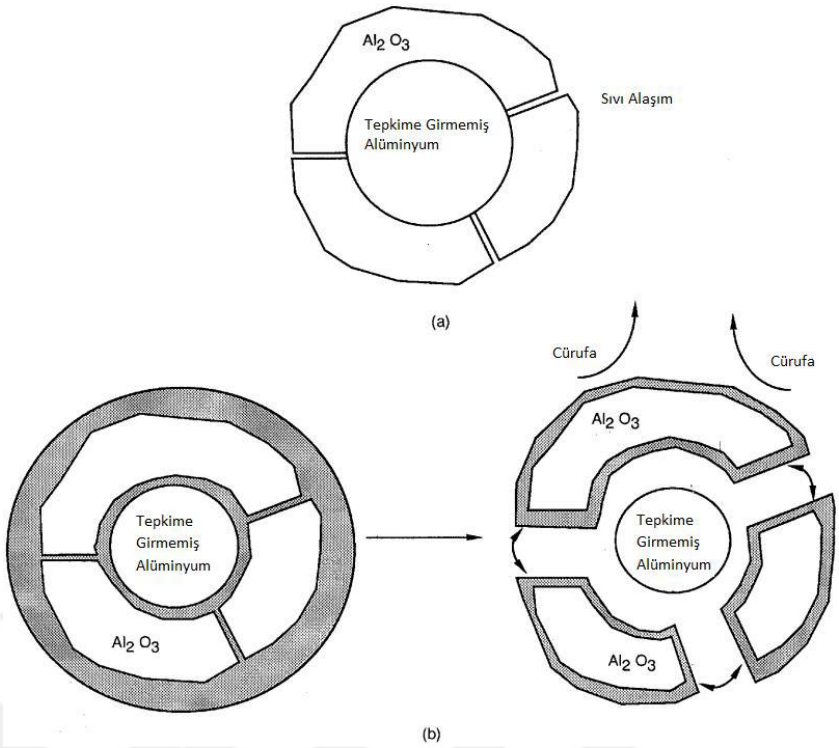
$$CH_4(\text{yakıt}) + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O(g) \quad (4.5)$$

$$3H_2O(g) + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 6[H] \quad (4.6)$$

Düşük Na ve Ca içeriğine sahip, %2'den fazla magnezyum içeren alaşımlar için $MgCl_2$-KCl karşımı örtü flaksı olarak kullanılabilir. Bu karışımlar düşük ergime noktası ve yüksek akışkanlığa sahiptir. $MgCl_2$ kullanım verimliliği olarak bakıldığı zaman pahalı bir bileşiktir. Ayrıca sıvı metalin serbest kalan Na ve K gibi elementleri kapma ihtimali de yüksektir. Bu sebeple dikkatli kullanımı önemlidir [44].

4.2.2.2.2 Rafinasyon Flaksı

Rafinasyon flakslarının amacı sıvı banyoyu nitrit, oksit ve çeşitli alkalilerden temizlemektir. İnce cidarlı alüminyum ürünlerde yüksek oksitlenme sebebiyle alüminyum kaybı oldukça yüksektir. Oluşan alüminyum oksidin parçalanması zorlu bir süreçtir ve sürekli bir proses değildir [14]. Oluşan parçalanma sonrası sıvı alüminyum damlacıklarının ömrü çok uzun değildir. Bu sebeple bu süre içerisinde alüminyum sıvı banyo içerisinde kalmazsa tekrar oksitlenme gerçekleşebilir. Kullanılacak florid tuzları çeşitlilik gösterebilir. Şekil 4.8'de Na_2SiF_6 tuzunun rafinasyon durumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Florid tuzunun rafinasyon etkisinin şematik gösterimi

Bu sürede gerçekleşen reaksiyon aşağıda verilmiştir.

$$6Na_2SiF_6 + 2Al_2O_3 \rightarrow 4Na_3AlF_6 + 3SiO_2 + 3SiF_4 \qquad (4.7)$$

Flaks karışımına eklenen Na_2SiF_6, yüzeyi alüminyum oksit ile kaplanmış ancak herhangi bir reaksiyona girmemiş metalik alüminyumu hedef alır. Metalik damlacık ile yüzeyi kaplayan alüminyum oksit arasına girerek sıvı metali serbest bırakır ve oksidi cürufa doğru çeker [45].

Yüksek magnezyum içeren piyasa hurdaları için kullanılacak rafinasyon flaksları, magnezyumun uzaklaştırılması amacıyla florlu (AlF_3 veya $NaAlF_4$) olarak seçilebilir. Giderilmek istenilen magnezyum miktarının %3'ü kadar klor kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu işlem gerçekleşirken oluşacak $AlCl_3$ ve HCl insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından olumsuz bir etki yaratabilir. NaCl ve $CaCl_2$ ile magnezyumun vereceği reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.

$$2NaCl + Mg \rightarrow 2Na + MgCl_2 \qquad (4.8)$$

$$Mg\ (Al) + CaCl_2 \rightarrow MgCl_2 + Ca(Al) \qquad (4.9)$$

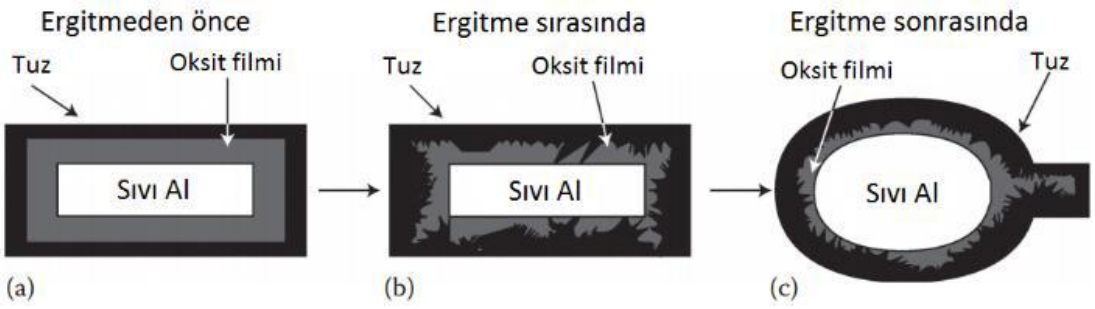
Gerçekleşecek reaksiyonlar sonucu ortaya çıkacak serbest Ca ve Na sıvı banyoda kirliliğe sebebiyet vereceği için %2'nin üzerinde magnezyum içeren hurdaların geri dönüşümünde $MgCl_2$ kullanılması tavsiye edilir [14].

4.2.2.2.3 Cüruf Çekme Flaksı

Cüruf çekme flakslarının kullanım amacı cüruf içerisindeki metalik alüminyum miktarının azaltılması ve metalik alüminyum oranı mümkün olduğunca düşük cüruf oluşumunun sağlanmasıdır. Bu flakslar metalik olmayan malzemeyi soğurmak, cürufun kolay sıyrılmasını sağlamak ve metal kaybını azaltma amacı ile tasarlanırlar. Cüruf çekme flaksları cüruf ile egzotermik reaksiyon gösterir ve cüruf sıcaklığını arttırır. Bu durum cüruf içerisinde bulunan metalik alüminyumun akışkanlığını arttıracağı için metalik alüminyumun sıvı banyoya dönmesini kolaylaştırır [41].

Bu tip flakslar genellikle cüruf oluşumu gerçekleştikten sonra kullanılırlar. Miktar olarak m^2 başına 1-2 kg veya toplam ağırlığın %0,21'i kadar kullanılabilirler. Bu miktar cüruf tabakası üzerinde yaklaşık olarak 1 mm'lik bir kalınlık oluşturur. Flaksın erimesi için bir süre beklenir ve daha sonra gelberi ile karıştırma işlemi uygulanır. Cüruf akkor bir tabaka haline gelene kadar karıştırma işlemi devam eder ve metalsiz bir cüruf yapısı elde edilir. Doğru uygulanan bir işlem sonucunda cüruf içerisindeki metal oranı %15'e kadar indirilebilmektedir. En etkili sonucu alabilmek için uygulama sıcaklığının 700 °C üzerinde olması gerekmektedir [46].

Florürlü tuzların etkileri üzerine pek çok farklı senaryo mevcuttur. Ancak oluşum mekanizmasının, florürlü tuzların oluşan alüminyum oksit etrafını sarması sonucu oksit filmini ıslatarak yumuşatması sonucu metal-oksit ara yüzeyine girerek sıvı alüminyumu serbest bırakması şeklinde geliştiği düşünülmektedir [11]. Yapılan karıştırma etkisi serbest kalan sıvı alüminyum damlacıklarının birleşerek hacminin artmasını sağlar ve sıvı banyoya dönmesini kolaylaştırır. Bu tip flakslar için yoğunlukla kullanılan florür tuzları Na_3AlF_6, KF ve NaF gibi tuzlardır. Tahmin edilen oluşum mekanizması şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Cüruf çekme flaksı mekanizması

4.2.2.2.4 Duvar Temizleme Flaksı

Ergitme ocağı duvarları oluşan cürufun sürekli olarak refrakter üzerine sıvanması sonucu sürekli olarak kalınlaşmaktadır. Bu durum refrakter ömrünü etkilediği gibi ergitme tonajının zamanla aşağı inmesine sebep olmaktadır. Bu da daha verimsiz bir döküm prosesine sebep olmaktadır. Bu durumu engellemek için duvar temizliği flaksları geliştirilmiştir [37]. Duvar temizleme flaksları duvar yüzeyine yapışan cürufun yumuşamasını sağlayarak oluşan tabakanın daha kolay uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Verimli bir sonuç alınabilmesi için bu flaksların fırın sıcakken uygulanması gereklidir. Eğer fırın sıcak değil ise yapılan uygulama sonrasında fırın yüksek alevle ısıtılmalıdır.

4.2.2.2.5 Temizleme Flaksı

Örtü flakslarının florür içeriği arttırılarak oluşturulurlar. Cüruf çekme işlemi tamamlandıktan sonra fırın duvarlarına yakın olacak şekilde uygulama gerçekleştirilir [43]. Florürler duvardaki tabaka üzerinde ıslatma etkisi göstererek parçacıkları yüzeye taşır. Bu işlemin sıvı metal transferinin gerçekleştirilmesinden önce bitirilmesi gerekmektedir [47].

4.2.2.2.6 Gaz Giderme Flaksı

Gaz giderici olarak kullanılan flakslar genellikle tablet halindedir. Bu tip flaksların kullanım amacı sistemde çözünmüş olarak bulunan hidrojenin uzaklaştırılmasıdır. Alüminyumun değişen sıcaklık ile çözebildiği hidrojen miktarı Şekil 4.1'de verilmiştir [41]. Sıvı alüminyum için hurdalar, döküm için kullanılan araç gereçler, atmosferik ortam ve refrakter yüzeyi gibi çok farklı hidrojen kaynakları mevcuttur. Sıvı alüminyum içinde bulunan hidrojenin uzaklaştırılması için kullanılacak tablet

flaksların saklama koşullarının çok iyi olması gereklidir [21]. Tabletlerin nemli olması sistemden uzaklaştırılmaya çalışılan hidrojeni tekrar sıvı banyoya besleyebilir ve herhangi bir olumlu etkinin yanı sıra olumsuz bir etki bile oluşturabilir. Kullanılabilmesi için ilgili tabletin fırın dibine yerleştirilmesi gereklidir. Bunun için temiz, önceden ısıtılmış ve delikli bir çan kullanılabilir. Tablet fırın tabanına batırılır ve çözünmesi beklenir. Yüzeydeki gaz çıkışı sonlanana kadar süreç devam eder. Tabletin çözünürlüğü kontrol edilebilen bir parametre olmadığı için çok hızlı gerçekleşebilir ve işlemin tekrarlanması gerekebilir [18].

Aynı tip flakslar toz olarak da kullanılabilir. Çok ince toz haline getirilen flaks inert bir gaz (argon,azot,helyum gibi) yadımı ile fırın dibinden beslenir ve besleme bitene kadar süreç devam eder [3]. Kullanılan flaks alüminyum ile reaksiyon vererek $AlCl_2$ ve AlF_3 gibi gaz bileşiklerinin oluşmasını sağlar. Bu gaz kabarcıklanır ve yüzeye doğru çıkar. Toz halinde kullanılan flaks için alaşım bileşimi veya kirliliğe göre ayarlama yapılarak temizleme ve tane küçültme etkisi de verilebilir.

4.2.2.2.7 Tane Küçültme Flaksı

Sıvı metal temizliğinin yanı sıra tane küçültme etkisinin de görüldüğü flaks tipleridir. Titanyum, bor ve zirkonyum gibi tane küçültücü elementlerin yanında K_2TiF_6 ve KBF_4 gibi metal florür ilaveleri yapılarak oluşturulurlar [48]. Bu ilaveler inklüzyonların temizlenmesinin yanında tane küçültme etkisinin de görülmesini sağlarlar.

5
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Malzeme Seçimi

Yapılacak deneyler için 6063 serisi alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Deney parametresi olarak bu alaşımın alt sınırında ve üst sınırında çalışılmıştır. Alt sınır ve üst sınır numunelerinin hazırlanmasında A-7 saflıkta külçe alüminyum kullanılmıştır. Yapılan alaşımlamalarında ise magnezyum %100 saflıkta, silisyum %50 saflıkta (kalan %50 alüminyum), mangan %75 saflıkta (kalan %25 flaks), bakır %99,9 saflıkta, demir >%99 saflıkta olmak üzere 5 farklı alaşım elementi kullanılmıştır.

Tablo 5.1 Kullanılan alüminyum külçe analizleri

	Al	**Si**	**Fe**	**Mg**	**Cu**	**Mn**	**Zn**	**Ti**
1	99.74	0.006	0.109	0.002	0.002	0.002	0.01	0.003
2	99.73	0.006	0.107	0.002	0.002	0.002	0.01	0.003
3	99.73	0.005	0.108	0.002	0.002	0.002	0.01	0.002
Ortalama	99.73	0.006	0.108	0.002	0.002	0.002	0.01	0.003

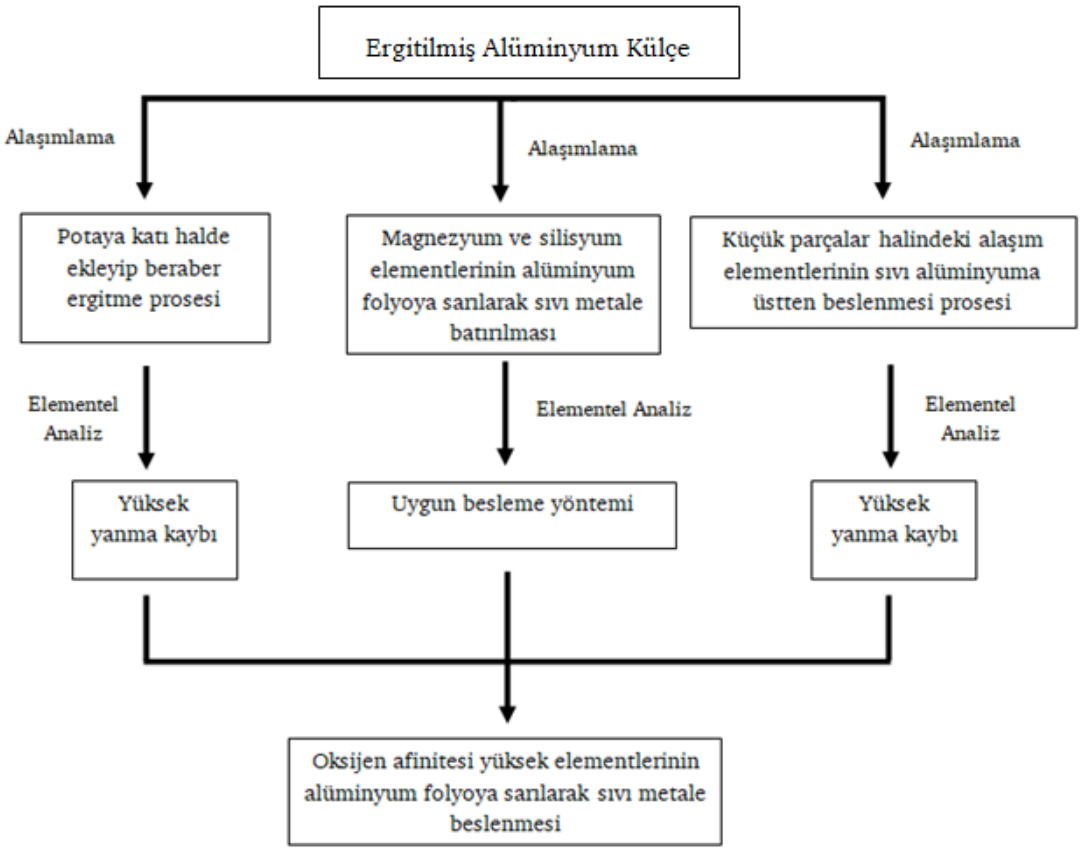
5.1.1 Ön Deneyler

Deney tasarımının belirlenebilmesi için ön ergitme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ön deney setleri uygulanacak flaks miktarlarının ve yöntemlerinin belirlenmesi, yapılacak alaşımlama işlemleri ve alaşım bileşimi belirlenmesi için ön çalışma olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 Alaşım içeriği için gerçekleştirilen ön deney seti

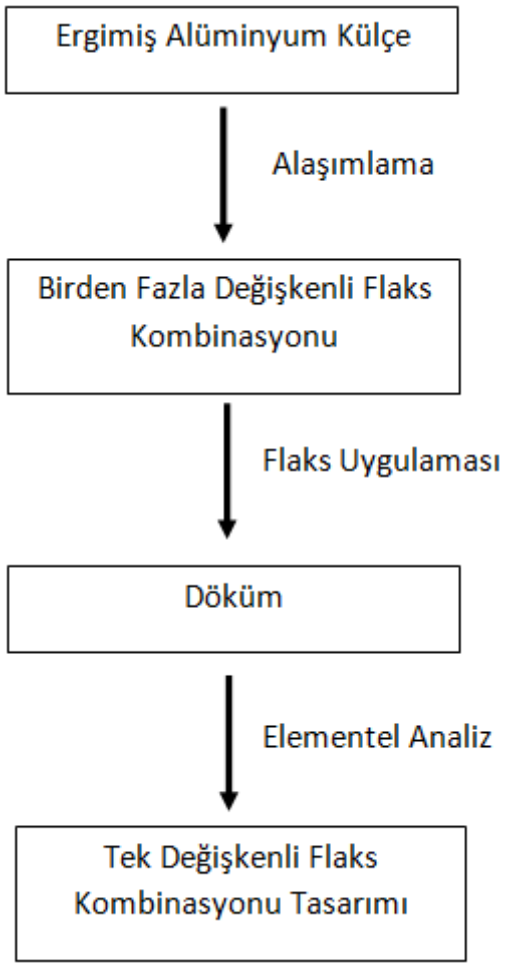
İlk deney seti alaşımlama yapılmadan 6063 billetlerden alınan numunelerin ergitilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen döküm numuneleri, numune hazırlama işlemlerinden sonra elementel analize tabi tutulmuştur. Bu deney numunleri alaşım içeriği olarak birbirinden farklı olduğundan, ergitme işlemi dolayısıyla yaşanan kayıplarda tutarsızlık olduğu görülmüştür. Bu durumun ideal bir deney seti oluşturmayı engellemesinden dolayı bu ön deneyler sonucunda alaşımlama işleminin ergitme deneyleri sırasında yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.2 Besleme yönteminin belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti

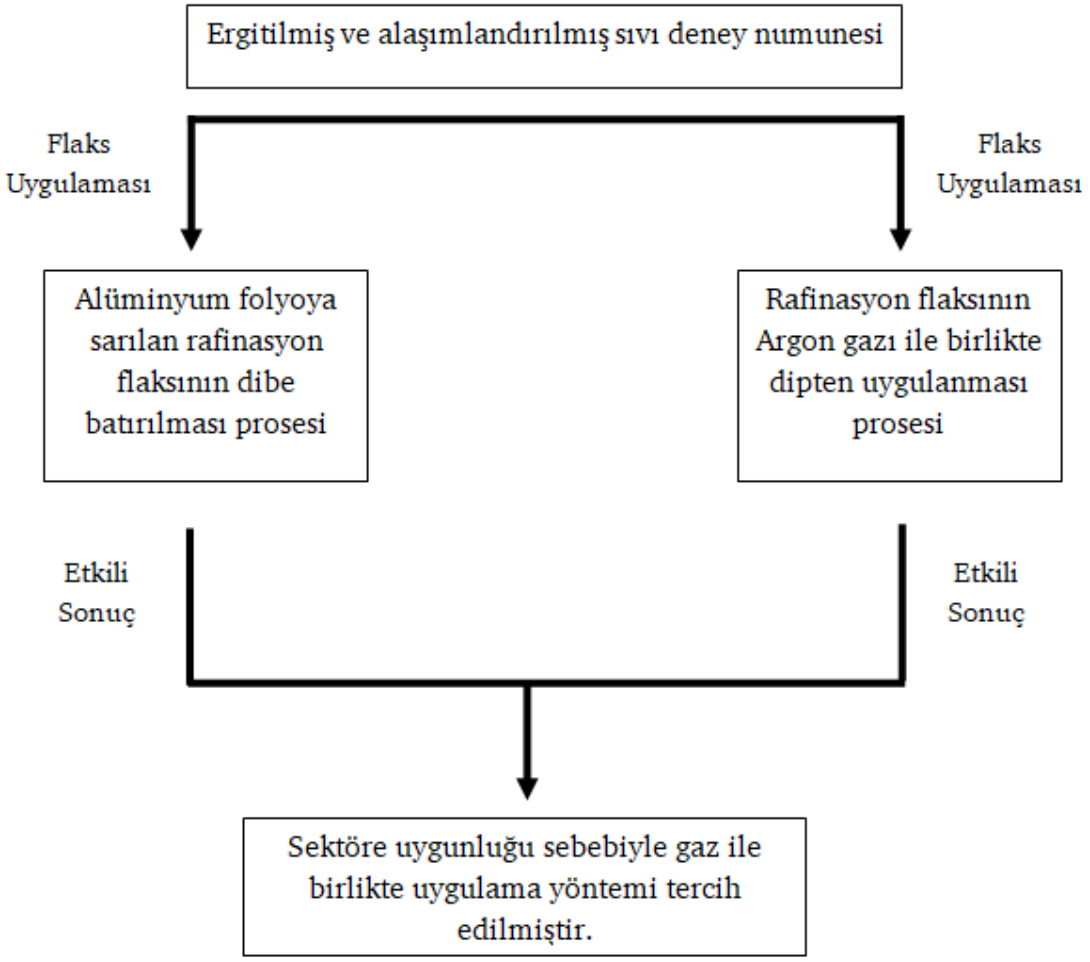
Alaşımlama işleminin yapılmasına karar verildikten sonra besleme işleminde yaşanacak kayıpların azaltılabilmesi için farklı alaşım elementleri için uygun alaşımlama yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. İlk denemelerde numuneler ve alaşım elementlerinin hepsi aynı anda ergitilmiş ve elde edilen numuneler elementel analize tabi tutulmuştur. İkinci denemede alaşım elementleri mümkün olduğunca küçük hale getirilerek ergimiş alüminyum külçe üzerine üstten besleme yöntemi ile alaşım elementleri eklenmiştir ve elde edilen numuneler elementel analize tabi tutulmuştur. Üçüncü denemede ise oksijen afinitesi yksek olan magnezyum ve silisyum elementleri alüminyum folyoya sarılarak sıvı alüminuma batırılmış ve alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan elementel analiz sonuçlarında alüminyum külçeler katı haldeyken alaşım elementleri eklenerek beraber ergitilen numunelerde yanma kaybının çok yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan elementel analiz onucunda mümkün olduğunca küçük parçalara ayrılarak ergimiş alüminyuma üstten besleme yöntemi ile elenen numunelerde yanma

sebebi ile alaşım elementi kaybının yüksek olduğu görülmüştür. Ergimiş alüminyuma üstten besleme yöntemi alüminyum folyoya sarılarak batırılan numunelerde alaşım elementi kaybının daha düşük olması sebebiyle alaşımlama işlemine bu şekilde devam edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 5.3 Flaks kombinasyonunun belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti

Flaks kombinasyonlarında NaCl ve KCl etkisinin de incelenebilmesi için çoklu değişken değiştirme yöntemi kullanılarak bütün bileşenler yüzdesel olarak değiştirilmiştir. Ancak yapılan elementel analizlerde elde edilen sonuçlar birbirinden bağımsız çıkmıştır ve yorumlanamamıştır. Bu sebeple kriyolit miktarında değişime gidilerek flaks kombinasyonlarının oluşturulmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.4 Flaks uygulama yönteminin belirlenmesi için gerçekleştirilen ön deney seti

Rafinasyon flaksı uygulama yöntemine karar verilebilmesi için tasarlanan ön deney setleriden ilkinde rafinasyon flaksı alüminyum folyoya sarılarak dibe batırılmıştır. İkinci uugulama yöntemi olarak argon gazı ile dipte besleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İki yöntemde de istenilen sonuca ulaşılmış ancak uygulama yöntemi olarak gaz ile uygulama yöntemi tercih edilmiştir.

5.1.2 Alt sınır

A-7 saflıkta külçeler, alaşım elementi olarak kullanılan magnezyum ve silisyum testere kullanılarak küçük parçalara ayrılmıştır. Bu parçalar hassas terazi yardımıyla tartılmıştır. TS EN 573-3;2019 alaşım standardına göre 6063 alaşımı için silisyum değer aralığı %0,20-0,60, magnezyum değer aralığı ise %0,45-0,90'dır. Mangan, bakır ve demir için ise belirlenen herhangi bir alt sınır yoktur. Bu

sebeple alt sınır numuneleri ile yapılacak ergitme deneylerinde sadece magnezyum ve silisyum eklemesi yapılarak alt sınır numuneleri oluşturulmuştur. İncelenen diğer elementler külçe içerisinde bulunan miktarı ile bırakılmıştır ve alt sınır değeri olan 0'a yakın değerlerdir.

Alüminyum külçe parçalarının ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir ve seçilen alüminyum külçe ağırlığına göre eklenmesi gerek alaşım elementi miktarları hesaplanmıştır (TS EN 573-3;2019). Alaşım elementi olarak kullanılan magnezyum ve silisyum oksitlenmesi dolayısıyla yaşanacak kayıp miktarını en aza indirilmesi için alüminyum folyo yardımı ile ergiyik içine batırılmıştır ve alaşımlama işlemi bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.

5.1.3 Üst Sınır

TS EN 573-3;2019alaşım standardına göre 6063 alaşımı için silisyum değer aralığı %0,20-0,60, magnezyum değer aralığı ise %0,45-0,90'dır. Mangan için belirlenen üst sınır %0,10, bakır için belirlenen üst sınır %0,10 ve demir için belirlenen üst sınır ise %0,35'tir. Üst sınır numuneleri magnezyum, silisyum, bakır, mangan ve demir eklenerek oluşturulmuştur.

Alüminyum külçe parçaları tartılarak belirlenmiştir ve seçilen alüminyum külçe ağırlığına göre eklenmesi gerek alaşım elementi miktarları hesaplanmıştır (TS EN 573-3;2019).

Alaşım elementi olarak kullanılan demir ve mangan toz halinde kullanılmış, bakır ise mümkün olduğunca küçük parçalara ayrılmıştır. Ergime işleminin tamamlanmasından sonra bakır, mangan ve demir üstten ekleme yöntemi ile ergiyik alüminyuma eklenmiştir. Yine alt sınırda yapıldığı gibi, alaşım elementi olarak kullanılan magnezyum ve silisyum oksitlenme dolayısıyla yaşanacak kayıp miktarını en aza indirilmesi için alüminyum folyo yardımı ile ergiyik içine batırılmıştır ve alaşımlama işlemi bu şekilde tamamlanmıştır.

5.2 Deney Tasarımı

Ön deneyler sonucunda, alt sınır için 24 adet flaks uygulama numunesi ve 1 adet referans numunesi olmak üzere toplam 25 ergitme numunesi, üst sınır için 24 adet flaks uygulama numunesi ve 1 adet referans numunesi olmak üzere toplam 25 adet

ergitme numunesi belirlenmiştir. Yapılan final seti için toplam 50 ergitme deneyi gerçekleştirilmiştir. Final deney seti için her bir numune alüminyum külçe ağırlığına göre alaşımlandırılmış ve ön deneyler ışığında belirlenen flaks uygulama yöntemlerine ve flaks miktarlarına göre ergitme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ergitme işlemleri sonucunda elde edilen döküm numuneleri ARUN Poly-Spec Jnr marka spektroanaliz cihazı ile elementel analize tabi tutulmuştur. Elementel analiz sonucunda belirlenen numuneler EDS analizlerinin gerçekleştirilmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarına gönderilmiştir.

Deney numunelerinde;

- Referans numuneler için "REF",
- Alt Sınır numuneleri için "A",
- Üst sınır numuneleri için "Ü",
- Rafinasyon flaksı prosesi için "R",
- Örtü flaksı prosesi için "Ö",
- Bekleme prosesi için "B",

Kullanılan flaksın kriyolit yüzdesi rakam olarak (örneğin %8 kriyolit içeriği için "8" gibi) kullanılmıştır.

Örneğin; %4 kriyolit içeriği olan, rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunesi için belirlenen kod A-4-R-B'dir.

Rafinasyon flaksı sabit ağırlıkta eklenmiştir. Aynı ağırlık içerisindeki bileşen kombinasyonları değiştirilerek flaks oluşturulmuştur. Eklenen örtü flaksı ilse yüey alanı ve oluşturmak istenen flaks kalınlığına göre belirlenmiştir. Kulanılan potanın yüzey alanına göre, 1 cm flaks kalınlığı oluşturabilmek için 93,26 cm^3 flaks kullanımı gereklidir. İstenen hacimdeki bileşenlerin yüzdeleri ve yoğunluklarıyla bağlantılı olarak ağırlık hesabı yapılmış ve örtü flaksı kombinasyonları oluşturulmuştur.

Baz alınan yoğunluklar;

- Na_3AlF_6 : 2,9 gr/cm^3
- NaCl : 2,16 gr/cm^3
- KCl : 1,98 gr/cm^3

Aynı hacim ve değişen kombinasyonlara göre örtü flakı ağırlıkları %0 kriyolit içeriği için 193,04 gr, %2 kriyolit içeriği için 195,29 gr, %4 kriyolit içeriği için 196,84 gr, %6 kriyolit içeriği için 198,4 gr, %8 kriyolit içeriği için 199,96 gr, %10 kriyolit içeriği için 201,5 gr olarak belirlenmiştir.

REF - A ve REF - Ü 6063 alt ve üst sınırında olmak üzere alaşımlandırılmış, ergitilmiş ve herhangi bir flakslama işlemine tabi tutulmadan dökülerek referans numunesi olarak kabul edilmiştir. Bu numunelerin ergitilmesindeki amaç herhangi bir flaks uygulaması olmadan ergitme işlemi gerçekleştirilirse kaybın ne kadar olacağını görebilmektir.

5.2.1 Ergitme

Hassas terazi ile ölçülerek hazırlanan numunelerinin ergitilebilmesi için yanma odası kullanılmıştır. Yanma odasının iç haznesinde ise A-3 boyutunda grafit pota kullanılmıştır. Ergitilen alüminyum ağırlığı her deney için ortalama olarak 500 gram olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi örtü flaksı kullanımında yüzey alanının değişmemesi ve deneylerin özdeş olarak gerçekleştirilebilmesidir.

Ergitme prosesinin başlangıcında alüminyum külçeler grafit pota içerisine konulmuştur, grafit pota ise yanma odasının haznesine yerleştirilmiştir. Daha sonra yanma odasının kapağı kapatılmış ve brulör görevi görmesi için tasarlanan çelik boruya şaloma yerleştirilmesiyle ergitme işlemi başlatılmıştır. Şekil 5.5'te ergitme prosesi sırasındaki yanma odası görülmektedir.



Şekil 5.5 Ergitme sırasında yanma odası

Alüminyum külçelerin ergitilmesi ve döküm sıcaklığı olan 760°C'ye ulaşması 30 dakika sürmüştür. Bu süre zarfında sıcaklık sürekli olarak termokupl ile ölçülmüştür.

Deneylerin özdeş koşullarda gerçekleştirilebilmesi için 30 dakikadan erken döküm sıcaklığına ulaşan numuneler için verilen ısı düşürülerek sıcaklık sabit tutulmuş ve sürekli olarak sıcaklık kontrolü gerçekleştirilmiştir. Alüminyum külçelerin ergime süresi sonunda alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Alaşımlama işlemi sırasında oksijen afinitesi yüksek olan magnezyum ve silisyum alüminyum folyoya sarılarak ergiyik alüminyum içine batırılmıştır. Diğer alaşım elementleri olan mangan ve demir toz halinde ergiyik üzerinde beslenmiş, yine diğer bir alaşım elementi olan bakır mümkün olduğunca küçük parçalara ayrılarak ergiyik üzerinden sıvı alüminyum içine beslenmiştir. Alaşımlama işlemi sonunda hem karıştırma hem de gaz giderme görevi görmesi için ergiyik dibinden argon gazı üflenmiştir.

5.2.2 Gaz Giderme

Gaz giderme işlemi için yüksek saflıkta argon gazı kullanılmıştır. Argon gazının ergiyik dibinden uygulanabilmesi için çelik boru kullanılmıştır.

Gaz giderme işlemi hidrojen gazının ergiyik alüminyumdan tasfiye edilmesi ve aynı zamanda eklenen alaşım elementlerinin homojen bir şekilde karıştırılabilmesi amacıyla yapılmıştır. Gaz basıncı regülatör yardımıyla ayarlanmış ve cüruf - flaks yüzeyini yırtmayacak bir basınçla uygulanmıştır. Yüksek basınçta gaz giderme işlemi uygulanması alüminyumda sıçramalara sebep olarak sisteme tekrar hidrojen beslenmesi, sıvı alüminyum ve oksijen temasının artması sebebiyle cürufa kaçan alüminyum miktarının artması ve oksijen afinitesi yüksek alaşım elementlerinde gereğinden fazla yanma kaybı oluşması gibi olumsuz etkilere sebep olabilir. Bu nedenle gaz basıncının ayarlanmasında oldukça hassas davranılmıştır.

5.2.3 Flaks Uygulaması

Örtü flaksı kullanılan deneylerde ise örü flaksı üstten beslenmiş ve ergiyik alüminyumun hava ile temasının kesilmesi sağlanmıştır. Kullanılan örtü flaksının ergimesi için örtü flaksı uygulanan deneylere 10 dakikalık ekstra bir bekleme süresi konulmuştur. Örtü flaksı tamamen eridikten sonra döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.2.3.1 Rafinasyon Flaksı

Rafinasyon flaksı uygulaması deneylerinde flaks, ergiyik dibinde argon gazı ile sisteme verilmiştir. Bunun sağlanabilmesi için Şekil 5.6'da gösterilen hazne sistemi kullanılmıştır. Haznenin bir ucuna argon tüpüne bağlı regülatörden çıkan hortum bağlanmış diğer bir ucuna ise gaz giderme borusu eklenmiştir. Bu sayede hazne içine eklenen rafinasyon flaksı argon gazı ile birlikte sisteme verilmiştir.



Şekil 5.6 Flaks uygulama haznesi

Beş farklı flaks bileşimi rafinasyon flaksı olarak uygulanmıştır. Sadece rafinasyon flaksı uygulanan numuneler alt sınır alaşımları için 5 adet, üst sınır alaşımları için 5 adet olmak üzere toplam 10 adettir. Rafinasyon flaksı uygulaması yapılan numuneler ve flaks bileşimleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Rafinasyon flaksı uygulama parametreleri

Rafinasyon Flaksı Uygulanan Numuneler	**Flaks Bileşimi**	**Rafinasyon Flaksı Miktarı (g)**	**Ergime Derecesi (°C)**	**Ergitme Süresi (dk)**
A-0-R	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	760	30
A-2-R	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	760	30
A-4-R	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	760	30

Tablo 5.2 Rafinasyon flaksı uygulama parametreleri (devamı)

A-6-R	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	760	30
A-8-R	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	760	30
A-10-R	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	760	30
Ü-0-R	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	760	30
Ü-2-R	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	760	30
Ü-4-R	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	760	30
Ü-6-R	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	760	30

Tablo 5.2 Rafinasyon flaksı uygulama parametreleri (devamı)

Ü-8-R	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	760	30
Ü-10-R	%10 Na3AlF6+%45 NaCl+%45 KCl	1	760	30

5.2.3.2 Rafinasyon Flaksı Uygulaması ve Bekleme

Beş farklı flaks bileşimi rafinasyon+bekleme parametresi olarak uygulanmıştır. Rafinasyon +bekleme parametresi uygulanan numuneler alt sınır alaşımları için 5 adet, üst sınır alaşımları için 5 adet olmak üzere toplam 10 adettir. Rafinasyon+bekleme parametresi için yapılan deney numuneleri ve flaks bileşimleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri

Rafinasyon+ Bekleme Prosesi	**Flaks Bileşimi**	**Rafinasyon Flaksı Miktarı (g)**	**Ergime Derecesi (°C)**	**Ergitme Süresi (dk)**	**Bekleme Süresi (dk)**
A-0-R-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	760	30	10
A-2-R-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	760	30	10

Tablo 5.3 Rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

A-4-R-B	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	760	30	10
A-6-R-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	760	30	10
A-8-R-B	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	760	30	10
A-10-R-B	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	760	30	10
Ü-0-R-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	760	30	10
Ü-2-R-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	760	30	10
Ü-4-R-B	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	760	30	10
Ü-6-R-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	760	30	10

Tablo 5.3 Rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

Ü-8-R-B	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	760	30	10
Ü-10-R-B	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	760	30	10

5.2.3.3 Örtü Flaksı Uygulaması ve Bekleme

Beş farklı flaks bileşimi örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme parametresi olarak uygulanmıştır. Örtü + rafinasyon flaksı + bekleme parametresi uygulanan numuneler alt sınır alaşımları için 5 adet, üst sınır alaşımları için 5 adet olmak üzere toplam 10 adettir. Örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme parametresi için yapılan deney numuneleri ve flaks bileşimleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4 Örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri

Örtü+ Rafinasyon+Bekleme Prosesi	**Flaks Bileşimi**	**Rafinasyon Flaksı Miktarı (g)**	**Örtü Flaksı Miktarı (g)**	**Ergime Derecesi (°C)**	**Ergitme Süresi (dk)**	**Bekleme Süresi (dk)**
A-0-Ö-R-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	193,04	760	30	10

Tablo 5.4 Örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

A-2-Ö-R-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	195,29	760	30	10
A-4-Ö-R-B	%4 Na_3AlF_6 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	196,84	760	30	10
A-6-Ö-R-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	198,4	760	30	10
A-8-Ö-R-B	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	199,96	760	30	10
A-10-Ö-R-B	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	201,5	760	30	10
Ü-0-Ö-R-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	193,04	760	30	10

Tablo 5.4 Örtü flaksı + rafinasyon flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

Ü-2-Ö-R-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCL	1	195,29	760	30	10
Ü-4-Ö-R-B	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	196,84	760	30	10
Ü-6-Ö-R-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	198,4	760	30	10
Ü-8-Ö-R-B	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	199,96	760	30	10
Ü-10-Ö-R-B	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	201,5	760	30	10

5.2.3.4 Rafinasyon Flaksı, Örtü Flaksı Uygulaması ve Bekleme

Beş farklı flaks bileşimi örtü flaksı bekleme parametresi olarak uygulanmıştır. Örtü + bekleme parametresi uygulanan numuneler alt sınır alaşımları için 5 adet, üst sınır alaşımları için 5 adet olmak üzere toplam 10 adettir. Örtü flaksı + bekleme parametresi için yapılan deney numuneleri ve flaks bileşimleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5 Örtü flaksı + bekleme uygulaması parametreleri

Örtü+ Bekleme Prosesi	Flaks Bileşimi	Rafinasyon Flaksı Miktarı (g)	Örtü Flaksı Miktarı (g)	Ergime Derecesi (°C)	Ergitme Süresi (dk)	Bekleme Süresi (dk)
A-0-Ö-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	193,04	760	30	10
A-2-Ö-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	195,29	760	30	10
A-4-Ö-B	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	196,84	760	30	10
A-6-Ö-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	198,4	760	30	10
A-8-Ö-B	%8 Na_3AlF_6+%46 NaCl+%46 KCl	1	199,96	760	30	10

Tablo 5.5 Örtü flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

A-10-Ö-B	%10 Na_3AlF_6+%45 NaCl+%45 KCl	1	201,5	760	30	10
Ü-0-Ö-B	%0 Na_3AlF_6+%50 NaCl+%50 KCl	1	193,04	760	30	10
Ü-2-Ö-B	%2 Na_3AlF_6+%49 NaCl+%49 KCl	1	195,29	760	30	10
Ü-4-Ö-B	%4 Na_3AlF_6+%48 NaCl+%48 KCl	1	196,84	760	30	10
Ü-6-Ö-B	%6 Na_3AlF_6+%47 NaCl+%47 KCl	1	198,4	760	30	10

Tablo 5.5 Örtü flaksı + bekleme uygulaması parametreleri (devamı)

Ü-8-Ö-B	%8 Na_3AlF_6+% 46 NaCl+%46 KCl	1	199,96	760	30	10
Ü-10-Ö-B	%10 Na_3AlF_6+% 45 NaCl+%45 KCl	1	201,5	760	30	10

5.2.4 Cüruf Çekme ve Döküm

Flaks uygulaması sonra cüruf çekme döküm alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Örtü flaks hariç diğer deney numunelerinin hepsinde gelberi ile sıvı metal üzerinde sıyırma yöntemi ile cüruf çekme işlemi uygulanmıştır. Örtü flaksı uygulanan numunelerde örtü flaksı ergiyip sıvılaştığından dolayı döküm işlemi sonrasında katılaşan döküm numunesi üzerinden cüruf ayrılmıştır. Cüruf çekme işlemi yapılan gelberi Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Cüruf çekme işlemi gerçekleştirilen gelberi

Cüruf çekme işleminden sonra pota tasarlanan maşa yardımıyla yanma odasından çıkarılmış ve yine tasarlanan döküm maşası döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. İmal edilen maşalar Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Döküm potası çıkarma maşası ve döküm maşası

Ergimiş alüminyum maşa yardımı ile DIN1.2344 ESR tipi kalıp çeliği kullanılarak imal edilen potaya dökülmüş ve katılaşma tamamlandıktan sonra suda soğutulmuştur. İmal döküm kalıbı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 İmal edilen döküm kalıbı

5.3 Karakterizasyon

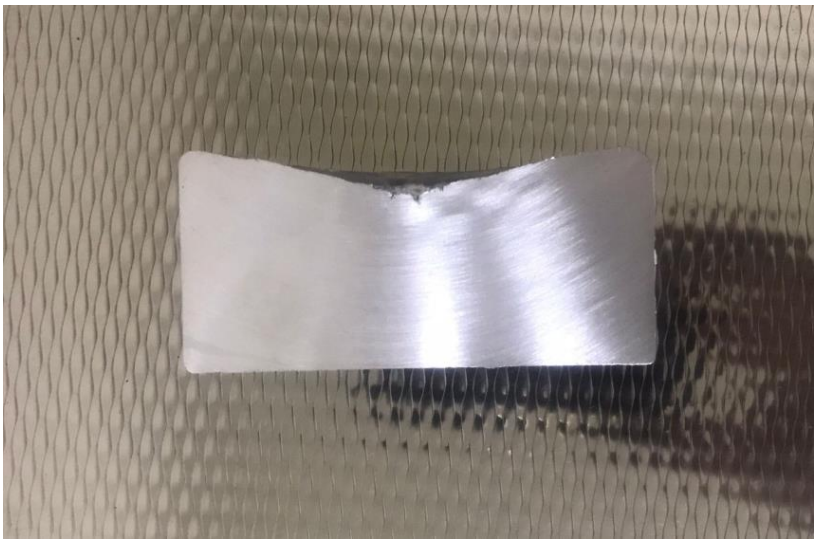
Karakterizasyon aşaması için döküm numuneleri elementel analize, belirlenen cüruf numuneleri ise atomik absorbsiyon ve EDS analizlerine tabi tutulmuştur.

5.3.1 Elementel Analiz

Döküm ve soğuma işlemi gerçekleştirilen numuneler abrasif kesim cihazında kesilmiştir.

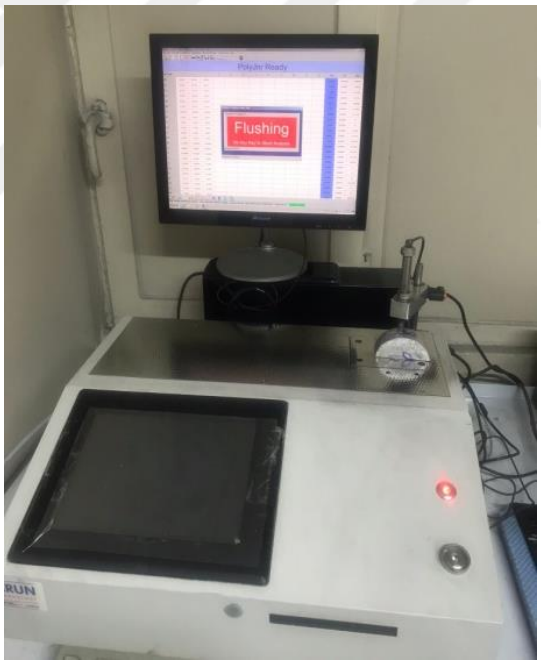
Kesilen numunelerin yüzeyleri zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilerek düzeltilmiş ve elementel analize hazır hale getirilmiştir.

Kesilerek ve zımparalanarak elementel analiz için hazırlanmış bir aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.10 Elementel analiz için hazırlanan bir numune

Kesilerek ve zımparalanarak hazırlanan döküm numuneleri ARUN Poly-Spec Jnr elementel analiz cihaz kullanılarak ölçüm işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.11 Yapılan bir analiz sırasında elementel analiz cihazı

5.3.2 EDS Analizi

Yapılan ergitme işleminden sonrasında gaz giderme ve cüruf çekme işlemi yapılmıştır. Sonrasında döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden önce yapılan sıvı metal temizliğinde cüruf gelberi yardımıyla ayrılmıştır. Çekilen cüruflar arasından elementel analiz sonuçları da göz önünde bulunarak EDS analizi

numuneleri belirlenmiştir. A-2-R, A-4-R, A-6-R, A-8-R, A-10-R alt sınır rafinasyon işlemi uygulanmış numuneler, A-2-Ö-R-B, A-4-Ö-R-B, A-6-Ö-R-B, A-8-Ö-R-B, A-10-Ö-R-B alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanmış numuneler, Ü-2-Ö-R-B, Ü-4-Ö-R-B, Ü-6-Ö-R-B, Ü-8-Ö-R-B, Ü-10-Ö-R-B üst sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan numuneler ve Ü-2-Ö-B, Ü-4-Ö-B, Ü-6-Ö-B, Ü-8-Ö-B, Ü-10-Ö-B üst sınır örtü+bekleme prosesi uygulanmış numuneler EDS analizine tabi tutulmuştur.

6
DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 Elementel Analiz

Yapılan ergitme deneylerinden sonra döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm numuneleri kesilerek ve zımparalanarak elementel analize hazır hale getirilmiştir. Hazırlıklar sonrası elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde yaşanan alüminyum ve alaşım elementi miktarları ölçülmüştür.

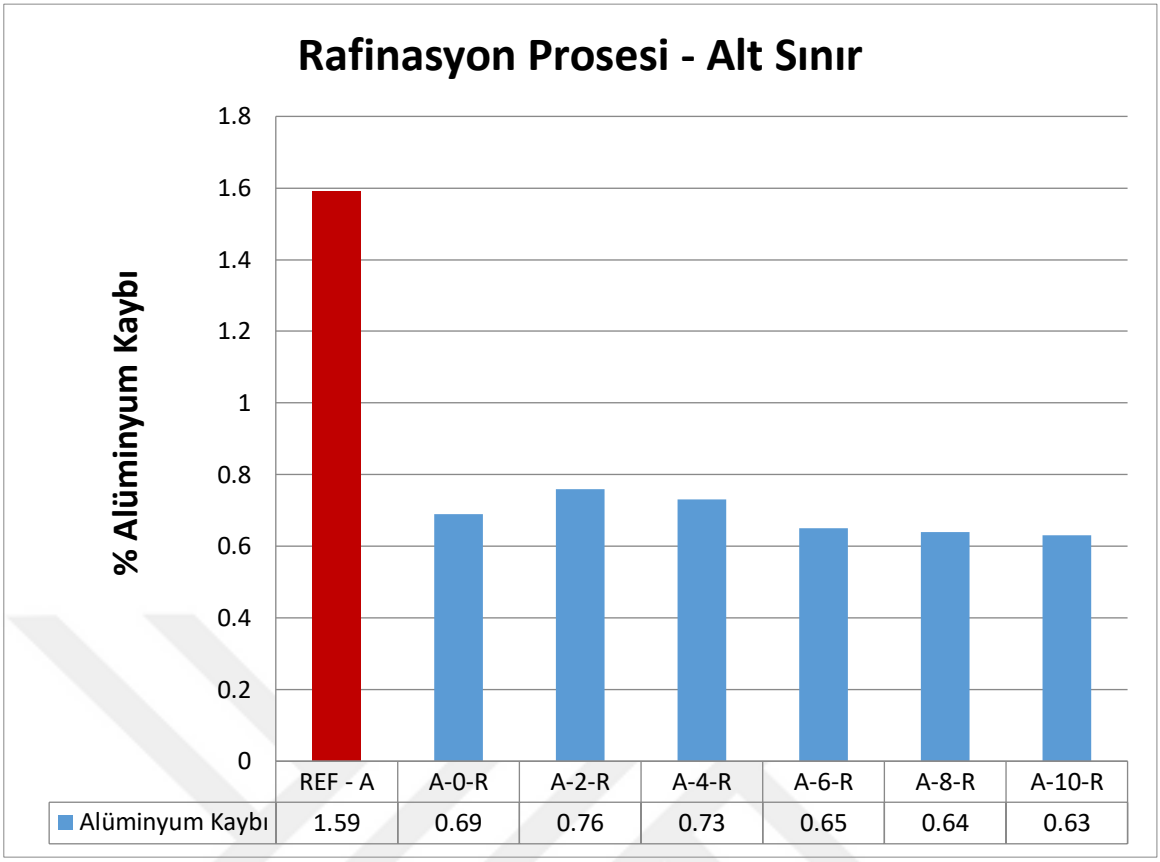
6.1.1 Flakstaki Kriyolit Oranının Metal Bileşimine Etkisi

Bu bölümde döküm numuneleri aynı uygulama yöntemi için flaks oranları karşılaştırılacaktır.

6.1.1.1 Alt Sınır Numuneleri

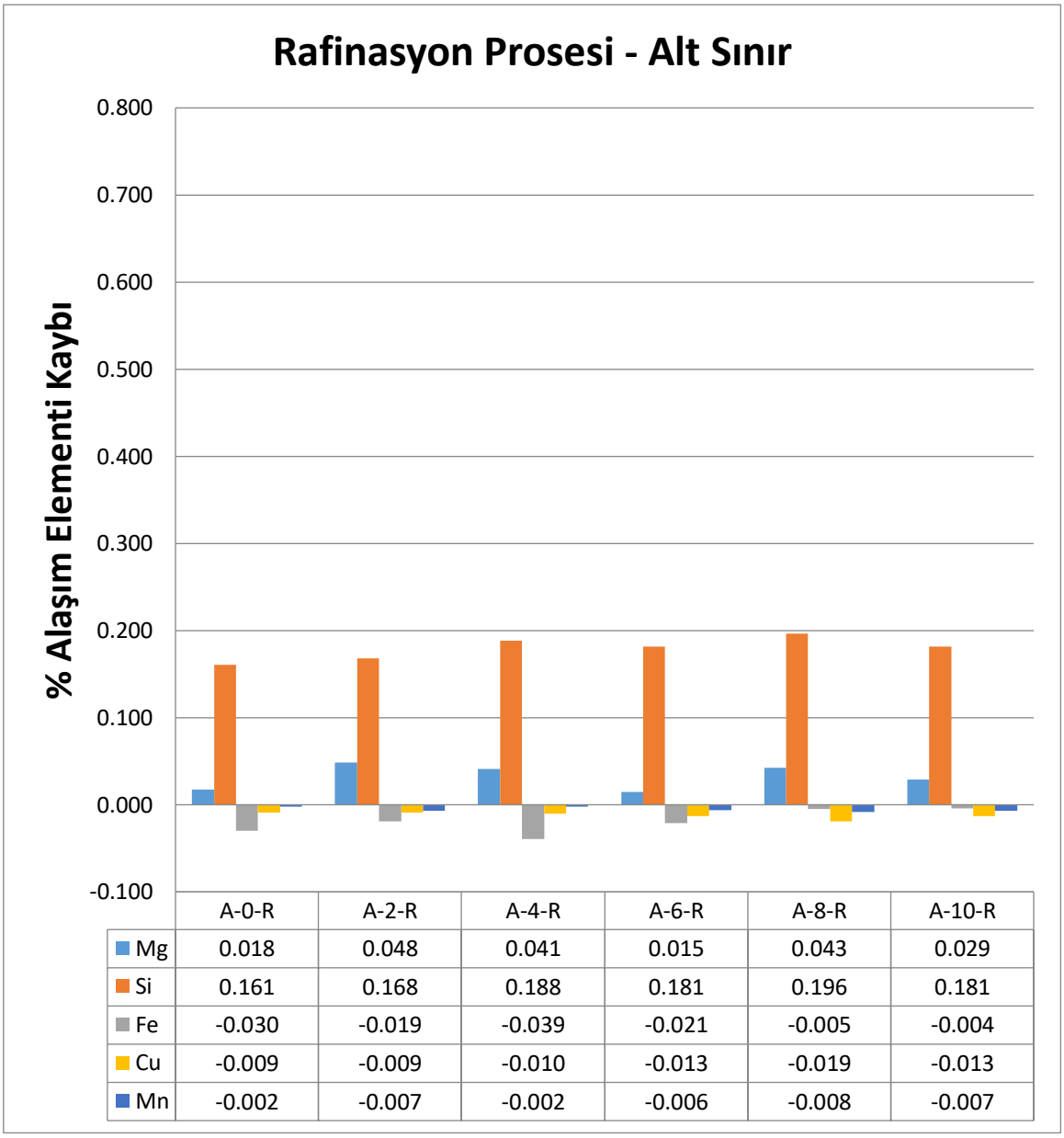
Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde A-0-R uygulanan rafinasyon flaksı bileşimi %0, A-2-R %2, A-4-R %4, A-6-R %6, A-8-R %8 ve A-10-R %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.1 incelendiğinde flaks kullanımının alüminyum kaybını azalttığı görülmektedir. Artan kriyolit oranıyla beraber yaşanan kayıpta bir azalma gözlemlenmektedir.

Kriyolit yüzdesi fark etmeksizin flaks kullanımının alüminyum kaybını azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.1 Rafinasyon flaksı uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

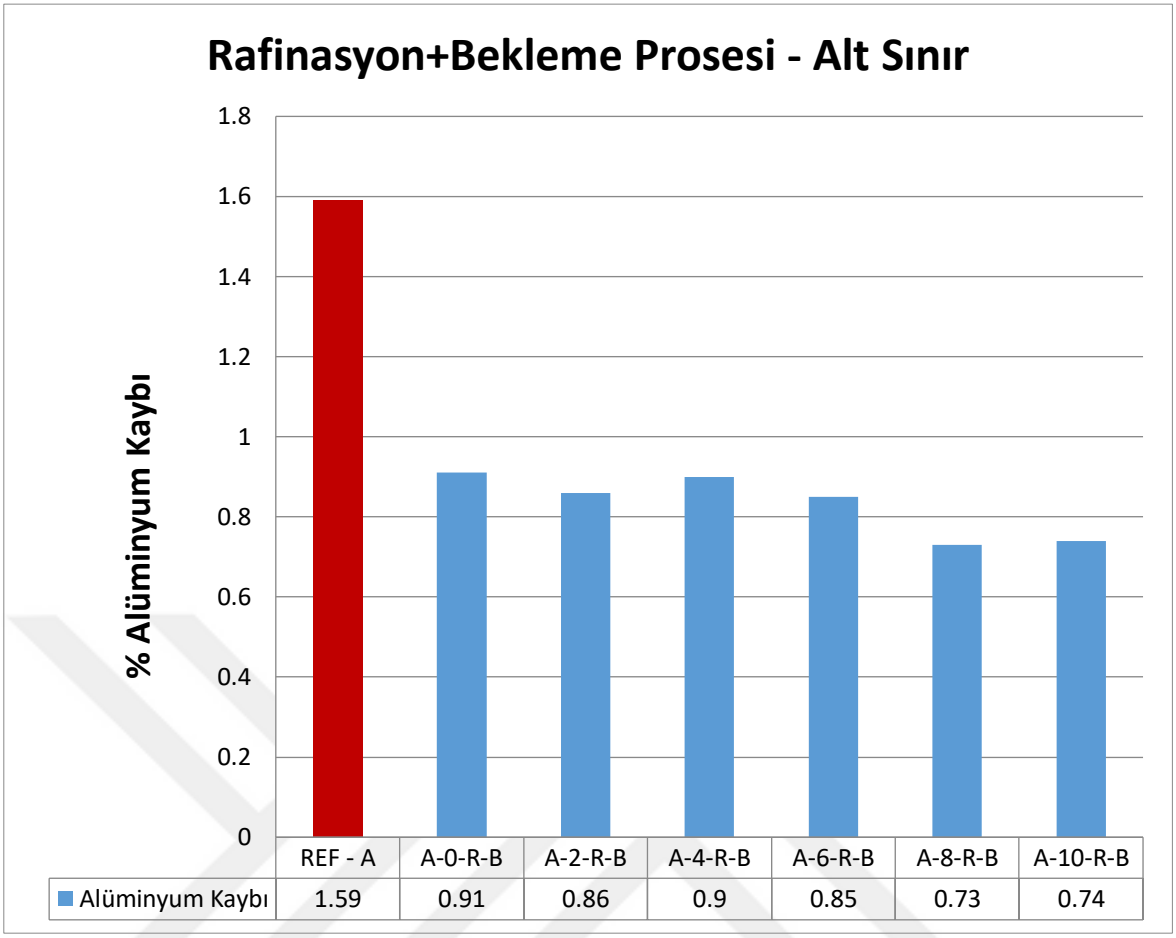
Şekil 6.2'de alaşım elementi kayıpları incelendiğinde silisyum miktarında yaşanan kayıpların her deney numunesi için birbirine çok yakın olduğu gözükmektedir. Bu sebeple rafinasyon flaksı uygulaması için kullanılan kriyolit yüzdesinin döküm numunesi üzerinde gözle görülür bir etki görülmemiştir.



	A-0-R	A-2-R	A-4-R	A-6-R	A-8-R	A-10-R
Mg	0.018	0.048	0.041	0.015	0.043	0.029
Si	0.161	0.168	0.188	0.181	0.196	0.181
Fe	-0.030	-0.019	-0.039	-0.021	-0.005	-0.004
Cu	-0.009	-0.009	-0.010	-0.013	-0.019	-0.013
Mn	-0.002	-0.007	-0.002	-0.006	-0.008	-0.007

Şekil 6.2 Rafinasyon flaksı uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

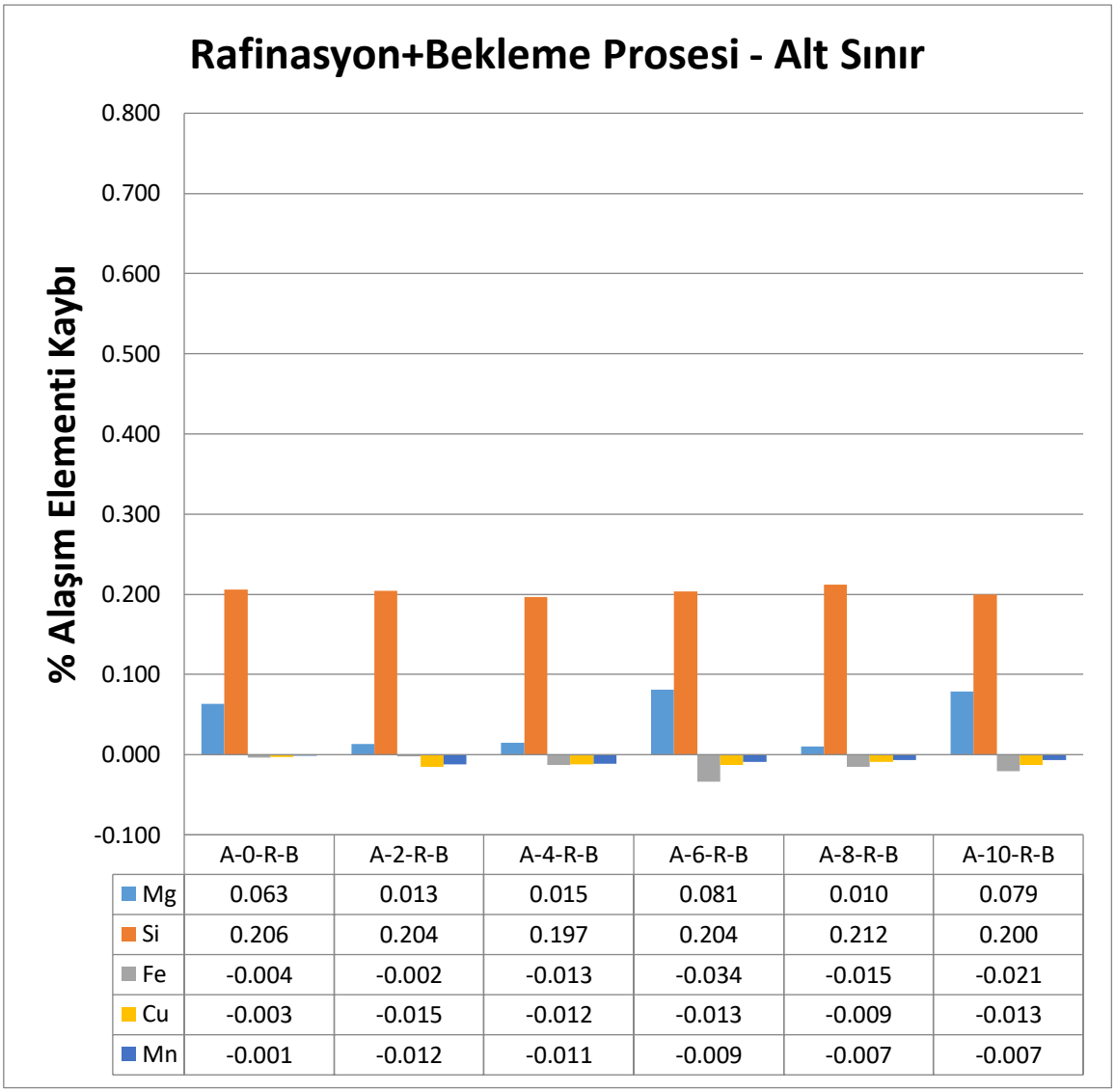
Gerçekleştirilen deneylerdeki magnezyum kayıpları arasında tutarlı bir sonuç görülmemiştir. Silisyum elementi kayıpları birbirine çok yakındır. Dolayısıyla rafinasyon prosesi için kriyolit miktarına bağlı bir değişim görülmemiştir.



Şekil 6.3 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde rafinasyon ve bekleme prosesi uygulanmıştır. A-0-R-B uygulanan rafinasyon flaksı bileşimi %0, A-2-R-B %2, A-4-R-B %4, A-6-R-B 8 %6, A-8-R-B %8 ve A-10-R-B %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.3 incelendiğinde bekleme süresiyle berber alüminyum kaybının arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında yüksek kriyolit içeren flaks bileşimlerinin rafinasyon flaksı olarak kullanıldığı proseslerde, uygulama sonrası bekleme yapılmasının döküm verimini düşüreceği öngörülebilir.

Kriyolit yüzdesi fark etmeksizin flaks kullanımının alüminyum kaybını azalttığı yorumu yapılabilir.

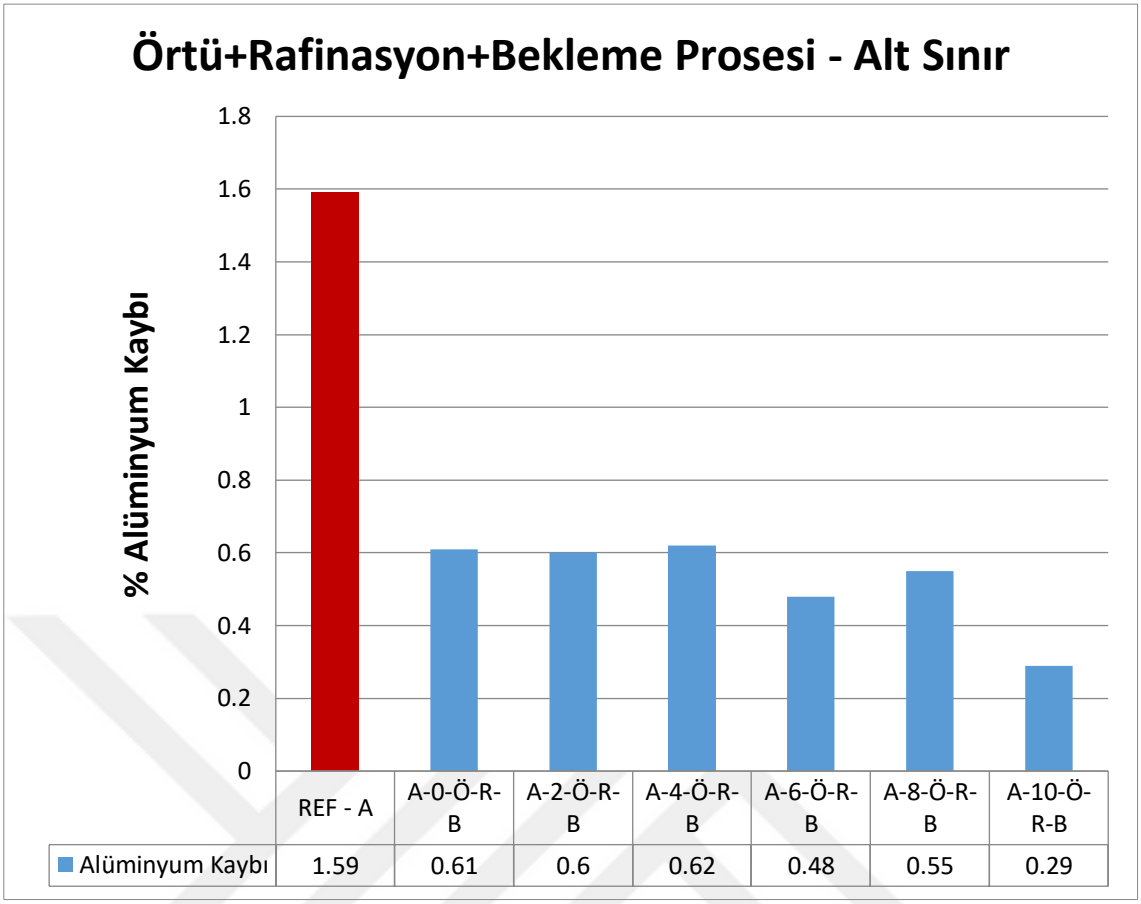


	A-0-R-B	A-2-R-B	A-4-R-B	A-6-R-B	A-8-R-B	A-10-R-B
Mg	0.063	0.013	0.015	0.081	0.010	0.079
Si	0.206	0.204	0.197	0.204	0.212	0.200
Fe	-0.004	-0.002	-0.013	-0.034	-0.015	-0.021
Cu	-0.003	-0.015	-0.012	-0.013	-0.009	-0.013
Mn	-0.001	-0.012	-0.011	-0.009	-0.007	-0.007

Şekil 6.4 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

Şekil 6.4 alaşım elementi kayıpları incelendiğinde silisyum miktarında yaşanan kayıpların her deney numunesi için birbirine çok yakın olduğu gözükmektedir. Bu sebeple rafinasyon flaksı uygulaması için kullanılan kriyolit yüzdesinin döküm numunesi üzerinde gözle görülür bir etki görülmemiştir.

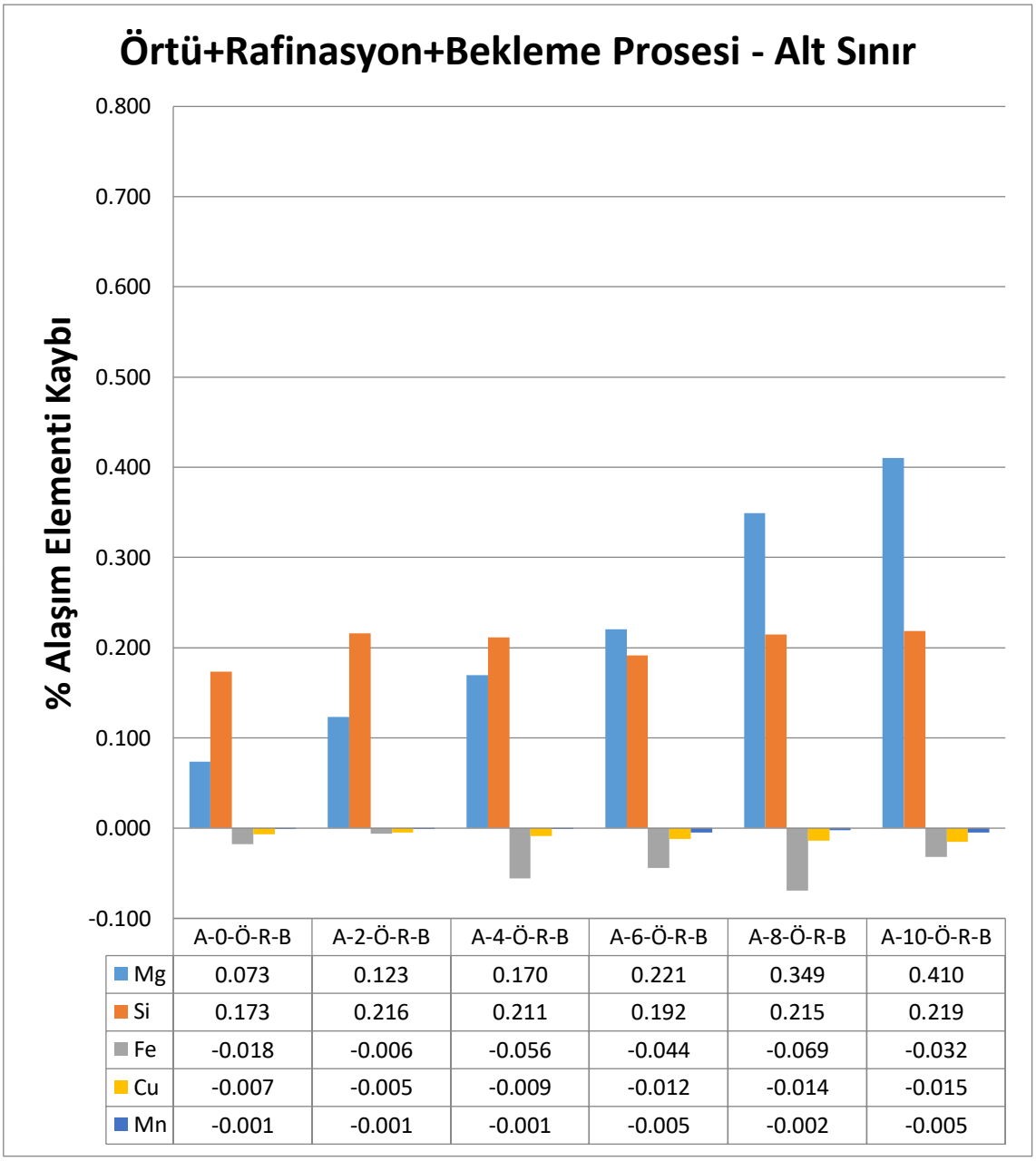
Gerçekleştirilen deneylerdeki magnezyum kayıpları incelendiğinde düşük kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonları kullanılarak yapılan deneylerdeki magnezyum kaybının daha az olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 6.5 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde uygulanan örtü, rafinasyon flaksı ve bekleme prosesi uygulanmıştır. Kullanılan flaks bileşimi A-0-Ö-R-B için %0, A-2-Ö-R-B %2, A-4-Ö-R-B %4, A-6-Ö-R-B %6, A-8-Ö-R-B %8 ve A-10-Ö-R-B %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.5'e göre en yüksek kriyolit içerikli flaks kullanılan A-10-Ö-R-B'nin alüminyum kaybı ise en düşüktür.

Flaks kullanımının alüminyum kaybını düşürdüğü görülmektedir.

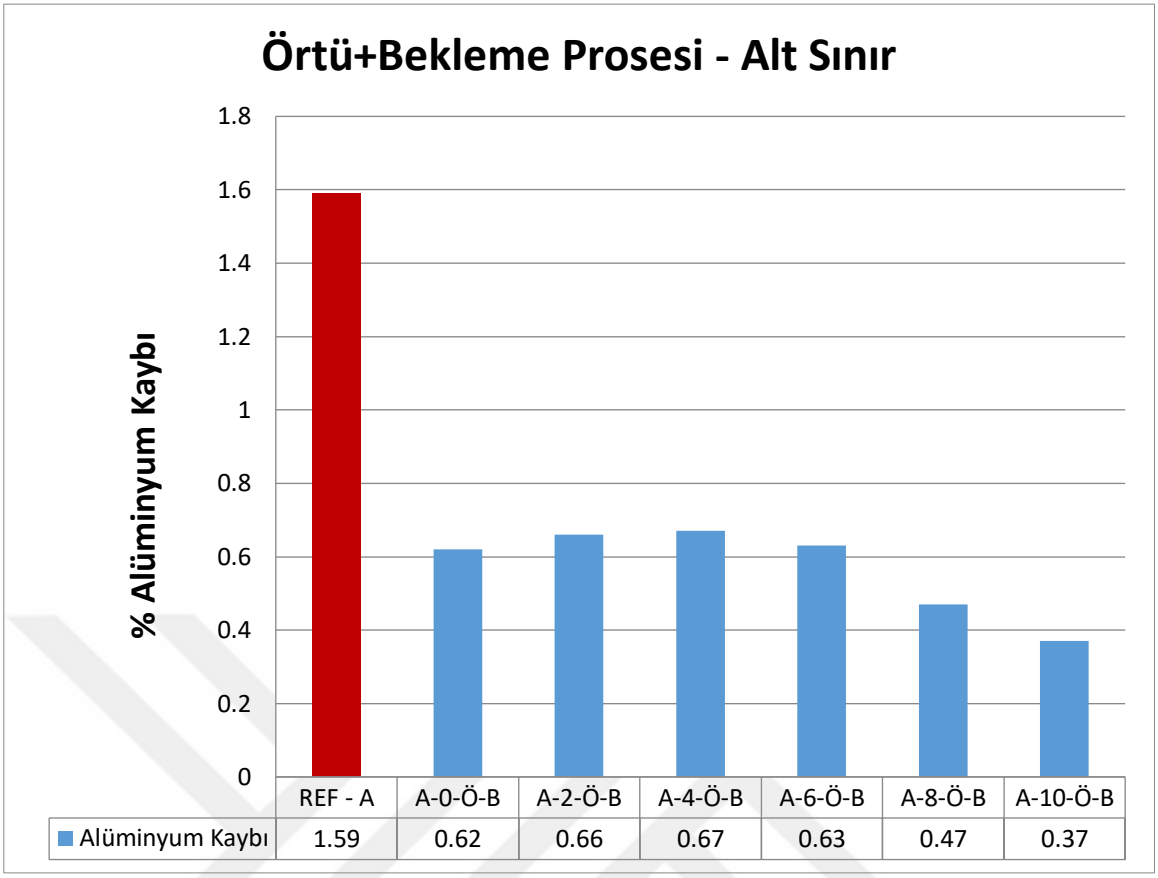


	A-0-Ö-R-B	A-2-Ö-R-B	A-4-Ö-R-B	A-6-Ö-R-B	A-8-Ö-R-B	A-10-Ö-R-B
Mg	0.073	0.123	0.170	0.221	0.349	0.410
Si	0.173	0.216	0.211	0.192	0.215	0.219
Fe	-0.018	-0.006	-0.056	-0.044	-0.069	-0.032
Cu	-0.007	-0.005	-0.009	-0.012	-0.014	-0.015
Mn	-0.001	-0.001	-0.001	-0.005	-0.002	-0.005

Şekil 6.6 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

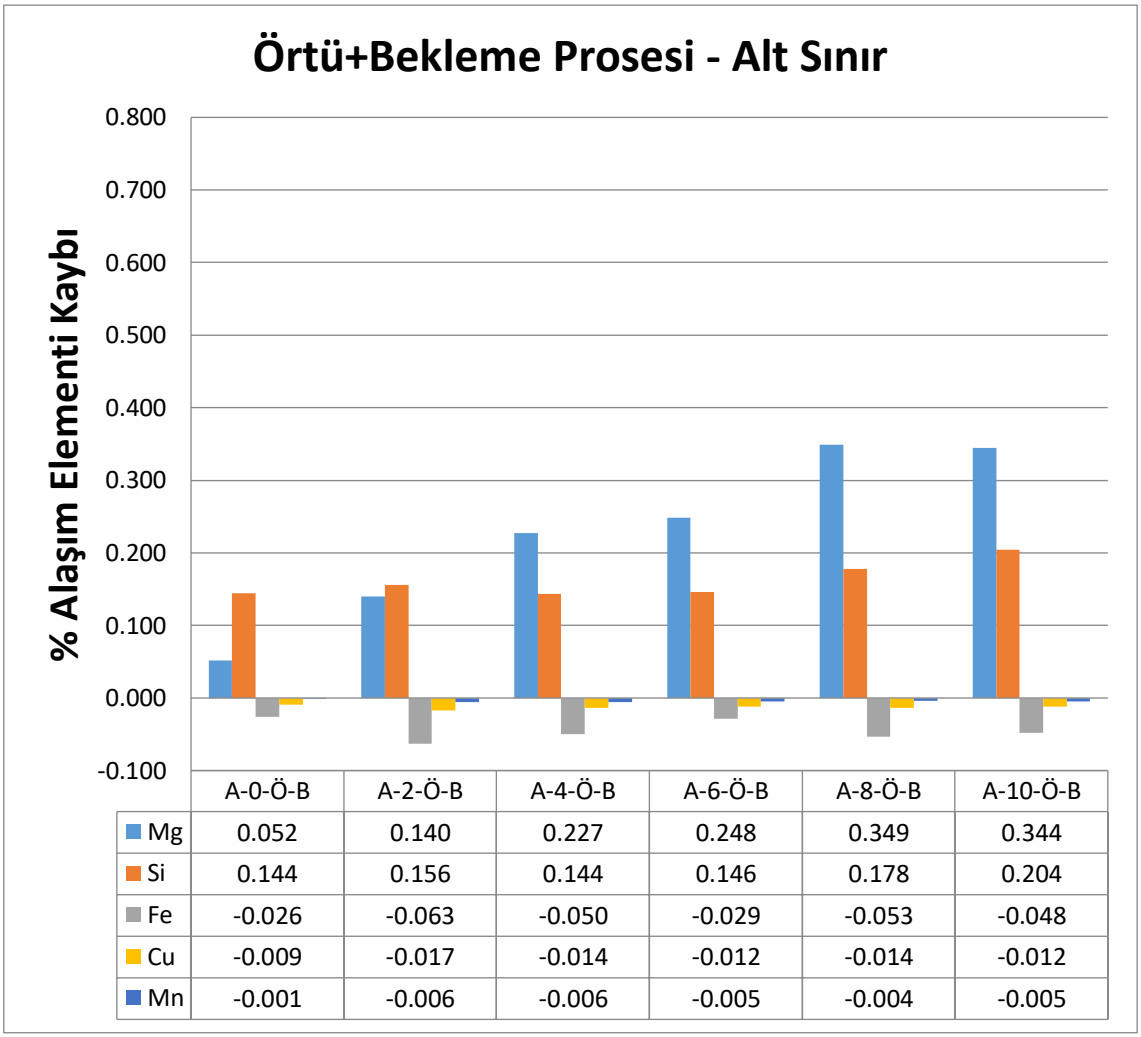
Şekil 6.6 incelendiğinde silisyum kaybı her numune için birbirine çok yakındır. Silisyum için gözle görülür bir etkiye rastlanmamıştır.

Magnezyum kaybının en düşük olduğu numune %0 kriyolit içeriği olan flaks kullanılarak döküm işlemi gerçekleştirilen A-0-Ö-R-B'dir. Kriyolit içeriğinin artmasıyla birlikte magnezyum kaybında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6.7 Örtü+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde uygulanan örtü flaksı ve bekleme prosesi uygulanmıştır. Kullanılan flaks bileşimi A-0-Ö-B %0, A-2-Ö-B %2, A-4-Ö-B %4, A-6-Ö-B %6, A-8-Ö-B %8 ve A-10-Ö-B %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.7 incelendiğinde kullanılan flakstaki kriyolit miktarının artmasıyla birlikte alüminyum kaybının azaldığı görülmektedir.



	A-0-Ö-B	A-2-Ö-B	A-4-Ö-B	A-6-Ö-B	A-8-Ö-B	A-10-Ö-B
Mg	0.052	0.140	0.227	0.248	0.349	0.344
Si	0.144	0.156	0.144	0.146	0.178	0.204
Fe	-0.026	-0.063	-0.050	-0.029	-0.053	-0.048
Cu	-0.009	-0.017	-0.014	-0.012	-0.014	-0.012
Mn	-0.001	-0.006	-0.006	-0.005	-0.004	-0.005

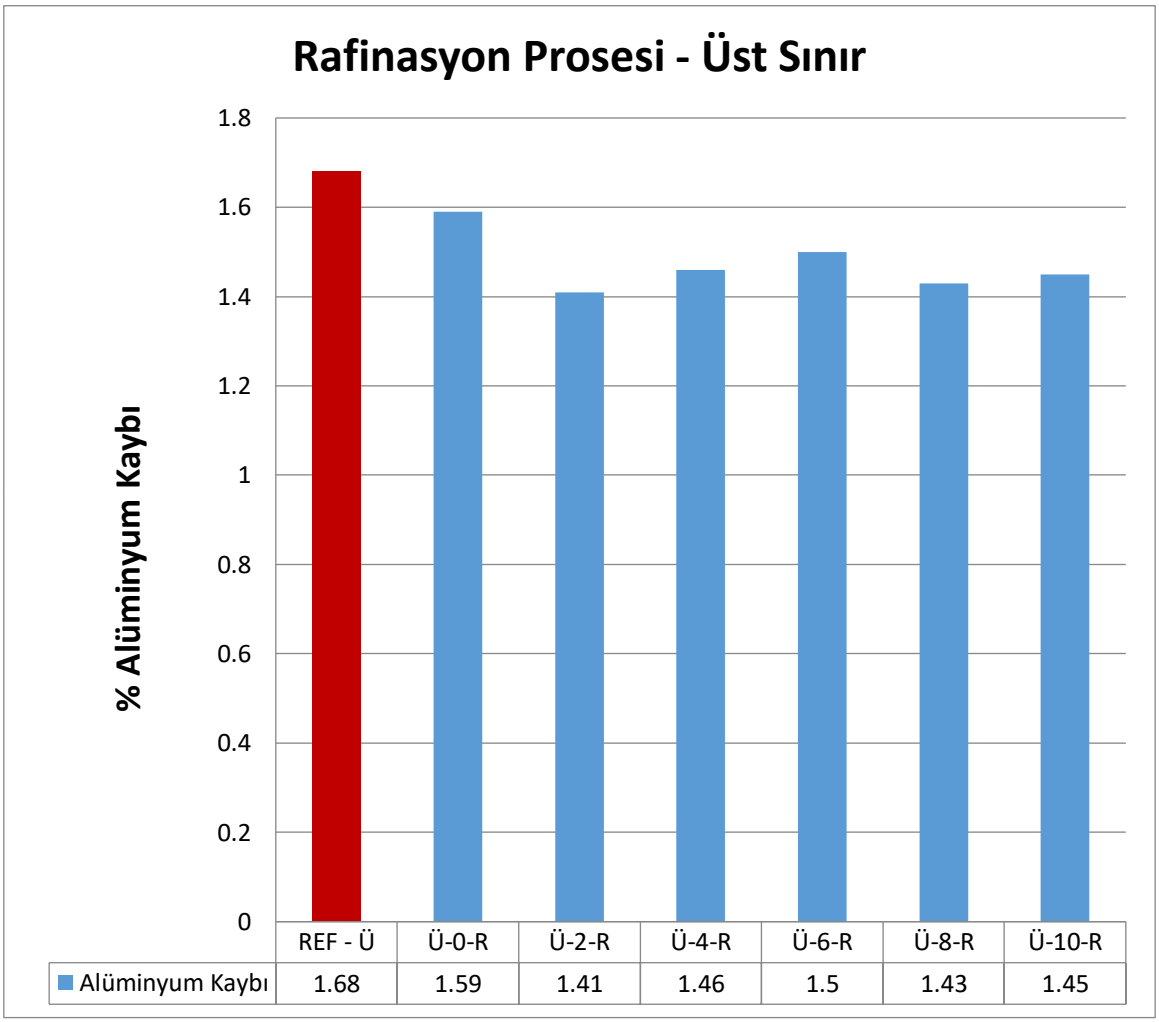
Şekil 6.8 Örtü+bekleme prosesi uygulanan alt sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

Şekil 6.8'de silisyum kayıpları birbirine yakındır. Magnezyum kayıplarına bakıldığında kriyolit miktarındaki artış ile birlikte magnezyum kaybı yükselmiştir.

6.1.1.2 Üst Sınır Numuneleri

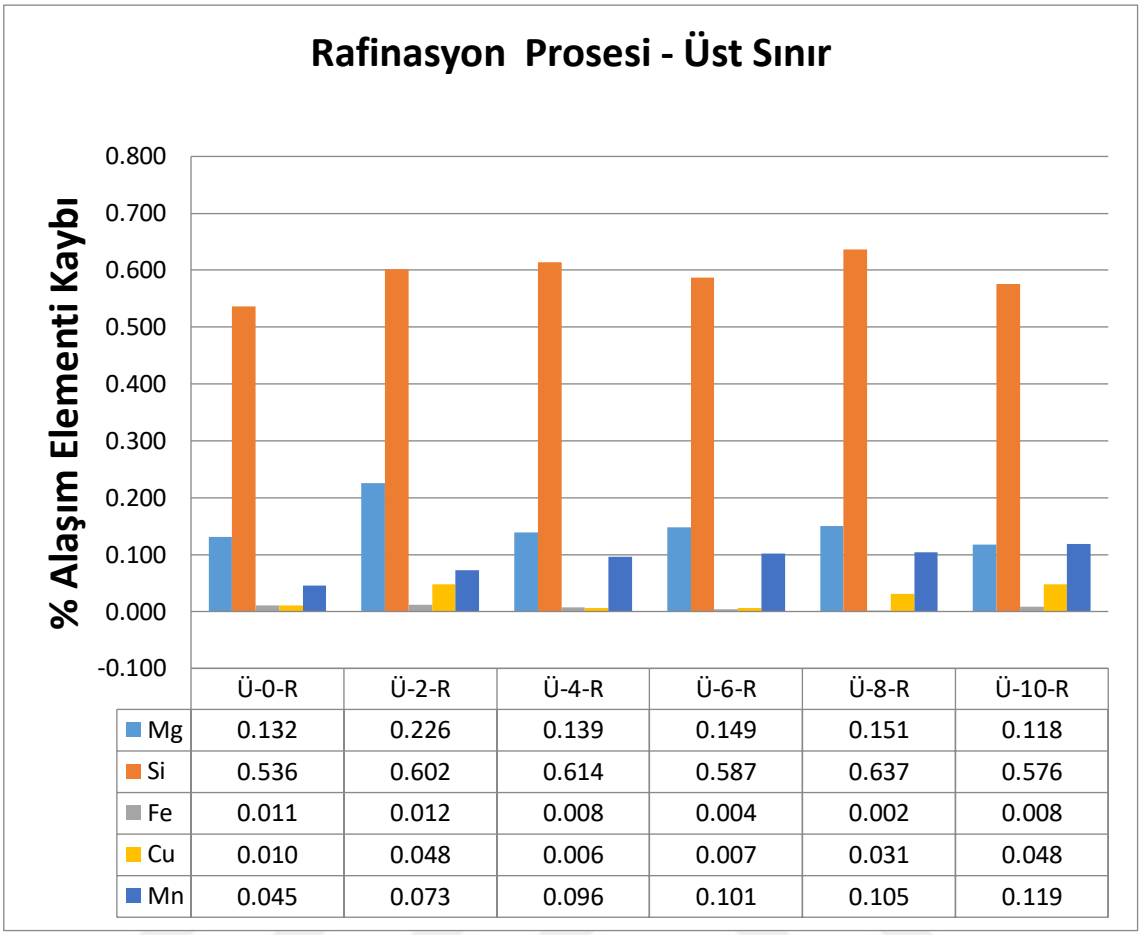
Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde Ü-0-R uygulanan rafinasyon flaksı bileşimi %0, Ü-2-R %2, Ü-4-R %4, Ü-6-R %6, Ü-8-R %8 ve Ü-10-R %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.9 incelendiğinde en yüksek kayıp %0

kriyolit içerikli flaks uygulaması yapılan Ü-0-R'de görülmüştür. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.9 Rafinasyon flaksı uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

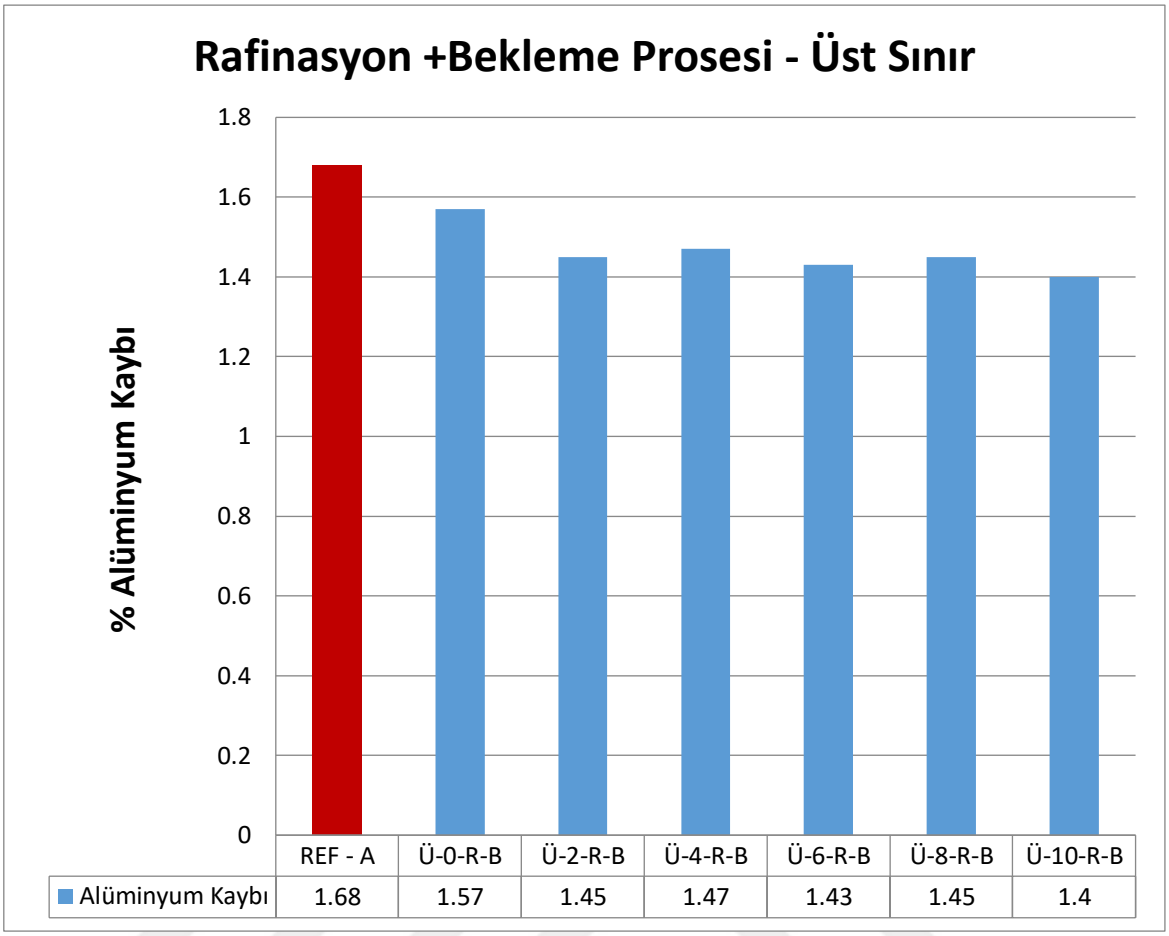
Şekil 6.10 incelendiğinde her numune için silisyum kaybının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu sebeple rafinasyon flaksı uygulaması için, silisyum kaybı açısından kriyolit miktarı ile herhangi bir bağlantı görülmemiştir. Magnezyum kaybı incelendiğinde kriyolit miktarına bağlı olarak büyük bir değişime rastlanmamıştır. Mangan kaybı incelendiğinde artan kriyolit miktarı ile bağlantılı bir yükselme gözlemlenmiştir. Demir ve bakır elementleri için kriyolit miktarı ile bağlantılı bir ilişki kurulamamıştır.



	Ü-0-R	Ü-2-R	Ü-4-R	Ü-6-R	Ü-8-R	Ü-10-R
Mg	0.132	0.226	0.139	0.149	0.151	0.118
Si	0.536	0.602	0.614	0.587	0.637	0.576
Fe	0.011	0.012	0.008	0.004	0.002	0.008
Cu	0.010	0.048	0.006	0.007	0.031	0.048
Mn	0.045	0.073	0.096	0.101	0.105	0.119

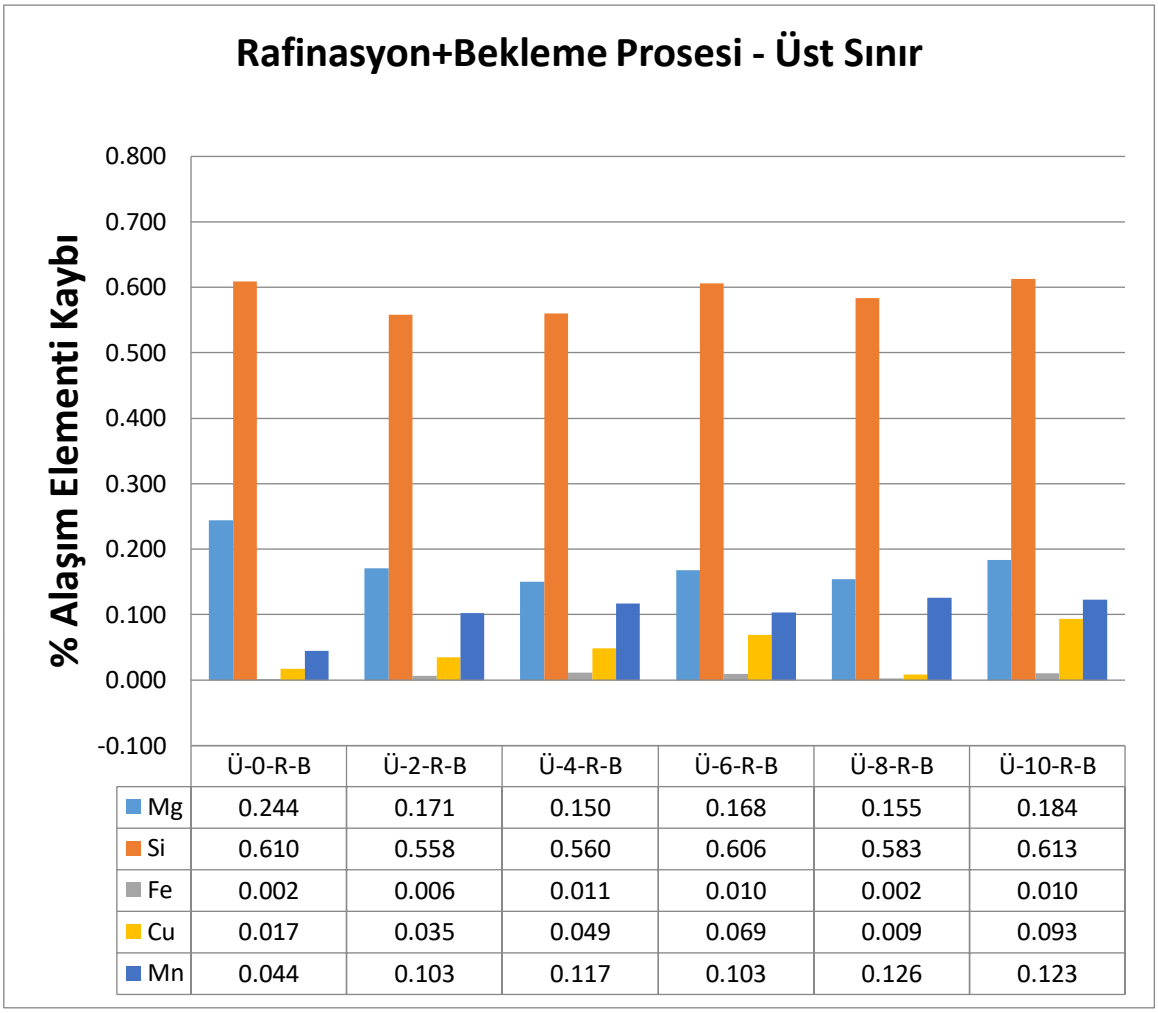
Şekil 6.10 Rafinasyon flaksı uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde rafinasyon ve bekleme prosesi uygulanmıştır. Ü-0-R uygulanan rafinasyon flaksı bileşimi %0, Ü-2-R %2, Ü-4-R %4, Ü-6-R %6, Ü-8-R %8 ve Ü-10-R %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.11 incelediğinde en yüksek alüminyum kaybının %0 kriyolit içeren flaks uygulamasının gerçekleştirildiği Ü-0-R'de olduğu görülmüştür. En düşük alüminyum kaybı %10 kriyolit içerikli flaks uygulamasının gerçekleştirildiği Ü-10-R'de olduğu görülmüştür. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.11 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Şekil 6.12 incelendiğinde Ü-10-R-B haricindeki tüm numunelerdeki silisyum kaybının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bütün numunelerdeki magnezyum, bakır ve mangan kayıpları birbirine olukça yakındır.

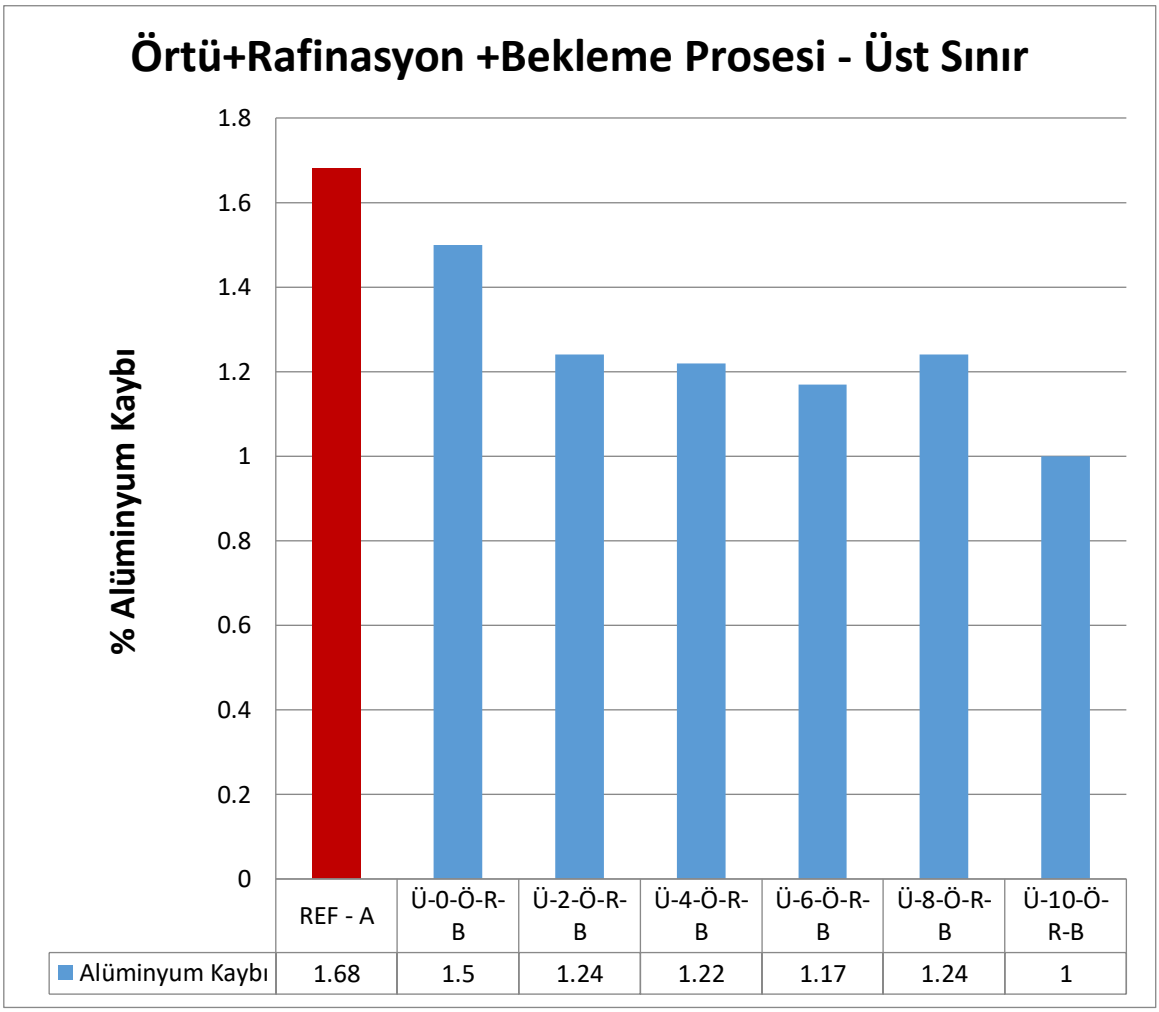


	Ü-0-R-B	Ü-2-R-B	Ü-4-R-B	Ü-6-R-B	Ü-8-R-B	Ü-10-R-B
Mg	0.244	0.171	0.150	0.168	0.155	0.184
Si	0.610	0.558	0.560	0.606	0.583	0.613
Fe	0.002	0.006	0.011	0.010	0.002	0.010
Cu	0.017	0.035	0.049	0.069	0.009	0.093
Mn	0.044	0.103	0.117	0.103	0.126	0.123

Şekil 6.12 Rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

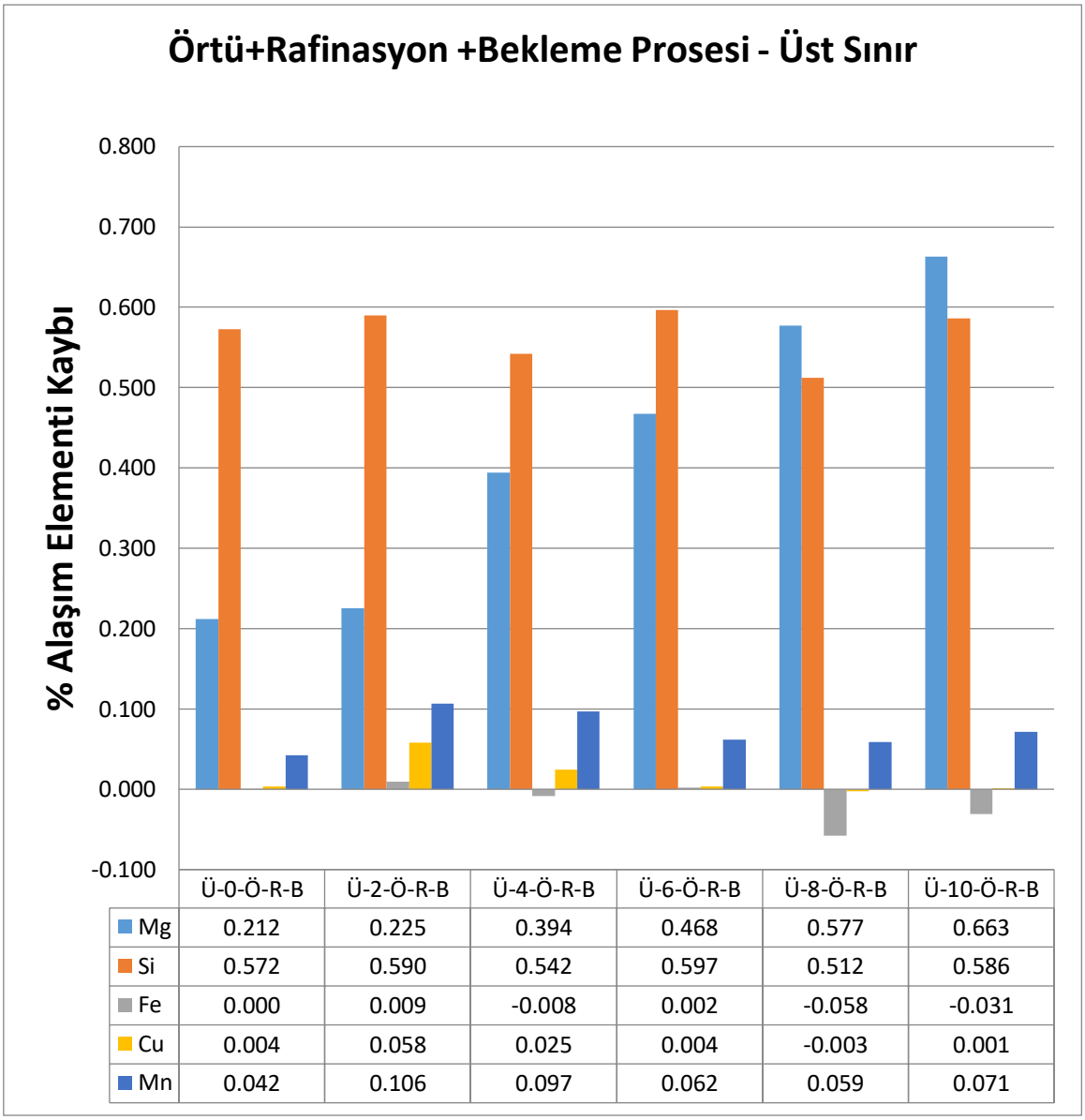
Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde uygulanan örtü flaksı, rafinasyon flaksı ve bekleme prosesi uygulanmıştır. Kullanılan flaks bileşimi Ü-0-Ö-R-B için %0, Ü-2-Ö-R-B %2, Ü-4-Ö-R-B %4, Ü-6-Ö-R-B %6, Ü-8-Ö-R-B %8 ve Ü-10-Ö-R-B %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.13 incelendiğinde en yüksek alüminyum kaybının %0 kriyolit içerikli flaksın uygulandığı Ü-0-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Alüminyum kaybının en düşük olduğu deney numunesi ise %10

kriyolit içerikli flaksın uygulandığı Ü-10-Ö-R-B'dir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.13 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Şekil 6.14 incelendiğinde bütün numunelerdeki silisyum kaybının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Magnezyum kaybının kriyolit içeriğinin yükselmesiyle birlikte arttığı net bir şekilde görülmektedir. Demir, mangan ve bakır elementleri kriyolit miktarı ile birlikte gözle görülür bir değişime uğramamıştır.

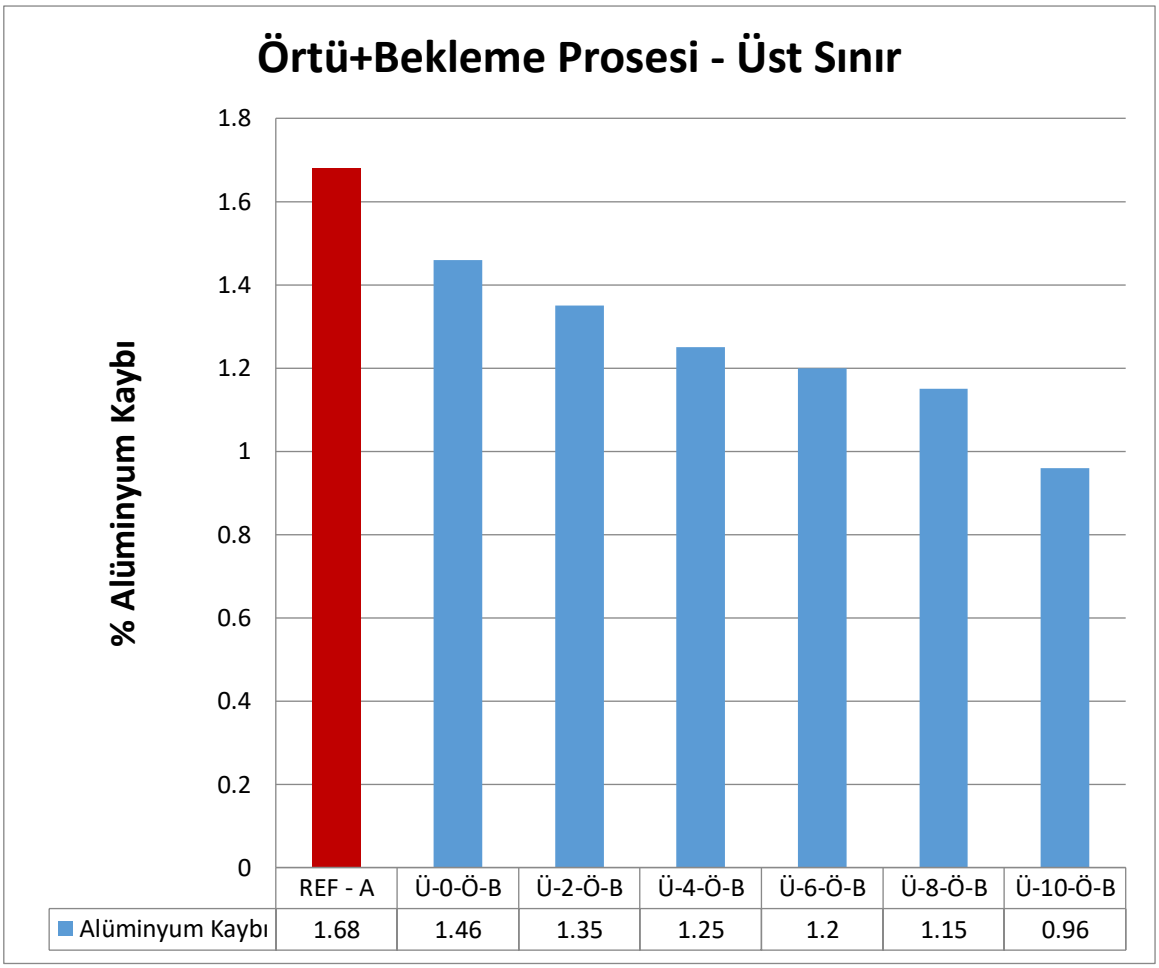


	Ü-0-Ö-R-B	Ü-2-Ö-R-B	Ü-4-Ö-R-B	Ü-6-Ö-R-B	Ü-8-Ö-R-B	Ü-10-Ö-R-B
Mg	0.212	0.225	0.394	0.468	0.577	0.663
Si	0.572	0.590	0.542	0.597	0.512	0.586
Fe	0.000	0.009	-0.008	0.002	-0.058	-0.031
Cu	0.004	0.058	0.025	0.004	-0.003	0.001
Mn	0.042	0.106	0.097	0.062	0.059	0.071

Şekil 6.14 Örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde uygulanan örtü flaksı ve bekleme prosesi uygulanmıştır. Kullanılan flaks bileşimi Ü-0-Ö-B %0, Ü-2-Ö-B %2, Ü-4-Ö-B %4, Ü-6-Ö-B %6, Ü-8-Ö-B %8 ve Ü-10-Ö-B %10 kriyolit içermektedir. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. En yüksek kayıp %0 kriyolit içerikli flaksın uygulandığı Ü-0-Ö-B'de

görülmektedir. En düşük kayıp ise en yüksek kriyolit içekli flaksın uygulandığı Ü-10-Ö-B'de görülmektedir. Flaks kullanımının alminyum kaybını azalttığı yorumu yapılabilir.

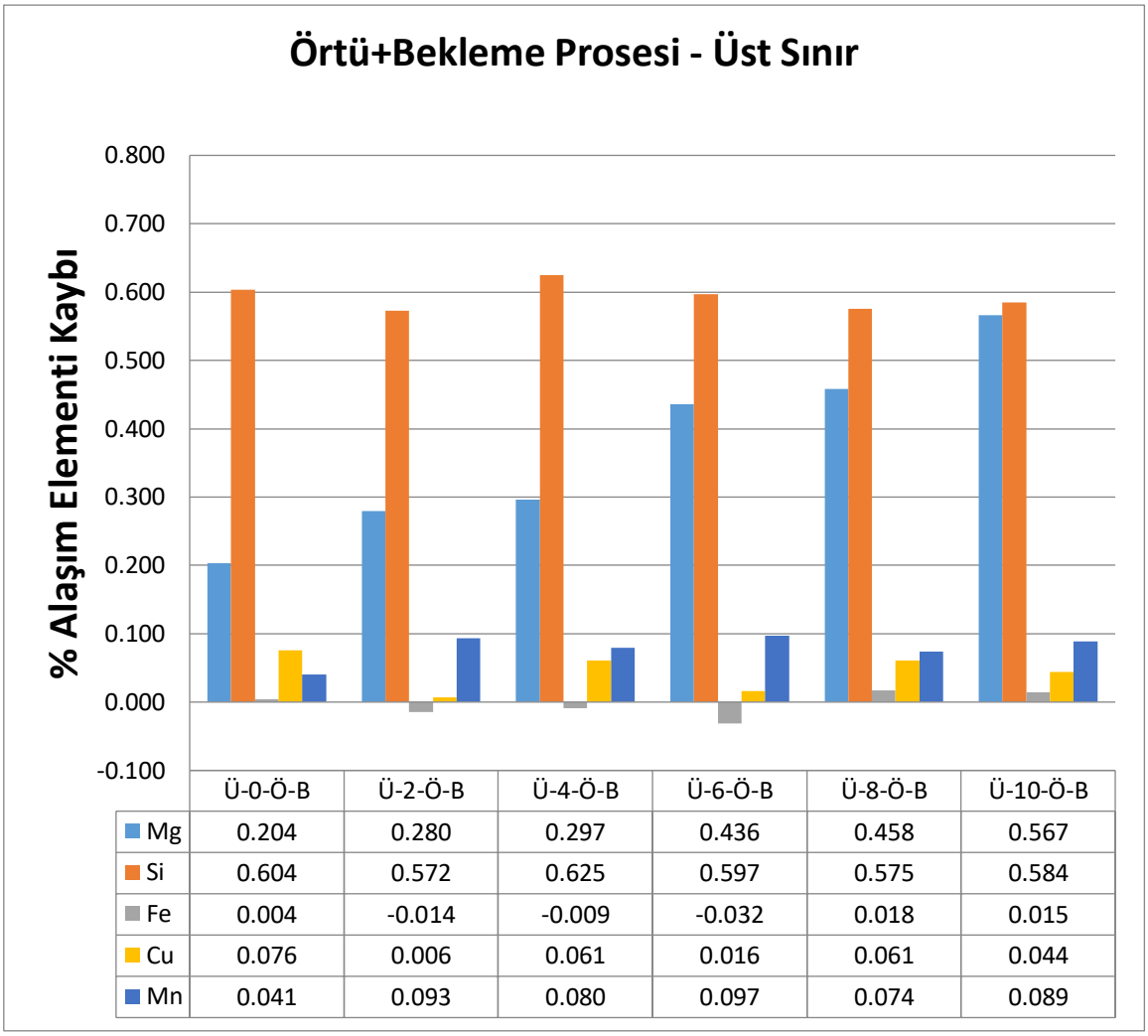


Şekil 6.15 Örtü+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kaybı

Şekil 6.16 incelendiğinde silisyum kayıplarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Magnezyum kaybı kriyolit içeriğinin artmasıyla birlikte artmıştır.

Demir, mangan ve bakır için kriyolit içeriği ile paralel bir değişim görülmemiştir.



	Ü-0-Ö-B	Ü-2-Ö-B	Ü-4-Ö-B	Ü-6-Ö-B	Ü-8-Ö-B	Ü-10-Ö-B
Mg	0.204	0.280	0.297	0.436	0.458	0.567
Si	0.604	0.572	0.625	0.597	0.575	0.584
Fe	0.004	-0.014	-0.009	-0.032	0.018	0.015
Cu	0.076	0.006	0.061	0.016	0.061	0.044
Mn	0.041	0.093	0.080	0.097	0.074	0.089

Şekil 6.16 Örtü+bekleme prosesi uygulanan üst sınır numunelerinde görülen alaşım elementi kaybı

6.1.2 Uygulama Yöntemlerinin Metal Bileşimine Etkisi

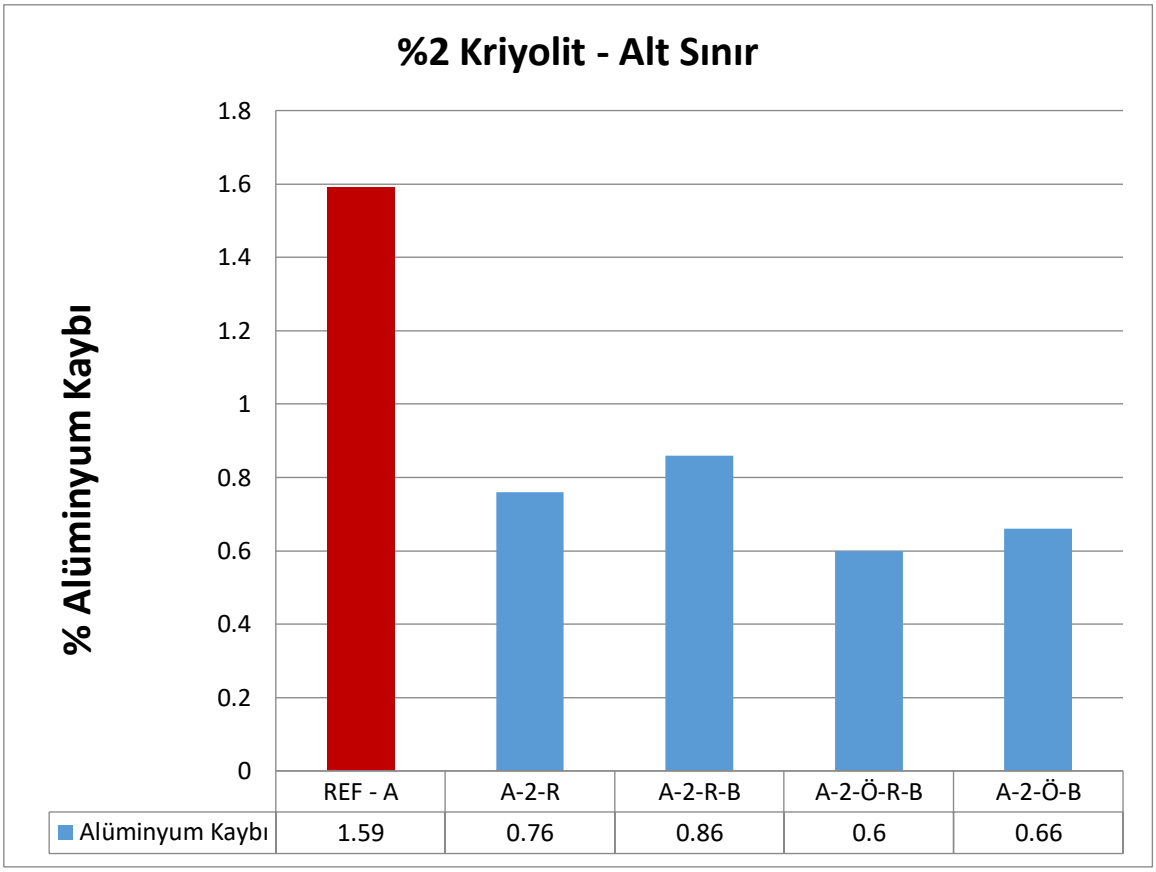
Bu bölümde aynı flaks oranları için, iki farklı alaşım kombinasyonuna göre uygulama yöntemleri karşılaştırılacaktır.

6.1.2.1 Alt Sınır Numuneleri

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %2 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-2-R rafinasyon prosesine, A-2-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-2-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-2-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur.

Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - A referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

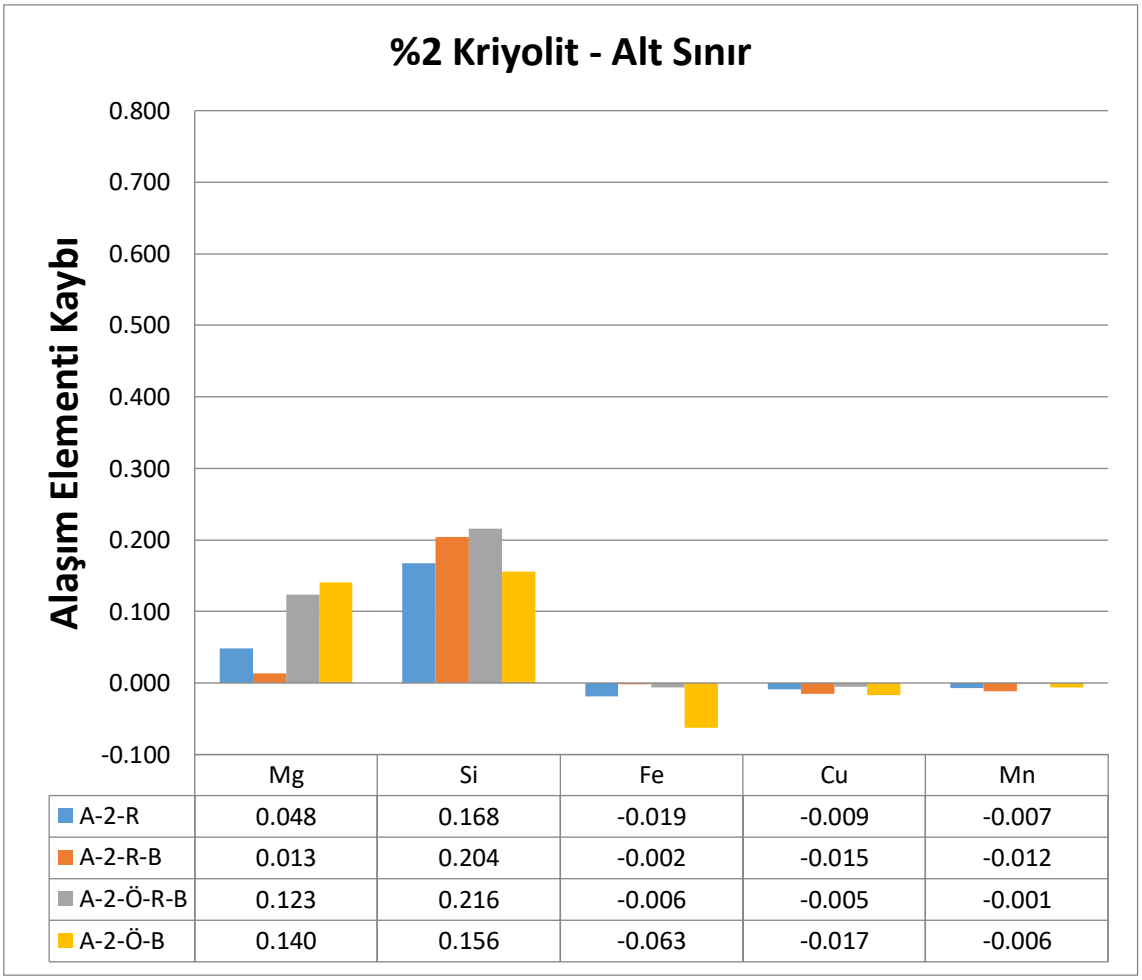
Şekil 6.17 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-2-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numunesi A-2-Ö-R-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.17 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.18 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en düşük kaybın rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-2-R-B 'de olduğu görülmektedir. A-2-Ö-R-B ve A-2-Ö-B için yapılan uygulamalarda

örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. A-2-Ö-B için sisteme demir beslendiği yorumu yapılabilir. Diğer bütün numuneler için demir, mangan ve bakır kayıpları birbirine çok yakındır. Aynı oran için uygulama yöntemiyle alakalı gözle görülür bir değişim gözlemlenmemiştir.



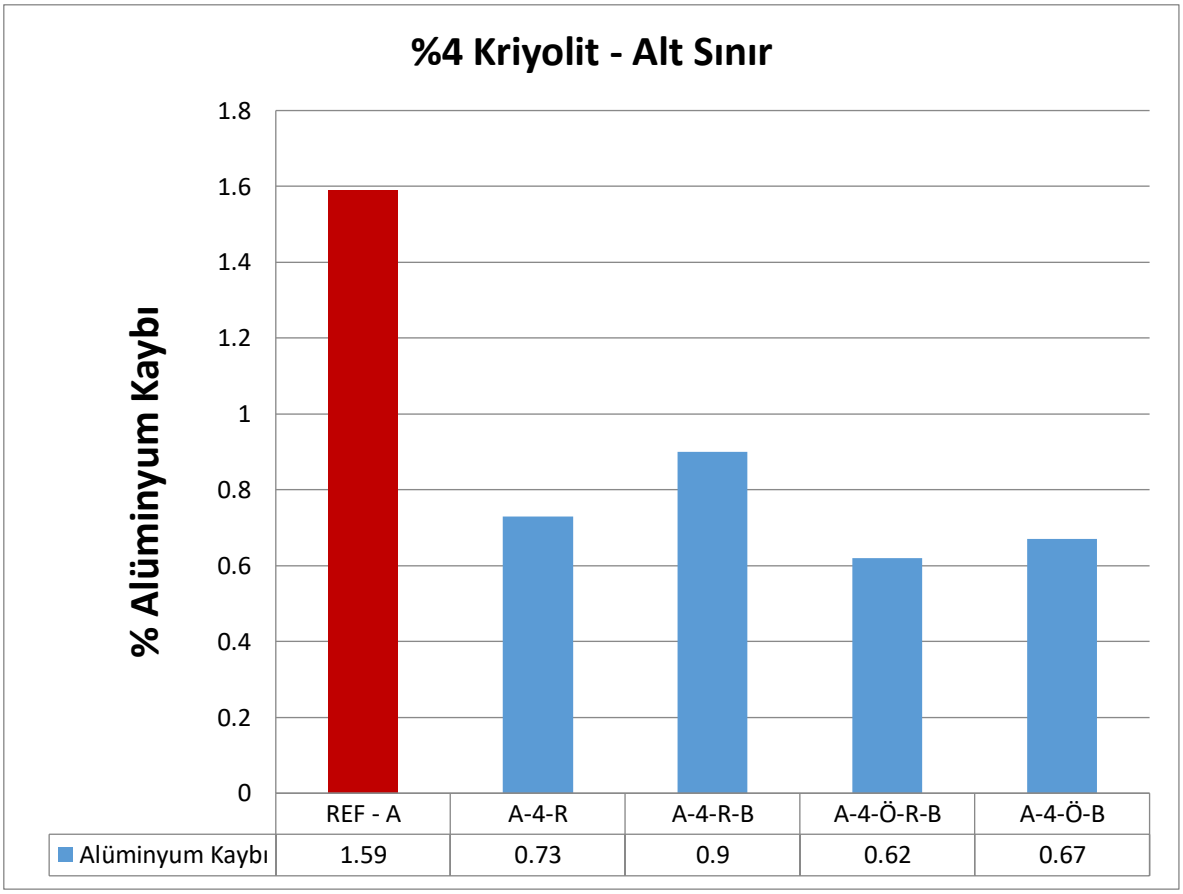
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
A-2-R	0.048	0.168	-0.019	-0.009	-0.007
A-2-R-B	0.013	0.204	-0.002	-0.015	-0.012
A-2-Ö-R-B	0.123	0.216	-0.006	-0.005	-0.001
A-2-Ö-B	0.140	0.156	-0.063	-0.017	-0.006

Şekil 6.18 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %4 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-4-R rafinasyon prosesine, A-4-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-4-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-4-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur.

Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - A referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

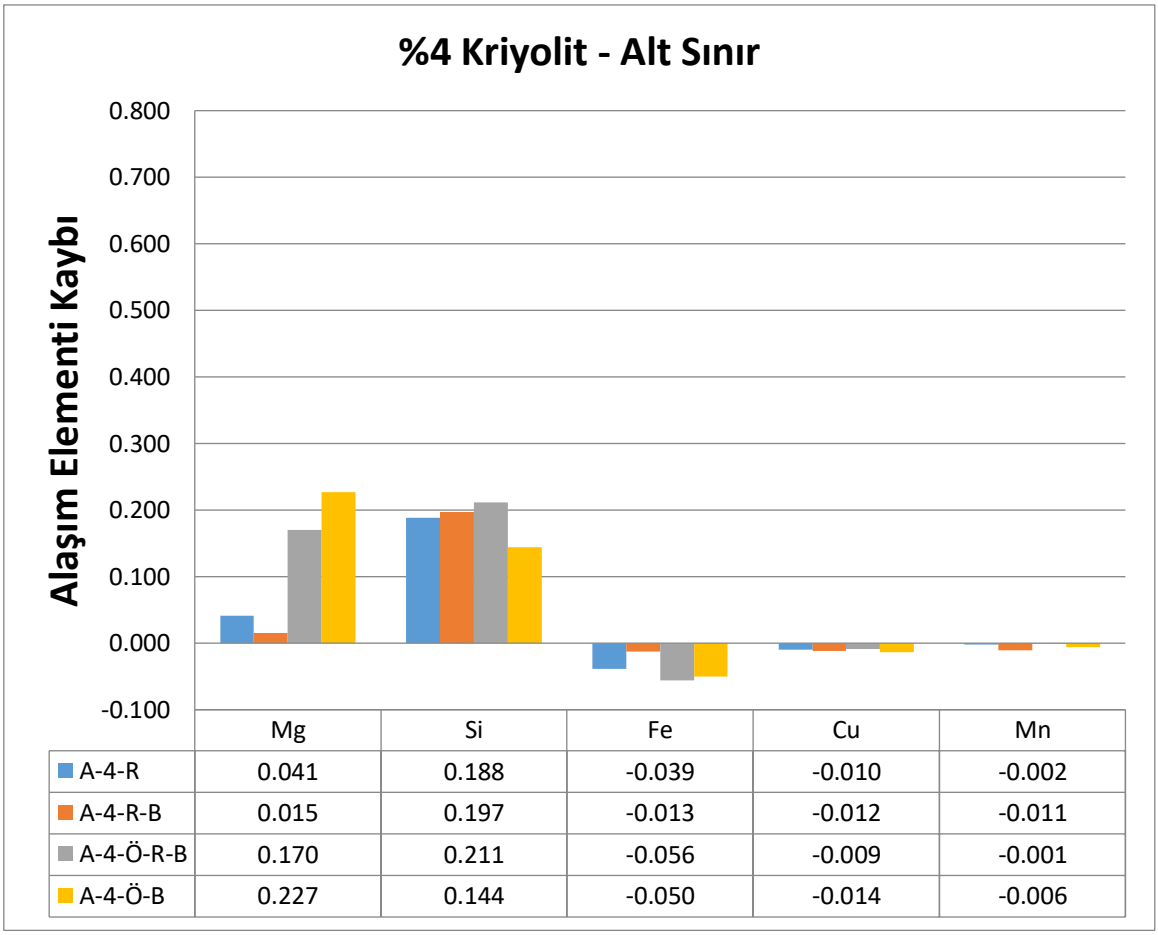
Şekil 6.19 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-4-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numunesi A-4-Ö-R-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.19 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.20 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. A-4-Ö-B'de sisteme silisyum beslemesi gerçekleştiği söylenebilir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek

kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-4-Ö-R-B olduğu görülmektedir. A-4-Ö-B için sisteme magnezyum beslemesi yapıldığı söylenebilir. A-4-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı ve rafinasyon flaksı birlikte kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Numuneler için sisteme demir,mangan ve bakır beslendiği yorumu yapılabilir.



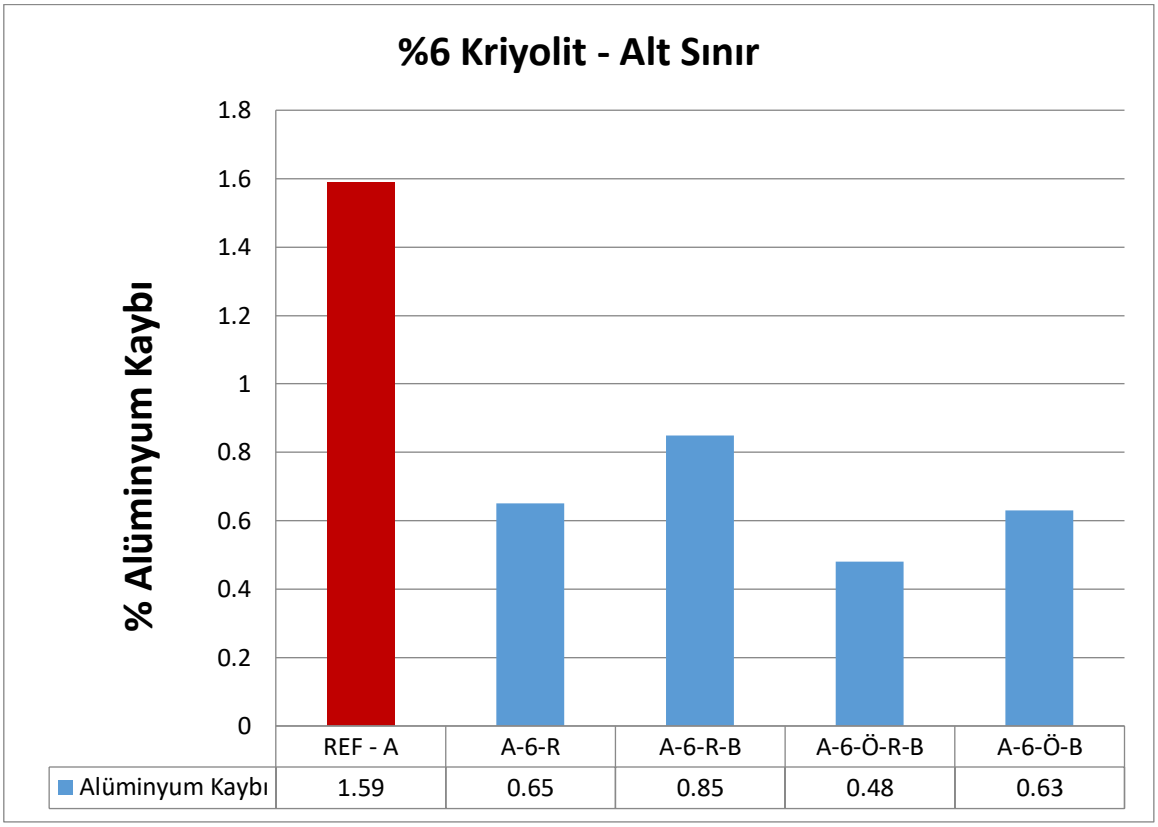
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
A-4-R	0.041	0.188	-0.039	-0.010	-0.002
A-4-R-B	0.015	0.197	-0.013	-0.012	-0.011
A-4-Ö-R-B	0.170	0.211	-0.056	-0.009	-0.001
A-4-Ö-B	0.227	0.144	-0.050	-0.014	-0.006

Şekil 6.20 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %6 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-6-R rafinasyon prosesine, A-6-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-6-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-6-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise

herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - A referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

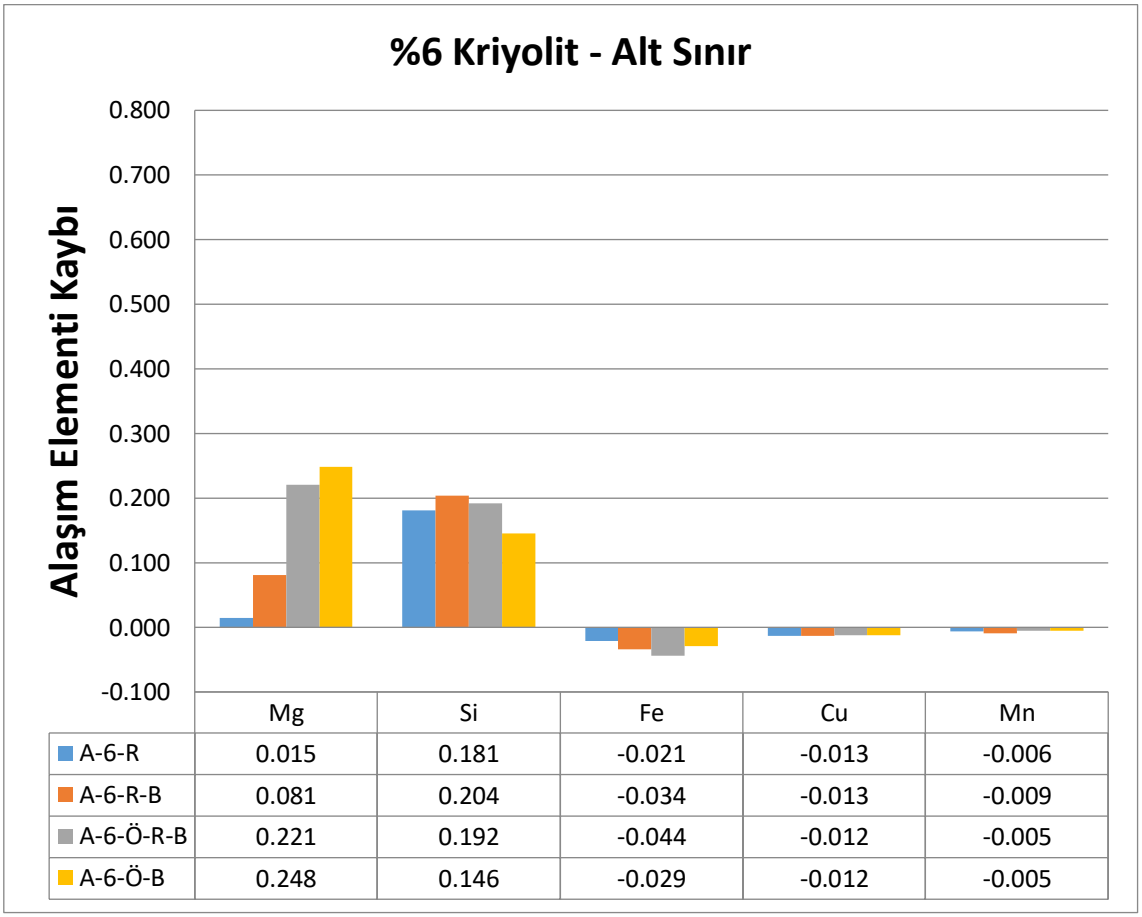
Şekil 6.21 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-6-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numunesi A-6-Ö-R-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.21 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.22 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. A-6-Ö-B'deki silisyum kaybı görece olarak daha düşüktür. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-6-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı A-6-Ö-B'de olduğu görülmektedir. A-6-Ö-R-B ve A-6-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı

artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. A-6-Ö-B için sisteme demir beslendiği yorumu yapılabilir. Diğer bütün numuneler için demir, bakır ve mangan kayıpları birbirine çok yakındır. Bu sebeple %6 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



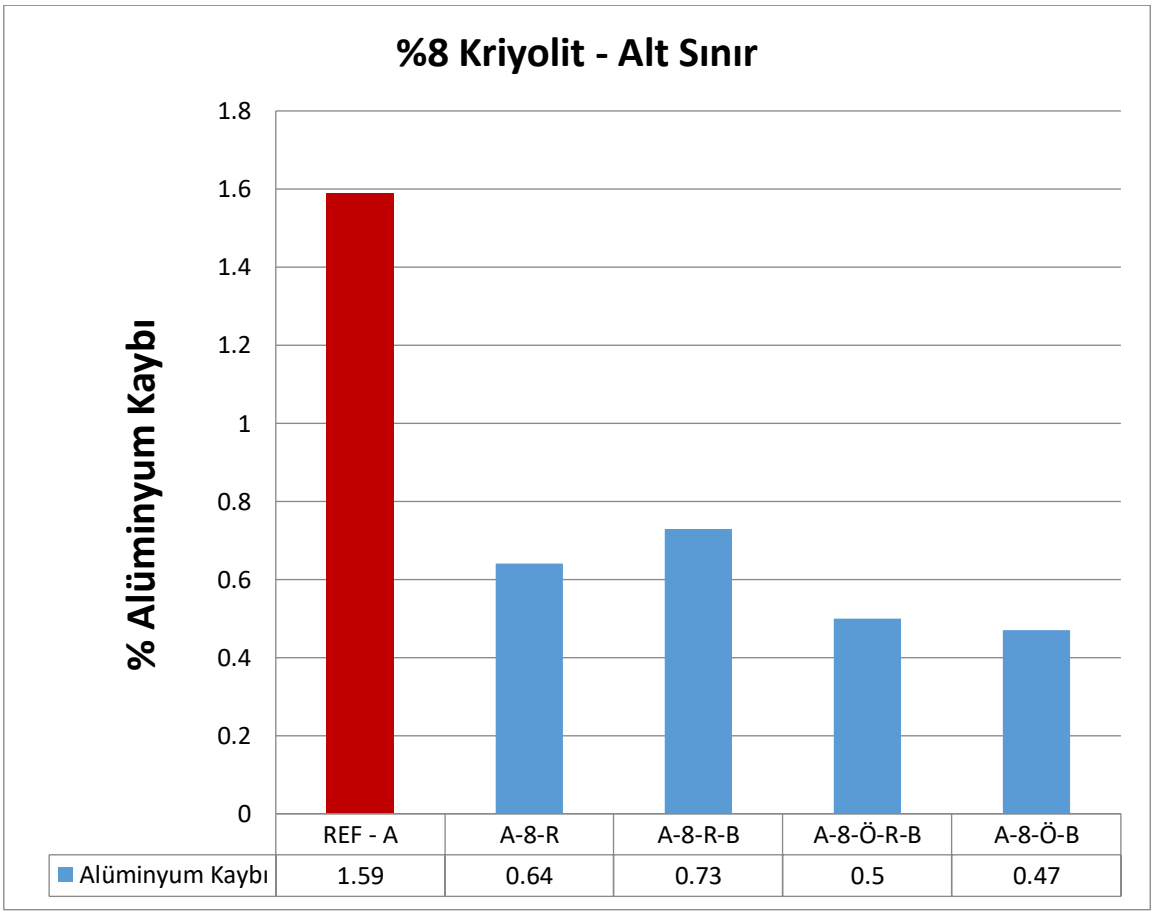
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
A-6-R	0.015	0.181	-0.021	-0.013	-0.006
A-6-R-B	0.081	0.204	-0.034	-0.013	-0.009
A-6-Ö-R-B	0.221	0.192	-0.044	-0.012	-0.005
A-6-Ö-B	0.248	0.146	-0.029	-0.012	-0.005

Şekil 6.22 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %8 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-8-R rafinasyon prosesine, A-8-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-8-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-8-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise

herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - A referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

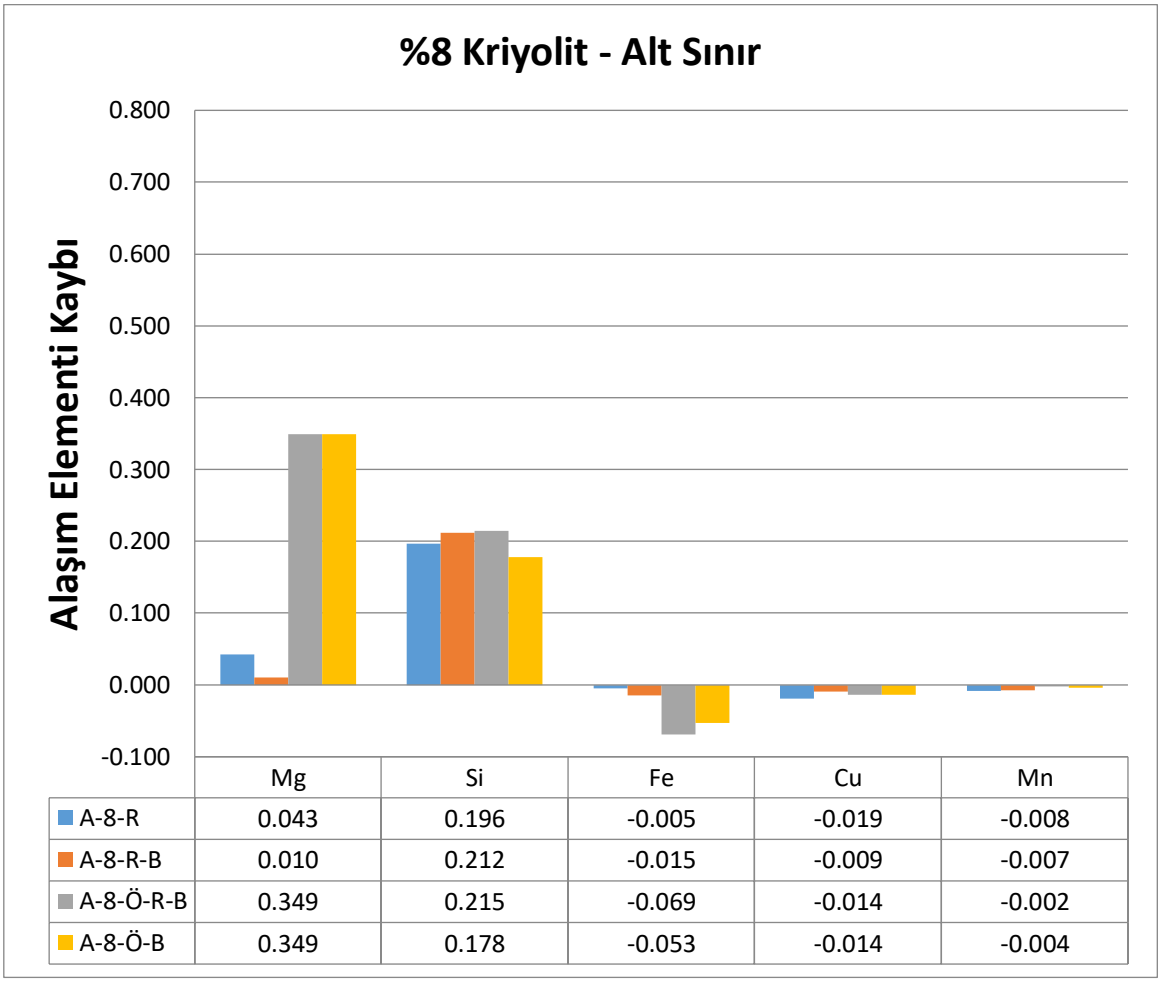
Şekil 6.23 incelendiğinde en düşük alüminyum kayıplardın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-8-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı A-8-Ö-B'de olduğu görülmektedir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artışın ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.23 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.24 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. A-8-Ö-B'daki silisyum kaybı görece olarak daha düşüktür. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-8-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı A-8-Ö-B'de olduğu görülmektedir. A-8-Ö-R-B ve A-8-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı

artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. A-8-Ö-B ve A-8-Ö-B için sisteme demir beslendiği yorumu yapılabilir. Diğer bütün numuneler için demir, bakır ve mangan kayıpları birbirine çok yakındır. Bu sebeple %8 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



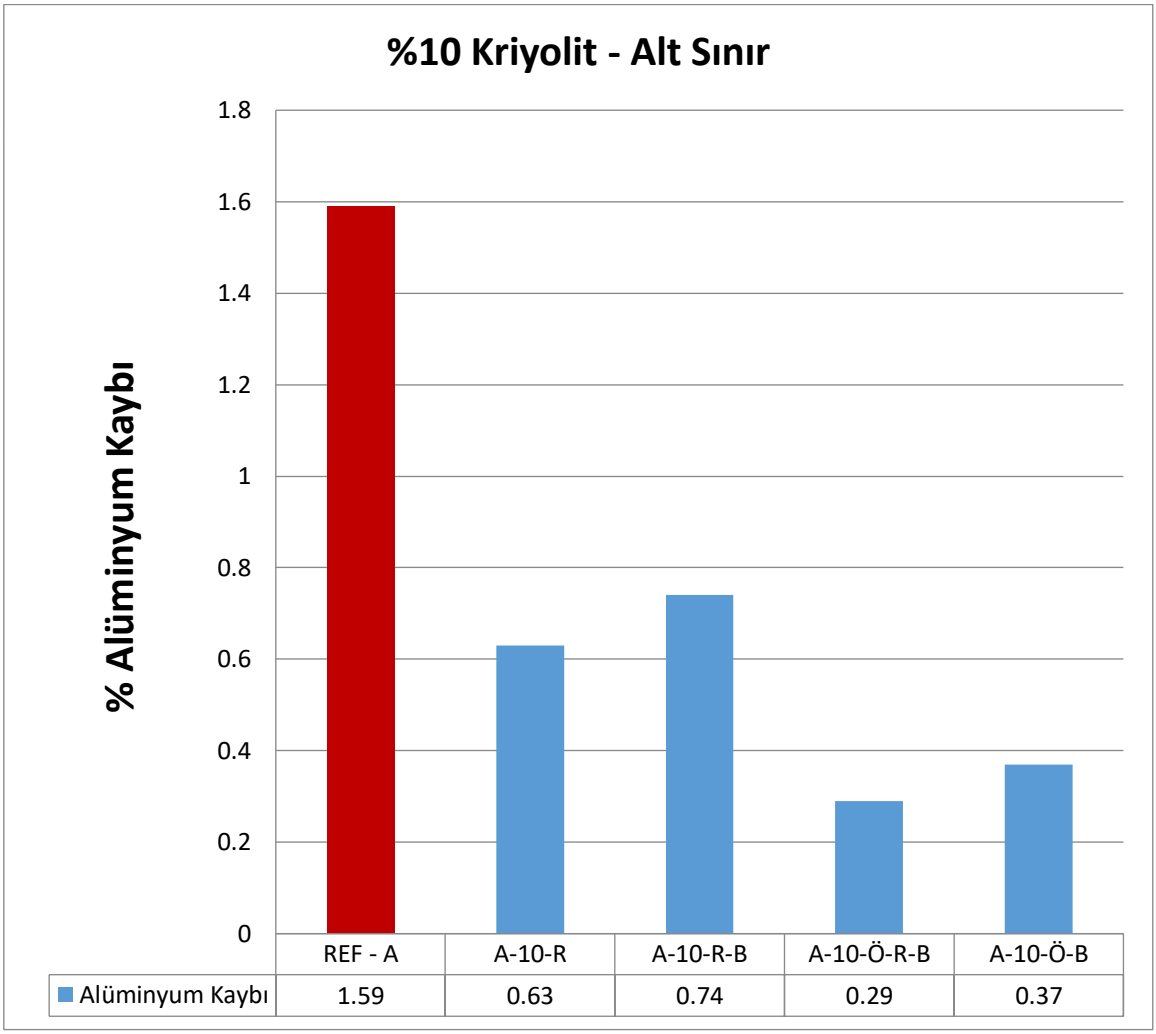
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
A-8-R	0.043	0.196	-0.005	-0.019	-0.008
A-8-R-B	0.010	0.212	-0.015	-0.009	-0.007
A-8-Ö-R-B	0.349	0.215	-0.069	-0.014	-0.002
A-8-Ö-B	0.349	0.178	-0.053	-0.014	-0.004

Şekil 6.24 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Alt sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %10 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-10-R rafinasyon prosesine, A-10-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-10-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-10-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını,

kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - A referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

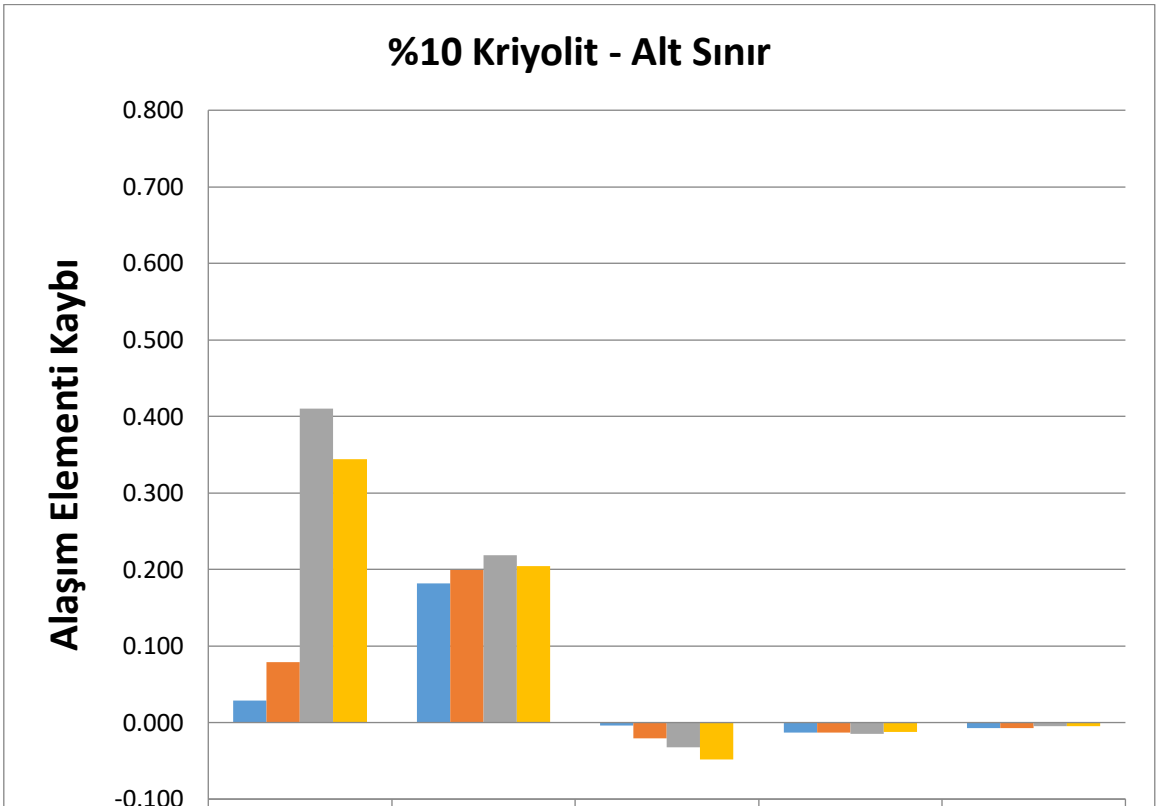
Şekil 6.25 incelendiğinde en düşük alüminyum kayıplarının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-10-Ö-R-B'de ve görülmektedir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6.25 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.26 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı

A-10-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı A-10-Ö-B'de olduğu görülmektedir. A-10-Ö-R-B ve A-10-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Numuneler için sisteme demir beslendiği yorumu yapılabilir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %10 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
A-10-R	0.029	0.181	-0.004	-0.013	-0.007
A-10-R-B	0.079	0.200	-0.021	-0.013	-0.007
A-10-Ö-R-B	0.410	0.219	-0.032	-0.015	-0.005
A-10-Ö-B	0.344	0.204	-0.048	-0.012	-0.005

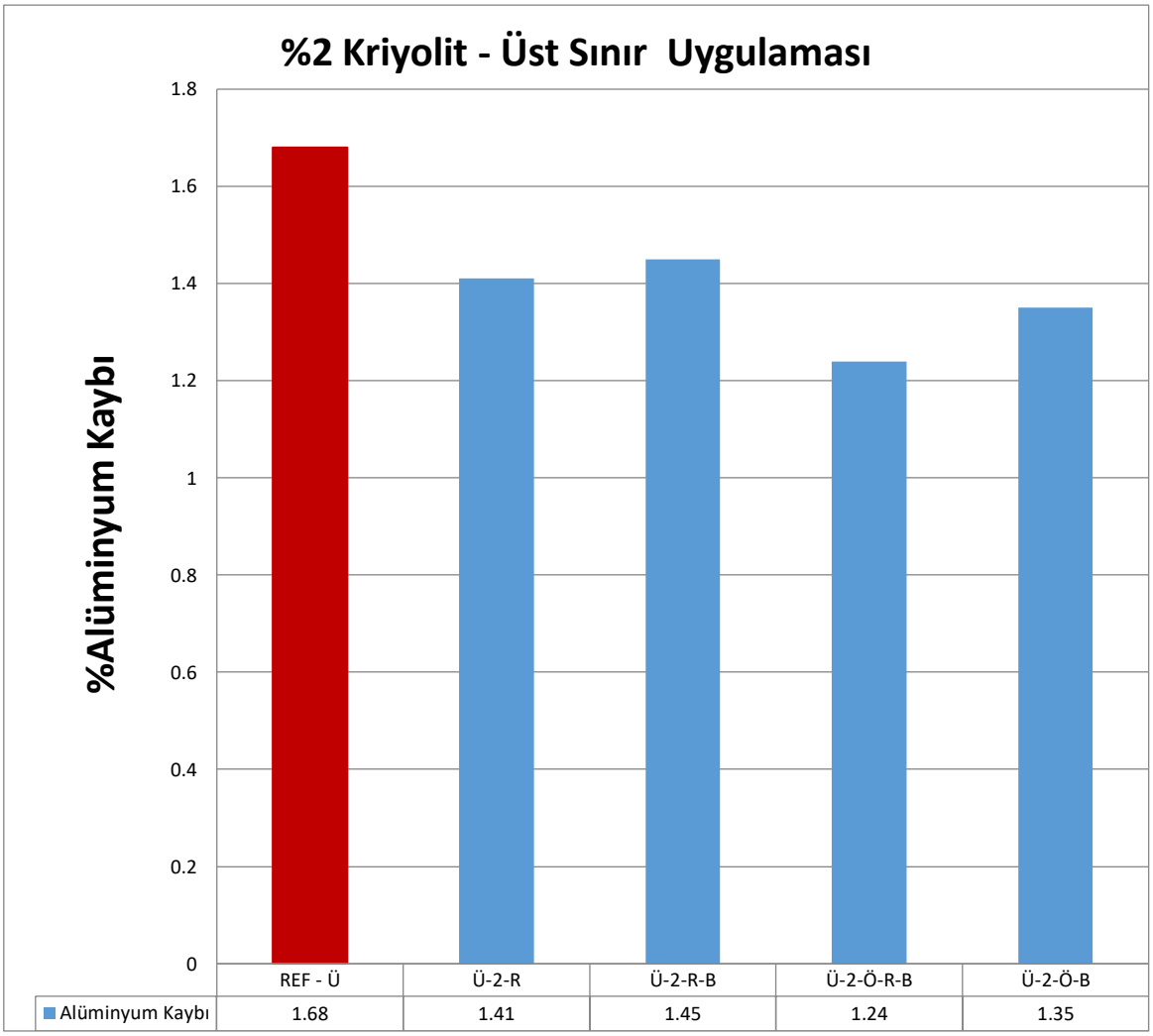
Şekil 6.26 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile alt sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

6.1.2.2 Üst Sınır Numuneleri

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %2 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve

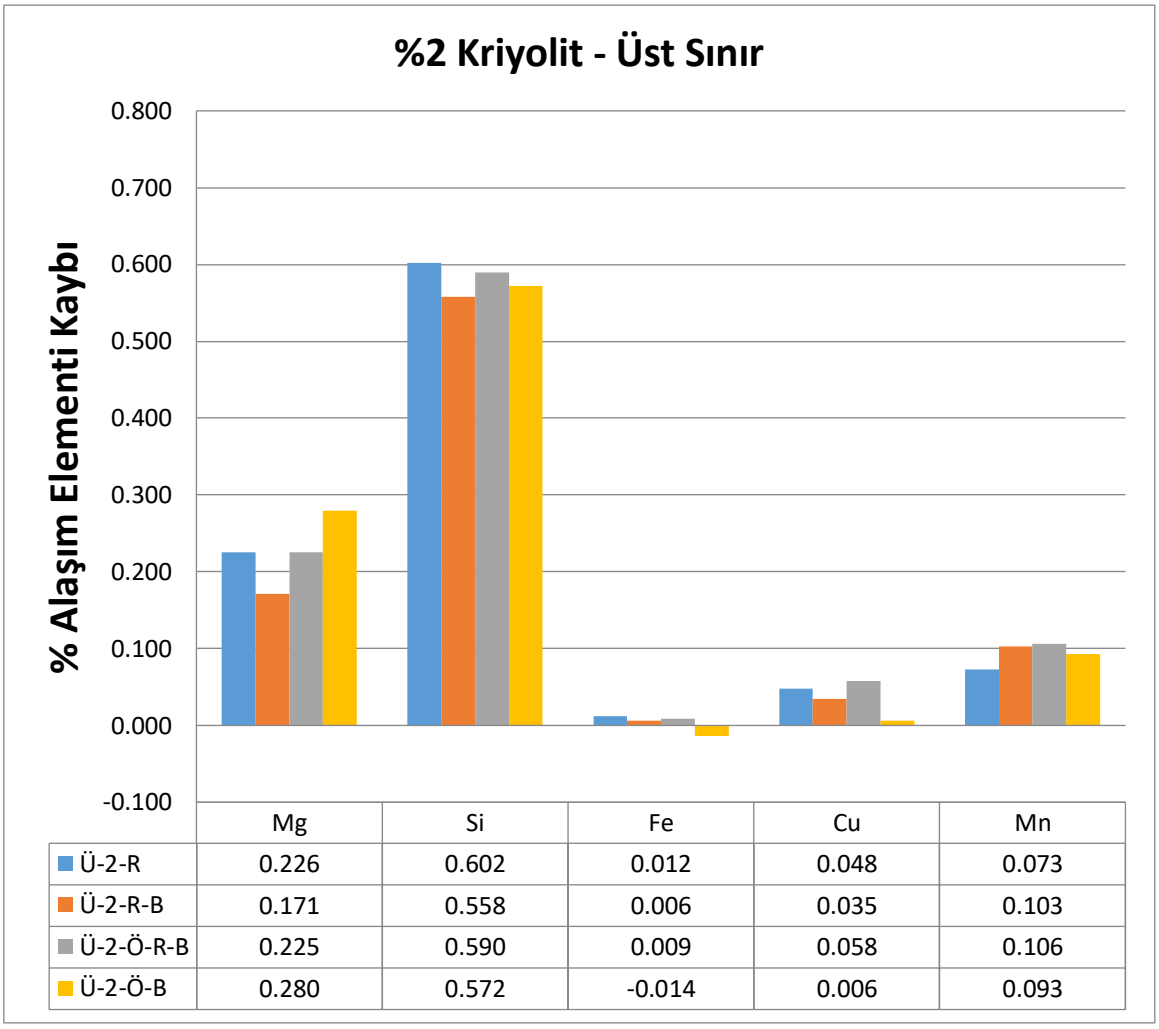
örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. Ü-2-R rafinasyon prosesine, Ü-2-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-2-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-2-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - Ü referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

Şekil 6.27 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-2-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numunesi Ü-2-Ö-R-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.27 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.28 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kayıplar alt sınır numunelerine göre daha yüksektir. Bu duruma sistemdeki silisyum miktarının çok daha yüksek olmasının sebep olduğu öngörülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde bütün numunelerdeki kayıpların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %2 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



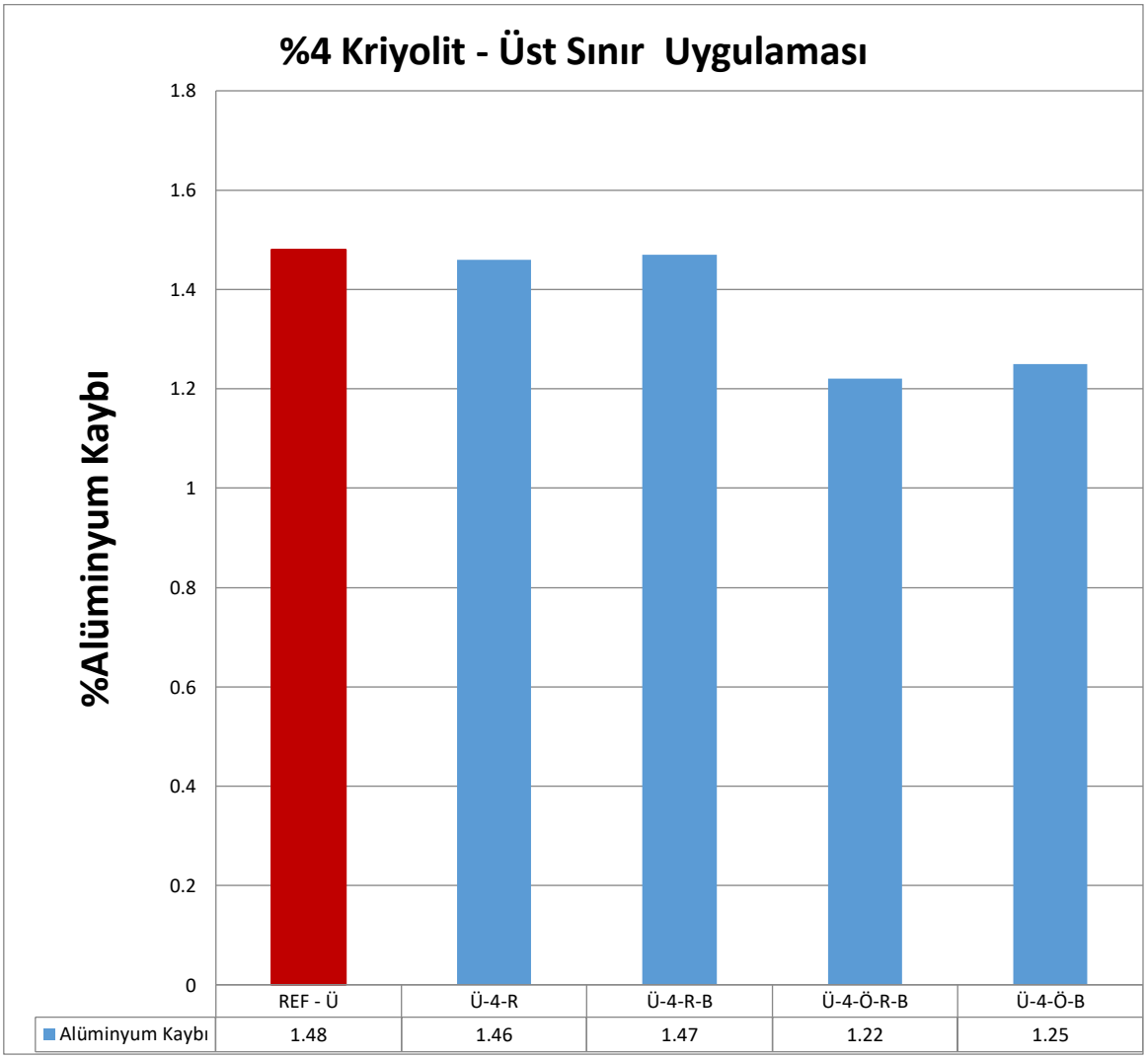
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
Ü-2-R	0.226	0.602	0.012	0.048	0.073
Ü-2-R-B	0.171	0.558	0.006	0.035	0.103
Ü-2-Ö-R-B	0.225	0.590	0.009	0.058	0.106
Ü-2-Ö-B	0.280	0.572	-0.014	0.006	0.093

Şekil 6.28 %2 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %4 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. A-4-R rafinasyon prosesine, A-4-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, A-4-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, A-4-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - Ü referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

Şekil 6.29 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı A-4-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan

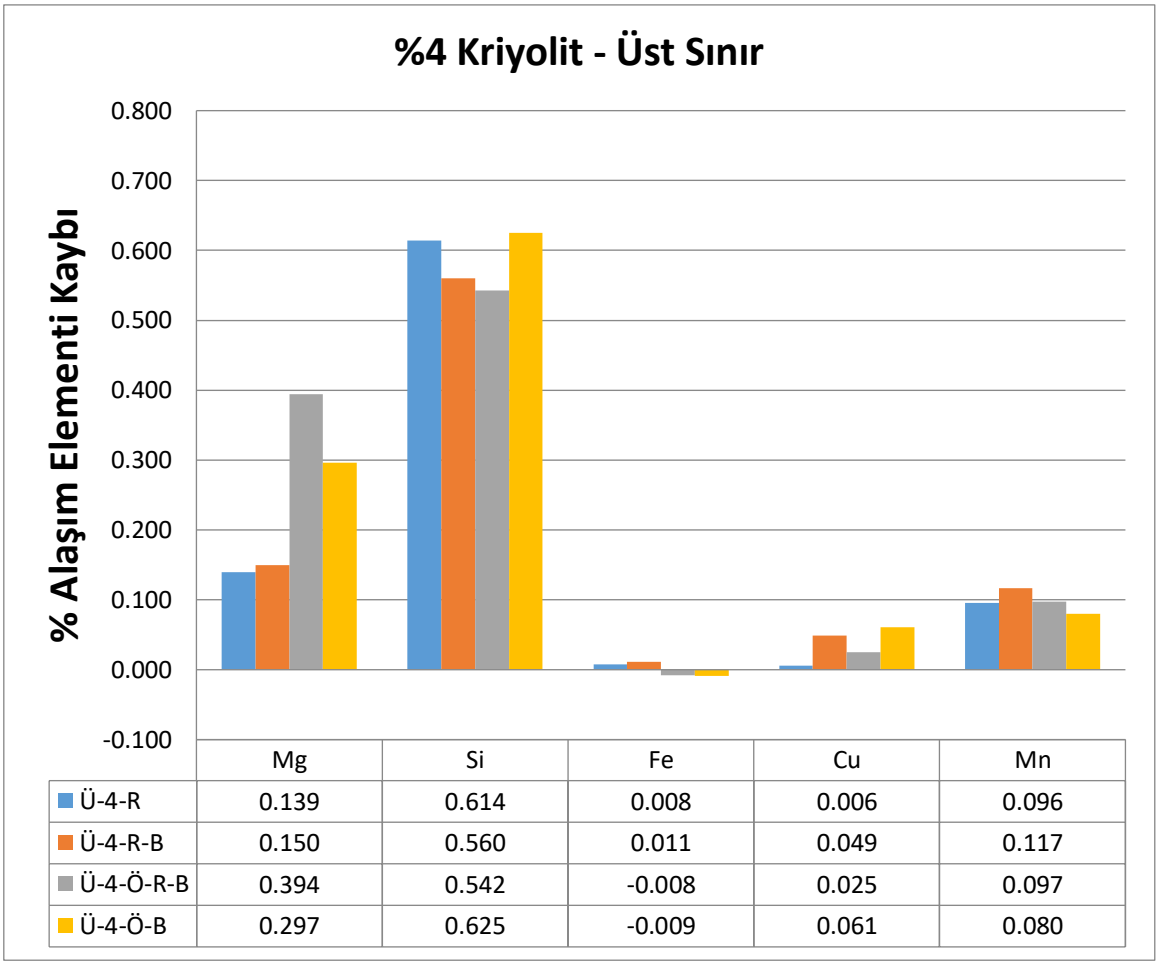
kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numunesi A-4-Ö-R-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış, dipten yapılan rafinasyon işlemi ile birlikte kriyolitin temas yüzeyinin artması ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.29 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.30 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kayıplar alt sınır numunelerine göre daha yüksektir. Bu duruma sistemdeki silisyum miktarının çok daha yüksek olmasının sebep olduğu öngörülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-4-Ö-R-B'de ve

örtü+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-4-Ö-B'de olduğu görülmektedir. Ü-4-Ö-R-B ve Ü-4-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %4 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



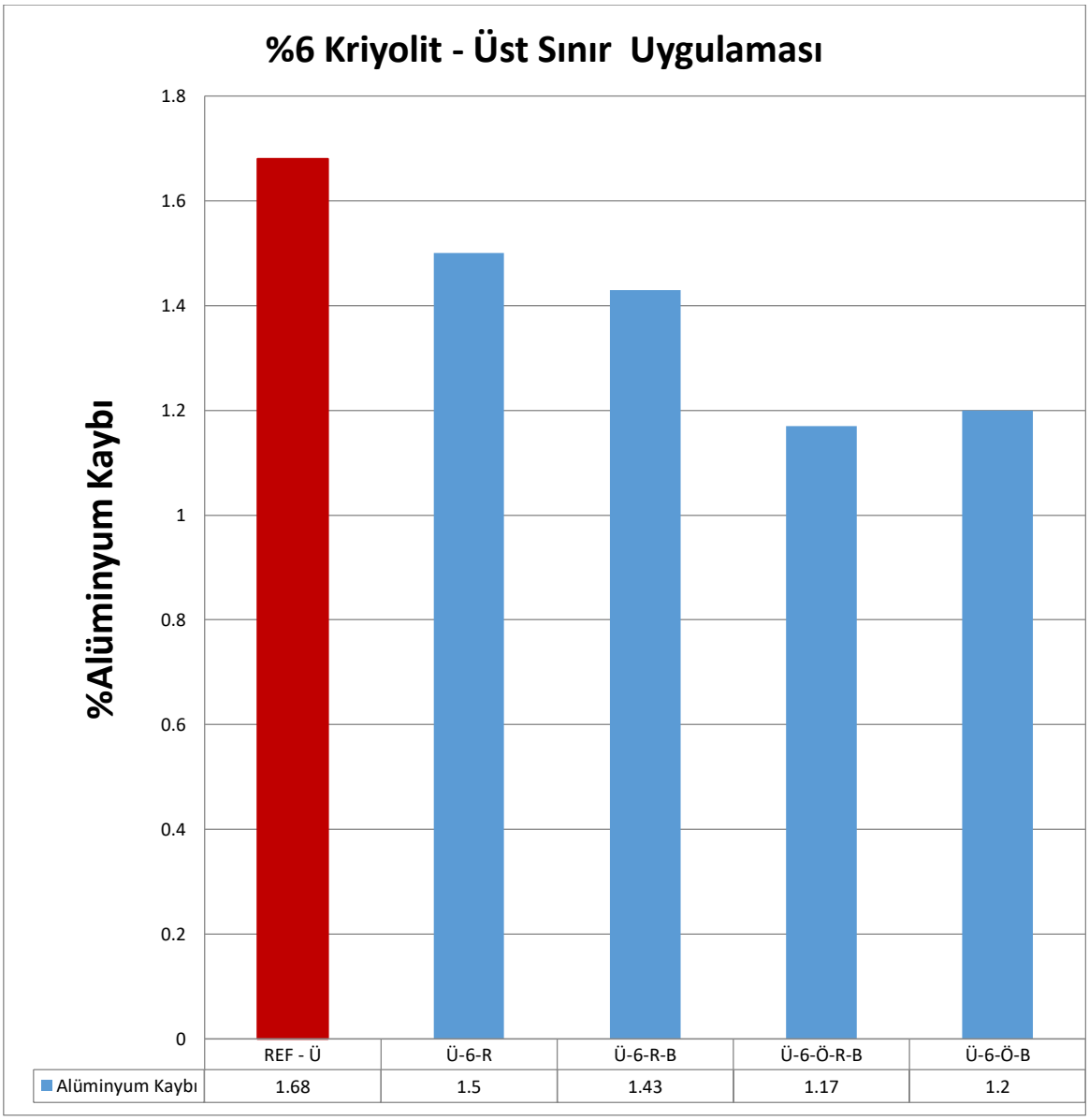
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
Ü-4-R	0.139	0.614	0.008	0.006	0.096
Ü-4-R-B	0.150	0.560	0.011	0.049	0.117
Ü-4-Ö-R-B	0.394	0.542	-0.008	0.025	0.097
Ü-4-Ö-B	0.297	0.625	-0.009	0.061	0.080

Şekil 6.30 %4 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %6 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. Ü-6-R rafinasyon prosesine, Ü-6-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-6-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-6-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur.

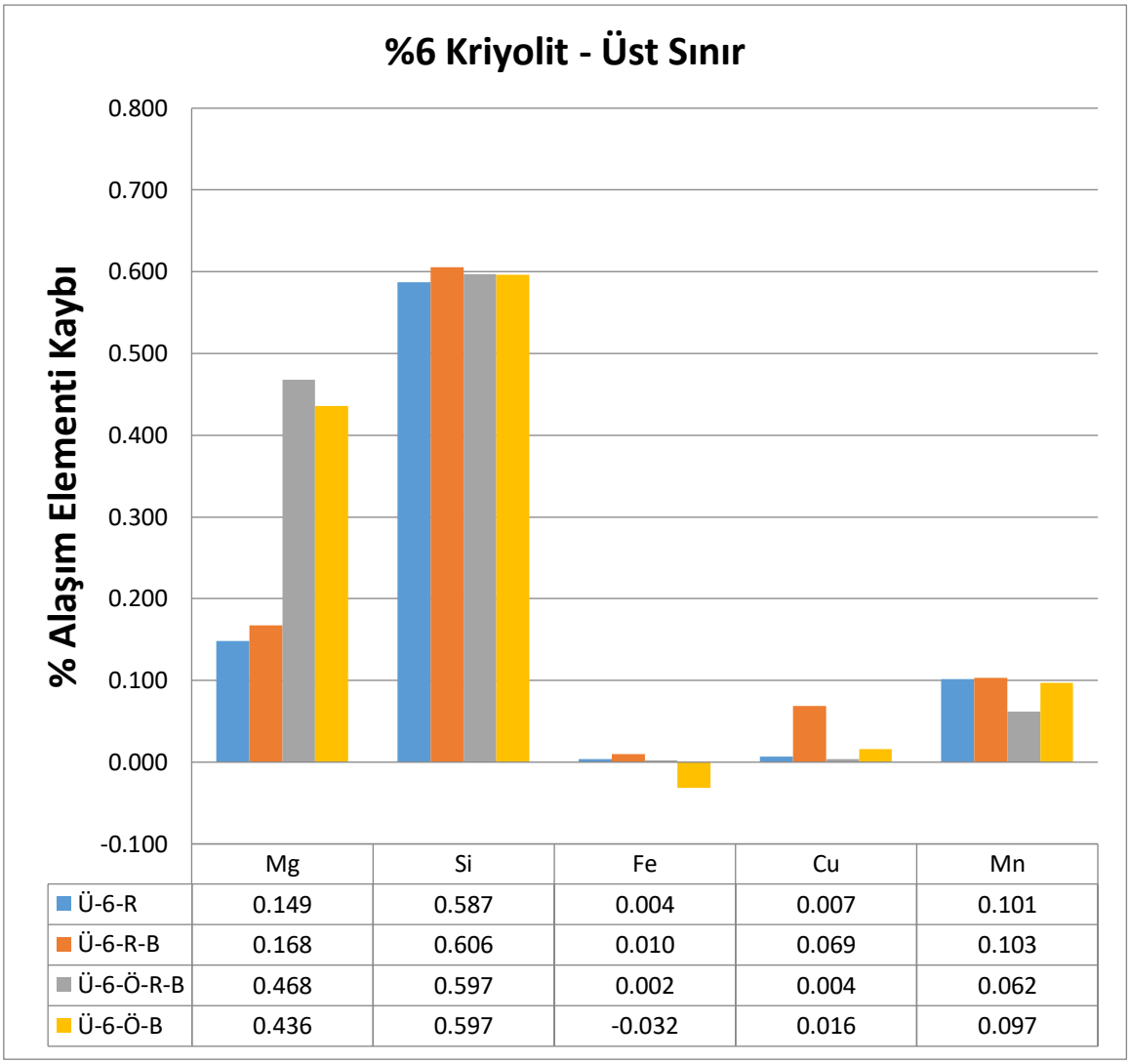
Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - Ü referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

Şekil 6.31 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon +bekleme prosesinin uygulandığı Ü-6-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-6-Ö-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numuneleri Ü-6-Ö-R-B ve Ü-6-Ö-B 'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.31 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.32 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kayıplar alt sınır numunelerine göre daha yüksektir. Bu duruma sistemdeki silisyum miktarının çok daha yüksek olmasının sebep olduğu öngörülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-6-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-6-Ö-B 'de olduğu görülmektedir. Ü-6-Ö-R-B ve Ü-6-Ö-B için yapılan uygulamada örtü flaksı kullanılmış ve sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %6 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.

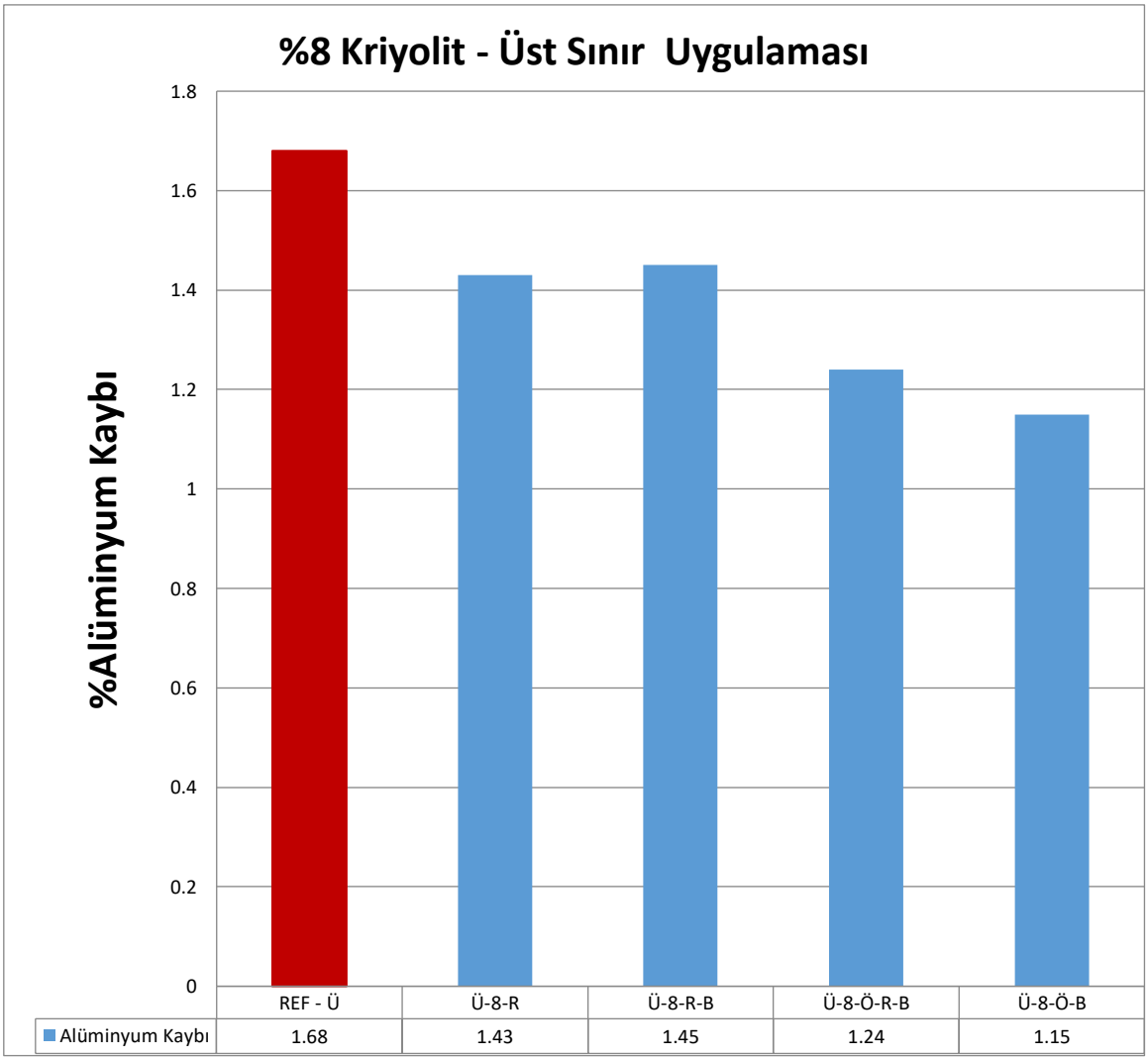


	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
Ü-6-R	0.149	0.587	0.004	0.007	0.101
Ü-6-R-B	0.168	0.606	0.010	0.069	0.103
Ü-6-Ö-R-B	0.468	0.597	0.002	0.004	0.062
Ü-6-Ö-B	0.436	0.597	-0.032	0.016	0.097

Şekil 6.32 %6 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %8 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+ bekleme prosesleri uygulanmıştır. Ü-8-R rafinasyon prosesine, Ü-8-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-8-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-8-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - Ü referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir. Şekil 6.33 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon +bekleme prosesinin uygulandığı Ü-8-

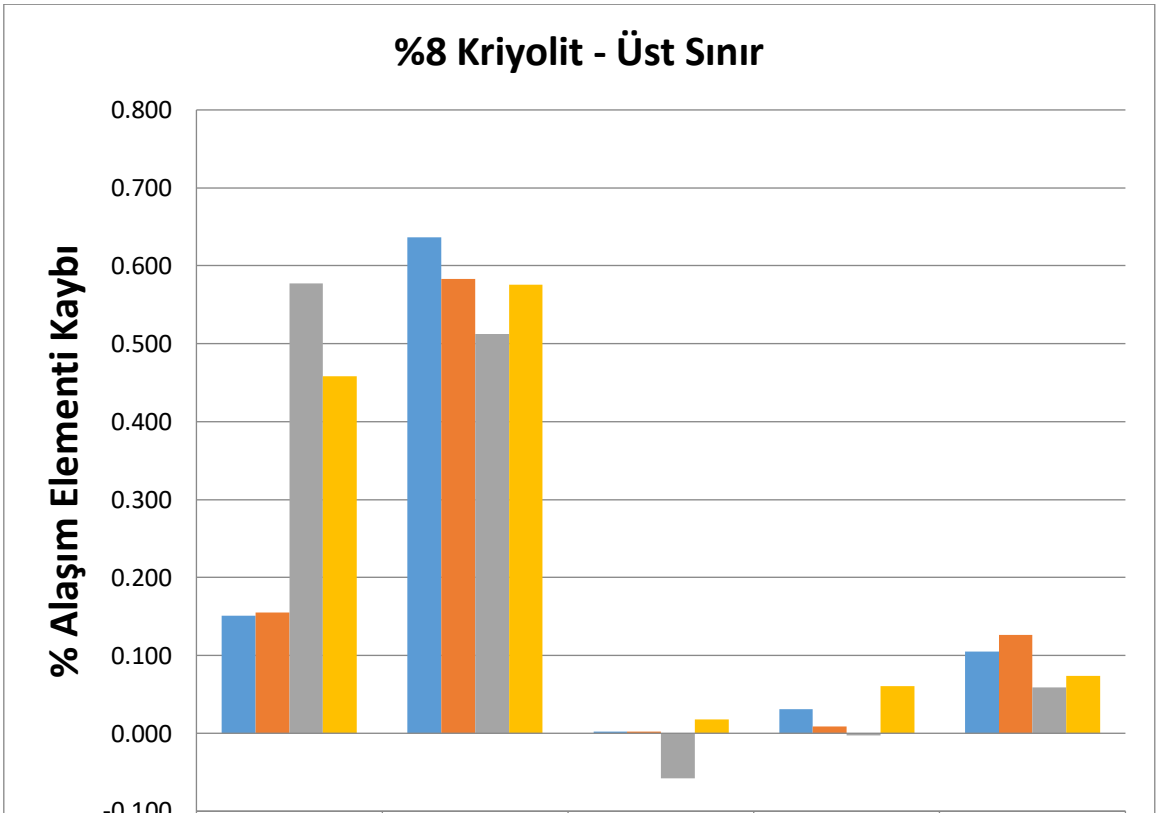
Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-8-Ö-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numuneleri Ü-8-Ö-R-B ve Ü-8-Ö-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.33 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.34 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kayıplar alt sınır numunelerine göre daha yüksektir. Bu duruma sistemdeki silisyum miktarının çok daha yüksek olmasının sebep olduğu öngörülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en

yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-8-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Ü-8-Ö-B için yapılan uygulamada rafinasyon flaksı ve örtü flaksı birlikte kullanılmıştır. Dolayısıyla sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %8 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.



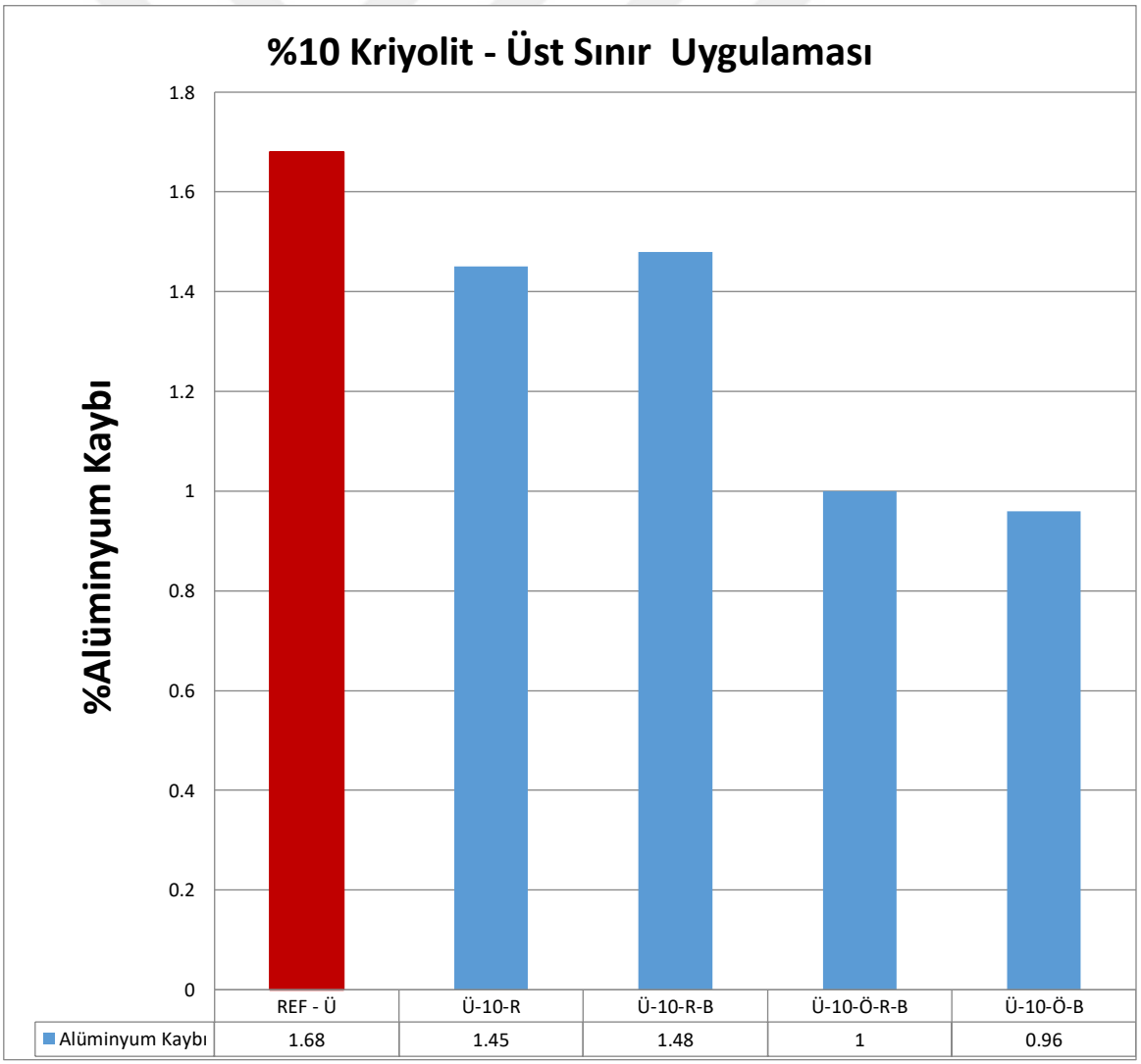
	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
Ü-8-R	0.151	0.637	0.002	0.031	0.105
Ü-8-R-B	0.155	0.583	0.002	0.009	0.126
Ü-8-Ö-R-B	0.577	0.512	-0.058	-0.003	0.059
Ü-8-Ö-B	0.458	0.575	0.018	0.061	0.074

Şekil 6.34 %8 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

Üst sınır 6063 alaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde %10 kriyolit içeriği olan flaks kombinasyonu için rafinasyon, rafinasyon+bekleme, örtü+rafinasyon+ bekleme ve örtü+bekleme prosesleri uygulanmıştır. Ü-10-R rafinasyon prosesine, Ü-10-R-B rafinasyon+bekleme prosesine, Ü-10-Ö-R-B örtü+rafinasyon+bekleme prosesine,

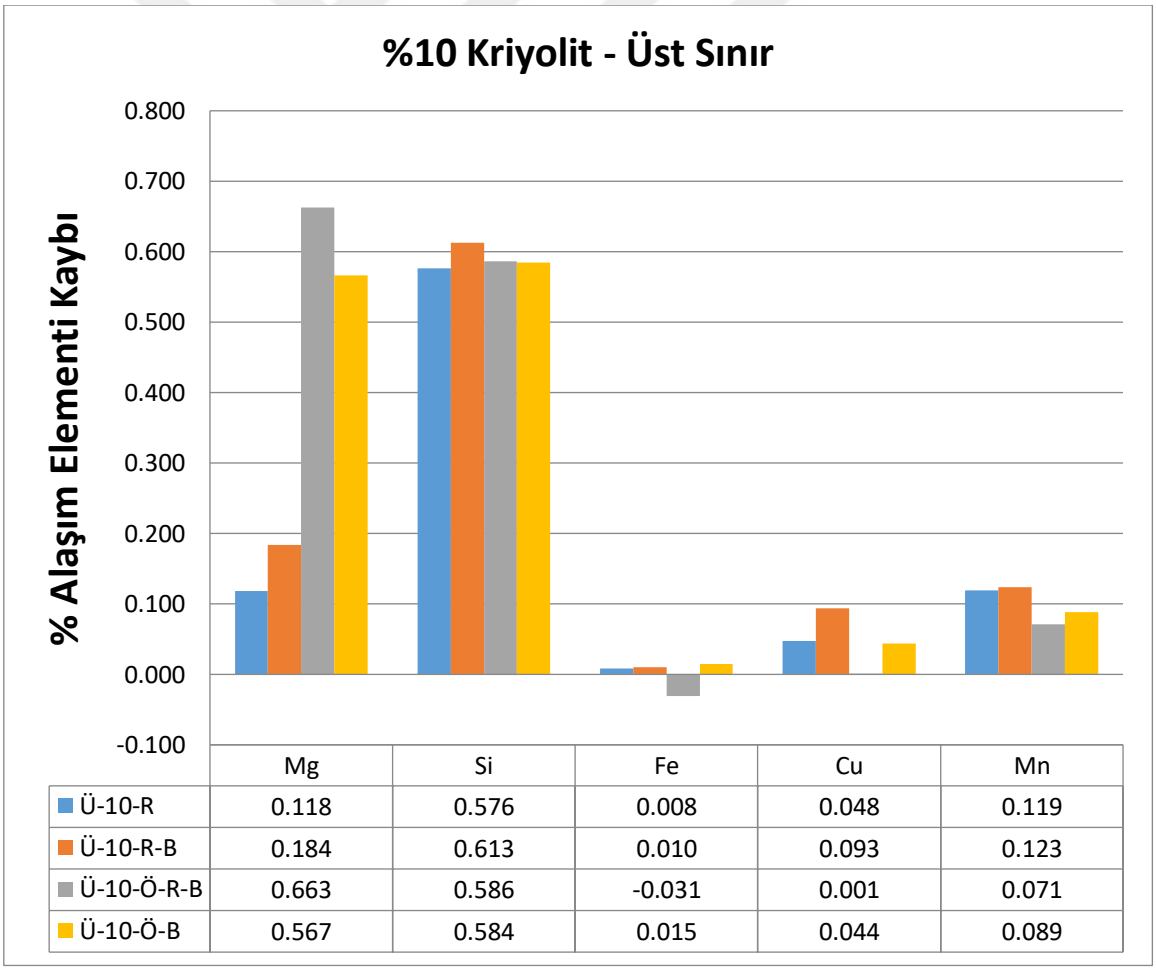
Ü-10-Ö-B örtü+bekleme prosesine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen döküm deneyleri sonrasında elde edilen döküm numuneleri elementel analize tabi tutulmuştur. Şekildeki grafikte mavi ile gösterilen sütunlar alüminyum kaybını, kırmızı sütun ise herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan gerçekleştirilen REF - Ü referans döküm numunesindeki alüminyum kaybını temsil etmektedir.

Şekil 6.35 incelendiğinde en düşük alüminyum kaybının örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-10-Ö-R-B'de ve örtü+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-10-Ö-B'de olduğu görülmektedir. Sistemde kullanılan kriyolit miktarının en yüksek olduğu deney numuneleri Ü-10-Ö-R-B ve Ü-10-Ö-B'dir. Kullanılan kriyolit miktarındaki artış ve örtü flaksı miktarı ile birlikte oksijen temasının engellenmesinin en düşük miktardaki kaybın sebepleri olduğu öngörülmektedir. Flaks kullanımının kaybı azalttığı yorumu yapılabilir.



Şekil 6.35 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alüminyum kaybı

Şekil 6.36 incelendiğinde bütün uygulama kombinasyonlarında silisyum kayıplarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kayıplar alt sınır numunelerine göre daha yüksektir. Bu duruma sistemdeki silisyum miktarının çok daha yüksek olmasının sebep olduğu öngörülmektedir. Magnezyum kaybı incelendiğinde en yüksek kaybın örtü+rafinasyon+bekleme prosesinin uygulandığı Ü-10-Ö-R-B'de olduğu görülmektedir. Ü-10-Ö-R-B için yapılan uygulamada rafinasyon flaksı ve örtü flaksı birlikte kullanılmıştır. Dolayısıyla sisteme beslenen kriyolit miktarı artmıştır. Kriyolit miktarının artmasıyla birlikte yaşanan magnezyum kaybında bir artış görülmektedir. Diğer bütün numunelerde demir, bakır ve mangan değişimleri birbirine çok yakındır. Bu sebeple %10 kriyolit oranı için uygulama yöntemine bağlı olarak gözle görülür bir değişim görülmemiştir.

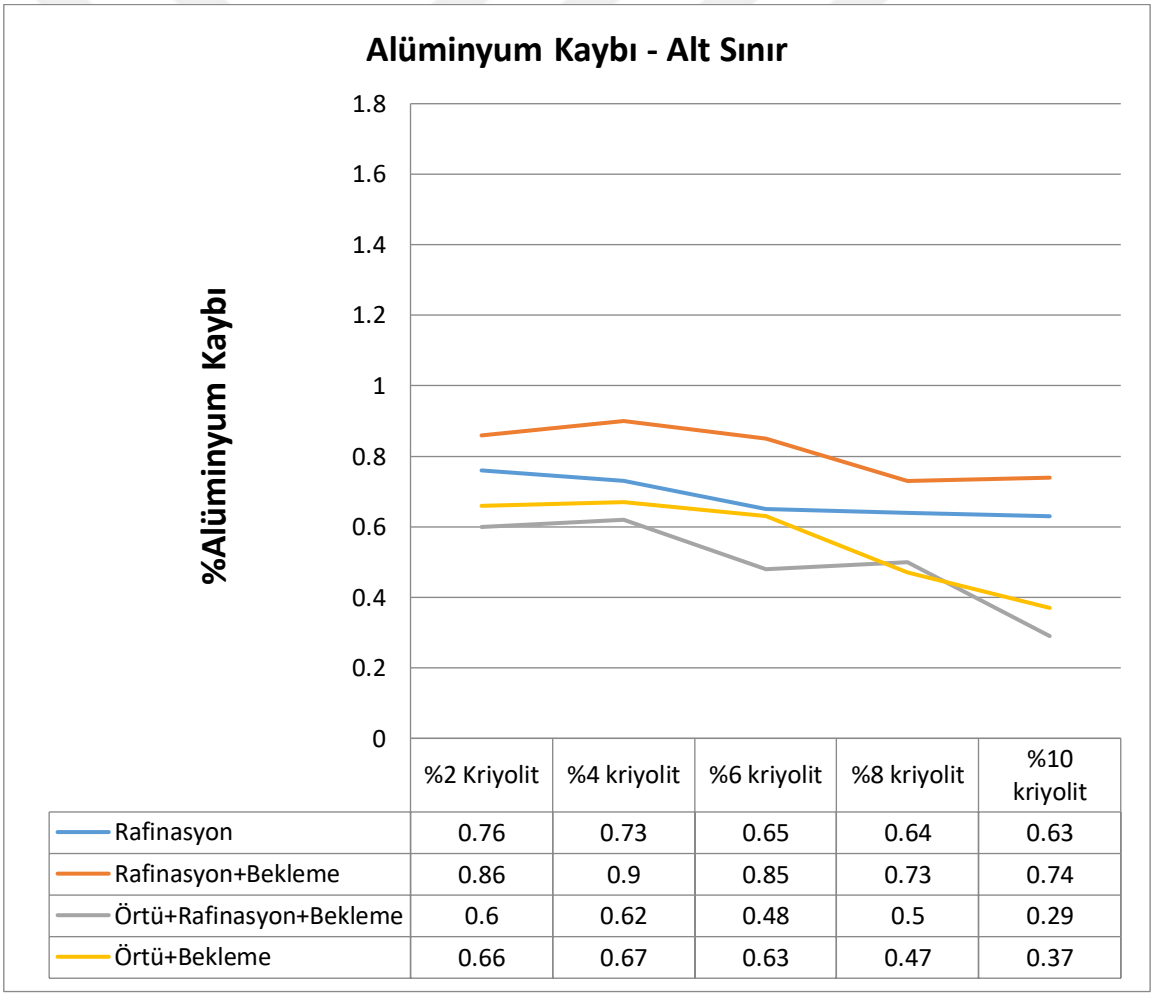


	Mg	Si	Fe	Cu	Mn
Ü-10-R	0.118	0.576	0.008	0.048	0.119
Ü-10-R-B	0.184	0.613	0.010	0.093	0.123
Ü-10-Ö-R-B	0.663	0.586	-0.031	0.001	0.071
Ü-10-Ö-B	0.567	0.584	0.015	0.044	0.089

Şekil 6.36 %10 kriyolit içeren flaks karışımlarının farklı prosesler ile üst sınır numunelerine uygulanması sonucu yaşanan alaşım elementi kaybı

6.1.3 Element Kayıplarının Yöntem ve Flakstaki Kriyolit Oranlarına Göre Karşılaştırılması

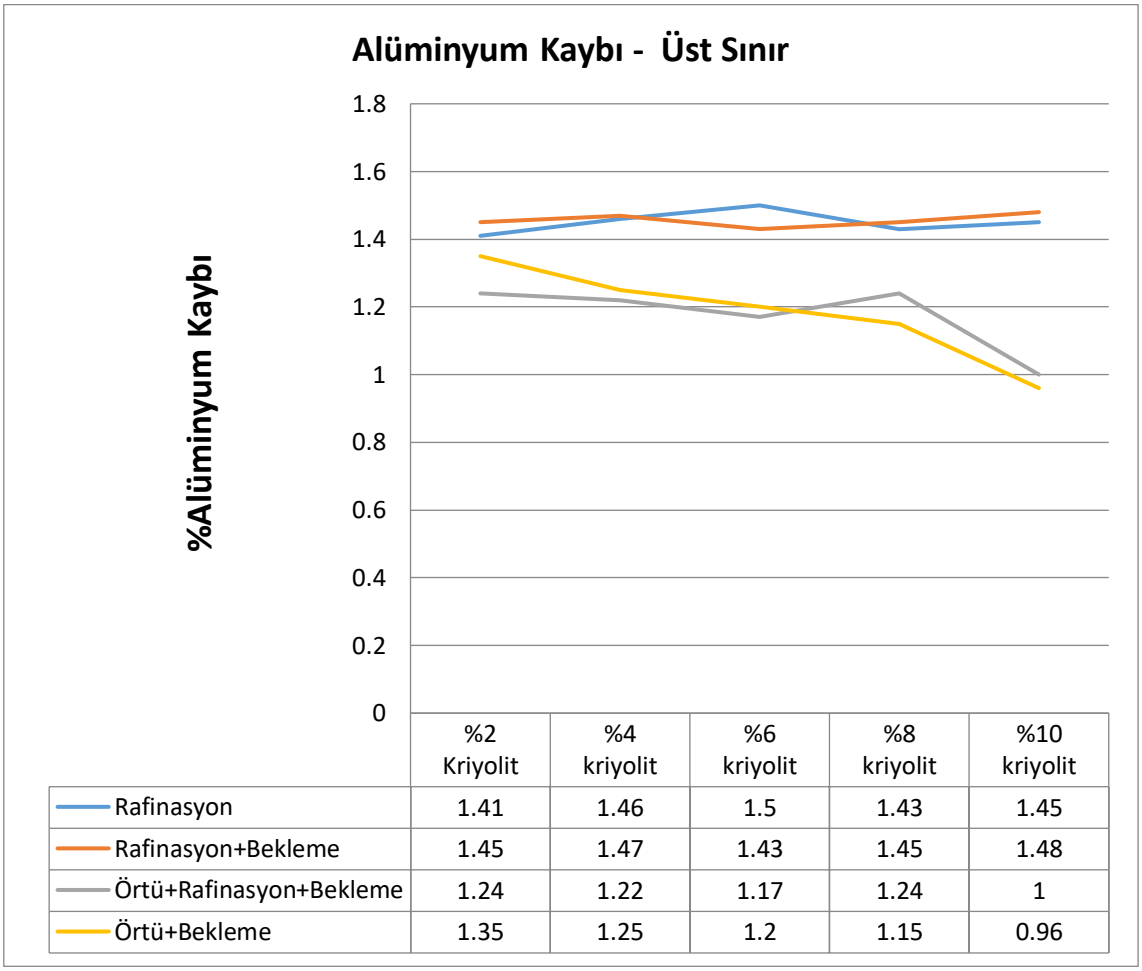
Şekil 6.37'deki alt sınır numuneleri incelendiğinde alüminyum kaybının kriyolit içeriğinin artmasıyla beraber azaldığı söylenebilir. En düşük alüminyum kaybı %10 kriyolit içeren örtü, rafinasyon ve bekleme proseslerinin beraber uygulandığı A-10-Ö-R-B numunesinde görülmüştür. Aynı zamanda yalnız örtü flaksı ve bekleme prosesinin gerçekleştirildiği deney setindeki kayıp da diğer proseslere göre nispeten düşük miktardadır. Bu duruma örtü flaksının oksitlenme sebebiyle yaşanan kaybı azaltmasının sebep olduğu düşünülmektedir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.76	0.73	0.65	0.64	0.63
Rafinasyon+Bekleme	0.86	0.9	0.85	0.73	0.74
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.6	0.62	0.48	0.5	0.29
Örtü+Bekleme	0.66	0.67	0.63	0.47	0.37

Şekil 6.37 Alt sınır numunelerindeki alüminyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

Şekil 6.38'deki üst sınır numunelerinde görülen alüminyum kayıpları incelendiğinde örtü flaksı ve bekleme prosesi, örtü+rafiansyon ve bekleme prosesi uygulanan numunelerdeki kayıpların daha az olduğu görülmektedir. Alt sınır numunelerine göre kayıp artmıştır. Bunun sebebi alaşımlama sırasında yapılan karıştırma işlemidir. Bu durum oksijenle temas eden alüminyum yüzeyini arttırarak görülen kaybı yükseltmiştir.

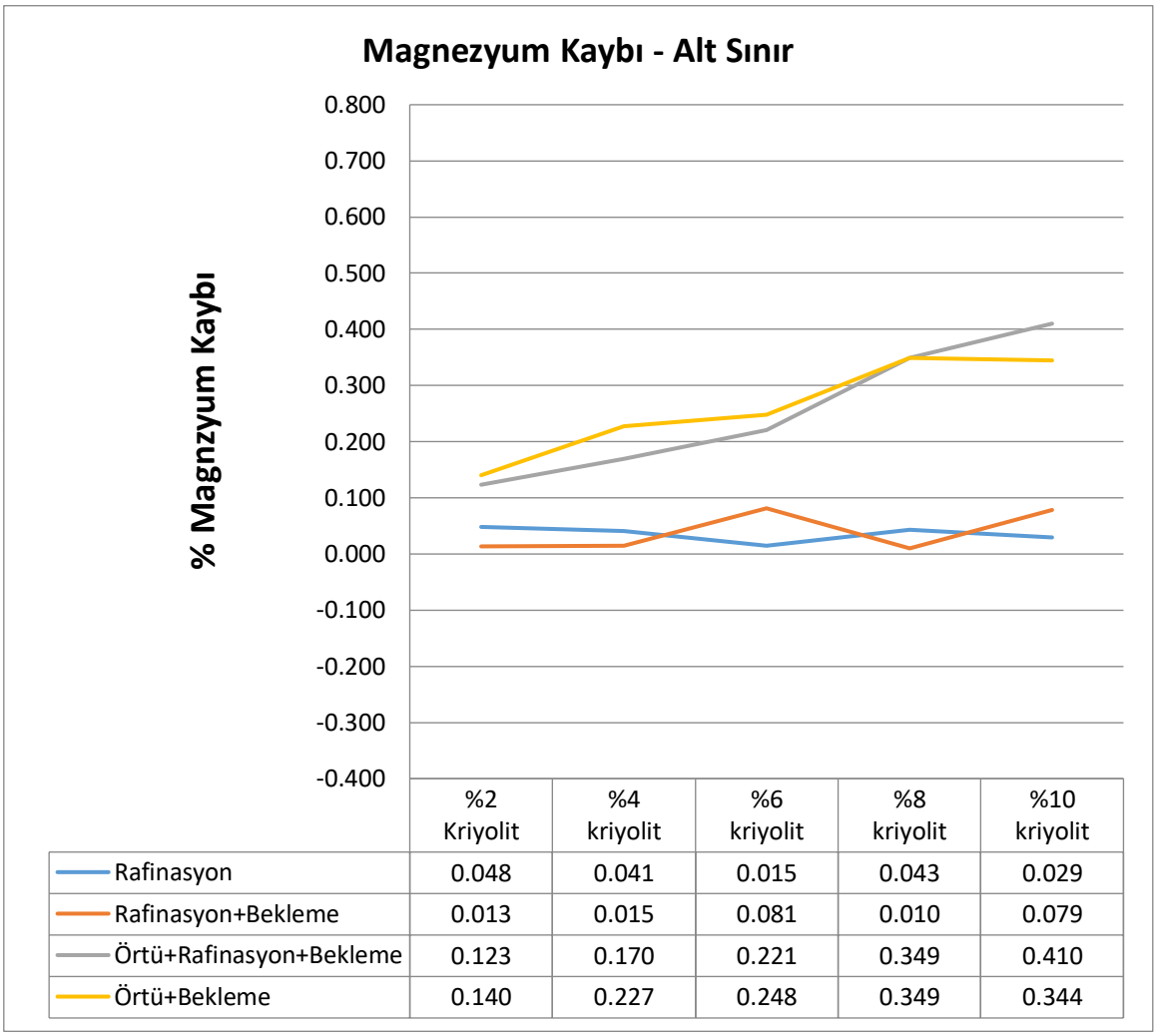


	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	1.41	1.46	1.5	1.43	1.45
Rafinasyon+Bekleme	1.45	1.47	1.43	1.45	1.48
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	1.24	1.22	1.17	1.24	1
Örtü+Bekleme	1.35	1.25	1.2	1.15	0.96

Şekil 6.38 Üst sınır numunelerindeki alüminyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

Şekil 6.39 incelendiğinde alt sınır numunelerinde görülen magnezyum kaybının, sisteme dahil edilen kriyolit miktarının artmasıyla birlikte arttığı görülmüştür. Rafinasyon ve rafinasyon+bekleme prosesinde görülen magnezyum kayıpları nispeten daha düşüktür. Örtü+rafinasyon+bekleme prosesinde yaşanan kayıp daha

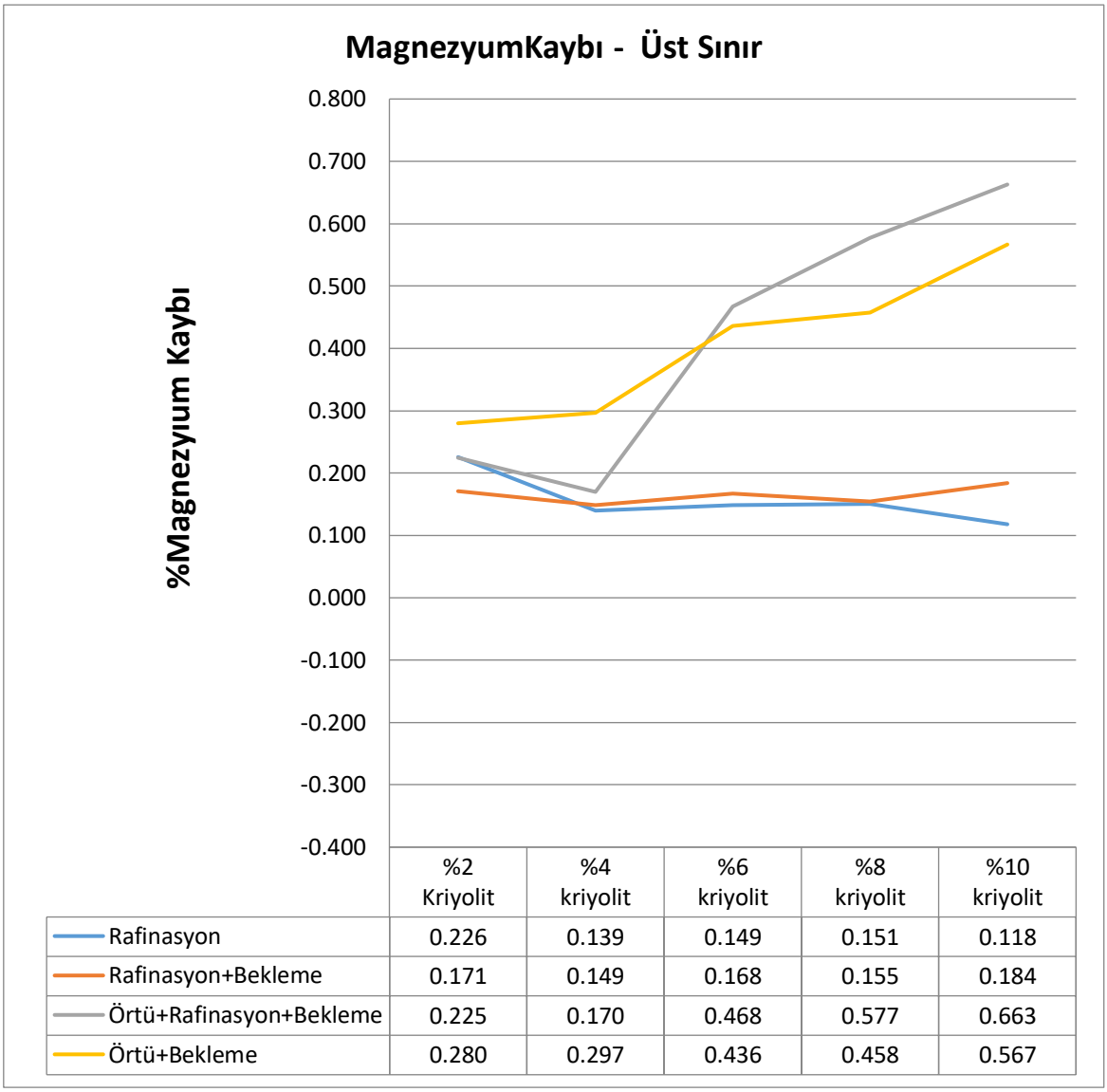
fazladır. Bunun sebebinin dipten beslenen rafinasyon flaksı dolayısıyla yaşanan karıştırma işlemi sonucunda örtü flaksı ile yaşanan temasın artması ve cürufa geçen magnezyum miktarının artması olarak görülmektedir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.048	0.041	0.015	0.043	0.029
Rafinasyon+Bekleme	0.013	0.015	0.081	0.010	0.079
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.123	0.170	0.221	0.349	0.410
Örtü+Bekleme	0.140	0.227	0.248	0.349	0.344

Şekil 6.39 Alt sınır numunelerindeki magnezyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

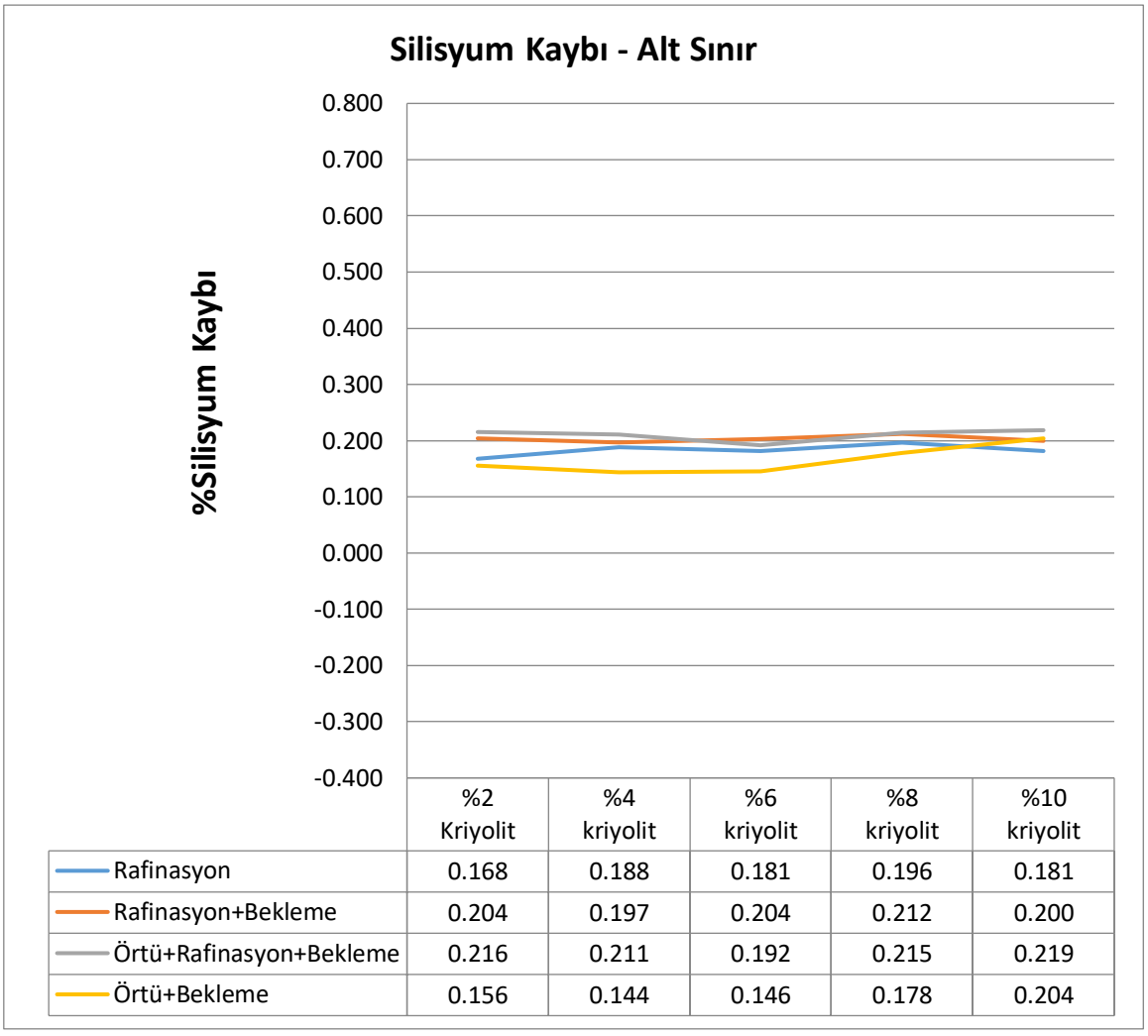
Şekil 6.40 incelendiğinde örtü flaksı kullanılan deneylerde keskin bir fark olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin sisteme beslenen kriyolit miktarının artmasıyla bağlantışı olduğu öngörülmektedir. Alt sınır numuneleriyle karşılaştırıldığı zaman kayıp artmıştır. Bunun sebebinin ise sisteme beslenen magnezyum miktarının artması olduğu öngörülmektedir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.226	0.139	0.149	0.151	0.118
Rafinasyon+Bekleme	0.171	0.149	0.168	0.155	0.184
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.225	0.170	0.468	0.577	0.663
Örtü+Bekleme	0.280	0.297	0.436	0.458	0.567

Şekil 6.40 Üst sınır numunelerindeki magnezyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

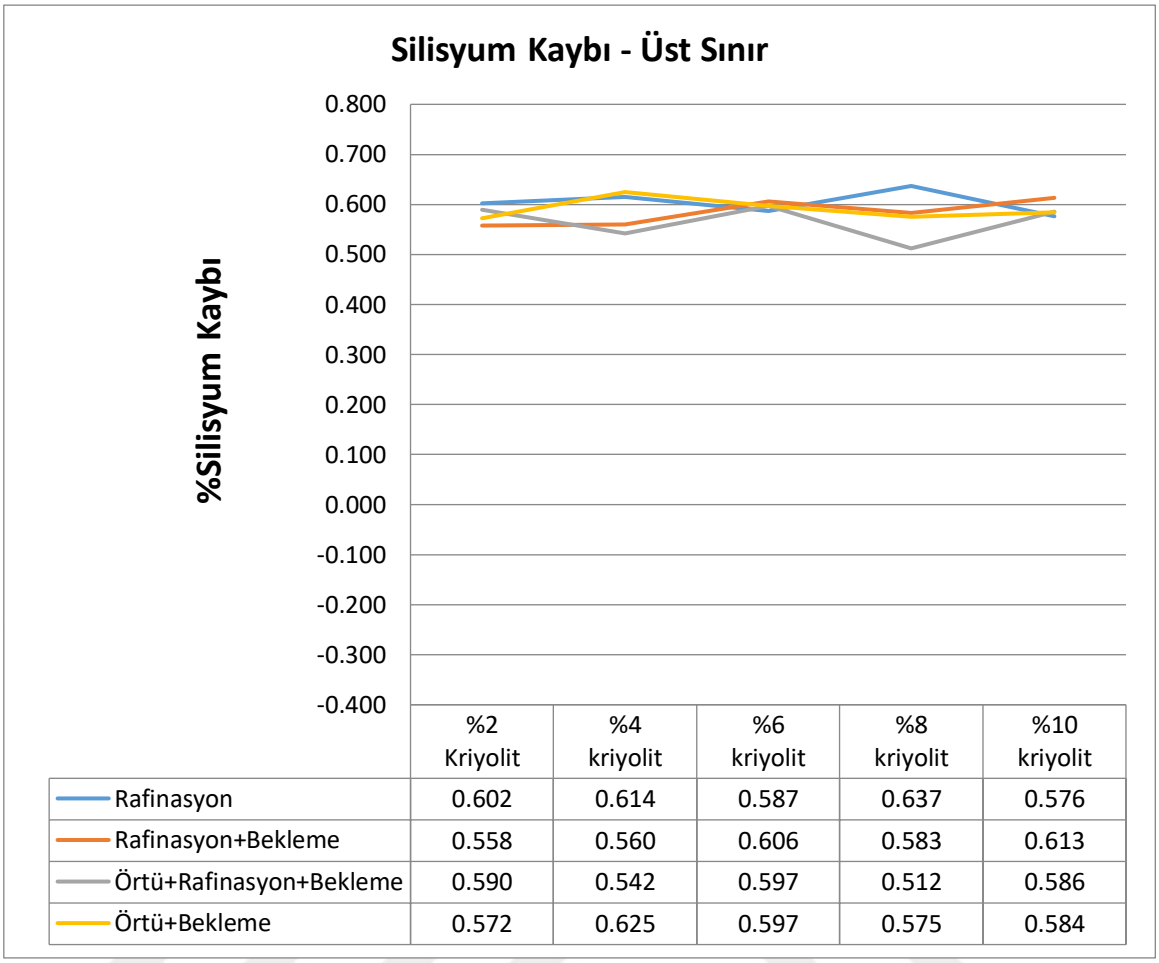
Şekil 6.41 incelendiğinde örtü+bekleme prosesinin %4 kriyolit kullanılan deneyinde ölçüm hatası olduğu öngörülmektedir. Görülen sapma diğer numunelere göre mantıklı bir değiimi simgelememktedir. Geri kalan sonuçlar incelendiğinde yaşanan kayıplar birbirine yakındır. Dolayısıyla kriyolit oranı ve uygulama yönteminin kayba etkisine herhangi bir yorum yapılamamıştır.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.168	0.188	0.181	0.196	0.181
Rafinasyon+Bekleme	0.204	0.197	0.204	0.212	0.200
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.216	0.211	0.192	0.215	0.219
Örtü+Bekleme	0.156	0.144	0.146	0.178	0.204

Şekil 6.41 Alt sınır numunelerindeki silisyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

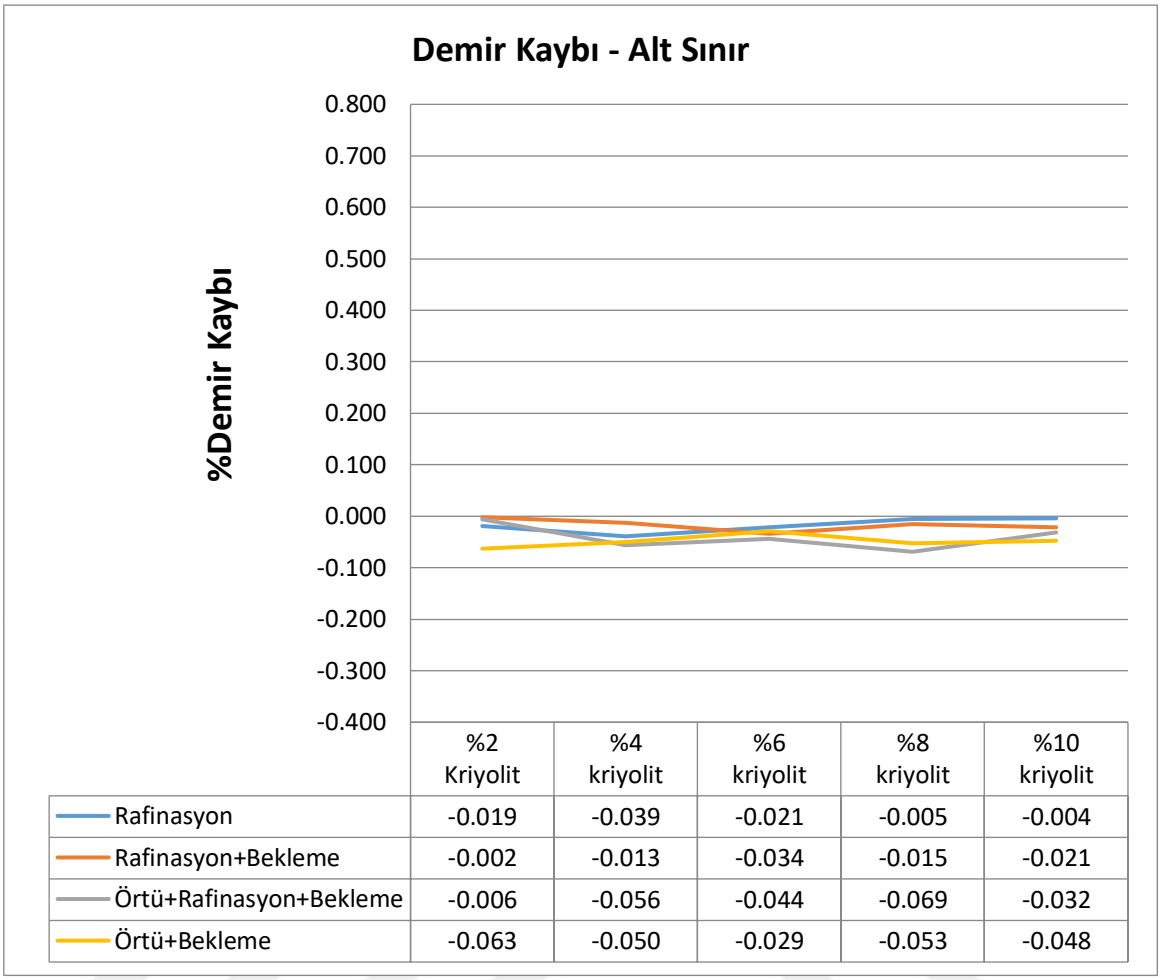
Şekil 6.42 incelendğinde yaşanan kayıpların birbirine yaın olduğu görülmektedir. Alt sınır numuneleriyle olan kayıp karşılaştırıldığınsa, sisteme beslenen silisyum mikarının artmasıyla birlikte yaşanan kaybın arttığı yorumu yapılabilir. Kriyolit miktarı ve uygulama yöntemiyle bağlantılı olarak bir etki görülmemiştir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.602	0.614	0.587	0.637	0.576
Rafinasyon+Bekleme	0.558	0.560	0.606	0.583	0.613
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.590	0.542	0.597	0.512	0.586
Örtü+Bekleme	0.572	0.625	0.597	0.575	0.584

Şekil 6.42 Üst sınır numunelerindeki silisyum kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

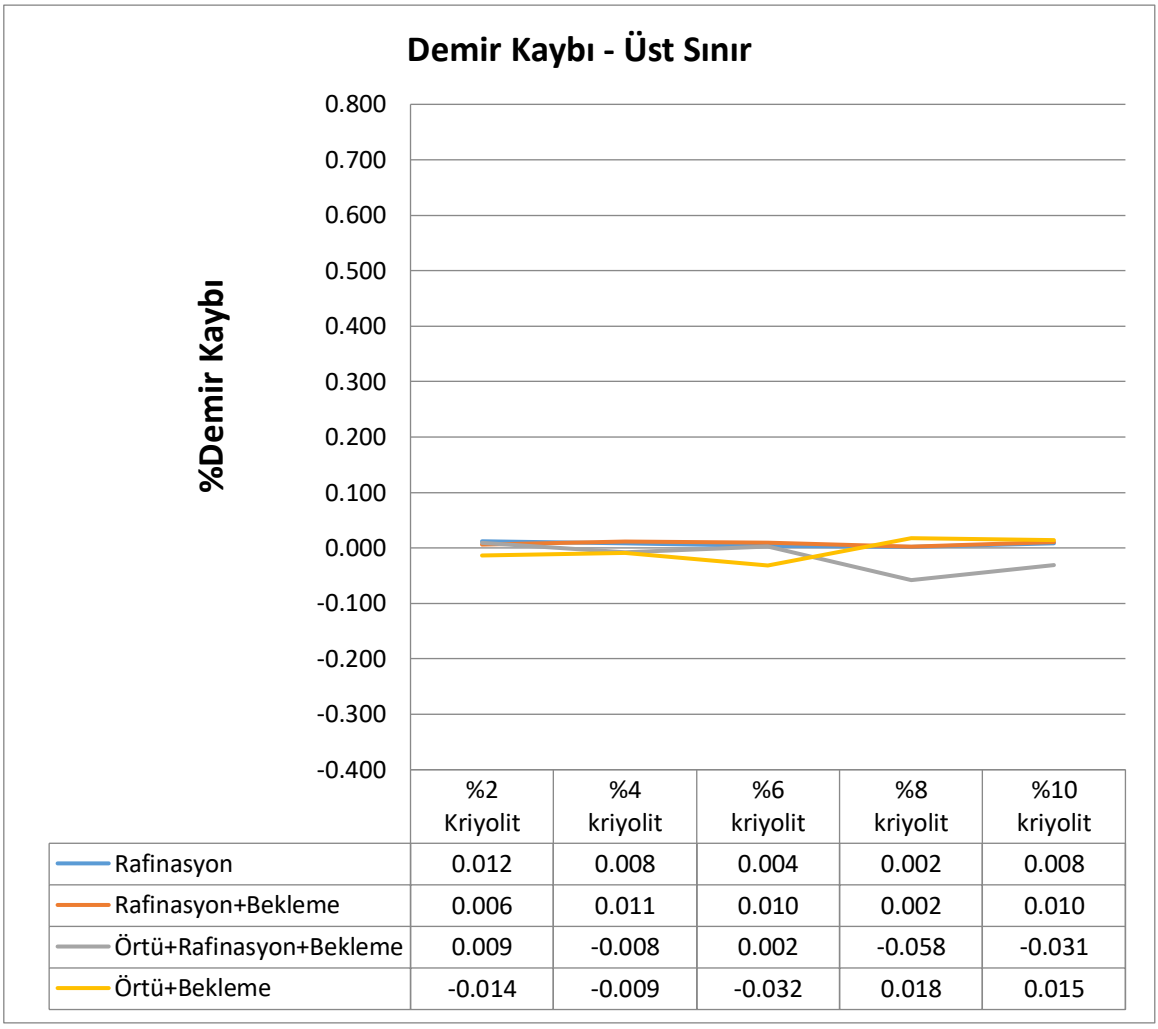
Şekil 6.43 incelendiğinde kayıpların eksi tarafta olduğu görülmektedir. Bu duruma deneyler sırasında sisteme demir beslemesi yapılmasının sebep olduğu düşünülmektedir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	-0.019	-0.039	-0.021	-0.005	-0.004
Rafinasyon+Bekleme	-0.002	-0.013	-0.034	-0.015	-0.021
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	-0.006	-0.056	-0.044	-0.069	-0.032
Örtü+Bekleme	-0.063	-0.050	-0.029	-0.053	-0.048

Şekil 6.43 Alt sınır numunelerindeki demir kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

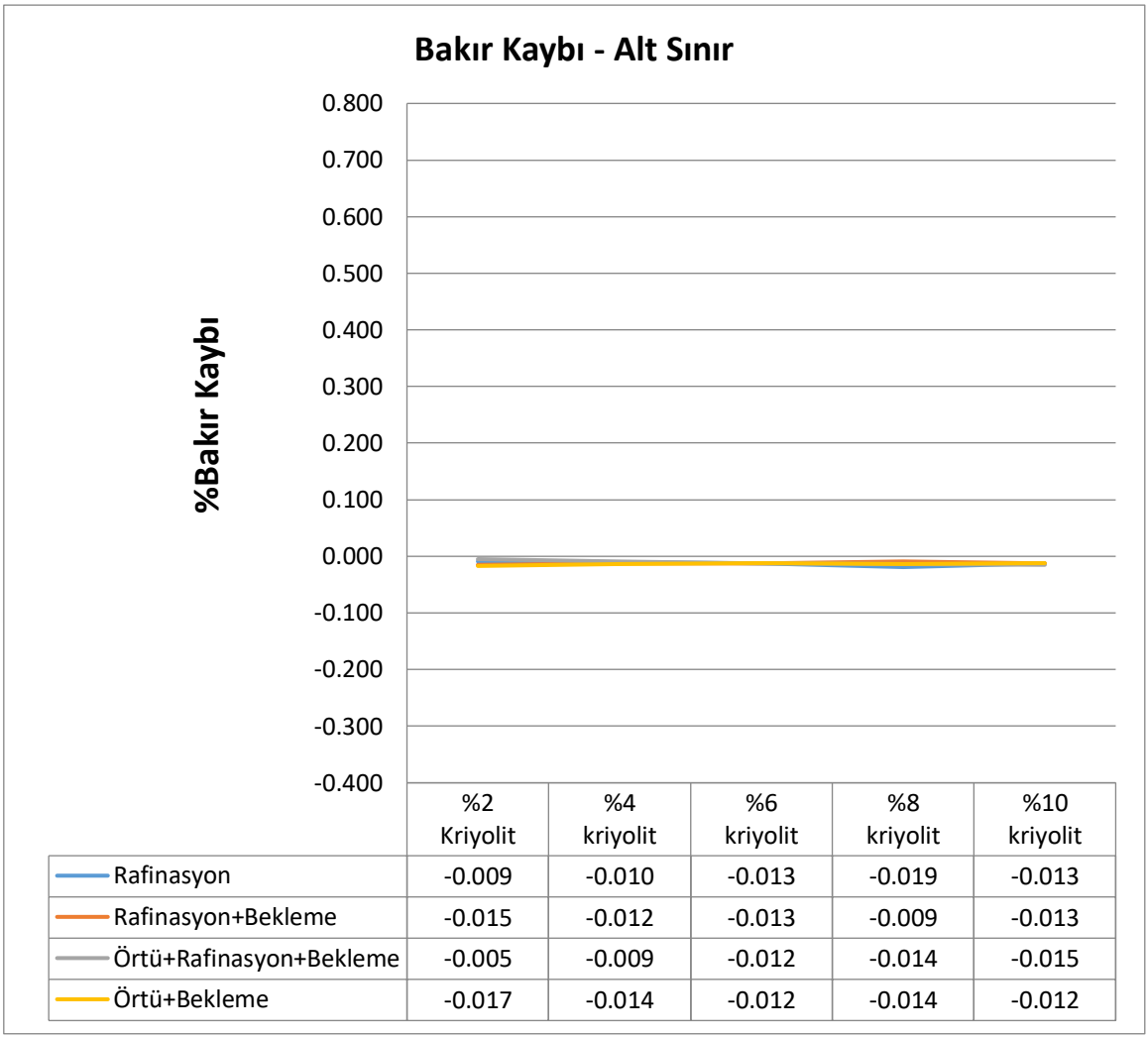
Şekil 6.44 incelendiğinde demir kaybının sıfıra yakın veya ekside olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin deneyer sırasında sisteme demir beslemesi yapılmış olabileceği olduğu düşünülmektedir. Kriyolirt miktarı ve besleme yöntemiyle alakalı bir ilişki kurulmamıştır.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.012	0.008	0.004	0.002	0.008
Rafinasyon+Bekleme	0.006	0.011	0.010	0.002	0.010
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.009	-0.008	0.002	-0.058	-0.031
Örtü+Bekleme	-0.014	-0.009	-0.032	0.018	0.015

Şekil 6.44 Üst sınır numunelerindeki demir kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

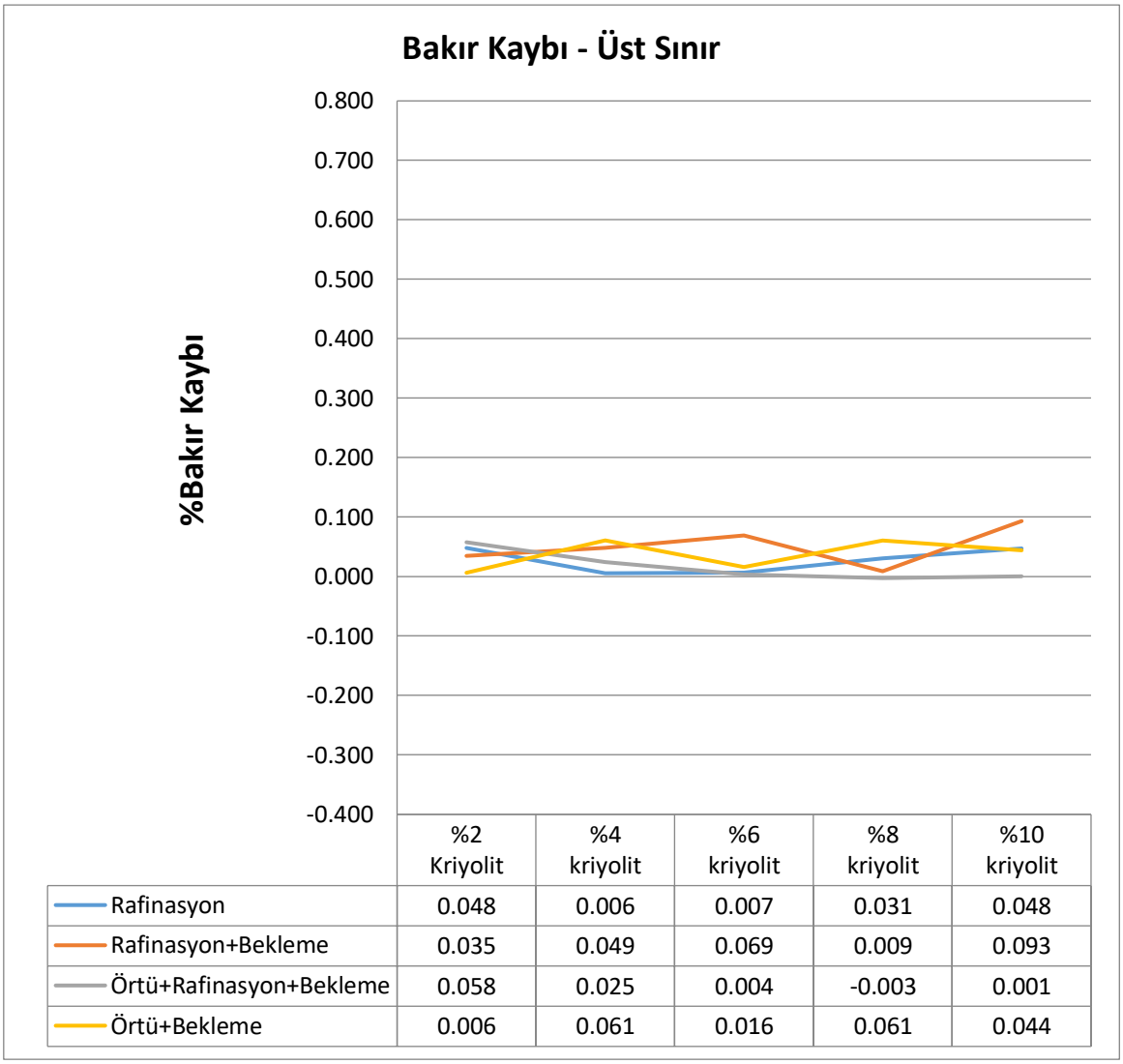
Şekil 6.45 incelendiğinde alt sınır numuneleri için bakır kaybının sıfıra çok yakın olduğu görülmektedir. Kriyolit oranı ve uygulama yöntemiyle alakalı bir ilişki kurulamamıştır.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	-0.009	-0.010	-0.013	-0.019	-0.013
Rafinasyon+Bekleme	-0.015	-0.012	-0.013	-0.009	-0.013
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	-0.005	-0.009	-0.012	-0.014	-0.015
Örtü+Bekleme	-0.017	-0.014	-0.012	-0.014	-0.012

Şekil 6.45 Alt sınır numunelerindeki bakır kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

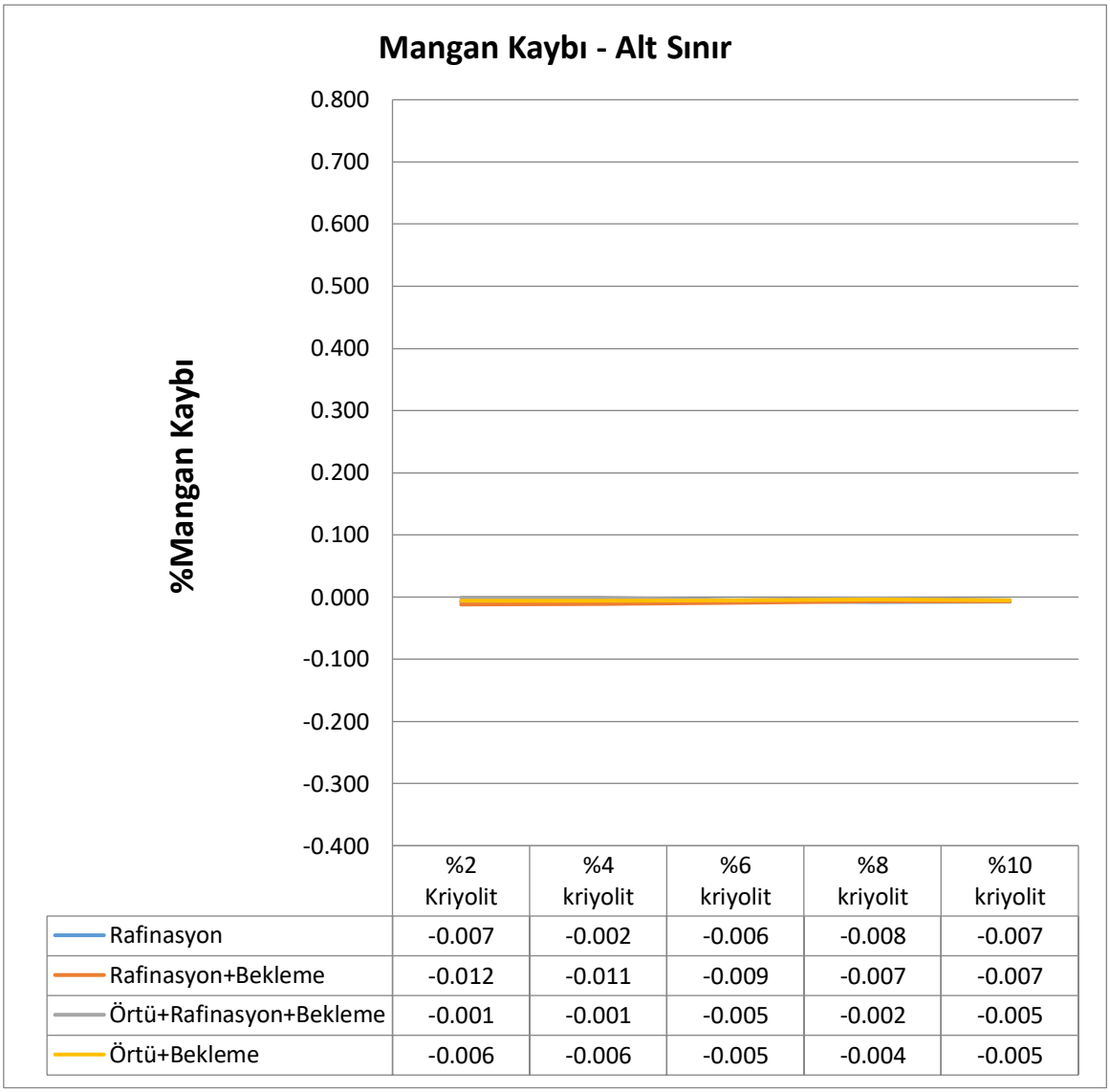
Şekil 6.46 incelendiğinde üst sınır numuneleri için bakır kaybında gözle görülür bir değişim yaşanmamıştır. Kaybın alt sınır numunelerinden yüksek olmasının sebebinin sisteme beslenen bakır miktarının artmasıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Kriyolit miktarı ve uygulama yöntemiyle bağlantılı bir ilişki gözlemlenmemiştir.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.048	0.006	0.007	0.031	0.048
Rafinasyon+Bekleme	0.035	0.049	0.069	0.009	0.093
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.058	0.025	0.004	-0.003	0.001
Örtü+Bekleme	0.006	0.061	0.016	0.061	0.044

Şekil 6.46 Üst sınır numunelerindeki bakır kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

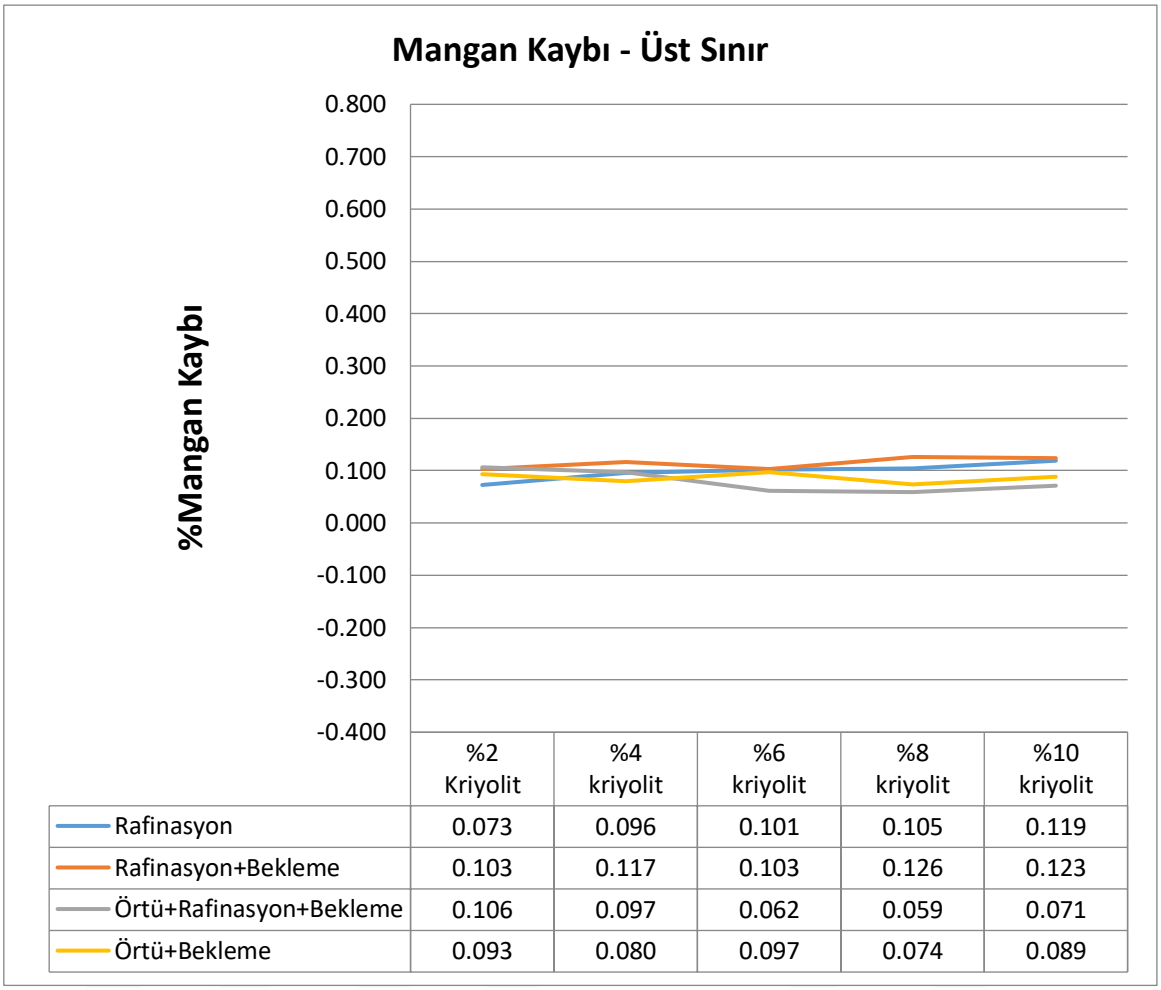
Şekil 6.47 incelendiğinde alt sınır mangan numunelerinde kaybın sıfıra çok yakın olduğu görülmektedir. Kriyolit oranı ve uygulama yöntemiyle alakalı bir ilişki kurulamamıştır.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	-0.007	-0.002	-0.006	-0.008	-0.007
Rafinasyon+Bekleme	-0.012	-0.011	-0.009	-0.007	-0.007
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	-0.001	-0.001	-0.005	-0.002	-0.005
Örtü+Bekleme	-0.006	-0.006	-0.005	-0.004	-0.005

Şekil 6.47 Alt sınır numunelerindeki mangan kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

Şekil 6.48 incelendiğinde üst sınır mangan numunelerinde yaşanan kaybın, alt sınır numunelerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin sisteme beslenen mangan miktarının artmasıyla alakalı olduğu düşünülmektedir. Kriyolit miktarı ve uygulama yöntemiyle bağlantılı bir ilişki kurulamamıştır.



	%2 Kriyolit	%4 kriyolit	%6 kriyolit	%8 kriyolit	%10 kriyolit
Rafinasyon	0.073	0.096	0.101	0.105	0.119
Rafinasyon+Bekleme	0.103	0.117	0.103	0.126	0.123
Örtü+Rafinasyon+Bekleme	0.106	0.097	0.062	0.059	0.071
Örtü+Bekleme	0.093	0.080	0.097	0.074	0.089

Şekil 6.48 Üst sınır numunelerindeki mangan kaybının kriyolit oranı ve uygulama yöntemine bağlı değişimi

6.2 Yöntem ve Flakstaki Kriyolit Oranlarının Curuf Bileşimine Etkisi

Yapılan ergitme işleminden sona döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce gaz giderme ve cüruf çekme işlem yapılarak sıvı metal temizliği sağlanmıştır. Bahsi geçen temizleme işlemi her döküm numunesi için gerçekleştirilmiştir. Çekilen cüruflar arasından elementel analiz sonuçları da göz önünde bulunarak EDS analizi numuneleri belirlenmiştir. A-2-R, A-4-R, A-6-R, A-8-R, A-10-R alt sınır rafinasyon işlemi uygulanmış numuneler, A-2-Ö-R-B, A-4-Ö-R-B, A-6-Ö-R-B, A-8-Ö-R-B, A-10-Ö-R-B alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanmış numuneler, Ü-2-Ö-R-B, Ü-4-Ö-R-B, Ü-6-Ö-R-B, Ü-8-Ö-R-B, Ü-10-Ö-R-B üst sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan numuneler ve Ü-2-Ö-B, Ü-4-

Ö-B, Ü-6-Ö-B, Ü-8-Ö-B, Ü-10-Ö-B üst sınır örtü+bekleme prosesi uygulanmış numuneler EDS analizine tabi tutulmuştur.

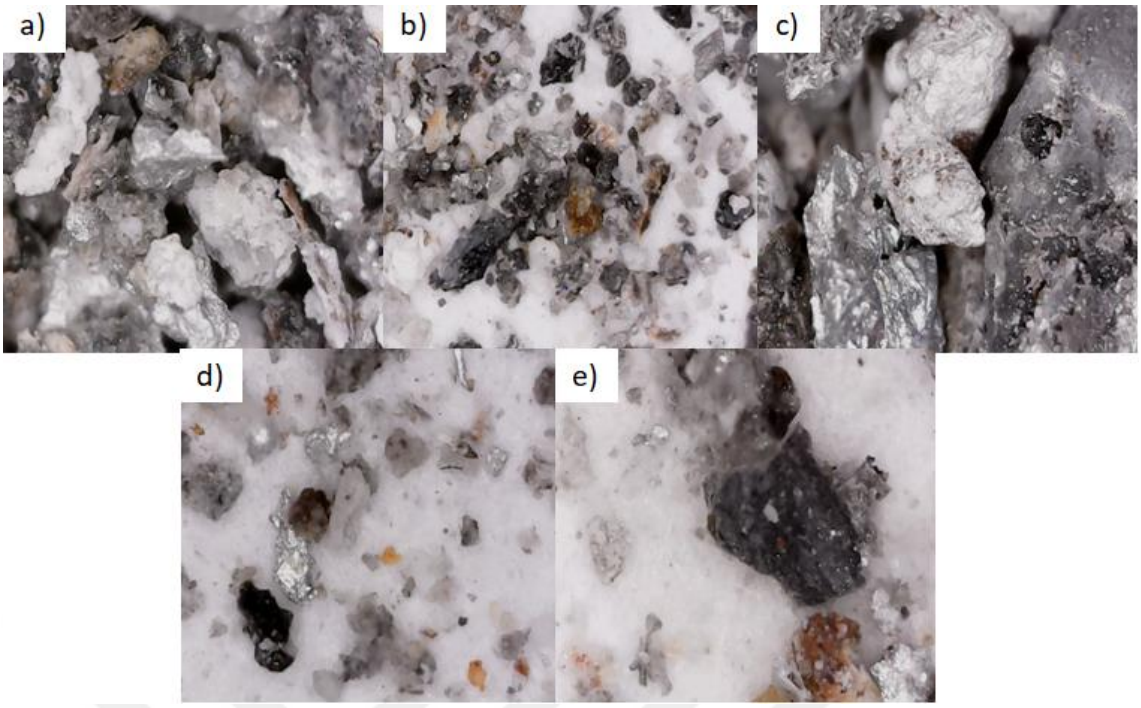


Şekil 6.49 EDS analizi uygulanan cüruf numuneleri

Şekil 6.49'da EDS analizi uygulanan cüruf numunelerinin yer almaktadır.

Şekil 6.50'de EDS analizi yapılan rafnasyon prosesi cüruf numunelerinden alınan stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir.

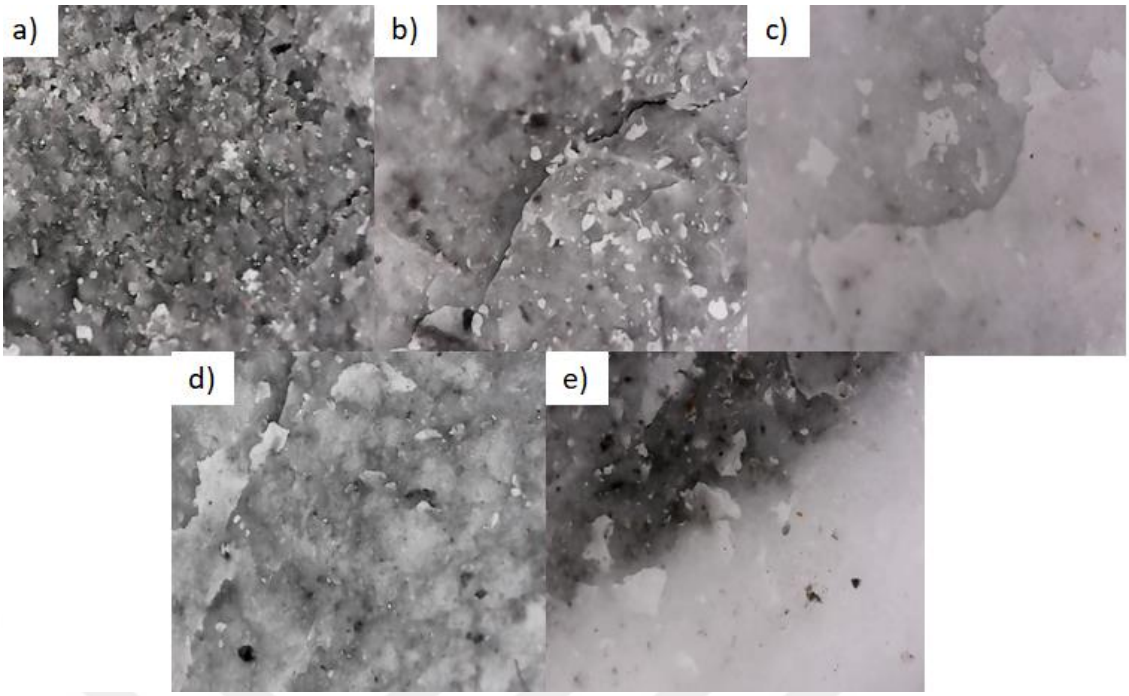
a) A-2-R, b) A-4-R, c) A-6-R, d) A-8-R, e) A-10-R cüruf numunesine ait görüntülerdir.



Şekil 6.50 Rafinasyon prosesine ait cüruf numuneleri

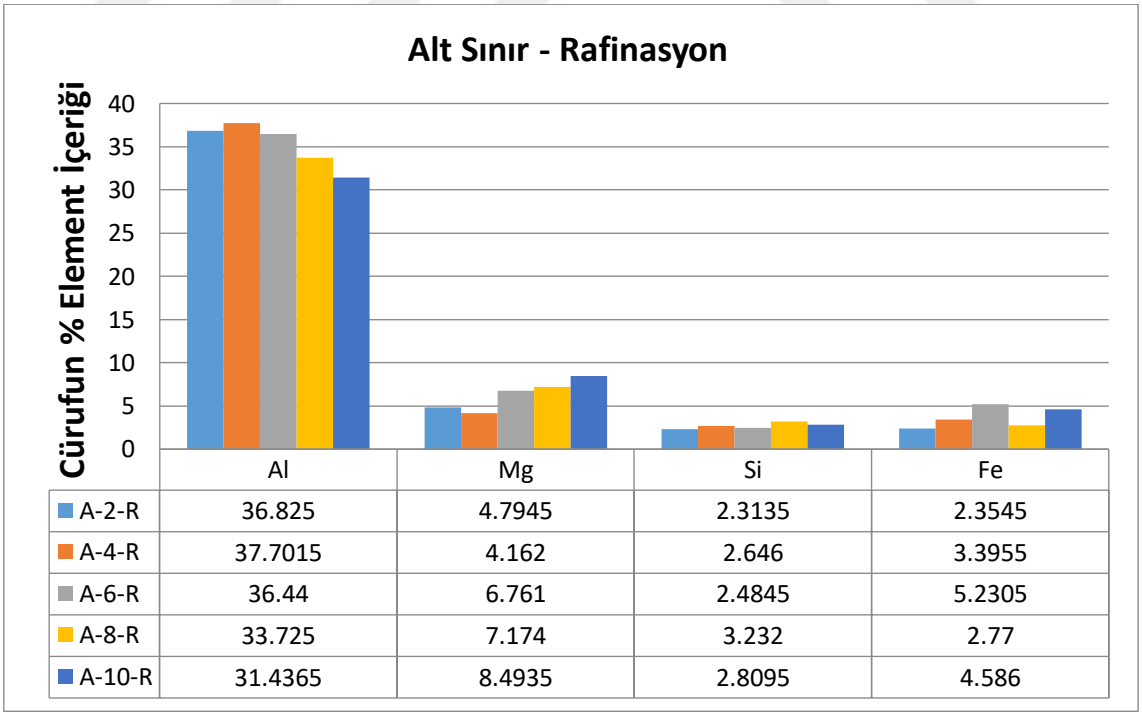
Şekil 6.51'de EDS analizi yapılan örtü+rafnasyon+bekleme prosesi cüruf numunelerinden alınan stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir.

a) Ü-2-Ö-R-B, b) Ü-4-Ö-R-B, c) Ü-6-Ö-R-B, d) Ü-8-Ö-R-B, e) Ü-10-Ö-R-B cüruf numunesine ait görün tülerdir.



Şekil 6.51 Örtü+Rafinasyon+Bekleme prosesine ait cüruf numuneleri

Görselde bulunan her numuneye en az iki adet cüruf analizi uygulanmış ve tutarlı sonuç alınan iki ölçümün ortalaması alınarak aşağıdaki grafiklerin çizimi gerçekleştirilmiştir.



	Al	Mg	Si	Fe
A-2-R	36.825	4.7945	2.3135	2.3545
A-4-R	37.7015	4.162	2.646	3.3955
A-6-R	36.44	6.761	2.4845	5.2305
A-8-R	33.725	7.174	3.232	2.77
A-10-R	31.4365	8.4935	2.8095	4.586

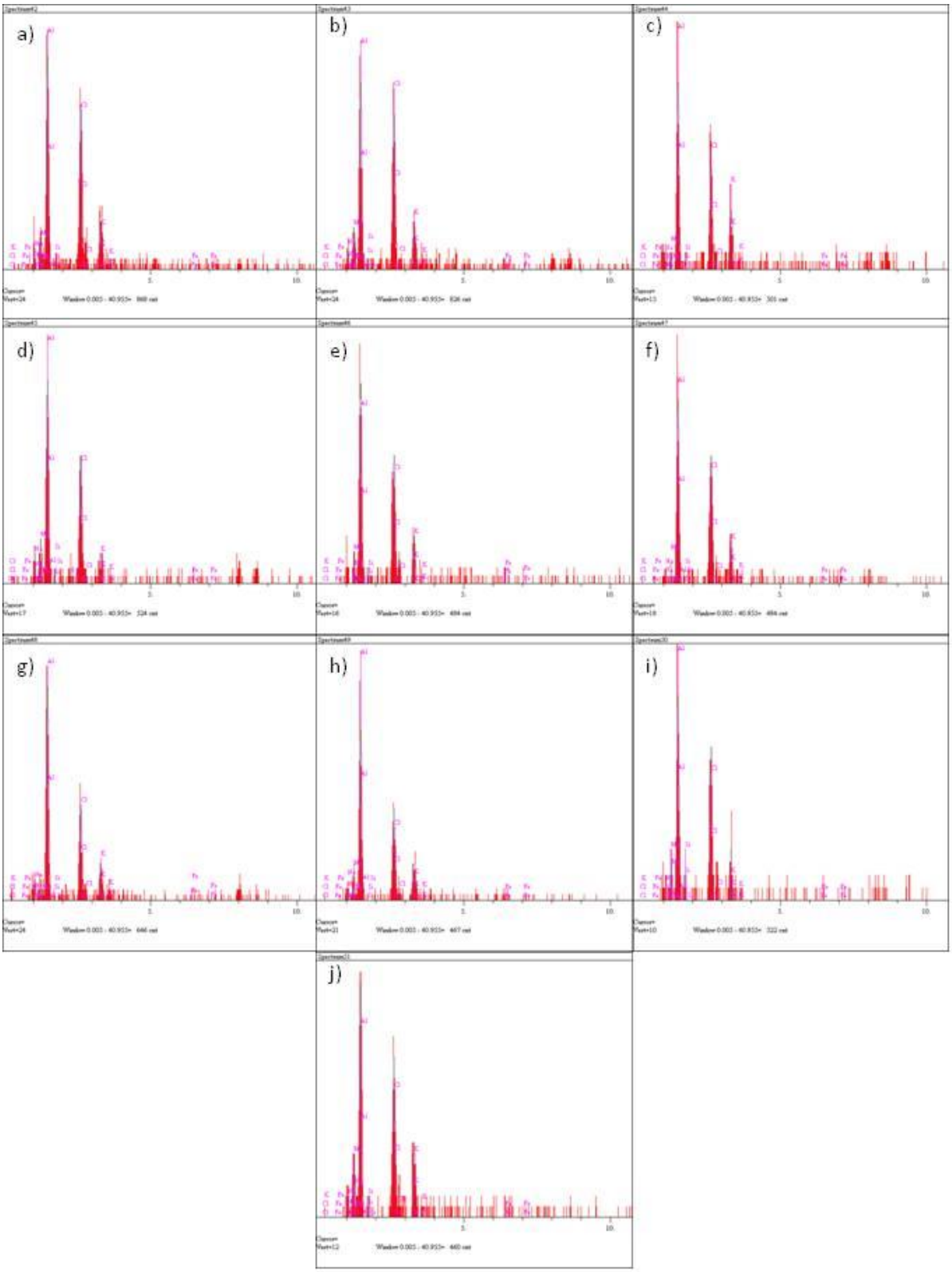
Şekil 6.52 Alt sınır rafinasyon numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği

Şekil 6.52'deki EDS sonuçları incelendiğinde alt sınır rafinasyon işleminin gerçekleştiği proseste cüruftaki alüminyum içeriğinin en düşük olduğu numune %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numune olmuştur. Cürufların alüminyum içerikleri incelendiğinde kriyolit oranı artışla birlikte alüminyumda azalma görüldüğü söylenebilir.

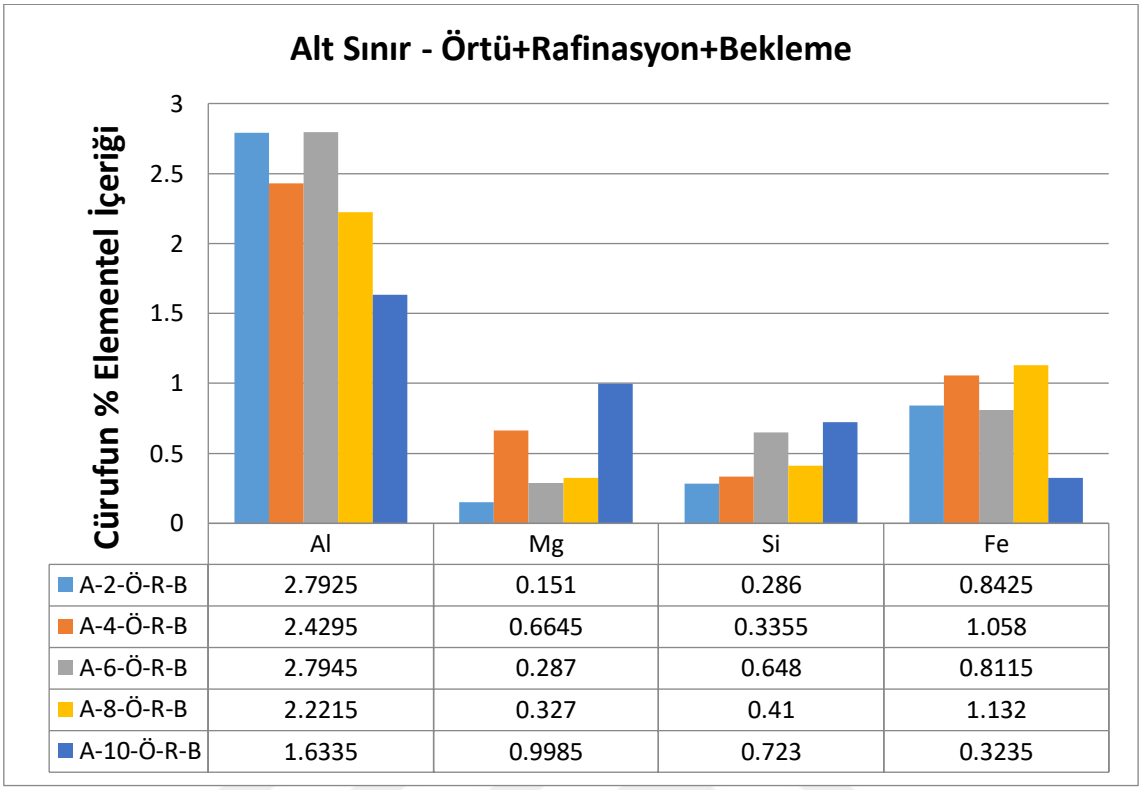
Magnezyum içeriği incelendiğinde en yüksek magnezyum içeriğinin %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numunede olduğu görülmüştür. Kriyolit oranındaki artışla birlikte magnezyum kaybının arttığı yorumu yapılabilir.

Silisyum ve demir içeriği ilgili cüruf numunelerinin hepsinde birbirine yakın orandadır. Bu sebeple aynı uygulama yönteminde değişen kriyolit içeriğiyle alakalı olarak bir yorum yapılamamıştır.

Şekil 6.53'te a) figürü A-2-R'nin ilk analiz sonucunu, b) figürü A-2-R'nin ikinci analiz sonucunu, c) figürü A-4-R'nin ilk analiz sonucunu, d) figürü A-4-R'nin ikinci analiz sonucunu, e) figürü A-6-R'nin ilk analiz sonucunu, f) figürü A-6-R'nin ikinci analiz sonucunu, g) figürü A-8-R'nin ilk analiz sonucunu, h) figürü A-8-R'nin ikinci analiz sonucunu, i) figürü A-10-R'nin ilk analiz sonucunu, j) figürü A-10-R'nin ikinci analiz sonucunu göstermektedir.


a)
b)
c)
d)
e)
f)
g)
h)
i)
j)

Şekil 6.53 Alt sınır rafinasyon numunelerinin EDS analizleri



	Al	Mg	Si	Fe
A-2-Ö-R-B	2.7925	0.151	0.286	0.8425
A-4-Ö-R-B	2.4295	0.6645	0.3355	1.058
A-6-Ö-R-B	2.7945	0.287	0.648	0.8115
A-8-Ö-R-B	2.2215	0.327	0.41	1.132
A-10-Ö-R-B	1.6335	0.9985	0.723	0.3235

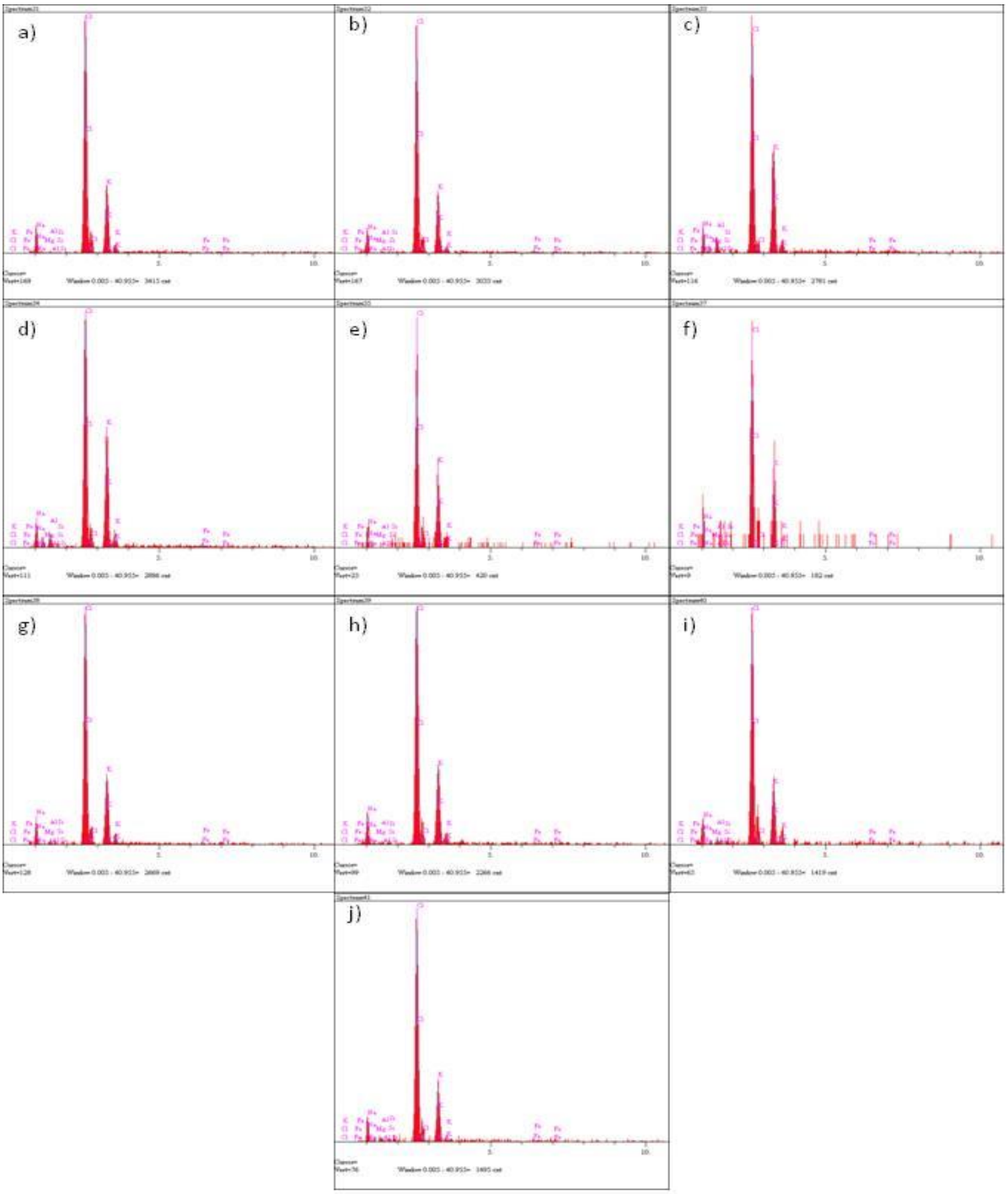
Şekil 6.54 Alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği

Şekil 6.54'teki EDS sonuçları incelendiğinde alt sınır rafinasyon prosesinin gerçekleştiği proseste cüruftaki alüminyum içeriğinin en düşük olduğu numune %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numune olmuştur. Cürufların alüminyum içerikleri incelendiğinde kriyolit oranı artışı ile birlikte alüminyumda azalma görüldüğü söylenebilir. Ancak toplam alüminyum içeriği sadece rafinasyon prosesi uygulanan cürufa göre oldukça azdır. Bunun sebebi cürufun baskın bir şekilde klor içeriğinin olmasıdır. Alüminyum içeriğindeki bu keskin düşüşün sebebinin kullanılan örtü flaksının oksit oluşumunu engellemesi olduğu öngörülmektedir.

Magnezyum içeriği incelendiğinde en yüksek magnezyum içeriğinin %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numunede olduğu görülmüştür. Kriyolit oranındaki artışla birlikte magnezyum kaybının arttığı yorum yapılabilir.

Silisyum içeriğinde artan kriyolit oranı ile doğru orantılı bir değişim görülmektedir. Kriyolit oranı arttıkça cüruftaki silisyum miktarı da yükselmiştir. İlgili cüruf numunelerinin hepsinde demir birbirine yakın orandadır. Bu sebeple

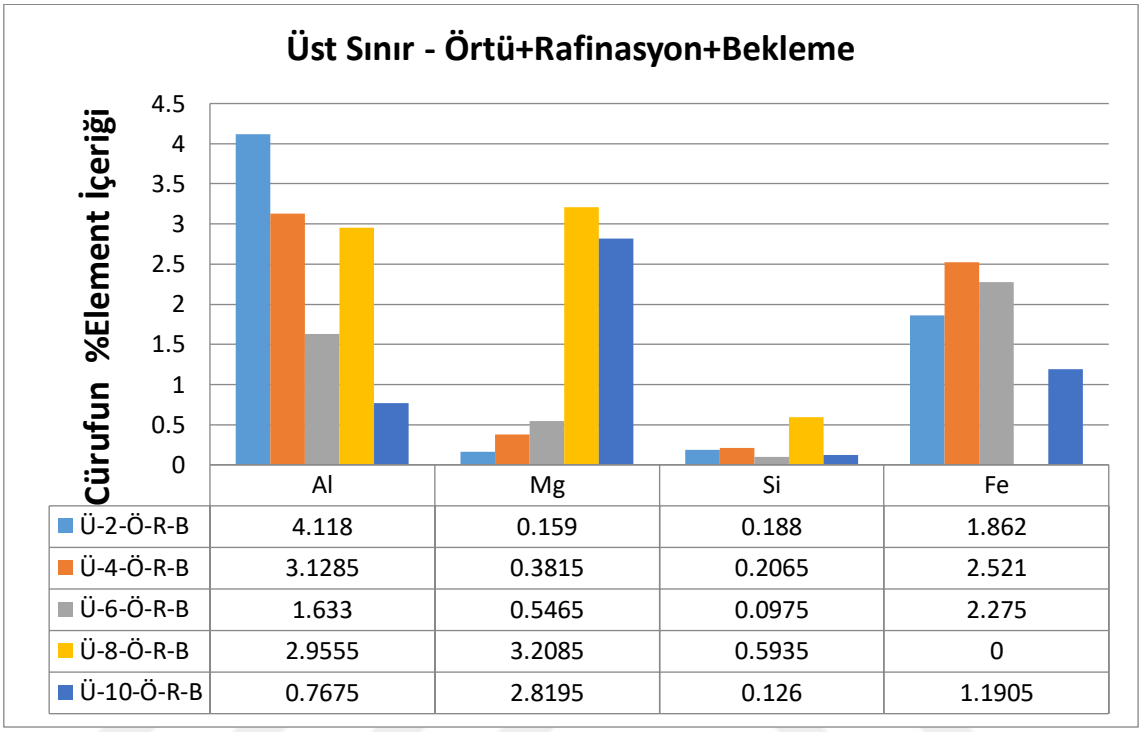
aynı uygulama yönteminde değişen kriyolit içeriğiyle alakalı olarak bir yorum yapılamamıştır.



Şekil 6.55 Alt sınır örtü+rafinasyon+bekleme prosesi numunelerinin EDS analizleri

Şekil 6.55'te a) figürü , A-2-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, b) figürü A-2-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, c) A-4-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, d) figürü A-4-Ö-R-

B'nin ikinci analiz sonucunu, e) figürü A-6-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, f) figürü A-6-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, g) figürü A-8-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, h) figürü A-8-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, i) figürü A-10-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, j) figürü A-10-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu göstermektedir



	Al	Mg	Si	Fe
Ü-2-Ö-R-B	4.118	0.159	0.188	1.862
Ü-4-Ö-R-B	3.1285	0.3815	0.2065	2.521
Ü-6-Ö-R-B	1.633	0.5465	0.0975	2.275
Ü-8-Ö-R-B	2.9555	3.2085	0.5935	0
Ü-10-Ö-R-B	0.7675	2.8195	0.126	1.1905

Şekil 6.56 Üst sınır örtü+rafinasyon+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği

Şekil 6.56'daki EDS sonuçları incelendiğinde alt sınır rafinasyon prosesinin gerçekleştiği proseste cüruftaki alüminyum içeriğinin en düşük olduğu numune %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numune olmuştur. Cürufların alüminyum içerikleri incelendiğinde kriyolit oranı artışı ile birlikte alüminyumda azalma görüldüğü söylenebilir. Ancak toplam alüminyum içeriği sadece rafinasyon prosesi uygulanan cürufa göre oldukça azdır. Bunun sebebi cürufun baskın bir şekilde klor içeriğinin olmasıdır. Alüminyum içeriğindeki bu keskin düşüşün sebebinin kullanılan örtü flaksının oksit oluşumunu engellemesi olduğu öngörülmektedir.

Magnezyum içeriği incelendiğinde en yüksek magnezyum içeriğinin %8 ve 10 kriyolit içeren flaks kullanılan numunede olduğu görülmüştür. Kriyolit oranındaki artışla birlikte magnezyum kaybının arttığı yorum yapılabilir. Oransal olarak

kaybın bu kadar artmasının sebebi numunedeki oranın yükselmesi ve sürekli olarak yapılan karıştırma işlemidir.

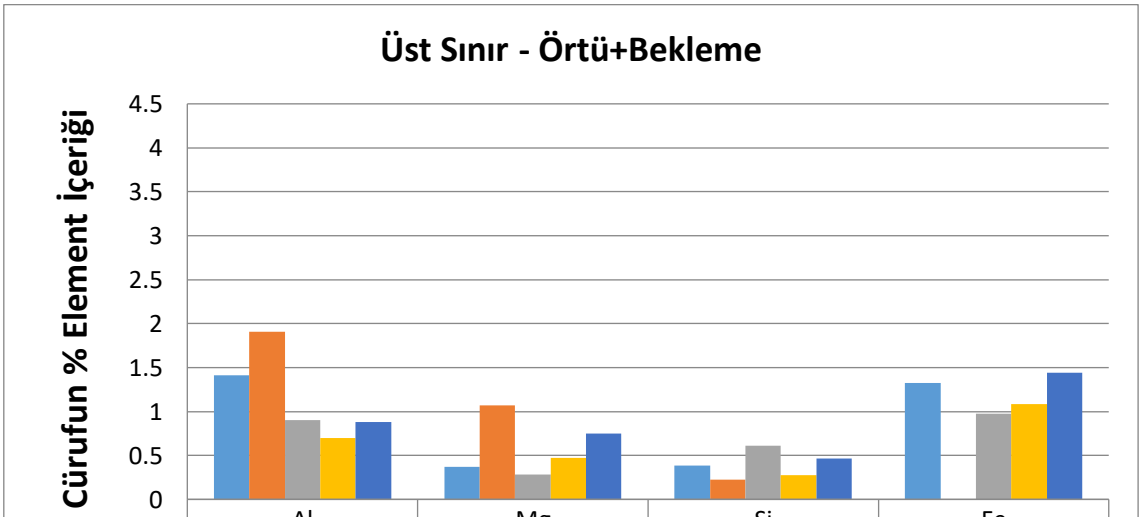
Silisyum ve demir içeriği ilgili cüruf numunelerinin hepsinde birbirine yakın orandadır. Bu sebeple aynı uygulama yönteminde değişen kriyolit içeriğiyle alakalı olarak bir yorum yapılamamıştır.



Şekil 6.57 Üst sınır örtü+rafinasyon+bekelme prosesi numunelerinin EDS analizleri

Şekil 6.57'de a) figürü Ü-2-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, b) figürü Ü-2-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, c) figürü Ü-4-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, d) figürü Ü-4-

Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, e) figürü Ü-6-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, f) figürü Ü-6-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, g) figürü Ü-8-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, h) figürü Ü-8-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu, i) figürü Ü-10-Ö-R-B'nin ilk analiz sonucunu, j) figürü Ü-10-Ö-R-B'nin ikinci analiz sonucunu göstermektedir.



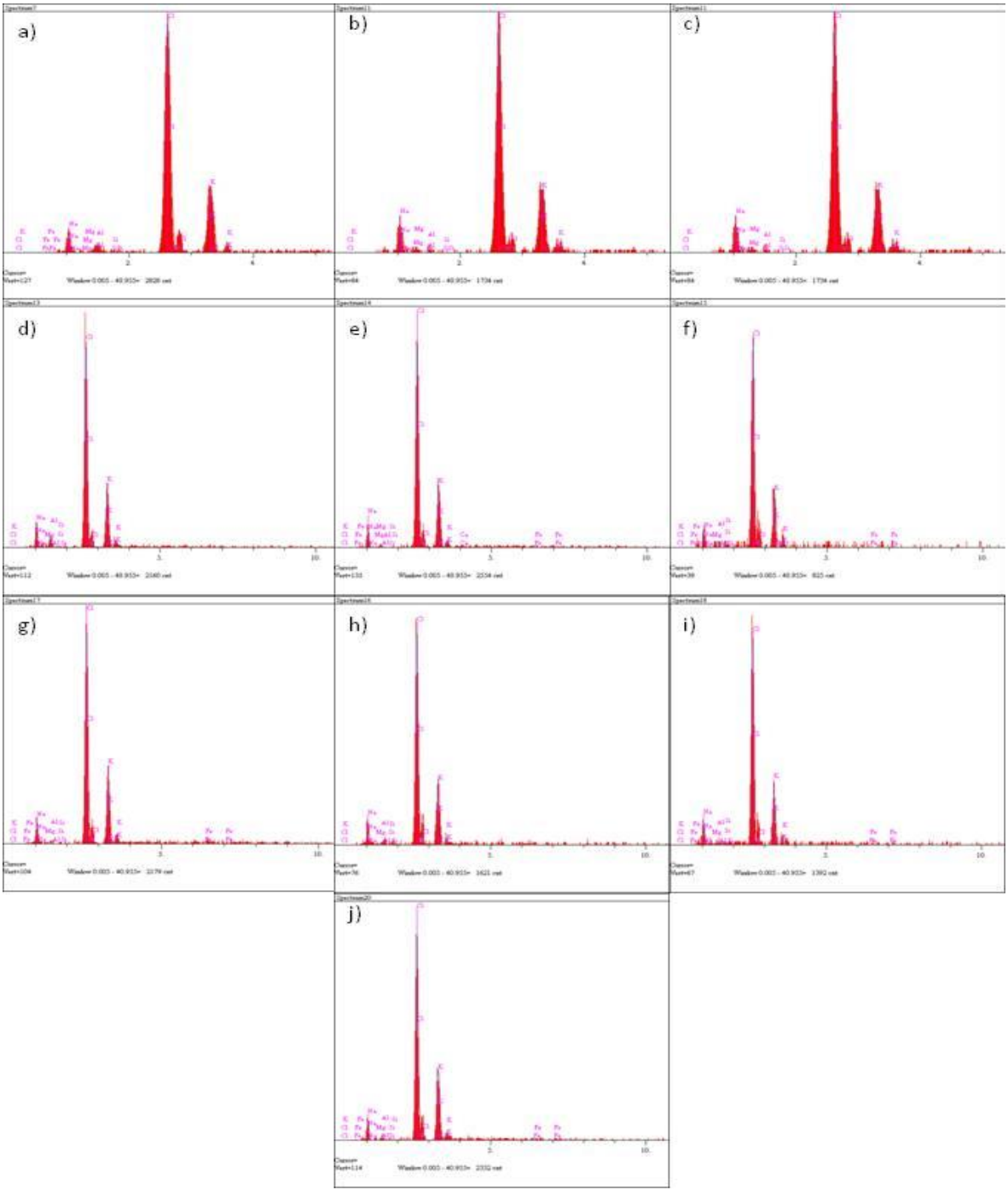
	Al	Mg	Si	Fe
Ü-2-Ö-B	1.4145	0.369	0.383	1.327
Ü-4-Ö-B	1.9075	1.066	0.2225	0
Ü-6-Ö-B	0.905	0.281	0.614	0.9715
Ü-8-Ö-B	0.695	0.469	0.2725	1.084
Ü-10-Ö-B	0.883	0.749	0.4635	1.442

Şekil 6.58 Üst sınır örtü+bekleme numuneleri cürufunun EDS analizi grafiği

Şekil 6.58'deki EDS sonuçları incelendiğinde alt sınır rafinasyon prosesinin gerçekleştiği proseste cüruftaki alüminyum içeriğinin en düşük olduğu numune %10 kriyolit içeren flaks kullanılan numune olmuştur. Cürufların genelinde alüminyum içerikleri incelendiğinde kriyolit oranı artışı ile birlikte alüminyumda azalma görüldüğü söylenebilir. Ancak toplam alüminyum içeriği örtü+rafinasyon+bekleme prosesi uygulanan cürufa göre oldukça azdır. Bunun sebebinin rafinasyon prosesi için dipten yapılan uygulama sonucunda alüminyum kaybının artmış olabileceği yorumu yapılabilir.

Magnezyum içeriği incelendiğinde dengesiz bir değişim olduğu görülmüştür. Bu uygulama yöntemi için kriyolit miktarı ile alakalı herhangi bir yorum yapılamamıştır.

Silisyum ve demir içeriği ilgili cüruf numunelerinin hepsinde birbirine yakın orandadır. Bu sebeple aynı uygulama yönteminde değişen kriyolit içeriğiyle alakalı olarak bir yorum yapılamamıştır.



Şekil 6.59 Üst sınır örtü+bekleme prosesi numunelerinin EDS analizleri

Şekil 6.59'da a) figürü Ü-2-Ö-B'nin ilk analiz sonucunu, b) figürü Ü-2-Ö-B'nin ikinci analiz sonucunu, c) figürü Ü-4-Ö-B'nin ilk analiz sonucunu, d) figürü Ü-4-Ö-B'nin

ikinci analiz sonucunu, e) figürü Ü-6-Ö-B'nin ilk analiz sonucunu, f) figürü Ü-6-Ö-B'nin ikinci analiz sonucunu, g) figürü Ü-8-Ö-B'nin ilk analiz sonucunu, h) figürü Ü-8-Ö-B'nin ikinci analiz sonucunu, i) figürü Ü-10-Ö-B'nin ilk analiz sonucunu, j) figürü Ü-10-Ö-B'nin ikinci analiz sonucunu göstermektedir.

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada belirlenen son set deneyler için 50 adet ergitme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde 2 adet alaşım kombinasyonu, 6 adet flaks kombinasyonu, 4 adet uygulama yöntemi ile döküm deneyleri gerçekleştirilmiş ve herhangi bir flaks uygulaması yapılmadan alt sınır ve üst sınır kombinasyonlarına ait referans numuneleri dökülmüştür. Deneylerin amacı alaşım kombinasyonuna bağlı olarak kullanım amacına göre optimum flaks kombinasyonu ve uygulama yöntemi belirleyebilmektir.

Bu amaçla gerçekleştirilen döküm deneyleri sonucunda elde edilen numuneler elementel analize tabi tutularak gerçekleşen element kayıpları incelenmiştir. Döküm deneyleri sonucunda ortaya çıkan cüruf numuneleri EDS analizine tabi tutularak cürufun elementel içeriği analiz edilmiştir. Bütün bu deneylerin ve uygulanan testlerin sonucunda;

- Alt sınır ve üst sınır deney numuneleri arasındaki alüminyum kaybı incelendiğinde üst sınır numunelerindeki kayıpların daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin alaşımlama sırasında yapılan karıştırma işlemi olduğu öngörülmektedir.
- Alüminyum kayıpları alt sınır ve üst sınır kombinasyonlarının ikisinde de örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+rafinasyon uygulamalarında daha düşük seviyededir. Örtü flaksı kullanımı oksitlenmeyi azalttığı için alüminyum kaybı azalmıştır.
- Alüminyum kaybı kriyolit miktarına bağlı olarak incelendiğinde bütün uygulama yöntemleri için kriyolit miktarındaki artışla birlikte alüminyum kaybı azalmıştır. Cürufa geçen alüminyum miktarı ise kriyolit artışı ile azalmıştır.
- Magnezyum kaybı alt sınır ve üst sınır numuneleri için de örtü+rafinasyon+bekleme ve örtü+bekleme proseslerinde daha yüksektir.

Bu iki proseste de kullanılan flaks miktarı daha fazladır. Flaks kullanımının artmasıyla beraber magnezyum kaybının arttığı yorumu yapılabilir.

- Magnezyum kaybı incelendiğinde sonuçların genelinde kriyolit miktarı artışıyla birlikte magnezyum kaybı artmıştır. Cüruflara uygulanan EDS analizleri de bu sonucu desteklemektedir.
- Demir kayıpları incelendiğinde alt sınır ve üst sınır numuneleri için uygulama yöntemi ve flaks kombinasyonuna bağlı bariz bir değişim görülmemiştir. Demir kaybı ile alakalı uygulanan parametreler arasında bir bağlantı kurulamamıştır.
- Mangan kaybı sisteme beslenen mangan miktarı artışı ile artmıştır. Ancak uygulama yöntemi ve değişen kriyolit oranıyla bağlantılı bir ilişki kurulamamıştır.
- Bakır kaybı sisteme beslenen bakır miktarı ile bağlantılı olarak artmıştır. Ancak uygulanan parametreler ile arasında bir bağlantı kurulamamıştır.
- Alüminyum kaybının azaltılması için önerilen yöntem yüksek kriyolit içerikli örtü flaksı kullanımını içeren bir proses tasarlanmasıdır.
- Magnezyum rafinasyonu için alt sınır ve üst sınırda çalışılacak uygulamaların her ikisine uygulanabilecek flaks bileşimi yüksek kriyolit içerikli flaks tipidir.
- Magnezyum rafinasyonu ve düşük alüminyum kaybı için kullanılacak en iyi kombinasyon; yüksek kriyolit içerikli flaks kullanımı ile örtü+rafinasyon+bekleme uygulamasıdır.
- Magnezyum ve alüminyum haricinde yaşanana kayıplarda, alaşım çeriğinin zenginleşmesiyle birlikte yaşanan kayıpların artması haricinde herhangi bir tutarlı sonuç alınamamıştır.

Yapılacak çalışma önerisi;

Kriyolit tuzu özelinde, magnezyum ve alüminyum haricinde herhangi bir kazanımın söz konusu olmadığı görülmüştür. Bu sebeple NaCl-KCl-Al_3NaF_6 karışımına eklenebilecek ve diğer alaşım elementleri için kazanım sağlayabilecek

farklı bir florid tuzu araştırması yapılarak benzeri bir optimizasyon çalışması tekrarlanabilir. Yapılan bu çalışma sonuçları ile birleştirilerek daha yüksek verim sağlayabilecek bir flaks kombinasyonuna ulaşılması sağlanabilir.

KAYNAKÇA

[1] G. Gaustad, E. Olivetti, and R. Kirchain, "Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 58, pp. 79–87, 2012.

[2] J. Votano, M. Parham, and L. Hall, "Hanbook of aluminum Volume 2 alloy production and material manufacturing," *Chem. …*, vol. 59, pp. 1–731, 2004.

[3] A. Meshram, R. Jha, and S. Varghese, "Towards recycling: Understanding the modern approach to recover waste aluminium dross," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 1487–1491, 2021.

[4] A. T. Tabereaux and R. D. Peterson, *Aluminum Production*, vol. 3, no. V. Elsevier Ltd., 2014.

[5] K. E. Einarsrud, "The effect of detaching bubbles on aluminum-cryolite interfaces: An experimental and numerical investigation," *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, vol. 41, no. 3, pp. 560–573, 2010.

[6] P. D. Lee, R. C. Atwood, R. J. Dashwood, and H. Nagaumi, "Modeling of porosity formation in direct chill cast aluminum–magnesium alloys," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 328, no. 1–2, pp. 213–222, May 2002.

[7] C. N. Cochran, D. L. Belitskus, and D. L. Kinosz, "Oxidation of aluminum-magnesium melts in air, oxygen, flue gas, and carbon dioxide," *Metall. Trans. B*, vol. 8, no. 1, pp. 323–332, 1977.

[8] M. Divandari and J. Campbell, "Oxide film characteristics of Al-7Si-Mg alloy in dynamic conditions in casting," *Int. J. Cast Met. Res.*, vol. 17, no. 3, pp. 182–187, 2004.

[9] G. Eisaabadi Bozchaloei, N. Varahram, P. Davami, and S. K. Kim, "Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al–7Si–0.3Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 548, pp. 99–105, Jun. 2012.

[10] Y. Tekn, "Hurda alümïnyum safsizliklarinin hurda hazirlama ve ïzabe ïşlemlerï ïle gïderïlmesï yollarinin araştirilmasi," 2009.

[11] V. Y. Risonarta, J. Anggono, S. Nugrowibowo, and A. Kristoforus, "The influence of flux type and scrap size on recycling yield of Al drink cans," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, p. 012179, 2021.

[12] M. E. Schlesinger, "Aluminum Recycling," *Alum. Recycl.*, 2006.

[13] Kurt K, "Direkt Soğutmalı ve Çift Merdanel Döküm Yolu ile Üretilen 6XXX Serisi Kaynaklı ve Kaynaksız Alüminyum Alaşımlarının Oyuklanma Korozyonu Davranışı," *La Soc. la Soc.*, pp. 5–65, 2006.

[14] A. Kudyba and J. Safarian, "Manganese and Aluminium Recovery from Ferromanganese Slag and Al White Dross by a High Temperature Smelting-Reduction Process," *Materials (Basel).*, vol. 15, no. 2, 2022.

[15] D. G. Eskin, J. Zuidema, V. I. Savran, and L. Katgerman, "Structure formation and macrosegregation under different process conditions during DC casting," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 384, no. 1–2, pp. 232–244, Oct. 2004.

[16] R. Nadella, D. G. Eskin, Q. Du, and L. Katgerman, "Macrosegregation in direct-chill casting of aluminium alloys," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 3, pp. 421–480, 2008.

[17] B. C. H. Venneker and L. Katgerman, "Modelling issues in macrosegregation predictions in direct chill castings," *J. Light Met.*, vol. 2, no. 3, pp. 149–159, Aug. 2002.

[18] T. A. Utigard, K. Friesen, R. R. Roy, J. Lim, A. Silny, and C. Dupuis, "The properties and uses of fluxes in molten aluminum processing," *Jom*, vol. 50, no. 11, pp. 38–43, 1998.

[19] N. sözbir, A. Ateş, and M. Akçil, "Alüminyum Cürufundan Çelik Endüstrisi için Flaks Üretimi," *Acad. Platform-Journal Eng. Sci.*, no. May, pp. 1–7, 2018.

[20] A. Nylund, K. Mizuno, and I. Olefjord, "Influence of Mg and Si on the oxidation of aluminum," *Oxid. Met.*, vol. 50, no. 3–4, pp. 309–325, 1998.

[21] W. R. Opie and N. J. Grant, "Hydrogen solubility in aluminum and some aluminum alloys," *Jom*, vol. 2, no. 10, pp. 1237–1241, 1950.

[22] G. M. Scamans and E. P. Butler, "In situ observations of crystalline oxide

formation during aluminum and aluminum alloy oxidation," *Metall. Trans. A*, vol. 6, no. 11, pp. 2055–2063, 1975.

[23] G. K. Sigworth, "The Grain Refining of Aluminum and Phase Relationships in the Al-Ti-B System," *Metall. Trans. A*, vol. 15, no. 2, pp. 277–282, 1984.

[24] G. Yüksek, T. İ. Enst, E. Ed, İ. L. M. İş, and A. A. Alüm, "FARKLI EKSTRÜZYON HIZLARINDA EKSTRÜZE ED İ LM İŞ AA6063 ALÜM İ NYUM," 2006.

[25] R. Juárez and A. Flores, "Analysis of fluid flow in 1: 2 Physical model scale of reverberatory furnace for molten aluminium refining," *Int. J. Cast Met. Res.*, vol. 23, no. 5, pp. 271–277, 2010.

[26] J. Y. Yao, D. A. Graham, B. Rinderer, and M. J. Couper, "A TEM study of precipitation in Al–Mg–Si alloys," *Micron*, vol. 32, no. 8, pp. 865–870, Jan. 2001.

[27] Y. Zhang, N. Ma, H. Yi, S. Li, and H. Wang, "Effect of Fe on grain refinement of commercial purity aluminum," *Mater. Des.*, vol. 27, no. 9, pp. 794–798, Jan. 2006.

[28] H. Hashemi and R. Raiszadeh, "Naturally-pressurized running systems: The role of ceramic filters," *J. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2115–2122, 2009.

[29] J. A. S. Tenório and D. C. R. Espinosa, "High-temperature oxidation of Al-Mg alloys," *Oxid. Met.*, vol. 53, no. 3, pp. 361–373, 2000.

[30] R. Wu, Z. K. Qu, B. Sun, and D. Shu, "Effects of spray degassing parameters on hydrogen content and properties of commercial purity aluminum," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 456, no. 1–2, pp. 386–390, May 2007.

[31] B. Wan *et al.*, "Synthesis of cryolite (Na3AlF6) from secondary aluminum dross generated in the aluminum recycling process," *Materials (Basel).*, vol. 13, no. 17, 2020.

[32] L. Zhao, Y. Pan, H. Liao, and Q. Wang, "Degassing of aluminum alloys during re-melting," *Mater. Lett.*, vol. 66, no. 1, pp. 328–331, Jan. 2012.

[33] B. Novak, K. Tschöpe, A. P. Ratvik, and T. Grande, "The effect of cryolite on the formation of aluminum carbide at the carbon aluminum interface,"

Miner. Met. Mater. Ser., no. 210869, pp. 1245–1250, 2016.

[34] A. M. Samuel and F. H. Samuel, "Various aspects involved in the production of low-hydrogen aluminium castings," *J. Mater. Sci.*, vol. 27, no. 24, pp. 6533–6563, 1992.

[35] C. Liu, Z. Hu, and J. Zeng, "Removal of impurities in aluminum by use of fluxes," *Adv. Mater. Res.*, vol. 509, pp. 152–155, 2012.

[36] B. Wan *et al.*, "Determination of fluoride component in the multifunctional refining flux used for recycling aluminum scrap," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 3447–3459, May 2020.

[37] O. Majidi, S. G. Shabestari, and M. R. Aboutalebi, "Study of fluxing temperature in molten aluminum refining process," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 182, no. 1–3, pp. 450–455, Feb. 2007.

[38] H. Lv, H. Zhao, Z. Zuo, R. Li, and F. Liu, "A thermodynamic and kinetic study of catalyzed hydrolysis of aluminum nitride in secondary aluminum dross," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 9735–9745, 2020.

[39] Q. Y. Han, "Ultrasonic degassing of aluminum alloys," *Mater. Sci. Forum*, vol. 783–786, pp. 155–160, 2014.

[40] B. Zhou, Y. Yang, M. A. Reuter, and U. M. J. Boin, "Modelling of aluminium scrap melting in a rotary furnace," *Miner. Eng.*, vol. 19, no. 3, pp. 299–308, Mar. 2006.

[41] A. Ulus, H. Ekici, and T. M. Industry, "Change of Slag Characteristics due to Chemical Composition and Rafination Process Parameters in Aluminum Alloys," no. November, 2017.

[42] R. R. Roy and T. A. Utigard, "Interfacial tension between aluminum and NaCl-KCl-based salt systems," *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, vol. 29, no. 4, pp. 821–827, 1998.

[43] J. A. S. Tenorio and D. C. R. Espinosa, "Effect of salt/oxide interaction on the process of aluminum recycling," *J. Light Met.*, vol. 2, no. 2, pp. 89–93, May 2002.

[44] T. A. Utigard, R. R. Roy, and K. Friesen, “The roles of molten salts in the treatment of aluminum,” *Can. Metall. Q.*, vol. 40, no. 3, pp. 327–334, 2001.

[45] Y. Xiao and M. A. Reuter, “Recycling of distributed aluminium turning scrap,” *Miner. Eng.*, vol. 15, no. 11, pp. 963–970, Nov. 2002.

[46] A. Kabil and M. Cigdem, “Alüminyum Geri Dönü ş ümünde Farkl ı Flaks (Eritken) Bile ş imlerinin Mekanik,” no. December, 2019.

[47] Widyantoro, D. Dhaneswara, J. Fajar Fatriansyah, M. Reza Firmansyah, and Y. Prasetyo, “Removal of Oxide Inclusions in Aluminium Scrap Casting Process with Sodium based Fluxes,” *MATEC Web Conf.*, vol. 269, p. 07002, 2019.

[48] L. P. H. Jeurgens, W. G. Sloof, F. D. Tichelaar, and E. J. Mittemeijer, “Growth kinetics and mechanisms of aluminum-oxide films formed by thermal oxidation of aluminum,” *J. Appl. Phys.*, vol. 92, no. 3, pp. 1649–1656, 2002.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Uluslararası konferans bildirileri:

M. Dinçer, B. Birol, H. Ekici, B. Güraydın, O. Ay and İ. C. Dinçer "Structural and Elemental Analysis of Dross Content Due to Combination of Alloy and Flux in 6063 Series Aluminum Alloy, TH INTERNATIONAL ADVANCED TECHNOLOGIES SYMPOSIUM (IATS'21)