



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CURUFLARDAN
METAL GERİ DÖNÜŞÜMÜ



MAHİR ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CURUFLARDAN
METAL GERİ DÖNÜŞÜMÜ

MAHİR ÇEVİK

Bu tez,
Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Mahir ÇEVİK tarafından hazırlanan “CURUFLARDAN METAL GERİ DÖNÜŞÜMÜ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 18/01/2018 tarihinde oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

İMZA

Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER (DANIŞMAN)

.....

Fizik Bölümü.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Alaaddin GÜNDEŞ (İkinci Danışman)

.....

Fizik Bölümü.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Faruk BAKKALOĞLU

.....

Fizik Mühendisliği Bölümü

Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Söğüt

.....

Fizik Bölümü.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ARSLAN

.....

Fizik Bölümü.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKEİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mahir ÇEVİK



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No:2016/6-18 YLS

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

CURUFLARDAN METAL GERİ DÖNÜŞÜMÜ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

MAHİR ÇEVİK

ÖZET

Ülkemizde ve dünyamızda her geçen gün geri dönüşüm (ikincil) kaynaklardan alüminyum üretimi artmaktadır. İkincil kaynaklardan alüminyum geri dönüşüm sürecinin ergitme safhasında ise alüminyum curufları meydana gelmektedir. İçerik olarak alüminyum curufları % 15–60 oranında metalik alüminyum ihtiva ederken bunun yanı sıra tuz (NaCl, KCl, CaF₂), alüminyum oksit ve bazı metal oksitleri de bünyesinde barındırmaktadır. Alüminyum sanayisinde alüminyum istenen saflık derecesine getirebilmek için curuflardan metal geri dönüşüm sürecinde ergitme işlemlerinden döküm işlemlerine geçmeden önce eriyik halde bulunan alüminyuma daha saf miktarlarda alüminyum ilavesi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada alüminyum geri dönüşümü yapan bir tesisten temin edilen alüminyum cürufunu birtakım ön işlemlerden geçirdikten sonra curuflardan külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilmiştir. Külçe alüminyum üretimi esnasında meydana gelen ve zararlı bir atık olan tuz keklerinden ise hidrometalürjik yöntem ile Al₂O₃ elde edilmiştir. Bu çalışmanın ikinci kısmında ise alüminyum saflaştırmak için saf alüminyum ilavesi yapmak yerine kimyasallar kullanılarak alüminyum saflaştırılmıştır. Alüminyum bakımından %99.28 saflık düzeyine sahip numune kimyasallarla ergitme yöntemine tabi tutulmuş ve saflık oranı %99.65' e çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, alüminyum curufu, geri dönüşüm, saflaştırma

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Ocak / 2018

Danışman: Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Alaaddin GÜNDEŞ

Sayfa sayısı: 60

METAL RECYCLING FROM DROSS
(M.Sc. THESIS)

MAHİR ÇEVİK

ABSTRACT

Aluminum production is increasing day by day in our country and world from recycling (secondary) sources. Aluminum slags come to the fore during the melting phase of the aluminum recycling process from secondary sources. Aluminum slags contain 15-60 % metallic aluminum, but also salt (NaCl , KCl , CaF_2), aluminum oxide and some metal oxides. In the aluminum industry, in order to bring the aluminum to the desired purity level, the metal recycling process from the slags is carried out with aluminum in the more pure amounts of the molten aluminum before it is cast into the smelting processes. In this study, an aluminum recycling producer tried to achieve aluminum ingot from the slag after the aluminum slag obtained after some preliminary operations. Al_2O_3 has been obtained by the hydrometallurgical method due to harmful retaining salt cakes which arise during the ingot aluminum production. In the second part of this work, aluminum was purified using chemicals instead of pure aluminum to purify aluminum. The aluminum with a purity level of 99.28% was subjected to smelting chemistry and the purity ratio was increased to 99.65%.

Key words: Aluminum, aluminum slag, recycling, purification

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics, January / 2018

Supervisor: Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER

Assist Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Alaaddin GÜNDEŞ

Page Numbers: 60

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmamın her aşamasında sağladığı bilimsel katkılardan dolayı emekleri geçen Yrd. Doç. Dr. Alaaddin GÜNDEŞ ve Prof. Dr. Adnan KÜÇÜKÖNDER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.2. ALÜMİNYUM	4
1.2.1. Alüminyumun Tarihçesi ve Özellikleri	4
1.2.2. Alüminyumun Kullanım Yerleri ve Önemi	8
1.2.3. Alüminyum Alaşımları	12
1.2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması	12
1.2.3.2. Alaşımda Kullanılan Elementlerin Alaşıma Etkileri	13
1.3. DÜNYA ALÜMİNYUM ÜRETİM VE TÜKETİMİ.....	16
1.4. TÜRKİYE’DE ALÜMİNYUM SEKTÖRÜ	25
1.5. ALÜMİNYUM ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	28
1.5.1. Birincil Alüminyum Üretimi	29
1.5.2. İkincil Alüminyum Üretimi	31
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	34
3.MATERYAL METOT	36
3.1. Materyaller.....	36
3.1.1. Deneyde Kullanılan Hammadde ve Kimyasallar	36
3.1.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	37
3.2. Metot.....	39
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	46
5. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR.....	54
EKLER	57
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Ton Başına Alüminyum Üretimi İçin Tüketilen Enerji Miktarları .	2
Şekil 1.2. Alüminyum Değer Zinciri .	16
Şekil 1.3. Haziran 2017 Yılı Dünya Alüminyum Üretimi .	17
Şekil 1.4. 2016 Yılı İtibariyle Dünya Boksit Rezervleri (Milyon Metrik Ton) .	17
Şekil 1.5. Boksit Rezervlerinin Dünya Üzerindeki Dağılımı .	18
Şekil 1.6. Dünya Alüminyum Tüketiminde Türkiye'nin Yeri .	25
Şekil 1.7. Türkiye'de Yıllara Göre Alüminyum Tüketimi .	26
Şekil 1.8. Alüminyum Üreten ve İthal Eden Ülkeler .	26
Şekil 1.9. Türkiye'de Ürün Çeşidine Göre Yapılan Alüminyum İhracatları .	27
Şekil 1.10. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Akış Şeması .	29
Şekil 1.11. Birincil Alüminyum Üretim Aşamaları .	30
Şekil 1.12. Bayer Prosesinin Genel Aşamaları .	30
Şekil 1.13. İkincil Alüminyum Üretim Aşamaları .	32
Şekil 3.1. Alüminyum Curufu .	36
Şekil 3.2. Saflaştırmada Kullanılan Tablet .	37
Şekil 3.3. Spektrometre Cihazı .	38
Şekil 3.4. Philips X'Pert PRO marka XRD cihazının (a) dış ve (b) iç görünümü .	38
Şekil 3.5. Külçe Alüminyum Üretiminin Akış Şeması .	39
Şekil 3.6. Öğütme Sonrası Elde Edilen Curuf .	39
Şekil 3.7. Ergitme İşleminin Yapıldığı Yer Ocağı .	40
Şekil 3.8. Ferflux 110 Alüminyum Alaşımı Enjeksiyon Flaksı .	40
Şekil 3.9. Alüminyum Döküm İşlemleri .	41
Şekil 3.10. Tuz keki .	42
Şekil 3.11. Tuz Kekinin Geri Dönüşüm Prosesi .	42
Şekil 3.12. NaOH İle Liç İşlemleri .	43
Şekil 3.13. NaOH Çözeltilisinin Katı Sıvı Ayrımı .	43
Şekil 3.14. $Al(OH)_3$ ' in H_2SO_4 ile Çöktürme İşlemleri .	44
Şekil 3.15. Alüminyum Oksit .	44
Şekil 3.16. Saflaştırma İşlemleri .	45
Şekil 4.1. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Öncesi XRD Analizi .	50
Şekil 4.2. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Sonrası XRD Analizi .	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1 Alüminyumun Genel Özellikleri	8
Çizelge 1.2 Alüminyumun Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı	10
Çizelge 1.3 Alüminyum İşlem Alaşımlarında Simgeleme Dizisi	13
Çizelge 1.4 Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (USGS), Mineral Verileri..	19
Çizelge 4.1 Tambur Öncesi Alüminyum Curufunun WDXRF Analizi	46
Çizelge 4.2 Tambur Sonrası Ergitmeye Hazır Hammaddenin WDXRF Sonuçları	47
Çizelge 4.3 Tuz Kekinden Elde Edilen Alüminyum Oksitin WDXRF Sonucu.....	48
Çizelge 4.4 Curuflardan Üretilen Külçe Alüminyumun Spektrometre Analizi..	49
Çizelge 4.5 Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Öncesi Spektroskopi Analizi	51
Çizelge 4.6 Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Sonrası Spektroskopi Analizi	52



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_M	: Metalik Alüminyum
ASA	: Amerikan Standartları Birliği (American Standards Association)
IAI	: Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (International Aliminium Institute)
MTA	: Maden Teknik Arama
NMR	: Metalik Olmayan Kısım (Non Material Residue)
PPM	: Milyonda bir birim (Parts per million)
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (United States Geological Survey)

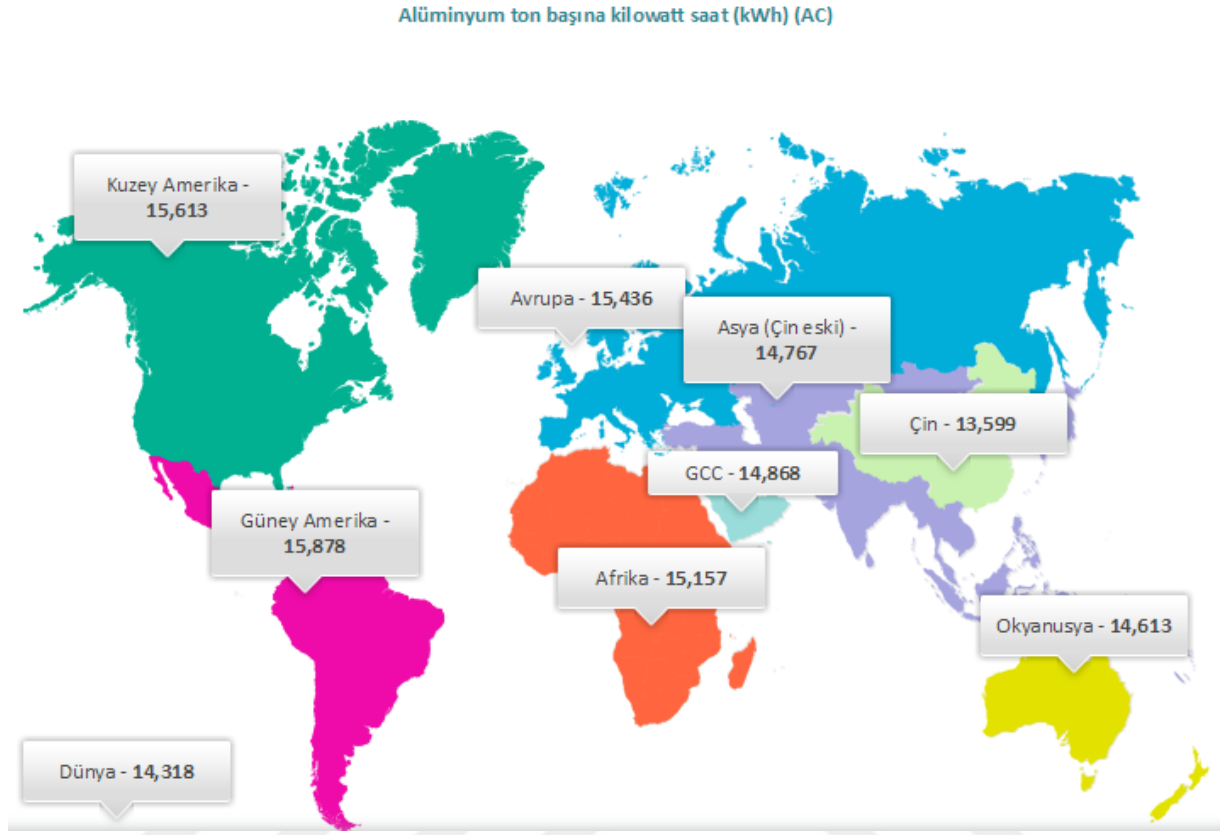
1.GİRİŞ

Dünyada çok hızlı gelişen teknoloji ile birlikte, bu teknolojide kullanılan malzemenin hafifliği, işlenebilirliği, korozyona karşı direnci, rezervi ve tekrar geri-dönüşümü açısından alüminyum demir ve demir dışı metal ihracatında en büyük paya sahip metallere olup birçok sanayi sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye'nin 57 milyon/ton görünür ve 365 milyon/ton muhtemel boksit rezervi bulunmaktadır. 2017 yılı itibariyle Bayer Teknolojisi ile alüminyum üretilebilecek boksit rezervi ise 63.3 milyon/ton dolaylarındadır. 63.3 milyon/ton boksitten ise yaklaşık olarak 15.8 milyon/ton alüminyum üretimi söz konusudur. Ülkemizde 1 milyon ton/yıl kapasiteli bir alüminyum üretim tesisi kurulduğunda 15.8 milyon/ton olan hammaddemiz 15 yıl gibi bir süre içerisinde tükenecektir [1].

Alüminyum metali boksitten (birincil üretim) ve hurdadan (ikincil üretim) üretim yöntemi ile elde edilmektedir. Alüminyum curufu ise boksit ve hurdadan alüminyum üretimi esnasında meydana gelen atık bir üründür. Bu atıklarda bulunan alüminyum içeriğine göre curuflar; beyaz curuf ve kara curuf olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Beyaz cüruf içerik olarak yüksek miktarda alüminyum metali ihtiva etmekle birlikte kara curuf düşük miktarda alüminyum içeren ve alüminyumun geri dönüşümü esnasında meydana gelen bir atıktır. Beyaz curuflar %15–70 oranında alüminyum içermekle birlikte beyaz curuflardan ortalama %50 dolaylarında geri dönüştürülebilir alüminyum eldesi mümkündür. Bugün kullanılan teknolojiler ile curuflardan %94 civarlarına kadar alüminyum geri dönüşümü yapılabilmektedir. Kara curuflar ise %12–18 civarında geri dönüştürülebilir alüminyum içermektedir. İçerik olarak yüksek miktarda tuz bulunan kara curuflar alüminyum oksitlerinden meydana gelmektedir. Kara curufun ergitilmesi ile non-metalik (metalik olmayan) atık tuz kekleri oluşmaktadır. Çevreye son derece zararlı olan tuz kekleri de %3-5 civarında alüminyum ihtiva etmektedir [2].

Birincil üretim ile; boksit rezervlerinin Bayer teknolojisi ile işlenmesi sonucu alümina elde edilir ve alüminadan elektroliz yöntemi kullanılarak birincil metalik alüminyum üretimi gerçekleştirilmektedir. Birincil alüminyum üretimi çok fazla miktarda enerji gerektiren bir süreçtir. Alüminadan elektroliz yöntemiyle alüminyum üretimi esnasında 1 ton birincil alüminyum üretimi için 12 500 ile 16 500 kW/s arasında enerji tüketilmektedir [3].

Uluslararası Alüminyum Enstitüsü (IAI) 2017 rakamlarına göre dünyada ton başına tüketilen enerji miktarları Şekil 1.1’ de görülmektedir.



Şekil 1.1. Ton Başına Alüminyum Üretimi İçin Tüketilen Enerji Miktarları [4].

Şekil 1.1’ den de görüldüğü üzere 1 ton alüminyum üretimi için dünyada ortalama 14 318 kW/s enerji tüketilmektedir [4]. İkincil üretimde ise; boksit rezervlerinden elde edilen birincil alüminyum, kullanım süresini doldurduktan sonra meydana gelen hurda malzemeler toplanıp temizlendikten sonra, diğer metal ve metal-dışı safsızlıklardan arındırıldıktan sonra tekrar ergitilmesi ile ikincil alüminyum üretilir. Bu şekilde alüminyum hurdalar tekrar üretim döngüsüne girerek alüminyum meteline dönüşür.

Birincil ve ikincil alüminyum üretim tesislerinden alüminyum üretirken oluşan curuf bir ara üründür ve bu curufların içerdiği yüksek miktarda alüminyumdan dolayı curuflar ikincil alüminyum tesisleri için bir hammaddedir.

Alüminyum diğer metallerden farklı olan en önemli özelliği enerji depo eden bir metal olmasıdır. Boksitten alüminyum üretimi sürecinde harcanan enerji alüminyum metali içinde birikir ve daha sonraki geri dönüşümde yani ikincil alüminyum üretimi sırasında birincil alüminyum üretiminde harcanan enerjinin %5 ‘i kadar enerji harcanarak alüminyum tekrar yeni bir ürün formuna geçer. Çevreye verilen zararlar düşünüldüğünde

ikincil alüminyum üretiminde verilen zarar birincil alüminyum üretimindeki zararın %5 ' i kadardır [3].

IAI verilerine göre Dünya'da ikincil alüminyum üretimi birincil alüminyum üretimine göre %40 oranında daha hızlı büyümektedir. Constellium, Aleris, Novelis, Hydro ve Alcoa gibi büyük alüminyum üreticileri ve tüm alüminyum sektöründeki oyuncular tüketicilerle işbirliği yapmakta ve sürdürülebilir stratejilerini her geçen gün geliştirmektedirler [5–6].

Kuzey Amerika, Japonya, AB ve Brezilya alüminyum geri dönüşümünde lider olan ülkelerdendir. Son zamanlarda Çin ve diğer ülkelerde de geri dönüşüm konusunda artış vardır. Çin' de hurdadan alüminyum üretimi ülkenin toplam alüminyum üretiminin %20 civarına karşılık gelmektedir. AB' de yıllık 4.3 milyon ton civarında geri dönüştürülebilir alüminyum hurda meydana gelmektedir. Bu değer alüminyum arzının %40' ına denk gelmektedir [7].

Bu çalışmada alüminyum geri dönüşümü yapan bir tesisten çıkan curuflar metal ve metal dışı safsızlıklardan arındırılmıştır. Oksiti alındıktan sonra curuf potada eritilerek külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu süreç sonunda meydana gelen ve zararlı bir atık olan tuz keki ise hidrometalurjik yöntemle tabi tutularak alüminyum oksit formuna dönüştürülmüştür. Tez çalışmasının ikinci kısmında ise saflaştırma işlemleri yapılmıştır.

1.2. ALÜMİNYUM

1.2.1. Alüminyumun Tarihçesi ve Özellikleri

Alüminyum, ilk defa 1807 yılında Sir Humprey Davy' nin yapmış olduğu çalışmalar sonucunda oksit halindeki bileşiğinden ayrıştırılarak elde edilmiştir. Alüminyum Dünya'da O_2 ve Si' dan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Dünya kabuğunun %8' ini oluşturan bir element olan alüminyumun bileşiklerinin çok kararlı olmasından dolayı endüstriyel anlamda alüminyum, 1886 yılında T. Heroult ve Charles Martin Hall' in yapmış olduğu elektroliz yöntemiyle kullanılmaya başlanmıştır. Elektroliz yönteminin keşfedilmesi sayesinde dünya alüminyum üretimi yıllık 13 tonlardan 50 milyon tonlara kadar yükselmiştir. Başlangıçta altın ve gümüş kadar değerli olan alüminyum üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte fiyat olarak bakırla karşılaştırılabilir bir seviyeye düşmüştür [8].

Werner von Siemens'in 1886 yılında dinamoyu keşfetmesi ve K.J.Bayer'in [9] 1892 yılında boksitten alümina elde etmeyi Bayer prosesi ile başarması ile alüminyum endüstriyel çapta daha kolay üretilebilir hale gelmiş ve böylelikle demir ve çelikten sonra en çok kullanılan bir metal olmuştur. Halen günümüzde de Amerikalı Charles Martin Hall ve Fransız Paul.T. Herault'un üretim yöntemi olan patentler (1892) kullanılmaktadır [9]. Alüminyumun gelişmesine katkı sağlayan bilim adamları ve çalışmaları ise aşağıdaki gibidir:

Nikolay Beketov (1827-1911):

Rus fizik ve kimyacı olan Nikolay Beketov, kimyasal bir yöntem kullanarak 1865 yılında alüminyum üretmiştir. Beketov, kimyasal özelliklerin benzerliğe etkileri, dış faktörler ve ayrıştırıcıların kondisyonlarının birbirleriyle olan ilişkilerini araştırırken magnezyumun eriyik Na_3AlF_6 (sodyum-alüminyum-flüorit) 'te alüminyum çözdüğünü bulmuştur. Yıllar sonra Gmelingen'deki dökümhanede bu kimyasal reaksiyon yöntemi uygulanarak alüminyum elde edilmiştir.

Karl Josef Bayer (1847-1904):

24 yaşında doktora tezini tamamlayan Avusturyalı Karl Josef Bayer indiyumun kimyası konusunda çalışmalar yapmıştır. Bayer tekstil endüstrisinde pamuk boyanması çalışmalarında tespit amaçlı kullanılan alümina üretimine yönelik çalışmalarda bulunmuş ve yararlı bir model geliştirmiştir. Bu yöntemin temeli boksiti alkali bir çözeltiden geçirip

içerisindeki sodyum alüminattan ayrılması işlemine dayanmaktadır. Bu metod hala günümüzde modern işletmelerde uygulanmaya devam etmektedir.

Alexander Yakovkin (1860-1936):

Rus bir kimyager olan Yakovkin kalitesi düşük olan Tikhvin boksitinden yeni bir yöntemle alümina eldesi gerçekleştirmiştir. Bu metod boksit madeninin soda ve kireçtaşı ile pişirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu metod daha sonraki yıllarda Volkhov Aluminium döküm tesislerinde uygulanmıştır.

Pavel Fedotiev (1864 -1934):

Rus kimyager alümina eriyiği ve kriyolitın elektrolizi konularında oldukça yoğun çalışmalar yapmıştır. Rus kimyager rehberliğinde Rusya’da alüminyum 1929 yılında Krasny Vyborzhets Dökümhanesinde üretmeyi başarmıştır. Ayrıca teknik elektrokimya, doymun minerallerin üretim teknolojileri ve elektrometalurji konularında da çalışmalar yapmıştır.

Charles Martin Hall (1863-1914):

Amerikalı kimyager ve mühendis olan Hall 1882 yılında kurulan ve alüminyum konusunda etkin bir firma olan ALCOA adlı şirketi kurmuş ve ölünceye kadarda şirketin başkanı olmuştur. Alüminyumun üretimi konusunda 22 patent geliştirmiştir. 1886 yılında ise kriyolitte çözünmüş olan alüminadan elektrik akımı geçirerek ilk endüstriyel külçe alüminyum üretimini başarmıştır.

Paul-Louis-Toussaint Heroult (1863–1914):

Fransız kimya mühendisi olan Heroult Martin Hall’in bulmuş olduğı ergimiş alüminanın elektrolizi ile alüminyum üretimi metodunu bulmuştur. 1889 yılında tasarımı tamamen kendisine ait olan elektrikselle çelik fırınını üretmiş ve bu fırın çok popüler olmuş ve Heroult fırını adıyla anılmaya başlanmıştır [10].

Alüminyum metalinin sahip olduğı birçok özellik, onun ekonomik ve ideal bir malzeme olmasını sağlamıştır.

- Alüminyum $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip hafif bir metaldir. Hacimsel olarak eş değeri bir çelik malzemenin üçte biri kadar ağırlığa sahiptir [11].
- Alüminyum hava ile teması esnasında yüzeyi 0,000000635 cm kalınlığında bir oksit tabakası ile kaplanır. Alüminyumun dışında oluşan bu koruyucu oksit tabakası sayesinde olumsuz hava şartlarına, besin maddelerine ve yaşamımızda kullanılan

birçok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır. Bu oksit tabaksı alüminyum metalini korozyona karşı dirençli olmasını sağlar [11].

- Alüminyumun ışığı yansıtma kabiliyeti fazladır. Alüminyum elektromanyetik dalgaları, ısıyı ve ışığı çok iyi yansıtan bir malzemedir. Saflık oranı yükseldikçe yansıtma özelliği de o kadar artar. Gümüşümsü görünümü sayesinde gerek iç mimari de gerekse dış mimari de çok kullanılan bir malzemedir. Alüminyumun sahip olduğu bu güzel görünüm lâke maddeleri anodik oksidasyon gibi bazı uygulamalarla daha kalıcı hale getirilebilir. Hatta birçok kullanımda doğal oksit tabakası bile yeterli olmaktadır [11].
- Alüminyum metali mekanik özellikleri bakımından geniş bir dağılıma sahiptir. Sertliği, mukavemet ve diğer bazı özellikleri ısıtıl işlem uygulanarak çok farklı değerlere ulaştırılabilmektedir. Çelik düşük sıcaklıklarda çok kırılgan bir yapıya sahipken alüminyum düşük sıcaklıklarda gerilme mukavemeti yükselir ve diğer birçok özelliklerini korur. Alüminyum çok saf haldeyken gerilme mukavemeti çok yüksek değildir. Fakat yapmış olduğu birçok alaşım sayesinde mukavemeti artabilen bir malzemedir. Bazı alüminyum alaşımları çelik mukavemetine denk hatta bazı alaşımları daha yüksektir [11].
- Elastik bir yapıya sahip olan alüminyum ani darbelere karşı dayanıklıdır. Düşük sıcaklıklarda çeliğin aksine ani darbelere karşı mukavemeti azalmaz [11].
- Soğuk şekillendirilmeye uygun olan alüminyum metalinden çubuk, levha, şerit, folyo, tel ve karmaşık şekillerde ekstrüzyon ürünleri kolay bir şekilde üretimi mümkündür. Alüminyum şekil vermek için ekstrüzyon, presleme, çekme, haddeleme, dövme ve döküm işlemleri uygulanabilir [11].
- Alüminyum elektrik iletkenliği yüksek olan bir malzemedir. Birim ağırlığa göre elektrik iletkenliği en yüksek metal alüminyumdur. Bakır elementinin %65' i kadar elektrik iletkenliğine sahip olan alüminyumun ağırlığı hacimsel olarak eşit bakırın sadece üçte biri kadardır [11].
- Alüminyum süper iletken bir malzemedir [11].
- Alüminyum çeliğe göre ısıyı üç kat daha fazla iletir ve ısı iletkenliği çok yüksek olan bir metaldir [11].
- Alüminyum çok yüksek akıcılığa sahiptir. Düşük ergime sıcaklığından dolayı dökme demir ve çeliğe göre ergitme ve döküm işlemleri kolay bir malzemedir [11].
- Alüminyum boyanabilme özelliğine sahip bir metal olup kolaylıkla kimyasal ve elektrokimyasal yüzey işleme işlemlerine tabi tutulabilmektedir [11].

- Alüminyum geri dönüşümü mümkün olan bir malzemedir. Hurdalardan ergitilerek alüminyum geri kazanımı mümkün olduğu gibi bu işlemde %95' e yakın enerji tasarrufu da sağlamak mümkündür [11].
- Alüminyum diğer metallere göre %100' e yakın geri dönüşüme sahip bir metaldir. Gelişmiş ülkelerde 1980 yıllarında en üst seviyelere ulaşan çevre korumacılığı baskısıyla meydana gelen bazı kriterler çevreyi en az kirleten ve daha az enerji tüketen malzemelere olan ilgi artırdığından alüminyum metali gittikçe önem kazanan bir malzeme haline gelmiştir [11].
- Alüminyum kütle halindeyken parlayıcı/yanıcı bir malzeme değildir. İnce taneli iken yakılması mümkündür. Bu reaksiyon sonucunda ise Al_2O_3 CO_2 ve CO açığa çıkmaktadır [11].
- Alüminyum manyetik olmayan bir özelliğe sahiptir [11].
- Alüminyum metalinin lehimleme ve kaynak yapılabilmesi için oksit giderici maddeler kullanılması lazımdır. Koruyucu bir gaz olan argon ile kaynak yapılması mümkündür. Çelik bir malzeme ile kullanımı söz konusu ise alüminyumun elastiklik modülü düşük ve genleşme katsayısının ise çeliğe göre fazla olduğuna dikkat edilmelidir [11].
- Alüminyum bazı maddelere ve hidroksitlere karşı ise dayanıklı değildir. Bakır ve alaşımları ile teması söz konusu olduğunda elektrokimyasal korozyona uğraması muhtemeldir [11].
- Aşınma ve sürtünmelere karşı direnci ise düşüktür [11].

Çizelge 1.1. Alüminyumun Genel Özellikleri [12].

Sembolü	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,98 g/mol
Kaynama Sıcaklığı	2450 °C
Ergime Isısı	400 cal/g
Yoğunluğu (20 °C’de)	2.7 g/cm ³
Özgül Isısı (100 °C’de)	0.2241 cal/g
Ergime Sıcaklığı	659.8 °C
Konfigürasyon	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ¹
Elektrik İletkenliği (20 °C’de)	% 64.94
Isı İletkenliği	0.55 cal/cm.s. °C
Elektrik İletkenliği	37.74 m/Ohm/m.mm ²
Kristal Yapısı	Kübik
Elastiklik Modülü	7.2x10 ³ kp/mm ²
Oksidasyon Değeri	Al/Al ³⁺
Kayma Modülü	2.7x10 ³ kp/mm ²

1.2.2. Alüminyumun Kullanım Yerleri ve Önemi

Alüminyum sahip olduğu bazı avantajları ve yapmış olduğu yeni alaşımların getirdiği özellikler ve çeliğe ikame olanakları nedeniyle, sanayinin birçok alanında alüminyum kullanımı diğer metallere oranla daha fazla artmaktadır. Bu bakımdan alüminyumun ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Alüminyum kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [13].

1) İnşaat sektöründe

- Konut dışı yapılarda
- Konut yapımında
- Diğer yapısal kullanımlarda
- Karayollarında

2) Kimya ve Gıda Sanayinde

- Ambalaj Sanayiinde
- Boya Maddesi ve Boya Üretiminde
- Atom Enerjisi Sanayiinde

- Gıda, İlaç ve Meşrubat Sanayiinde
 - Petrol Rafinerilerinde
 - Elektro Kimyasal Sanayiinde
 - Saf Su ve Buhar Üretiminde
 - Karbonat ve Kükürt Üretiminde
 - Mineral Asit Üretiminde
 - Patlayıcı Maddeler Üretiminde
 - Gübre Sanayiinde
 - Kâğıt Sanayiinde
 - Plastik ve Sentetik Fiber Sanayiinde
 - Organik Bileşikler Üretiminde
- 3) Ulaştırma Sektöründe
- Havayolu taşıtlarında
 - Denizyolu taşıtlarında
 - Demiryolu taşıtlarında
 - Karayolu taşıtlarında
- 4) Elektrik ve Elektronik Sektöründe
- İç dağıtım ve aydınlatma gereçlerinde
 - Haberleşme ve elektronik cihazlarda
 - Güç üretim ve düzeltme araçlarında
 - Enerji Dağıtım cihazlarında
 - Tel ve kablo üretiminde
- 5) Makine ve Ekipman İmalat Sektöründe
- Askeri araç-gereç ve silahların yapımında
 - Elektrik sistemlerinde
 - Tekstil ve matbaa makineleri imalinde
 - Maden ve petrol ürünleri araçları imalinde
 - Malzeme taşıma ekipmanları imalinde
 - Isıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinde
 - Çeşitli enstrümanların imalinde
 - İş makineleri imalinde
 - Tarım alet ve makineleri imalinde

- Endüstri makineleri imalinde
- Pompa, kompresör, far vs. imalinde
- Makine yatakları imalinde

6) Metal Sanayiinde - Alaşım metali

- Alüminotermik reaksiyonlar
- Alüminyumlama
- Alüminyum kaplamalı çelik
- Çelik Deoksidasyonu

7) Diğer Yerlerde Kullanım Alanları

- Takım ve el aletleri yapımında
- Dekorasyon ürünlerinde
- Mobilya yapımında
- Mutfak eşyası yapımında
- Muhtelif ev eşyalarında
- Dayanıklı tüketim mallarında
- Diğer uygulamalarda

Çizelge 1.2. Alüminyumun Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı [14]

Kullanım Alanı	Yüzdesi
Kimya ve Tarım Ürünleri Sanayi	1%
Demir Çelik ve Metalürji	3%
Mobilya, Ofis Eşyaları	6%
Genel Mühendislik	9%
Elektrik/Elektronik	10%
Ambalaj	15%
Ulaşım	24%
İnşaat	25%
Diğer	7%
Toplam	100%

Endüstriyel anlamda alüminyum son yüzyılda kullanım ve özellik bakımından önem kazanmıştır. Yer kabuğunun %7,5' ini alüminyum elementi oluşturmaktadır. Fakat alüminyum içeren cevherlerden alüminyum eldesi karmaşık ve çok maliyet gerektiren bir

işlemdir. Bunun sebebi, alüminyumun doğada sadece oksit ve oksit bileşimleri halinde olması ve alüminyum içeren cevherlerin alüminyumlu oksitlerden daha kolay indirgenen birtakım oksitleri de muhteva etmesi sebebiyle doğrudan alüminyum cevherinin indirgenmesi ile elde edilen alüminyumun teknik olarak kullanılamayacak bir formda olmasıdır. 1886 yılında elektroliz yöntemiyle üretilmeye başlanan alüminyum günümüzde demir ve çelikten sonra en yaygın kullanılan metal olmuştur [15].

Alüminyum yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, ışık ve ısı yansıtıcılığı, işlenebilirliği, şekillendirilebilirliği, korozyon direnci, geri dönüştürülebilir olması, alaşımlama ile dayanımının artırılabilmesi ve hafif oluşu sebebiyle her geçen gün kullanım miktarı ve alanı artmaktadır. İnşaat sektöründen ulaşıma kadar birçok alanda kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları bazı uygulama alanları için alternatifsiz kullanılan bir malzemedir.

Özellikle ulaşım sektöründe taşıtların yakıt tasarrufu için düşük ağırlık ve yüksek dayanım beklentileri alüminyumu ulaşım sektöründe vazgeçilmez kılan unsurlardır. Genel olarak alüminyum kimya, tüketim malzemeleri, elektrik elektronik, ambalaj, inşaat, ulaşım gibi sektörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Alüminyumu ulaşım sektöründe kullanım miktarını hızla yükselten sebeplerin başında alüminyumun demir-çelik, bakır ve pirinç malzemelere göre üç kat daha hafif olmasına rağmen daha yüksek düzeyde dayanıma sahip olması gelmektedir. Avrupa’da ulaşım sektöründe kullanılan alüminyum toplam tüketilen alüminyumun üçte birine karşılık gelmektedir. Gemi sanayinde, tren ulaşım sisteminde yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, otomobillerde, uçaklarda, tren ulaşımında gittikçe artan miktarlarda alüminyum kullanılmaktadır. Son zamanlarda alüminyum kullanım alanlarında gelişme gösteren sektörlerden biri de ambalaj imalatıdır. Alüminyum bir kaç mikron kalınlıkla korumayı sağlayabilen bir ambalaj malzemesidir. Alüminyumun hava geçirmezliği ve kolay işlenebilmesi, folyo üretiminde alüminyumu ideal bir malzeme olarak kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Alüminyumdan üretilen ambalaj malzemeleri ışık, mikro organizma su ve gaz geçişini engellenmesi, ısıya ve soğuğa dayanıklı oluşu, olumsuz çevre şartlarından etkilenmemesi gibi özellikleri gıda ve ilaç sektöründe ihtiyacı karşıladığı gibi kızıl ötesi ve mor ötesi ışınlarla karşı da koruyucu nitelikte olması yeni geliştirilen ürünlerde de koruyucu olarak kullanımına imkân sağlamaktadır. İçecek kutularında da yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır. Dünyada kutuların metal kullanım oranı %80 seviyelerine kadar ulaşmıştır. Bu orana ulaşmadaki en büyük etkenlerin başında alüminyumdan üretilen kutuların darbelere karşı dayanıklı oluşu,

hafifliği, açılmasının kolay oluşu, çabuk soğutma, sağlam ve geri kazanılabilir oluşu gelmektedir. Gelişen dünyada toplum bilincinin artmasıyla birlikte alüminyumun geri kazanımı üzerine çalışmalar gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Alüminyum kullanımının Japonya’da %7, ABD’de %9 ve Avrupa’da %10’ u elektrik ve elektronik sektörüne aittir. Yüksek voltajlı elektrik iletim hatlarında çelik özlü alüminyum iletkenler en çok kullanılan malzeme olmuştur. Alüminyum metalinin çok yönlülüğu, sonsuz değişik şekilde profil elde edilebilmesi, geri kazanım imkanı, düşük bakım maliyetleri, uzun ömürlülüğu, yüksek korozyon direnci ve hafifliğinden dolayı bina uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle alüminyum inşaat sektöründe vazgeçilmez bir malzemedir. Günümüzde de bina yapımındaki alüminyum dünya çapında gelişme göstermiş ve büyük bir pazar payı elde etmiştir [16].

1.2.3. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum doğada en çok bulunan madenler arasında olması, yüksek elastiklik özellikleri, işlenebilirliği, korozyona karşı direnci ve şekil verilebilirliği açısından sanyinin vazgeçilmez hammaddelerinden biri olmuştur. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte ekonomik ve daha iyi özelliklere sahip elementlere olan talep artmıştır. Alüminyum açısından artan bu talebin karşılanması da yeni alaşımların üretilmesini zorunlu kılmıştır. Çünkü saf olan alüminyumda bu özellikleri bulmak mümkün değildir. Saf alüminyumun mukavemetinin düşük oluşu nedeniyle yüksek mukavemete sahip alüminyum esaslı alaşımlar daha sık kullanılmaktadır [17].

1.2.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması

Dünyada en yaygın kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları simgeleme dizisi Amerikan Standartları Birliği (ASA) tarafından belirlenen dizidir.1957 yılında Alüminyum Birliği tarafından kullanılan bu simgeleme dizisi daha sonra standart haline getirilmiştir. Bu simgeleme dizisine göre dört rakamlı oluşturulan dizinin ilk rakamı, kullanılan temel alaşım elementini ifade etmektedir [18–19]. Bu simgeleme dizisi Çizelge 3.3’de görölmektedir.

Çizelge 1.3. Alüminyum işlem alaşımlarında simgeleme dizisi [18].

Simge	Alaşımları Oluşturan Temel Element
1xxx	Alaşım Yapmamış Alüminyum
2xxx	Bakır Alaşımlı Alüminyum
3xxx	Manganez Alaşımlı Alüminyum
4xxx	Silis Alaşımlı Alüminyum
5xxx	Magnezyum Alaşımlı Alüminyum
6xxx	Magnezyum+ Silis Alaşımlı Alüminyum
7xxx	Çinko Alaşımlı Alüminyum
8xxx	Diğer Elementler
9xxx	Kullanılmayan Dizi

1.2.3.2. Alaşımda Kullanılan Elementlerin Alaşıma Etkileri

A) Bakırın Alüminyum Üzerine Etkisi

Bakır içeren alüminyum alaşımlarında bakırın oranı %12' ye kadar olan değeri alaşımların dayanımını artırmaktadır. Bu oran %12'yi geçtiğinde alaşımda gevreklik meydana gelmektedir. Bakır elementinin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü ise %5,65 civarındadır. Alüminyum-bakır alaşımlarının en bilineni % 4 bakır içeren alaşımlardır ve duralüminyum olarak isimlendirilir. Alüminyum-bakır alaşımları Cr, Zn, Mg, Fe, Si gibi alaşımları da içerebilir [18].

B) Silisyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarının temel alaşımlarından biri alüminyum-silisyum alaşımlarıdır. Isıl işlem, modifikasyon, kaynak yapabilme ve akıcılık istenen özelliklerde alüminyuma silisyum elementi ilavesi yaygındır. Döküm işlemi yapılan alüminyumda maksimum silisyum miktarı % 22–24 civarındadır. Bu oran alaşımların toz metalürji ile üretilmesi halinde % 50 seviyelerine kadar çıkabilmektedir [20].

C) Magnezyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarına ilave edilen en önemli elementlerden biri de magnezyumdur. Magnezyum korozyon direncini, işleme kabiliyetini, kaynak edilebilirliği, mukavemeti arttırıcı özellik göstermektedir. Alüminyum döküm alaşımlarında genellikle %0,5-11 oranında magnezyum kullanılmakla beraber % 7-10 magnezyum içeren alüminyum alaşımlara ısıl işlemi uygulanmaktadır. Magnezyum oranının artması ile birlikte mukavemette artmaktadır. Bakır-alüminyum alaşımlarında magnezyum

yaşlanmaya neden olmaktadır. Al-Mg-Si içeren alaşımlar ise ısıtıl işlem uygulanabilen ve kolay işlenebilme özeliğine sahip alaşımlardandır. Al-Zn-Mg alaşımları ise iyi kaynaklanabilme özelliğine sahip ve korozyona karşı direnci yüksek olan ve mukavemeti yüksek alaşımlardandır [21].

D) Demirin Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarında demir elementi bulunması istenen bir metal değildir. Fakat Al-Fe-Ni alaşımlarına buhar sistemlerindeki yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini azalttığı için ve Al-Cu-Ni alaşımlarında mukavemeti arttırmak amacıyla alaşımlara demir ilave edilmektedir [21].

E) Kromun Alüminyum Üzerine Etkisi

CrAl_7 bileşiği alüminyuma krom elementi ilave edilerek oluşturulan bir bileşiktir. Alüminyum içerisinde çözünürlüğü az olan bu bileşik manganez, demir ve titanyum ile inceltilebilir. Al-Zn-Cu alaşımlarında krom korozyon direncini ve mukavemeti arttırmaktadır [21].

F) Nikelin Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarına nikel yüksek sıcaklıklarda mukavemet kazandırmak amacıyla ilave edilir. Alaşımlarında nikel bulunan alüminyumun ısıtıl genleşme katsayısı düşüktür [21].

G) Titanyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Cevherden alüminyum üretiminde alüminyumun içeriğinde çok az miktar titanyum bulunmaktadır. Alüminyumda bulunan titanyumda genellikle cevherden gelmektedir. Bununla birlikte döküm alaşımlarında tane inceltici olarak da titanyum kullanılmaktadır [21].

Ğ) Zirkonyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Zirkonyumda titanyum gibi alüminyum alaşımlarında benzer etkiler gösterir. Tane inceltici olarak kullanıldığı gibi korozyona karşı direnci artırır ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme mukavemetini artırıcı etki göstermektedir [21].

H) Fosforun Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarında fosfor elementi cevherden gelmektedir. Ötektik üstü alüminyum-silisyum alaşımlarında silisyum içeren fazın düzgün ve küçük dağılımını sağlamak amacıyla fosfor ilavesi yapılmaktadır. Alüminyum içerisindeki fosforun çözünürlüğü ise milyonda bir (ppm) civarındadır [21].

I) Sodyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Sodyum ilavesi alüminyum alaşımlarında darbe mukavemetinde artış, sertlik ve süneklik meydana getirmekle birlikte % 0,01 sodyum içerikli alüminyum alaşımlarında korozyon direncinde azalma ve sıcak yırtılmalar meydana gelmektedir [21].

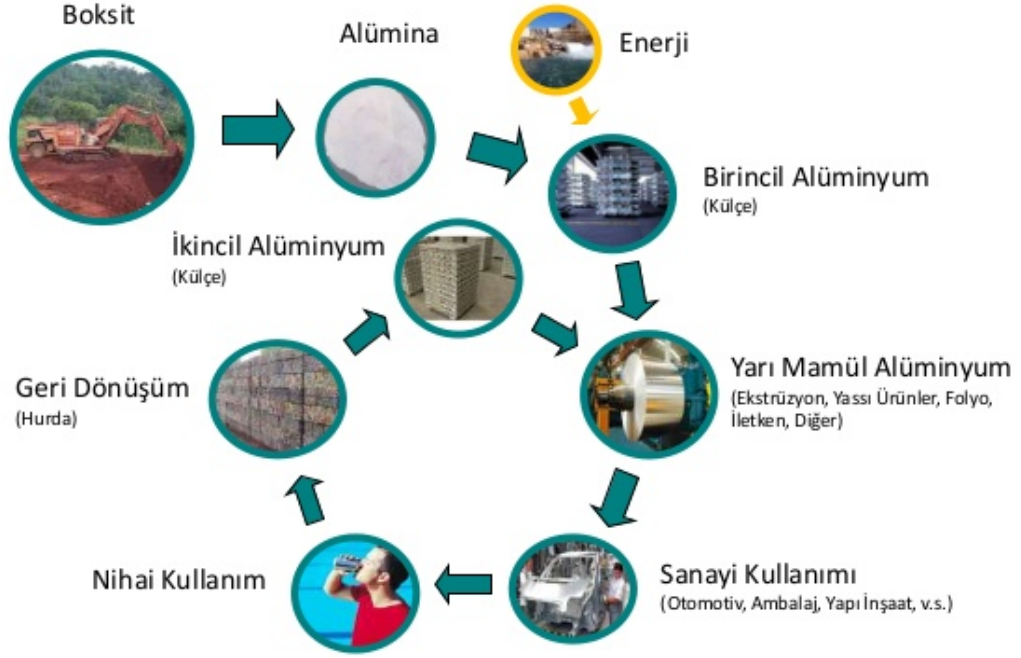
İ) Kalayın Alüminyum Üzerine Etkisi

Yataklar ve kovanlar için kalay içeren alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Kalay içerikli alüminyum alaşımlarında korozyon direncinde azalma ve sıcak yırtılmalar meydana gelmektedir [21].



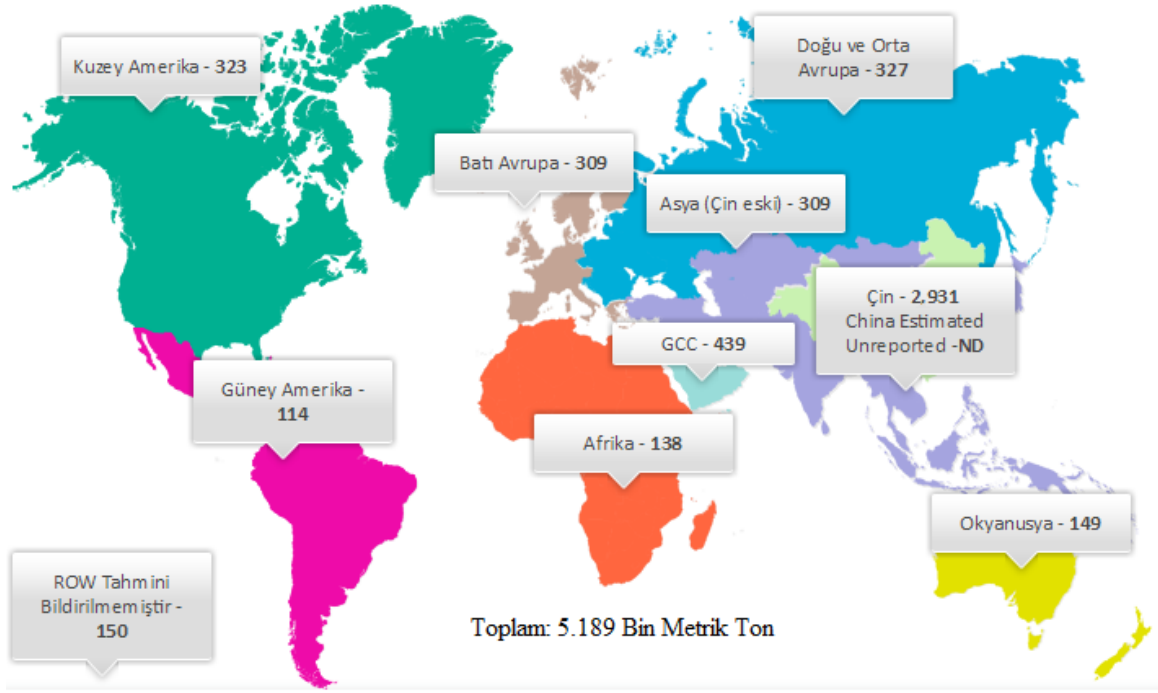
1.3. DÜNYA ALÜMİNYUM ÜRETİM VE TÜKETİMİ

Son on yılda Dünya’da alüminyum arzı küresel ısınma, şehirleşme, hızlı artan nüfus nedeniyle %65’lik bir artış göstermiştir. Bu taleple birlikte artan rekabet ve üretim sonucunda, alüminyumun boksit rezervi olarak çıkarılmasından talebi karşılayacak ürünlere dönüştürülmesine kadar yerel ve küresel oyuncuların stratejileri, alüminyum pazarını belirleyen en önemli faktör olmuştur. Bu stratejilerin daha kolay anlaşılabilmesi için alüminyumun değer zincirinin her unsuru farklı bir bakış açısıyla değerlendirilmelidir [22].



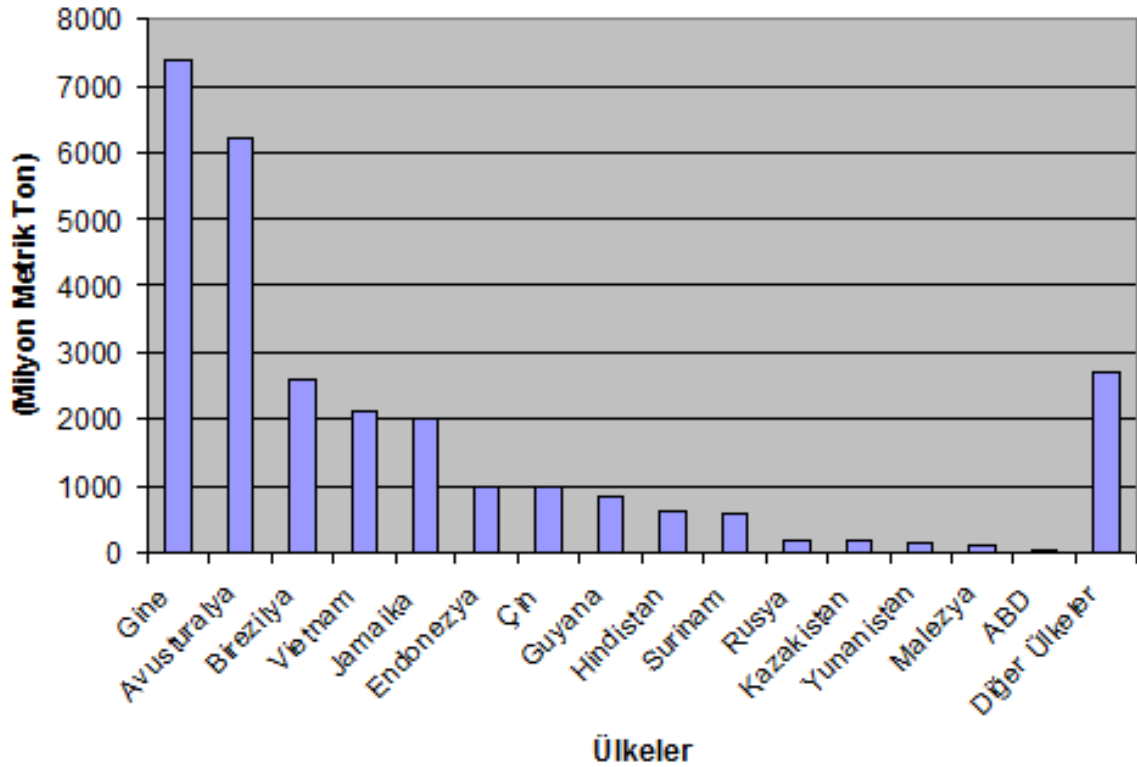
Şekil 1.2. Alüminyum Değer Zinciri [22].

Şekil 1.3’ de ise Haziran 2017 yılı itibariyle dünyada üretilen alüminyum miktarları görülmektedir.



Şekil 1.3. Haziran 2017 Yılı Dünya Alüminyum Üretimi [23].

Şekil 1.3’de görüldüğü üzere 2017 yılı itibariyle dünyada üretilen alüminyum miktarı 5,181 bin metrik ton seviyelerine kadar ulaşmıştır.



Şekil 1.4. 2016 Yılı İtibariyle Dünya Boksit Rezervleri (Milyon Metrik Ton) [24].

Bu istatistik, 2016 yılı itibarıyla dünya çapında en büyük boksit rezervlerine sahip ülkeleri göstermektedir. Bu noktada, Vietnam'daki boksit rezervlerinin yaklaşık 2.1 milyar metrik ton olduğu tahmin edilmektedir. Gine, Avustralya ve Brezilya ise boksit rezervleri bakımından en zengin ülkeler olduğu görülmektedir [24].

Boksit kaynakları dünyada yaklaşık 40–50 milyar ton rezerve sahip boksit bulunmaktadır. Bu rakam dâhilinde keşfedilen rezervler toplam 35 milyar ton civarındadır. Boksit kaynakları oldukça merkezi bir yerdedir ve ağırlıklı olarak Afrika'da (özellikle Batı Afrika, dünya rezervlerinin% 40'ından fazlasına sahiptir), Okyanusya'da (yaklaşık % 21 bulunur) ve Latin Amerika'da (özellikle kuzeydoğu Güney Amerika'da yaklaşık %22), Asya'nın tropikal ve subtropikal alanlarında bulunmaktadır.

Ulusal dağılım söz konusu olduğunda, Gine ve Avustralya'nın boksit rezervleri yaklaşık 8 milyar ton (Dünyada keşfedilen boksitin% 22,8'i) civarındadır. Brezilya'nın son zamanlarda keşfedilen boksit rezervleri ile toplamda % 11,4'lük bir artışla 4 milyar ton civarında bir rakamla dünyanın ikinci sırasında yer aldı. Jamaika' da keşfedilen boksit rezervleri ise toplamda 2 milyar ton civarında olmakla birlikte, Hindistan, Brezilya, Kamerun, Mali, Surinam ve Guyana da zengin boksit kaynaklarına sahiptir [25].



Şekil 1.5. Boksit Rezervlerinin Dünya Üzerindeki Dağılımı [25].

Günümüzde dünya boksit üretimi 87 milyon tonun üzerindedir. Yıllık üretimi 10 milyon tondan fazla olan ülkeler Avustralya, Gine ve Jamaika'dır. 1981'de Avustralya, dünya çapındaki toplamın % 30' unu oluşturan 25,5 milyon tonluk boksit üretimi ile birinci sırada yer aldı. Sonra Gine'de boksit üretimi çok hızlı büyüdü. 50'li yılların ortalarında orada 500 bin tondan fazla üretim yapılmadı. 70'lerin sonlarına doğru, boksit üretimi hızla 10 milyon tondan fazla büyüdü. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (USGS) tarafından 2014 yılında bildirilen rakamlar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 1.4. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (USGS), Mineral Verileri [25].

	Üretim (Bin Metrik Ton)		Yıl Sonu Kapasite	
	2012	2013	2012	2013
ABD	2.070	1.95	2.72	2.68
Arjantin	45	460	455	455
Avusturya	1.860	1.75	1.98	1.77
Bahreyn	890	900	970	970
Brezilya	1.44	1.33	1.7	1.7
Kanada	2.78	2.9	3.02	2.88
Çin	20.3	21.5	26.9	30.2
Almanya	410	400	620	620
İzlanda	820	825	810	830
Hindistan	1.7	1.7	1.86	2.7
Mozanbik	564	560	570	5.7
Norveç	1.15	1.2	1.23	1.23
Katar	604	600	610	610
Rusya	3.85	3.95	4.45	4.45
Güney Afrika	665	820	900	900
BAE	1.82	1.8	1.85	2.35
Diğer Ülkeler	4.54	4.65	6.4	6.96
Dünya Toplamı	45.9	47.3	57	61.9

MTA (Maden Teknik Arama) verilerine göre Türkiye’de bilinen boksit rezervleri yaklaşık olarak 68.910.000 tondur. Bu değer dünya boksit rezervlerinin binde 1.8’ i gibi çok küçük bir kısmına karşılık gelmektedir [22].

Dünya boksit miktarı kaynak olarak düşünüldüğünde 55–75 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın büyük çoğunluğu Güney Amerika başta olmak üzere,

Afrika Asya ve Okyanusya’ da bulunmaktadır. Türkiye’nin boksit rezervindeki oranı ise % 0.144 dolaylarındadır. Buna karşın hala aranmamış boksit bölgeleri de bulunmaktadır [26].

1990’lı yılların başlarında alüminyum hammadde üretimi bakımından Dünya’nın önde gelen ülkelerinden olan Rusya’ da ekonomik ve siyasi sistemin çökmesiyle birlikte ilk kez dünya alüminyum pazarında çok yüksek miktarda kapasite artışı söz konusu olmuştur. Rusya’da meydana gelen bu durumdan dolayı oluşan bu büyük kapasite alüminyum sektörünün tüm dengelerini alt üst etmiş ve Dünya’daki büyük alüminyum üreticilerini alüminyum arzının ve fiyatının gerilemesi ile çok zor duruma düşmüşlerdir. Bu olumsuz durumdan sonra 1994 yılından itibaren dünya alüminyum sektörü yeniden yapılanmış ve alüminyum sektöründe küresel bir ağ kurarak yeni düzenlemeler yapmıştır. Son beş yıllık dönemde ise alüminyum satış faaliyetlerini yürüten üretim miktarlarını düzenleyen 5–6 büyük alüminyum kuruluşu kalmıştır. Bu büyük firmaların dışında dünya alüminyum satış faaliyetlerinde söz sahibi olan orta ölçekli bazı firmalar da bulunmaktadır. Rusya’da meydana gelen olumsuz durumlardan dolayı alüminyum sektöründeki dağınık üretim ve ticari faaliyetler iki büyük Rus şirketi tarafından yeniden düzenlenmiştir buna karşın finansman ve pazarlama gücü gün geçtikçe azalmıştır. Günümüzde dünya alüminyum sektöründe Sual, Rusal, Pechiney, Hydro, Alcan, Alcoa gibi şirketler ve uluslararası ticaret firmaları ve Glencore, BHP Billiton gibi hammadde üreticileri tarafından yönetilmektedir. Dünya alüminyum bakımından önemli olan Uzakdoğu, Avrupa ve Amerika gibi bölgelerde orta ölçekli alüminyum hammadde üreticileri kendilerine özgü teknolojik, ekonomik ve pazar stratejileriyle varlıklarını sürdürmeye çalışmaktadırlar. Özellikle Türkiye, Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, Japonya, Hindistan, İtalya ve Yunanistan gibi ülkelerde şirketler, bu firmalarla işbirliği yaparak alüminyum sektöründeki olumsuzlukları kendi lehlerine çekmeye çalışmaktadırlar. Çin ve Hindistan’ da son zamanlarda alüminyum hammadde üretimi ile ilgi çok ciddi yatırımlar yapılmaktadır.

Dünyanın önde gelen alüminyum üreticileri, Sual (Rusya), Rusal , Hydro (Norveç), Pechiney (Fransa), Alcan (Kanada), Keiser (Amerika), Alcoa, ve Reynolds, firmalarıdır. Birincil Alüminyum üretiminde bu firmalar toplam üretimin %60’ ını karşılamaktadır [27].

Alcoa

Otuz dokuz ülkede yirmi yedi bin çalışanı bulunan Alcoa ABD’de Pittsburgh’da faaliyet göstermektedir. Birincil ve ikincil alüminyum, alümina üretiminde önde gelen üreticilerden olan Alcoa ürünlerini, teknolojik endüstriyel uygulamalar başta olmak üzere ambalaj, kimya sanayi, inşaat, meşrubat kutuları, otomotiv ve hayvancılık gibi çok çeşitli

sektörlerde tüketicilere sunmaktadır. Alcoa'nın gelirler itibari ile faaliyet gösterdiği alanlar şu şekildedir:

- Birincil Metal Grubu: 3.2 milyar dolar
- Ambalaj ve Tüketici Mamulleri: 2.9 milyar dolar
- Yassı Ürünler: 4.6 milyar dolar
- Mühendislik Uygulamasında Kullanılan Ürünler: 5 milyar dolar
- Alümina ve Kimyasallar: 1.8 milyar dolar
- Diğer: 2.8 milyar dolar

Alcoa firmasının 39 ülkede 350 ye yakın üretim ve satış şubesi bulunmaktadır. Uzay ve havacılık sektöründe talep edilen alaşımların %95' i Alcoa tarafından üretilmektedir. Dökümden ekstrüzyona kadar birçok alanda zengin üretim kapasitesine sahiptir. Yolcu ve askeri uçaklarının, uzay araçlarının imalatında kullanılan ürünlerin yanı sıra bu alanlarda ihtiyaç duyulan mekanik ve elektronik yedek parça, tekerlek gibi malzemelerin temini de sağlamaktadır. Alcoa alüminyum sektöründe büyüme stratejilerinden biri de bünyesine şirket satın almaktadır. Bu amaçla Alcoa başta Reynolds Aluminium (ABD) olmak üzere Avrupa ve ABD' de birçok önemli şirketi satın almıştır [27].

Alcan

Otuz sekiz ülkede faaliyet gösteren ve elli iki bin çalışanı bulunan Alcan'ın merkezi Kanada, Montreal'de bulunmaktadır. Alüminyum sektöründe dünya ikincisi olan Alcan, Alcoa gibi nihai ürünlerden boksit madenciliğine kadar olan bütün aşamalarda faaliyetlerde bulunmaktadır. Ciro itibari ile Alcan'ın yapmış olduğu faaliyetler şu şekildedir:

- Boksit & Alümina: % 3
- Ambalaj: %22
- Haddelenmiş Ürünler: %27 (Asya ve Amerika)
- Haddelenmiş Ürünler: %15 (Avrupa)
- Endüstriyel Ürünler: %13
- Birincil Alüminyum: %20

Yapmış olduğu tüm faaliyetlerde en önemli hedefi düşük maliyet olan Alcan aynı zamanda diğer bir hedefi de Asya' da alüminyum alanında büyüyerek Çin'de 2. sıraya Kore' de ise 1. sıraya gelmektir. İngiltere, İrlanda, İzlanda, Kanada ve Avustralya'da alümina üretim tesisi, 5 ülkede 7 boksit madeni ve 7 ülkede 15 tane birincil alüminyum tesisi bulunmaktadır. ABD, İngiltere, İtalya ve Kanada'da bulunan tesislerinde birincil

alüminyum tedarikinin yanı sıra hammadde üretiminin büyük bir bölümünü kendi katma değer yaratan üretim tesislerinde değerlendiren bir firmadır. Asya ve Amerika kıtasında alüminyum mamul üretiminde faaliyet gösteren 28 üretim tesisi vardır. Bu tesislerin 17 tanesi yassı ürün üreten tesis olup, diğer 11 tanesinde endüstriyel nihai ürünler üretilmektedir. Alcan'ın alüminyum sektöründe üretmiş olduğu ürünlerin %90'ı levha ve folyo ürünlerinden oluşmaktadır. Bu alandaki üretim kapasiteleri;

- Asya: 460.000 ton
- Güney Amerika: 230.000 ton
- Kuzey Amerika: 1.200.000 ton civarındadır.

Alcan'ın alüminyum sektöründeki toplam satış cirosunun %43'ü bu bölgelerde üretilen ürünlerden oluşmaktadır. Alcan'ın Avrupa'da 11 ülkede faaliyet gösteren 37 adet tesisi bulunmaktadır. Bu 37 adet tesis yassı ürün (folyo, levha) üreten tesis olup endüstriyel plaka, levha ve baskı plakası üretmektedir. Otomotiv sektörüne yönelik levha ve plaka üreten Algroup'un iki tesisini satın alan Alcan teknolojik bilgi düzeyini artırarak daha kalite mamul üretmeye başlamıştır. Böylelikle Avrupa'da sadece yassı ürünlerde değil diğer endüstriyel ürünlerde ve ekstrüzyon ürünlerde de Alcan ileri seviyelere ulaşmıştır. Avrupa'nın en büyük ekstrüzyon tesislerinden biri olan Almanya Sigen'deki tesis Algroup'a aittir [27].

Hydro

Alüminyum sektöründe faaliyet gösteren Hydro firması 2002 yılında VAW firmasını satın alarak alüminyum sektöründe dünya üçüncülüğünü elde etmiştir. VAW firmasının Hydro bünyesine katılmasıyla sıcak ve soğuk hadde mamul üretiminde Avrupa'da söz sahibi olarak Alcan'a büyük bir rakip olmuştur. Hydro alüminyum sektörü dışında magnezyum üretiminde en büyük firmadır. 3 kıtada önemli üretim kapasitelerine sahiptir. Günümüzde Hydro, Avrupa'da ekstrüzyon ürünleri ve birincil alüminyumda dünyanın en büyük kapasitesine sahip firmalar arasında bulunmaktadır. İnşaat, otomotiv ve yassı ürünler sektöründe yeni, gelişmiş özellikte ürünler tedarik edebilme kapasitesine sahip olmuştur. Hydro firması 33 binden fazla kişiye istihdam sağlamaktadır. Cirosunun %72' ini Avrupa bölgesinden karşılamaktadır. Faaliyetleri ve organizasyonunu yassı ürünler, birincil alüminyum, Kuzey Amerika operasyonlar, metal ürünleri, esnek ambalaj, ekstrüzyon ve otomotiv olmak üzere 7 alanda toplamıştır [27].

Pechiney

Fransız asıllı olan Pechiney firması, ferro alaşımlar ve Uluslararası Ticaret (%34), ambalaj (canstock dahil %22), yarı mamul (%24), birincil alüminyum (%17), alanlarında faaliyet göstermektedir. ABD ve Avrupa'da güçlü bir pozisyona sahip olan Pechiney dünyada 51 ülkede 334 üretim ve satış noktası ile alüminyum alanında faaliyet göstermektedir. Avrupa' da yassı mamul üretiminde ikinci sırada dünyada ise dördüncü sırada bulunan Pechiney' in bir sonraki amacı ise, pozisyonunu Güney Amerika ve Asya' da güçlendirmektir. Dünyada deniz, hava ve uzay alanında teknik ürünler üretiminde lider konumda olan bu firmanın ana stratejisi bu alanda yüksek katma değerli ürünler üreterek lider konuma ulaşmaktır [27].

Rusal

Dünyanın en büyük hammadde tedarikçilerinden olan Rusya'da meydana gelen siyasi ve ekonomik bunalımdan dolayı ilk defa dünya alüminyum pazarına açılma imkanı bulunan Rus üreticilerinin büyük bir kısmı Rusal adı altında toplanarak Rusya'nın en büyük alüminyum üretici firmasını meydana getirmişlerdir. Büyük bir üretim kapasitesine sahip olan Rusal firması değişen dünya üzerinde kendini geliştirerek söz sahibi firmalar arasına girmiştir. Kapasite bakımından dünya alüminyum üretiminde ikinci sırada yer alan Rusal, kapasite miktarını her geçen gün arttırmaktadır. Faaliyet alanlarını hurda değerlendirme, esnek ambalaj, folyo, yarı mamul ve birincil alüminyum teşkil etmektedir [27].

Sual

Rusya'da meydana gelen siyasi ve ekonomik bunalımdan sonra üretim ve ticari faaliyetlerin yeniden yapılanması ile birlikte Rusal firmasından sonra Rusya'da 2. Büyük alüminyum üreticisi olan Sual firması kurulmuştur.

Rusya'daki 1990'lı yılların basındaki üretim ve ticari faaliyetlerin yeni yapılanması ile Rusal'dan sonra, II. büyük üretici olarak Sual firması ortaya çıkmıştır. Sual firmasının üretim kapasitesi şu şekildedir;

- Yarı Mamul: 165.000 ton
- Alüminyum Kablo: 315.000 km
- Silikon: 50.000 ton
- Birincil Alüminyum: 615 bin ton
- Alumina: 1,7 milyon ton
- Madencilik (Boksit): 4,6 milyon ton

Görüldüğü üzere büyük kapasiteye sahip olan Sual firması günümüzde bu kapasitenin ancak yarısına yakınına kullanabilmektedir [27].

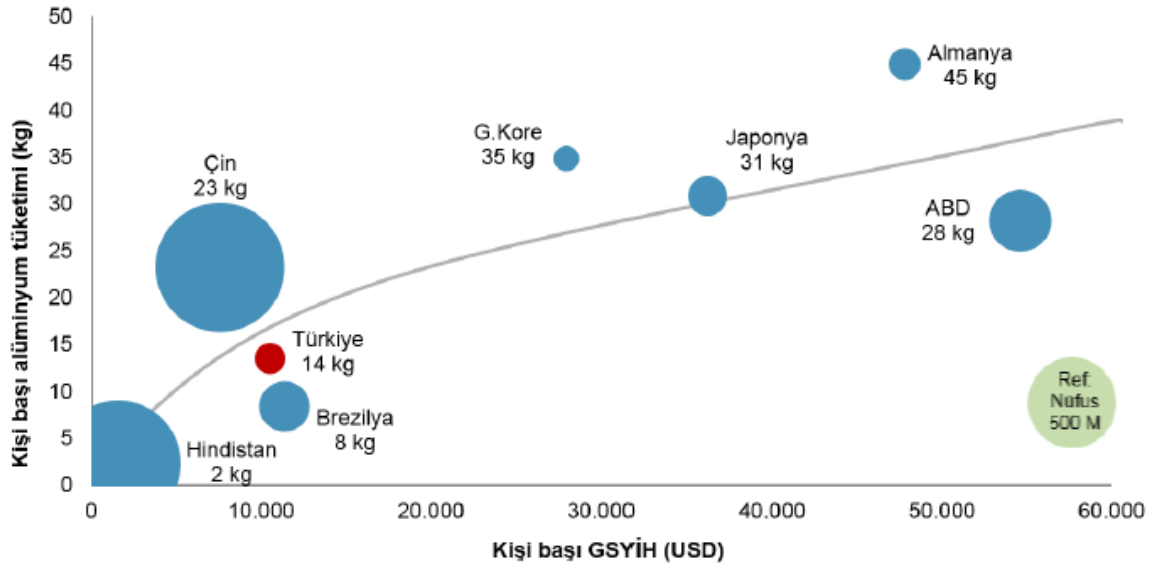


1.4. TÜRKİYE’DE ALÜMİNYUM SEKTÖRÜ

Türkiye 1950’li yıllara kadar alüminyum ile hiç tanışmamıştır. Birincil alüminyumun 1974 yılında Etibank Seydişehir Alüminyum Tesislerinde işlenmesiyle birlikte alüminyum ülkemizin metal endüstri sektöründe önemli bir dal olmuştur. Ülkemizdeki boksit rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle maalesef boksit ve alüminadan alüminyum üretimi 60.000 Ton/yıl kapasitesiyle sınırlı kalmıştır. Bu nedenden dolayı ülkemizde hammadde ihtiyacı ithalat yolu ile karşılanmaktadır [18].

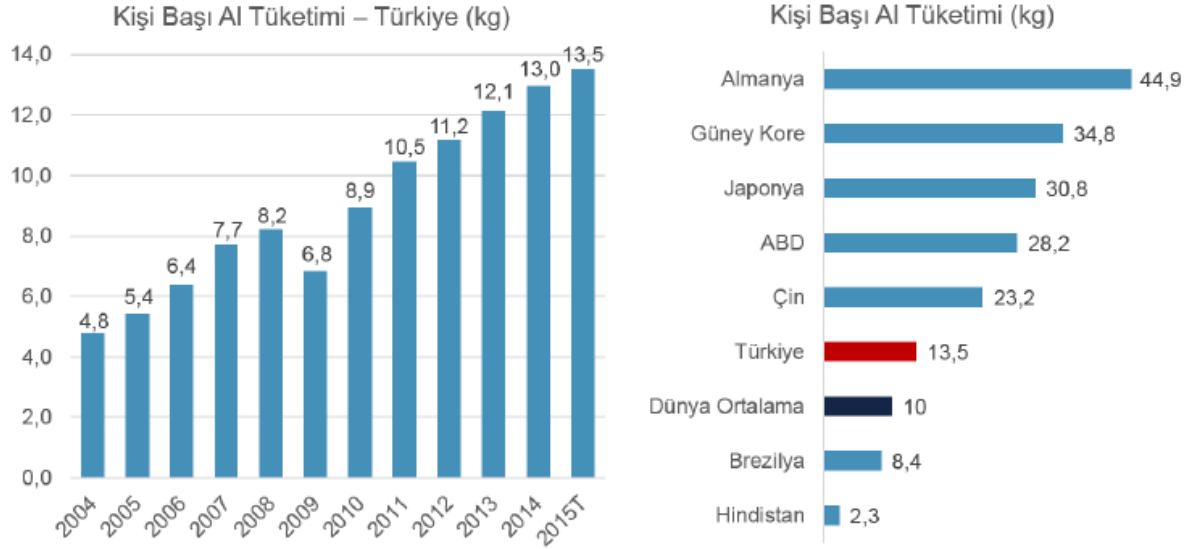
Dünya alüminyum sektörünün gelişimine paralel olarak Türkiye’de alüminyum sektörü de hızlı bir şekilde gelişme göstermiş ve ekonomik olarak Türkiye’nin dünya sıralamasındaki yerinden alüminyum sıralamasındaki yeri daha önlere olmuştur. Bu başarı sınırlı kaynak rezervleri ve enerji bakımından dışa bağımlı bir ülke olmamıza rağmen gerçekleşmiştir. Hammadde bakımından sınırlı olan ülkemizde ekstrüzyon ürünleri, yassı ürünler ve döküm sektöründe hızlı büyümeler gerçekleşmiştir [28].

Şekil 1.6’da Türkiye’nin dünya alüminyum tüketimindeki yeri görülmektedir



Şekil 1.6. Dünya Alüminyum Tüketiminde Türkiye’nin Yeri [29].

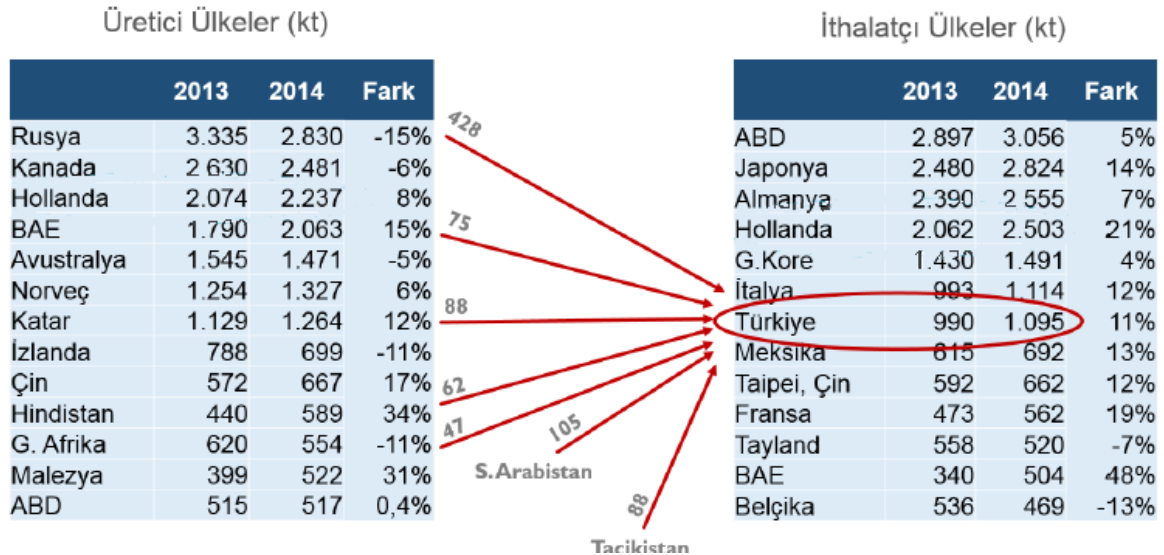
Şekil 1.6’ da görüldüğü üzere Türkiye’de 2016 verilerine göre kişi başı alüminyum tüketimi 14 kg’dır. Birçok gelişmiş ülkede bu miktar 45 kg’ lara kadar ulaşmaktadır [29]. Yıllara göre alüminyum tüketiminin değişimi ise Şekil 1.7’ de görülmektedir.



Şekil 1.7. Türkiye’de Yıllara Göre Alüminyum Tüketimi [29].

Şekil 1.7’ de görüldüğü üzere 2004 yılından itibaren bir yıl hariç tüm yıllarda kişi başına düşen alüminyum tüketimi artmıştır. Bu da göstermektedir ki alüminyum Türkiye’nin sanayi sektöründe hızla gelişen ve tüketilen bir üründür. Dünya ortalamasına baktığımızda ise alüminyum tüketimi kişi başına 10 kg olarak görülmektedir. Türkiye ise bu ortalamanın biraz üstünde yaklaşık 14 kg ile yer almaktadır.

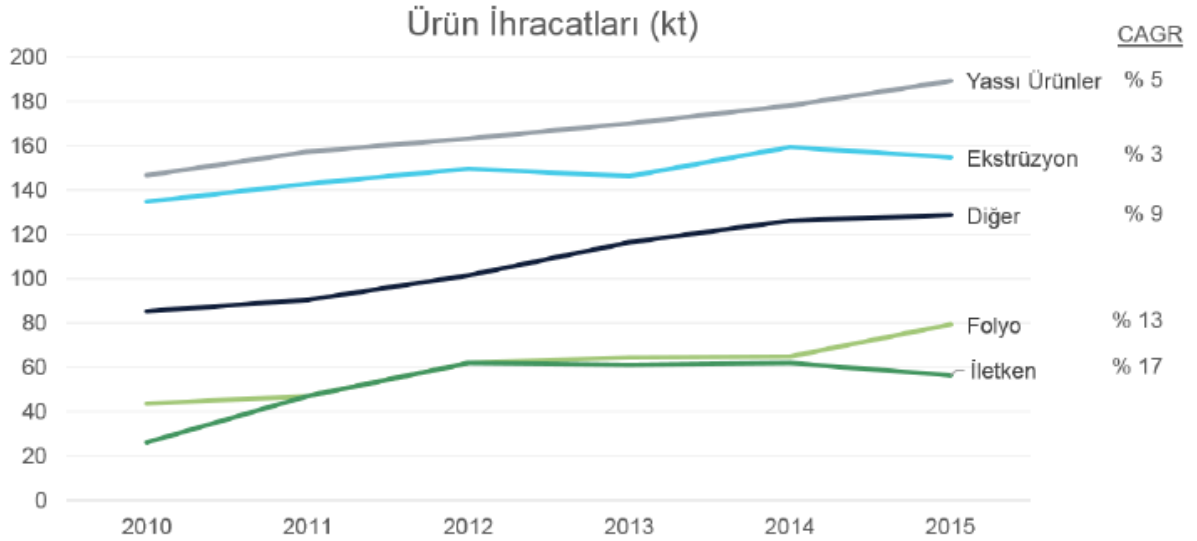
Şekil 1.8’de Alüminyum üreten ve tüketen ülkeler görülmektedir.



Şekil 1.8. Alüminyum Üreten ve İthal Eden Ülkeler [29].

Şekil 1.8’ de görüldüğü üzere dünyanın en büyük alüminyum üreticisi Rusya olarak görülmektedir. Bu sırayı da Kanada ve Hollanda takip etmektedir. Ülkemiz ise hammadde bakımından yoksun olan ülkeler arasında yer almaktadır. İthalatçı bir ülke olarak Türkiye

alüminyum ithalatını en çok Rusya'dan yapmaktadır. Bunu Suudi Arabistan, Tacikistan ve Katar takip etmektedir. Ürün çeşidine göre yapılan ihracatlar ise Şekil 1.9' da görülmektedir.



Şekil 1.9. Türkiye’de Ürün Çeşidine Göre Yapılan Alüminyum İhracatları [29].

Şekil 1.9’ da görüldüğü üzere Türkiye’de en çok ihracat yapılan ürün iletken sektöründe gerçekleşmiştir. Fakat bu sektördeki artış 2014 yıllarından sonra bir miktar azalma göstermiştir. Yıllara göre baktığımızda ise yassı ürün ihracatında ise sürekli bir artış olduğu görülmektedir.

1.5. ALÜMİNYUM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

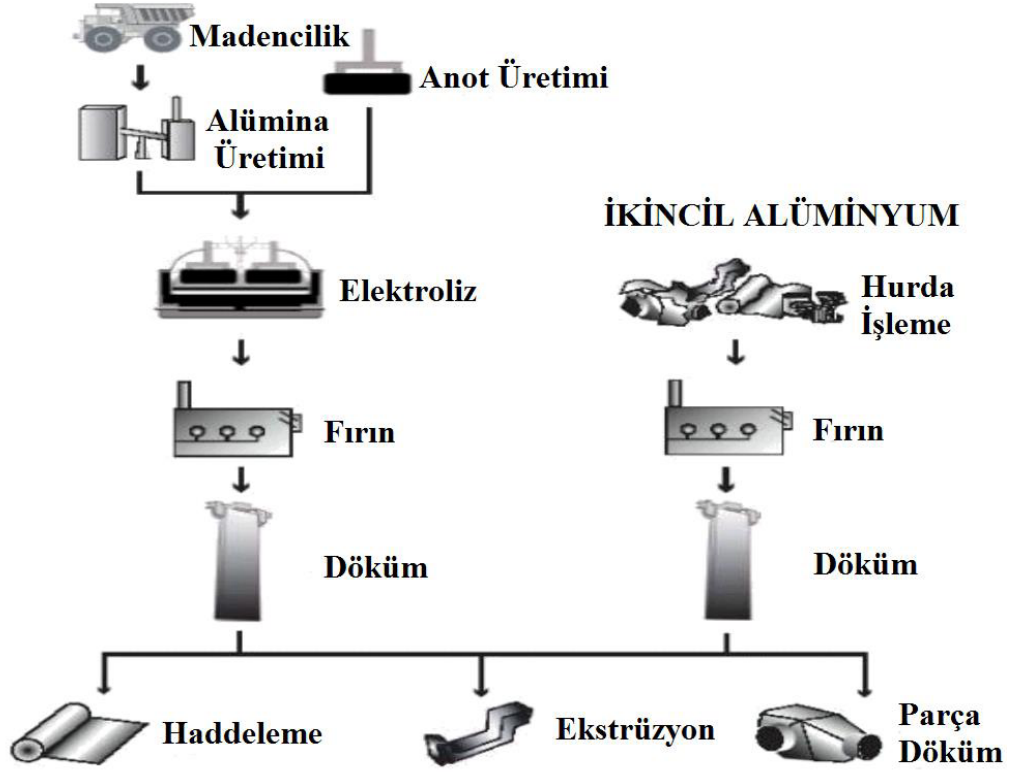
Alüminyum metali kütle oksijen ve silikondan sonra en çok bulunan elementtir. Yer kabuğunun kütlece %8'ini alüminyum metali oluşturmaktadır. Bütün kayaçların içerisinde ve mineral birikintilerinde az da olsa alüminyum meteline rastlamak mümkündür. Atom numarasının 13 olması nedeniyle dış kabuğunda 3 elektron barındıran alüminyum metalinin oksijene ilgisi büyüktür ve sağlam oksitler (Al_2O_3 gibi) ve silikatlar oluşturabilir. Bu nedenden dolayı doğada saf halde alüminyum bulunmaz. Alüminyumun bu kararlılığından ötürü 1808 yıllarına kadar alüminyumla insanoğlu tanışmamıştır. 1821 yıllarında oksit bakımından zengin bir içeriğe sahip kile benzer bir malzemeye Güney Fransa'da rastlanmıştır. Bu malzemeye boksit adı verilmiştir. Boksit dünya genelinde bulunan ve alüminyum metali içeren kaynaklardır. 1825 yılında Hans Christian Oersted, ilk olarak çok az miktar da dahi olsa alüminyum üretmeyi başarmıştır. 1854 yılında ise Henry Deville, ticari amaçlı olarak alüminyum üretimi konusunda ilk prosesi bulmuştur. Louis Heroult ve Charles Martin de alüminyumun kriyolit içerisinde çözündüğünü fark ederek ve yüksek miktarda elektrik kullanılarak alüminyumun çöktürüldüğü esasına dayanan prosesin patentlerini almışlardır. Günümüzde kullanılan bu proses ise Hall-Heroult prosesi olarak anılmaktadır. Ticari anlamda kullanılan en önemli proseslerden de biridir. Günümüzde her ne kadar yeni arayışlar olmasına rağmen Hall-Heroult prosesi çağımızın modern alüminyum üretim yöntemi olmuştur [30].

Metalik alüminyum üretimi genel olarak iki aşamadan meydana gelir

- 1) Birincil Alüminyum Üretimi (Boksit Cevherlerinden)
- 2) İkincil Alüminyum Üretimi (Hurdalardan)

Şekil 1.10'da birincil ve ikincil alüminyum üretim aşamaları görülmektedir.

BİRİNCİL ALÜMİNYUM



Şekil 1.10. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Akış Şeması [8].

Şekil 1.10' da görüldüğü üzere birincil alüminyum üretim prosesi ikincil alüminyum üretim prosesinden daha fazla adımlardan oluşmaktadır. Birincil alüminyum üretiminde süreç fazla olduğu enerji tüketim bakımından da ikincil alüminyum üretimine göre %95 daha fazla enerji harcamaktadır.

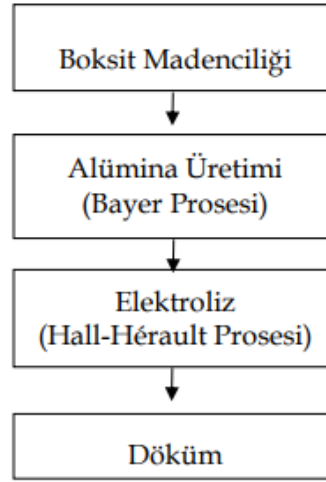
1.5.1. Birincil Alüminyum Üretimi

Alüminyum sektöründe birincil alüminyum üretimi süreçlerinde temel olarak üç ana unsur bulunmaktadır.

- 1) Boksit madenciliği
- 2) Boksit madenlerinde Bayer prosesi ile alümina üretimi
- 3) Boksit madenlerinden elde edilen alüminadan ergimiş tuz elektrolizi ile metalik alüminyum üretimi

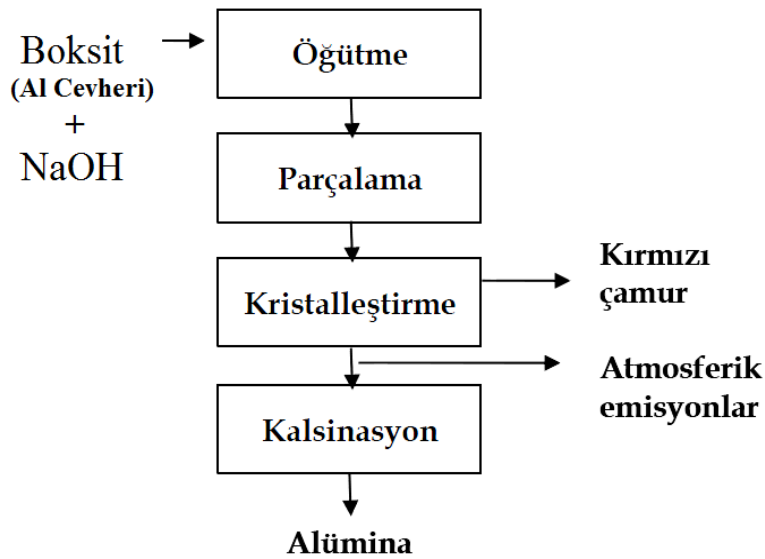
Boksit madeninden saf alümina elde edilmesini sağlayan tek endüstriyel proses Bayer prosesidir. Bayer prosesi ile elde edilen alümina Hall-Heroult prosesi ile metalik alüminyuma indirgenmekte takiben de döküm işlemleri uygulanarak külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilmektedir. 100 ton civarında boksit cevherinden yaklaşık 40–50 ton arasında alümina üretimi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen bu alümina miktarından ise de

20–25 ton civarında alüminyum eldesi mümkündür [31]. Şekil 1.11.’ de birincil alüminyum üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 1.11. Birincil Alüminyum Üretim Aşamaları [32].

Şekil 1.11’ de görüldüğü üzere birincil alüminyum üretiminin ilk aşaması boksit madenciliğidir. Alüminyum doğada metalik bir formda bulunmamaktadır. Metalik alüminyum yerine silikat ya da sulu oksit formda bulunmaktadır. Alüminyumun elde edildiği ana cevher boksit madenidir. Boksit madeni ise sulu halde iki farklı şekilde alüminyum oksit içermektedir. Bunlar monohidrat $AlO(OH)$ (Kostik Boksit) ve trihidrat $Al(OH)_3$ (laterit Boksit) formundadır. En çok tercih edilen ise monohidrat formunda olan alüminyum madenleridir. Çünkü kostik boksitte alüminyum içeriği daha fazladır [32]. Şekil 1.12’de Bayer Prosesinin genel aşamaları görülmektedir.



Şekil 1.12. Bayer Prosesinin Genel Aşamaları [32].

Şekil 1.12’ de görüldüğü üzere boksit madeni ilk şamada öğütölmektedir. Daha sonra elde edilen öğütölmüş formdaki boksit sodyum hidroksit ile karıştırılmaktadır. Boksit madeni içerisindeki alümina yüksek ısı ve basınçta sodyum alüminat şeklinde çözönmektedir. Daha sonra bu çözelti alüminyum hidroksit şeklinde çöktürölmektedir. Elde edilen hidroksit çözeltisi su ile yıkanıp kalsine edildikten sonra beyaz kuru şekilde alümina üretimi gerçekleştirilmektedir [32].

Alümina üretiminden sonra yapılacak işlem, kriyolit içerisinde ergimiş olan alüminyumun elektrolizidir. Birincil alüminyum üretiminin en temel bileşenleri alümina, karbon ve elektrik enerjisidir. Kriyolit içerisinde erimiş olan alüminyum Hall-Herault prosesi ile metalik alüminyuma dönüştürölür. 950–980 °C derece sıcaklıklarda alümina alüminyuma indirgenir.

Elektroliz ünitelerinde üretilen sıvı alüminyum dökümhane bölümüne gelerek üretilecek malzemenin cinsine göre ergitme fırınlarına gönderilmektedir. İstenen özelliklere göre üretilecek alüminyum için alaşım elementleri fırınlara ilave edildikten sonra külçe alüminyum dökümü gerçekleştirilmektedir [32].

1.5.2. İkincil Alüminyum Üretimi

Birincil alüminyum üretiminde maliyet açısından enerjiye olan gereksinim %40 civarlarındadır. Her geçen gün enerjiye olan bağımlılığın artması ve yükselen enerji fiyatları ikincil alüminyumun önemini de artırmaktadır. İkincil alüminyum üretiminde hurdalar kullanıldığından dolayı birçok kirlilik sürece de dâhil olmaktadır. Meydana gelen bu kirliliğın en aza indirilmesi için birtakım ön işlemler yapılması gerekmektedir. Elde edilen hurdalar öncelikle gruplandırılmalı ergitme işlemine geçmeden önce de çeşitli hazırlıklar yapılmalıdır. İkincil alüminyum üretiminde hammadde olarak kullanılan ürünler kendi içlerinde farklılık göstermekle birlikte genel olarak üç sınıfa ayrılmaktadır [32];

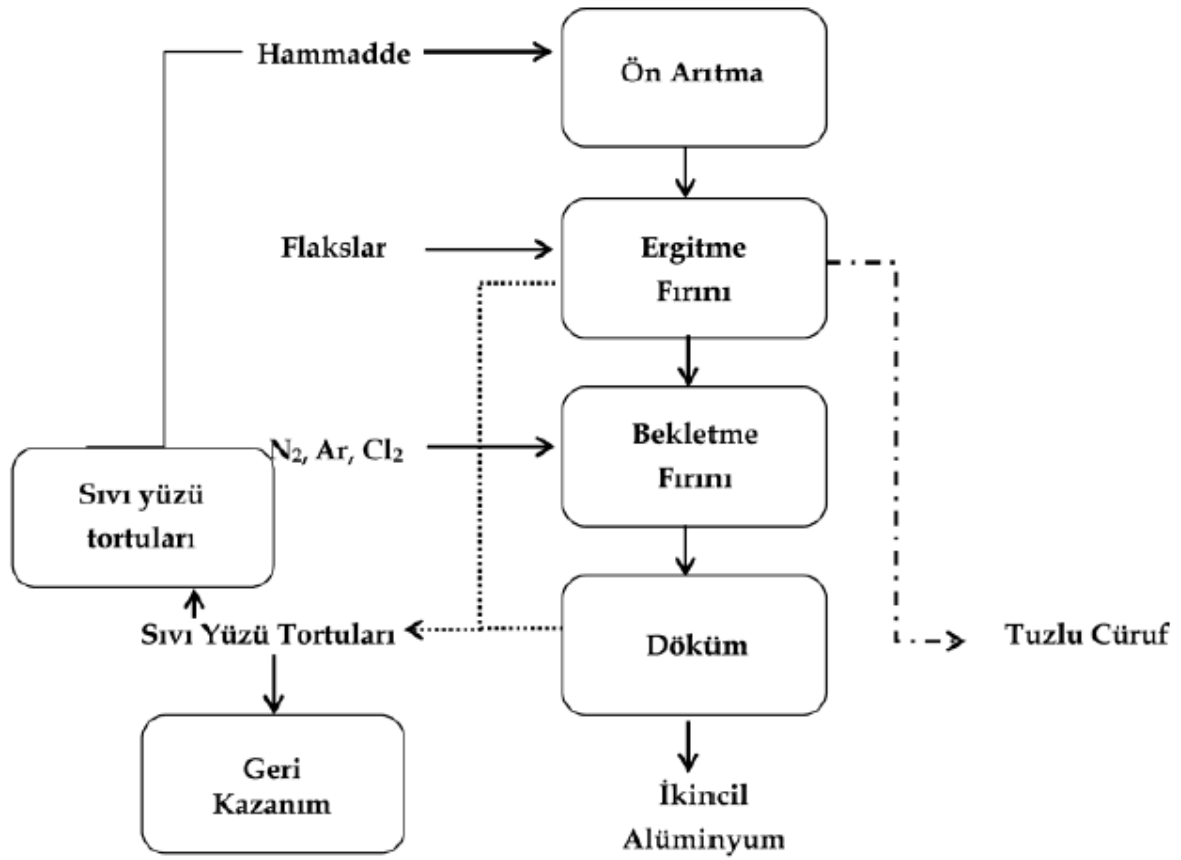
- 1) Eski hurdalar (kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemeler)
- 2) Yeni hurdalar (Alüminyum üretilirken meydana gelen atıklar)
- 3) Curuflar (Alüminyum rafinasyon, aktarma ve ergitme süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksitleri)

İkincil alüminyum üretim süreci genel olarak iki aşamadan meydana gelmektedir. Alüminyum üretimi yapan tesisler hurdaların özelliklerine göre farklı sıralar takip etmekle birlikte bu sıra genel olarak şu şekildedir:

- Ön artıma işlemleri

- Hurda temini
- Hurda hazırlama, ayırma ve diğer ön işlemler
- Ergitme aşaması
- Alaşımlandırma süreci
- Metal rafinasyonu
- Döküm işlemleri
- Curuf değerlendirme ve curuf temizleme işlemleri

Şekil 1.13'te ikincil alüminyum üretiminin akış şeması görülmektedir.



Şekil 1.13. İkincil Alüminyum Üretim Aşamaları [32].

Şekil 1.13' de görüldüğü üzere ikincil alüminyum üretiminin ilk aşamasını ön arıtma işlemleri oluşturmaktadır. Ön arıtma işlemleri hurda temini ve toplanan hurdaların gruplandırılması ve ergitme işlemleri için yapılan ön hazırlıklardan oluşmaktadır. Alüminyum hurda kaynaklarına kullanılmış içecek tenekeleri, proses hurdaları, haddeler, folyolar, dökme metalleri ve torna talaşları örnek olarak verilebilir. Alüminyum ayrıca tuzlu curuftan ve sıvı yüzü tortularından da kazanılmaktadır. Meydana gelen bu curuflar genellikle döner fırınlarda oluşur ve çevreye ciddi zararları vardır. Ön arıtma işleminden

sonraki aşama ise ergitme işlemleridir. Kirliliği giderilmiş ve ayıklanmış alüminyum hurdalar fırınlarda ergitilir. Egritme işlemlerinde genellikle reverber, döner ve indüksiyon fırınları kullanılmaktadır. Alüminyum curuflar için ergitme işlemlerinde genellikle döner fırınlar tercih edilmektedir [32].



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dash ve arkadaşları (2008) alüminyum siyah curufunun metalik olamayan kısmı (non-metallic residue: NMR) ile ilgi çalışmalar yapmışlardır. %40–70 alüminyum oksit içeren NMR yapısının sülfürik asit (H_2SO_4) ile geri kazanılması üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Yapmış olduğu çalışmalarda NMR'yi ön işlemlere tabi tuttuktan sonra yapıyı %30'luk H_2SO_4 çözeltisinde 1 saat süreyle 90 °C sıcaklığa tabi tuttuklarında alüminyumun geri kazanıldığını ve çok iyi bir verim elde ettiklerinin tespitini yapmışlardır. %85 civarında bir verim elde etmişlerdir. Bu süreçte yüksek miktarda asit ile birlikte çok fazla miktarda suya da ihtiyaç duyulduğunu görmüşlerdir. Çünkü asit miktarı arttıkça parçalanmış su miktarında da artış meydana geldiğinden suyun azalmasıyla birlikte yapıyı çözecek çözelti de azalmaktadır [33].

Dash ve ekibinin çalışmasına genel olarak baktığımızda H_2SO_4 ile çalışma yapmak ortama çok kötü bir koku yayacaktır. Ayrıca çok fazla miktarda su ihtiyacı duyulacaktır. Sözbir ve arkadaşları kara curufu oksitinden ayırdıktan sonra külçe alüminyum üretimi gerçekleştirmişlerdir. Alüminyum oksit tuzlarının ise bir organik bağlayıcı ve kireçle karıştırıldığında çelik endüstrisi için deoksidasyon ve curuf çöktürücü olarak kullanılabileceğini savunmuşlardır. Böylelikle curuf tuzlarının çevreye verdiği zararların ortadan kalkacağını düşünmektedirler [34].

2013 yılında Zhou ve arkadaşları NMR yapısındaki alüminyumun geri kazanımı için sodyum karbonat kullanmışlardır. Liç (Cevherin kimyasallarla ya da bir sıvı ile çözündürülerek çözeltiye alınması) sıcaklığı ve süresi, parçacık boyutu katı/sıvı oranı ve karbonat derişimini incelemişlerdir. Alüminyum oksit yapısını katı/sıvı oranını 8 alarak, 85 °C ' de %10' luk sodyum karbonat çözeltisinde 2 saat gibi bir zaman bekleterek %98,5'lik kısmını çözeltiye almışlardır [35].

Zhou ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmaya bakıldığında süreç 2 saat gibi bir zaman almaktadır. Ticari olarak düşünüldüğünde büyük zaman kaybı olduğu görülmektedir. Bu durumun aşılması için daha farklı bir çözücü kullanılması daha uygundur.

Dai ve arkadaşları (2012) alüminyum curufunun hem geri dönüştürülmesi hem de dönüştürürken malzemenin özelliğini geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Atığın betonda katkı maddesi olarak kullanımını incelemişlerdir. Kükürt giderimi için yüksek sıcaklık katkı maddeleri kullanmışlardır ve sonuç olarak curufların geri dönüşümü

esnasında elde edilen malzemelerin betonda kullanımı sonucunda %15 daha fazla sıkışma mukavemeti elde etmişlerdir [36].

2013 yılında Tsakiridis ve arkadaşları NMR yapısındaki tuzların alınması ve alüminyumun geri kazanılmasını incelemişlerdir. İlk olarak öğütme ve elek işlemlerini yapmışlardır. Daha sonra - 100 µm altındaki tozlardan tuz geri kazanımını gerçekleştirmişlerdir. Tuzu alınan alüminyum oksit bazlı numuneden alüminyum geri kazanmak için 240 °C de 260g/l derişimde güçlü NaOH çözeltisinde liç işlemi gerçekleştirmişlerdir. %57.5 'lik bir verimle alüminyum geri kazanımı sağlamışlardır [37].

Tsakiridis ve ekibinin çalışmasına bakıldığında düşük verim elde edilmesinin en büyük nedeni otoklav işleminde sadece toz yapısında bulunan corundum (Al_2O_3 Minerali) çözeltiye geçmektedir. Spinel ve alüminyum silikat yapıları kararlılıklarını korudukları için yapı içerisinde kalmakta ve çözeltiye geçmemektedirler. Ayrıca bu proses endüstriyel olarak uygulandığında ise sürekli aynı kalite de toz atık gelmeyeceği için bayer tipi proses zamanla kirlenecek ve prosesin bir yerde tıkanma olasılığı artacaktır.

3.MATERYAL METOT

Alüminyum metali oksijene ilgisi çok olan bir metal olduğundan dolayı birincil ve ikincil ergitme işlemleri sırasında curuf meydana gelmektedir. Curuf bir atık olmakla birlikte içinde bulunan alüminyum içeriğinden dolayı aslında bir yan üründür. Bu çalışmada alüminyum curuflarından külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Külçe alüminyum üretimi sırasında meydana gelen ve zararlı atıklar içerisinde sınıflanan tuz keklerinin de hidrometalurjik yöntemle Al_2O_3 kazanılması ve bu zararlı atığın çevreye verdiği zararların en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca alüminyum metali saflaştıkça işlenebilirlik özelliğinin arttığından dolayı değer kazanan bir metal olduğundan, curuflardan metal kazanımı sonrası elde edilen külçe alüminyumlar çeşitli kimyasallar kullanılıp eritme yöntemiyle saflaştırılmaya çalışılmıştır.

3.1. Materyaller

3.1.1. Deneyde Kullanılan Hammadde ve Kimyasallar

Bu çalışmada Kahramanmaraş ilinde alüminyum geri dönüşümü yapan bir curuf işletmesi tesisinden temin edilen alüminyum siyah curufu kullanılmıştır. Temin edilen curuf Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Alüminyum Curufu

Ergitme işleminde ise ergimiş tuz olarak NaCl, KCl ve sodyum florür içerikli flakslar kullanılmıştır. Saflaştırma yöntemi için ise hazırlamış olduğumuz kimyasal karışım kullanılmıştır. Bu kimyasal bileşim presleme yöntemi ile tablet haline getirilmiş olup elde edilen tablet Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.2. Saflaştırmada Kullanılan Tablet

3.1.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Curuflardan metal geri dönüşümü için curufların öğütülmesi ve tane boyutu ayarlanmasında bilyeli döner tambur kullanılmıştır. Curuflar döner tambur içerisinde öğütülürken curuf içerisindeki alüminyum oksitleri uzaklaştırmak için ise fan sisteminden yararlanılmıştır. Bilyeli döner tamburdan çıkan safsızlıklar için ise mıknatıstan faydalanılmıştır. Saflaştırma deneylerinde ise kimyasalların ergimiş halde bulunan alüminyuma etkili bir şekilde nüfuz etmesi için özel karıştırıcı bir sistem yapılmıştır. Curufların ve alüminyum oksitin WDXRF ve XRD analizleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Üskim Analiz Laboratuvarında yapılmış olup elde edilen külçe alüminyum ve saflaştırmadan önceki alüminyum ve saflaştırma sonrasındaki alüminyumun analizleri ise Kahramanmaraş Metal Sanayinde bulunan Sprektrometre cihazı ile analizi yapılmıştır.

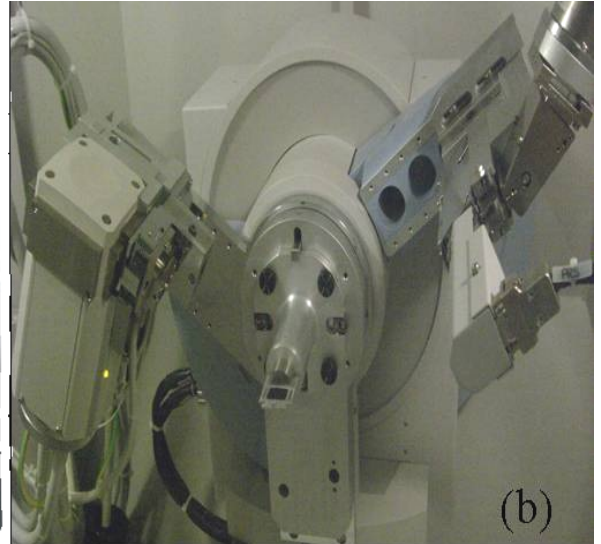
WDXRF gonyometre merkezine yerleştirilmiş kristal üzerine gelen x-ışınlarını kolimatörlerde demet haline getiren, kristal üzerine gelen x-ışınlarını Bragg yasasına ($2d\sin\theta=n\lambda$) göre uyararak farklı dalga boylarında, fakat belirli açılarda yansıtan ve gonyometre döndürülerek, belirli yansıma açısı ayarlanınca, istenilen dalga boyundaki x-ışınlarını ölçen bir cihazdır.

Spektrometre cihazı elektromanyetik spektrumun belirli bir bölümü üzerinde ışığın özelliklerini ölçerek spektroskopik analiz yöntemiyle materyalleri belirlemek için kullanılan bir araçtır. Şekil 3.3’ te Sprektrometre cihazı görülmektedir.



Şekil 3.3. Spektrometre Cihazı

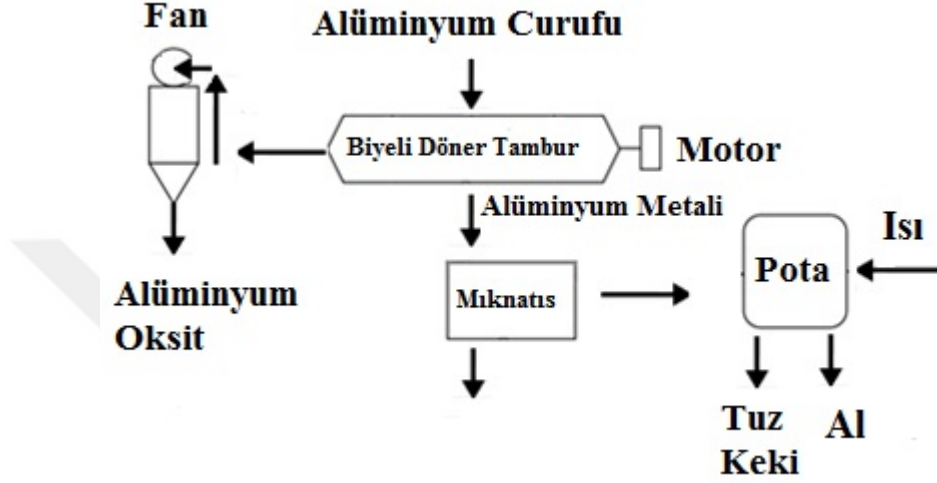
XRD analizi, katı malzemelerdeki mevcut fazların belirlenmesinde kullanılan deneysel bir yöntemdir. Bu çalışmada kullanılan Kahramanmaraş Üskim Laboratuvarında bulunan Philips X`Pert PRO marka XRD cihazı, Şekil 3.4`de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Philips X`Pert PRO marka XRD cihazının (a) dış ve (b) iç görünümü

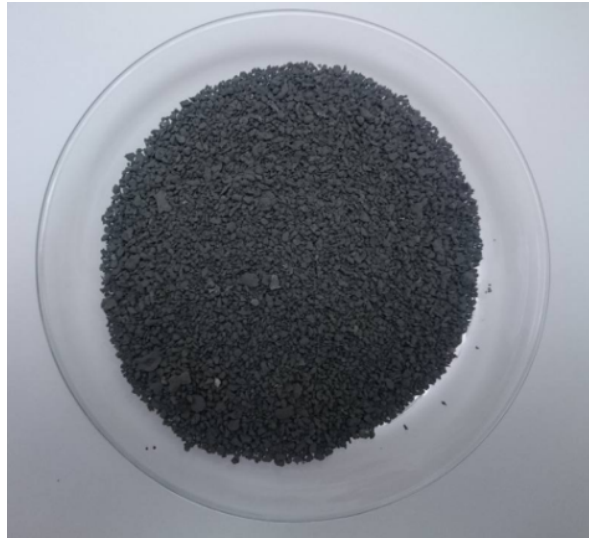
3.2. Metot

Deneysel kısım iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada curuflardan metal geri dönüşümü gerçekleştirilmiş olup bu dönüşüm sürecinde meydana gelen curuf keklerinden ise hidrometalurjik yöntemle Al_2O_3 eldesi gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda ise saflaştırma deneyleri yapılmıştır. Alüminyum curuflarından külçe alüminyum üretiminin akış şeması Şekil 3.5’ de görülmektedir.



Şekil 3.5. Külçe Alüminyum Üretiminin Akış Şeması

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere curuflardan ergitme işlemine tabi tutulmadan önce birtakım ön işlemlerden geçirilmiştir. Curuflar bilyeli döner tamburda öğütüldükten ve gerekli safsızlıklar uzaklaştırılmaya çalışıldıktan sonra elde edilen curuf Şekil 3.6’ da görülmektedir.



Şekil 3.6. Öğütme Sonrası Elde Edilen Curuf

Şekil 3.6’da öğütme sonrası elde edilen curuflar Şekil 3.7’ da görülen yer ocağında ergitme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.7. Ergitme İşleminin Yapıldığı Yer Ocağı

Şekil 3.7’ da görüldüğü gibi alüminyum curuflarında metal üretiminde curuf ön işlemlerinden sonraki aşama ergitme işlemidir. Kirliliği giderilmeye çalışılmış ve öğütme işleminden sonra oluşan alüminyum curuflar Şekil 7.6’ da görülen yer ocağında ergitilmiştir. Üretim yapılırken üretimin kolaylaşması için genelde flaks kullanılır. Örnek olarak genelde ergimiş tuz olarak NaCl, KCl ve bazı florür karışımları kullanılmaktadır. Bu çalışmada florür kaynaklı flaks olarak sodyum florür içerikli ferflux 110 alüminyum alaşımı enjeksiyon flaksı kullanılmıştır. Kullanılan flaks şekil 3.8’de görülmektedir.



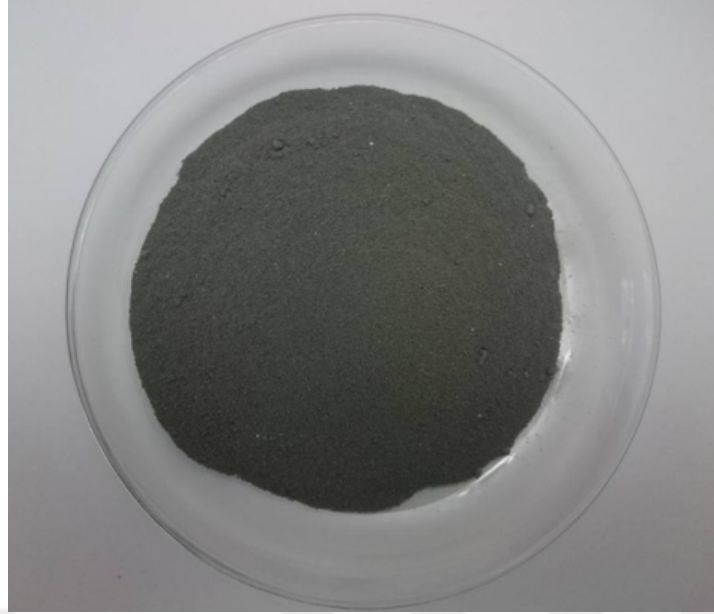
Şekil 3.8. Ferflux 110 Alüminyum Alaşımı Enjeksiyon Flaksı

Şekil 3.8’ de görülen flaks, NaCl ve KCl gibi flaksları kullanmamızdaki temel amaç ise oksitlenmeyi en aza indirmek kirliliği azaltmaya çalışmak ve ergitme işleminde ısı verimliliğini arttırmaktır. Ergitme işleminden sonraki aşama ise döküm işlemleridir. Döküm işlemleri Şekil 3.9’da görülmektedir.



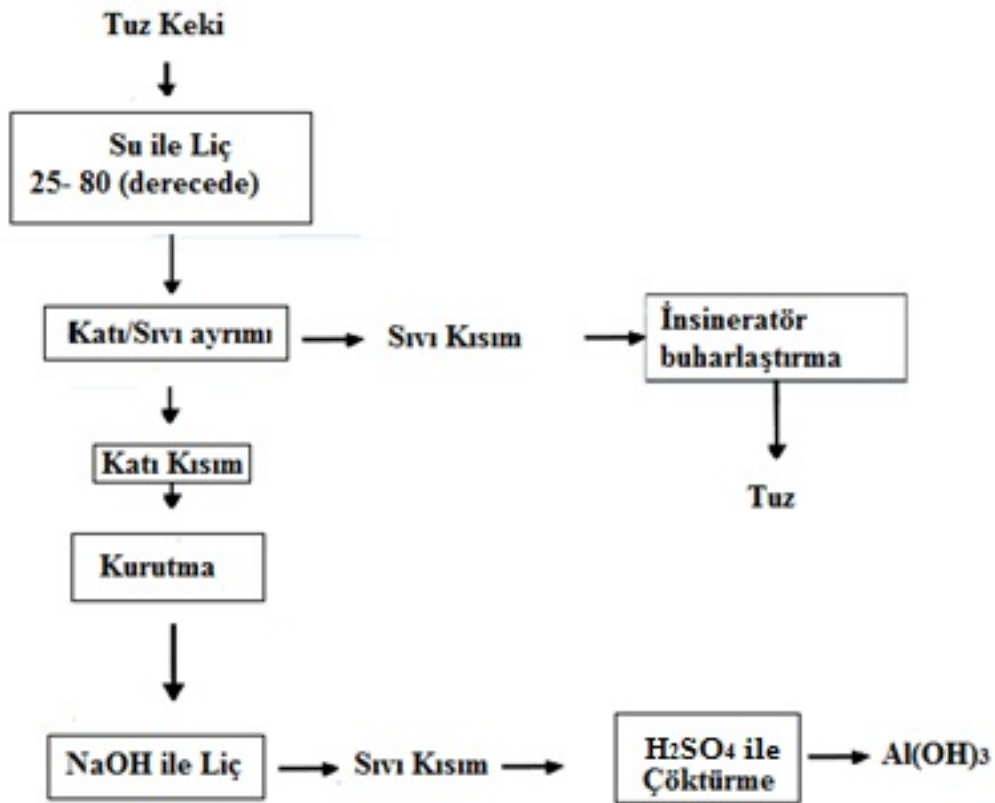
Şekil 3.9. Alüminyum Döküm İşlemleri

Şekil 3.9’ da alüminyum döküm işlemleri görülmektedir. Erimiş alüminyum kolay oksitlenebilen özelliğe sahip olduğundan dolayı döküm işlemine geçmeden önce yüzeyde meydana gelen oksit tabakası metal yüzeyinden alınmalıdır. Döküm işlemine geçmeden önce bazı kirliliklerin giderilmesi gerektir. Örneğin döküm işleminden önce erimiş alüminyumda Magnezyum miktarı fazla olabilir. Bu durumu gidermek içinde genellikle erimiş alüminyuma potasyum alüminyum florür ya da klor gazı ilavesi yapılabilir. Curuf ergitme işlemi sonrası döküme geçmeden önce potasyum florür ilavesi yapılarak numunemiz magnezyum kirliliğinden arındırılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.5’deki alüminyum curuf üretiminin akış şemasında ergitme işlemleri sırasında tuz keki meydana gelmektedir. Meydana gelen bu tuz keki Şekil 3.10 da görülmektedir.



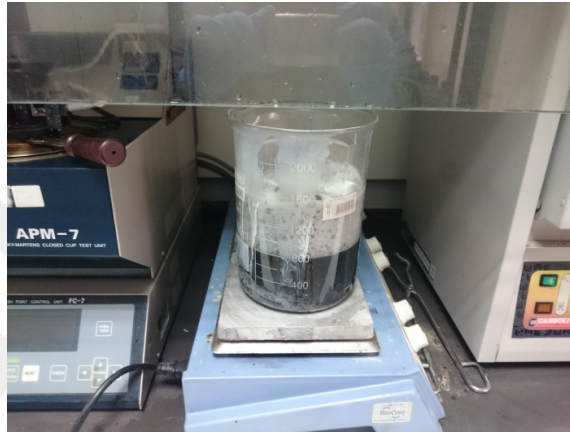
Şekil 3.10. Tuz keki

Şekil 3.10’ da görülen tuz kekinin, dünyanın birçok yerinde geri dönüşümü yapılmadan ve birtakım işlemler görmeden bertaraf edilmesi yasaktır. Şekil 3.11’ de tuz kekine uyguladığımız prosesin akış şeması görülmektedir.



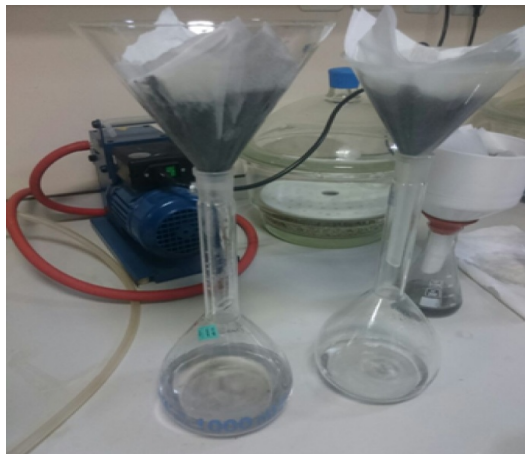
Şekil 3.11. Tuz Kekinin Geri Dönüşüm Prosesi

Şekil 3.11’da görülen geri dönüşüm prosesinde liç işlemi amacına göre iki farklı yöntemle yapılabilir. Liç işleminde sadece tuz giderimi yapılmak isteniyorsa bu işlem 25 C° de yapılması uygundur. Çünkü KCl ve NaCl’ ün 25 C° ‘ de çözünürlükleri yaklaşık litrede 400 gram civarındadır. Tuz keki içindeki yakıcı ve yanıcı gazlar uzaklaştırılmak isteniyorsa liç işlemi 80 C°’de yapılmalıdır. Bizim çalışmamızda tuz keki 25 C°’ civarında su ile liçe tabi tutulduktan sonra katı sıvı ayrımı yapılmıştır. daha sonra katı kısım kurutulduktan sonra 1.0 Molar derişime sahip NaOH çözeltisinde liçe tabi tutulmuştur. NaOH ile liç işlemi Şekil 3.12’de görülmektedir.



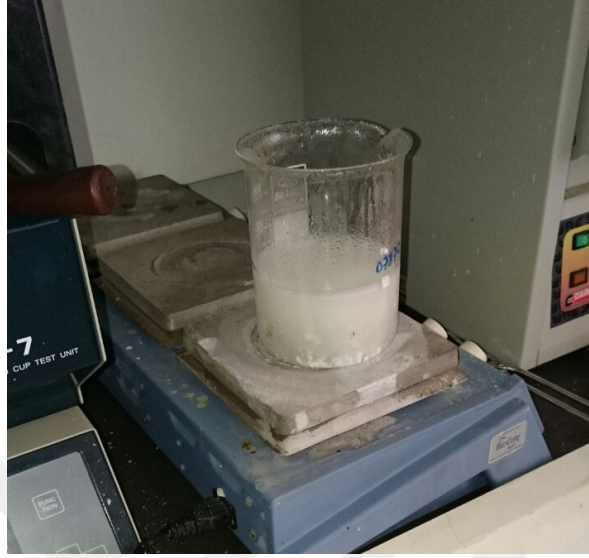
Şekil 3.12. NaOH İle Liç İşlemleri

Şekil 3.12’de görülen NaOH ile Liç işlemi yapıldıktan sonra elde edilen çözeltinin katı sıvı ayrımı gerçekleştirilmiştir. Katı sıvı ayrım işlemleri ise Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. NaOH Çözeltisinin Katı Sıvı Ayrımı

Şekil 3.13’de görüldüğü üzere katı sıvı ayrımı yapıldıktan sonra elde edilen NaAlO_2 çözeltisi Ph değeri yaklaşık 9.2 değerine getirilerek H_2SO_4 ile $\text{Al}(\text{OH})_3$ şeklinde çöktürülmüştür. Çöktürme işlemleri ise Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14. $\text{Al}(\text{OH})_3$ ’ in H_2SO_4 ile Çöktürme İşlemleri

Şekil 3.14’ de görüldüğü üzere NaAlO_2 çözelti H_2SO_4 ile nüfuz ettiğinde çözeltinin dibinde $\text{Al}(\text{OH})_3$ birikmeye başlamıştır. Daha sonra elde edilen ürün kurutulmuş ve $\text{Al}(\text{OH})_3$ elde edilmiştir. Elde edilen alüminyum hidroksit metal oksitlerden meydana gelmektedir ve çevreyi kirlletici hiçbir unsur barındırmamaktadır. Elde edilen alüminyum hidroksitte 900 C° ’de yaklaşık bir saat müddet bekletilerek içerisindeki su alınmış ve Al_2O_3 eldesi gerçekleşmiştir. Elde edilen alüminyum hidroksit Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Alüminyum Oksit

Deneyin ikinci kısmı ise saflaştırma bölümünden meydana gelmektedir. Saflaştırma işlemine tabi tutulan alüminyum ise %99.28'lik bir saflık oranına sahiptir. Alüminyum alaşımlarında alüminyuma sertlik veren ve çok fazla olduğunda istenmeyen elementlerden biri Fe elementidir. Bu çalışmada özellikle alüminyumda bulunan Fe elementleri kimyasallar ile uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. İşlem 900 C°'de gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2' de görülen tablet eriyik halde bulunan alüminyuma özel bir karıştırıcı sistem ile en dipten yukarı doğru etki edecek şekilde nüfuz ettirilmiştir. Yapılan işlem Şekil 3.16' de görülmektedir.



Şekil 3.16. Saflaştırma İşlemleri

Şekil 3.16' da görüldüğü üzere hazırlamış olduğumuz kimyasallar eriyik halde bulunan alüminyum içerisine dipten olmak üzere ilave edilmiş ve karıştırıcı bir sistem yardımıyla kimyasalın alüminyuma homojen bir şekilde etki etmesi sağlanmıştır. Deney sonunda da ilk numune ile ikinci numune arasında istenen miktarlarda değişimlerin olduğu gözlenmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında alüminyum geri dönüşümü yapan bir tesisten alınan curuftan alüminyum geri dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Curuflar işlenmeye başlanmadan önce WDXRF analizlerine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.1’de Tambur öncesi alüminyum curufunun WDXRF sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Tambur Öncesi Alüminyum Curufunun WDXRF Analizi

Element	
Formül	Konsantrasyon
Al	21,74%
Ca	6,74%
Mg	3,53%
Si	1,23%
Cl	0,97%
Fe	0,77%
Ba	0,67%
Ti	0,66%
S	0,36%
Na	0,36%
Cu	0,17%
Zn	0,14%
P	0,12%
K	0,10%
Pb	0,09%
Mn	0,05%
Sr	0,04%
Ni	0,03%
Cr	0,03%
Ga	67 PPM

Tambur sonrası elde edilen alüminyumun kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.2’ de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Tambur Sonrası Ergitmeye Hazır Hammaddenin WDXRF sonuçları

Element	
Fomül	Konsantrasyon
Al	28,77%
Mg	4,33%
Ca	3,66%
Si	3,10%
Ti	2,72%
Ba	2,41%
Cl	2,22%
Na	1,29%
S	0,92%
Fe	0,75%
K	0,39%
Zn	0,25%
P	0,23%
Cu	0,15%
Pb	0,05%
Mn	0,04%
Cr	0,04%
Sn	0,02%
Sr	0,02%
Ni	0,02%
Sb	0,01%
Br	95 PPM
Ga	61 PPM

Çizelge 4.1 ve 4.2’ de öğütme öncesi ve öğütme sonra curufun kimyasal analizi görülmekte olup sonuçlar curufun kimyasal bileşimini teyit eder niteliktedir. Alüminyum birçok metalle bileşik yapmış durumdadır. İkincil alüminyum üretiminde en çok kullanılan flakslardan biri de NaCl olarak gözükmektedir. Hidrometalurjik yöntem ile elde edilen tuz kekinin Al_2O_3 ’ün kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.3’te görülmektedir.

Çizelge 4.3. Tuz Kekinden Elde Edilen Alüminyum Oksitin WDXRF sonucu

Element	
Formül	Konsantrasyon
Al	14,35%
Na	7,57%
S	1,13%
P	0,09%
Ca	0,06%
Si	0,03%
Cl	0,02%
K	0,02%
Fe	0,02%
Ru	0,02%
Mo	0,01%
Ga	60 PPM
Cu	48 PPM

Çizelge 4.4’de üretilen külçe alüminyumun spektrometri analizi sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.4 Curuflardan Üretilen Külçe Alüminyumun Spektrometre Analizi

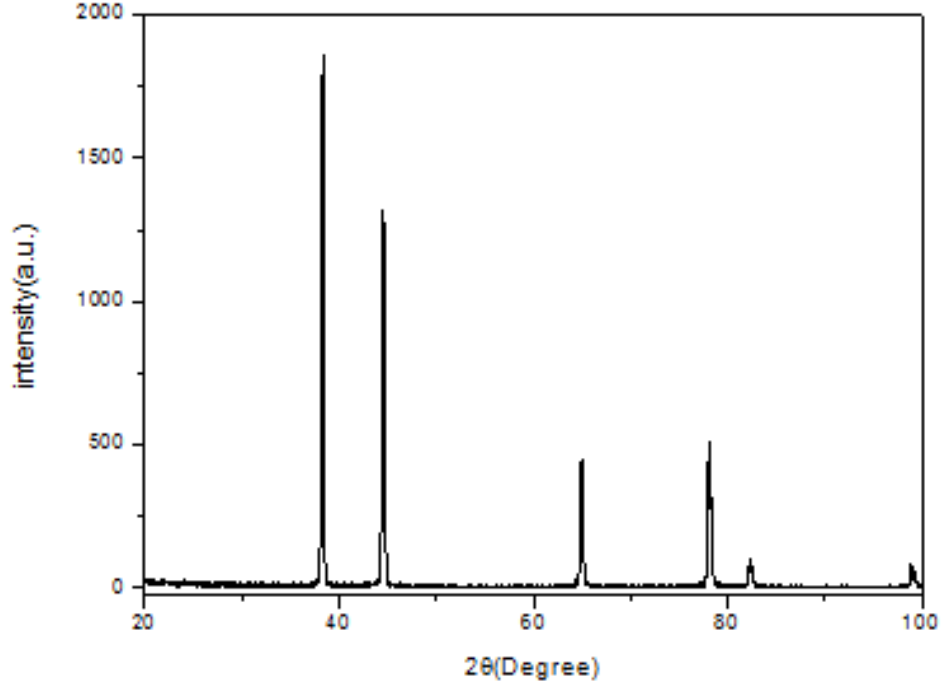
	Al _M %	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
1. Ölçüm	99.35	0.477	0.573	0.282	0.122	0.0005	0.0480
2. Ölçüm	99.34	0.480	0.574	0.284	0.124	0.0005	0.0547
3. Ölçüm	99.41	0.458	0.587	0.263	0.123	0.0005	0.0449
Ortalama	99.36	0.472	0.578	0.277	0.123	0.0005	0.0492

	Ni %	Ti %	Be %	Li %	Pb %	Sn %	Sr %
1. Ölçüm	0.0037	0.0311	0.0001	0.0001	0.0178	0.0075	0.0002
2. Ölçüm	0.0025	0.0292	0.0001	0.0001	0.0211	0.0075	0.0003
3. Ölçüm	0.0025	0.0269	0.0001	0.0001	0.0124	0.0075	0.0001
Ortalama	0.0025	0.0291	0.0001	0.0001	0.0171	0.0075	0.0002

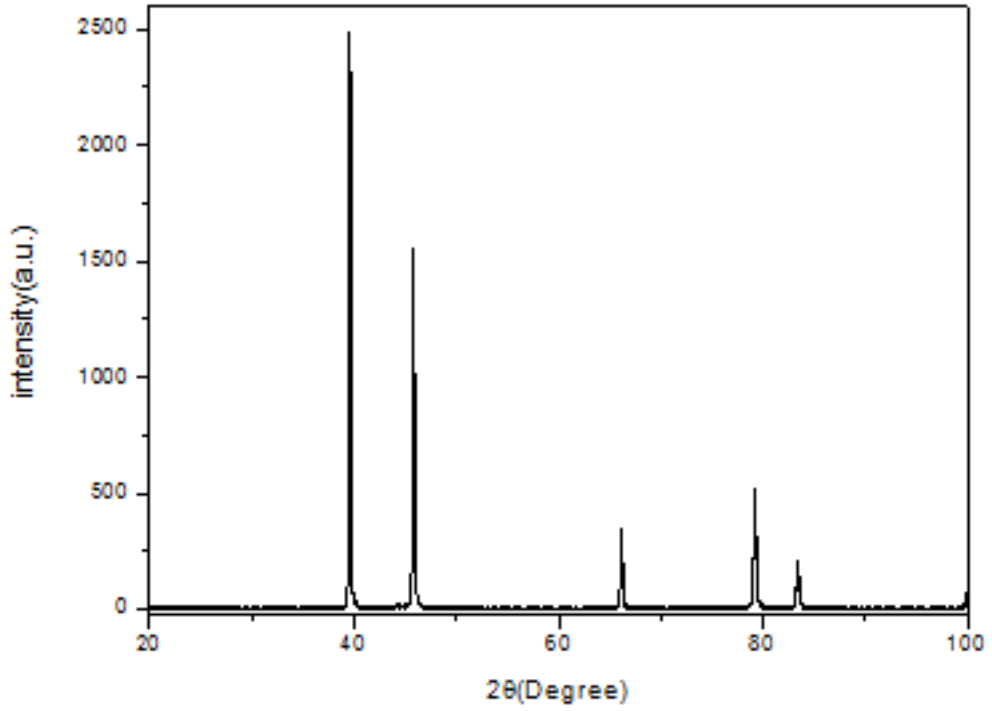
	Na %	Bi %	Zr %	B %	Ga %	Cd %	Co %
1. Ölçüm	0.0114	0.0050	0.0040	0.0060	0.0096	0.0010	0.0010
2. Ölçüm	0.0107	0.0050	0.0070	0.0056	0.0103	0.0010	0.0010
3. Ölçüm	0.0093	0.0050	0.0016	0.0046	0.0089	0.0010	0.0010
Ortalama	0.00105	0.0050	0.0042	0.0054	0.0096	0.0010	0.0010

	In %	Ce %	La %
1. Ölçüm	0.0020	0.0111	0.0041
2. Ölçüm	0.0020	0.00120	0.0039
3. Ölçüm	0.0020	0.0097	0.0044
Ortalama	0.0020	0.0109	0.0041

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de saflaştırma yöntemine tabii tutulan numunelerin XRD sonuçları görülmektedir. Yapılan incelemeler oda sıcaklığında ve 20° den 100° ye kadar 0,04° C/sn hızında monokromatik CuK α radyasyonu (X-ışını dalga boyu λ = 1,54 Å) ile 40kV ve 30 mA gerilimi altında yapılmıştır.



Şekil 4.1. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Öncesi XRD Analizi



Şekil 4.2. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Sonrası XRD Analizi

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi numunelerin XRD analizlerinde sadece Al elementlerinin pikleri gözlenmiştir. Ek-1’de belirtilen saf Al elementinin XRD pikleri ile de birebir örtüştüğü görülmektedir.

Saflaştırma işlemi yapılmadan önce malzemeye dört farklı noktadan spektrometre cihazı ile ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.5’ te alüminyumun saflaştırma işlemi öncesi spektrometre analiz sonuçları görülmektedir. Çizelge 4.6’ da ise alüminyumun saflaştırma işlemine tabii tutulduktan sonraki spektrometre analiz sonuçları yer almaktadır. Çizelge 4.5’te görüldüğü üzere malzeme %99.28 saflık derecesine sahiptir.

Çizelge 4.5. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Öncesi Spektrometre Analizi

	Al _M %	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
1. Ölçüm	99.28	0.0498	0.561	0.0010	0.0553	0.0042	0.0050
2. Ölçüm	99.29	0.0515	0.559	0.0010	0.0548	0.0044	0.0050
3. Ölçüm	99.28	0.0530	0.556	0.0010	0.0551	0.0040	0.0050
4. Ölçüm	99.27	0.0519	0.570	0.0010	0.0548	0.0046	0.0050
Ortalama	99.28	0.0515	0.561	0.0010	0.0550	0.0043	0.0050

	Ni %	Ti %	Be %	Li %	Pb %	Sn %	Sr %
1. Ölçüm	0.0025	0.0055	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
2. Ölçüm	0.0025	0.0053	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
3. Ölçüm	0.0025	0.0051	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
4. Ölçüm	0.0025	0.0066	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
Ortalama	0.0025	0.0056	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001

	Na %	Bi %	Zr %	B %	Ga %	Cd %	Co %
1. Ölçüm	0.0007	0.0050	0.0010	0.0010	0.0089	0.0010	0.0010
2. Ölçüm	0.0008	0.0050	0.0010	0.0010	0.0082	0.0010	0.0010
3. Ölçüm	0.0007	0.0050	0.0010	0.0010	0.0088	0.0010	0.0010
4. Ölçüm	0.0009	0.0050	0.0010	0.0010	0.0089	0.0010	0.0010
Ortalama	0.0008	0.0050	0.0010	0.0010	0.0087	0.0010	0.0010

	In %	Ce %	La %
1. Ölçüm	0.0020	0.0204	0.0049
2. Ölçüm	0.0020	0.0186	0.0049
3. Ölçüm	0.0020	0.0198	0.0051
4. Ölçüm	0.0020	0.0204	0.0050
Ortalama	0.0020	0.0198	0.0050

Çizelge 4.6. Alüminyumun Saflaştırma İşlemi Sonrası Spektrometre Analizi

	Al _M %	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %
1. Ölçüm	99.65	0.0659	0.187	0.0010	0.0555	0.0077	0.0050
2. Ölçüm	99.65	0.0653	0.188	0.0010	0.0542	0.0074	0.0050
3. Ölçüm	99.65	0.0638	0.190	0.0010	0.0542	0.0083	0.0050
Ortalama	99.65	0.0643	0.188	0.0010	0.0546	0.0078	0.0050

	Ni %	Ti %	Be %	Li %	Pb %	Sn %	Sr %
1. Ölçüm	0.0025	0.0056	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
2. Ölçüm	0.0025	0.0054	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
3. Ölçüm	0.0025	0.0056	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001
Ortalama	0.0025	0.0055	0.0001	0.0001	0.0020	0.0075	0.0001

	Na %	Bi %	Zr %	B %	Ga %	Cd %	Co %
1. Ölçüm	0.0010	0.0050	0.0010	0.0010	0.0093	0.0010	0.0010
2. Ölçüm	0.0008	0.0050	0.0010	0.0010	0.0088	0.0010	0.0010
3. Ölçüm	0.0007	0.0050	0.0010	0.0010	0.0083	0.0010	0.0010
Ortalama	0.0008	0.0050	0.0010	0.0010	0.0088	0.0010	0.0010

	In %	Ce %	La %
1. Ölçüm	0.0020	0.0103	0.0020
2. Ölçüm	0.0020	0.0095	0.0020
3. Ölçüm	0.0020	0.0117	0.0020
Ortalama	0.0020	0.0105	0.0020

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’ da ki verilere göre saflaştırma işlemine tabi tutulan alüminyum %99.28 saflık düzeyinden %99.65 saflık düzeyine ulaştığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada birincil ve ikincil alüminyum üretimi esnasında meydana gelen curuflardan külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilmiş ve alüminyum kimyasal maddeler kullanarak saflık oranını yükseltmeye çalışılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda;

- Çalışmamızda geri dönüşüm sürecinde meydana gelen ve tehlikeli atıklar sınıfında yer alan tuz keklerinden hidometalurjik yöntem ile Al_2O_3 elde edilmiştir.
- Geri dönüşüm sürecinde %95'lere kadar enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- Yapılan WDXRF sonuçlarının cürufların kimyasal bileşimini teyit eder nitelikte olduğu görülmüştür.
- Zararlı bir atık olan tuz kekinden elde edilen Al_2O_3 'ün WDXRF ile kimyasal yapısı incelendiğinde sadece metal oksitlerden meydana geldiği ve çevreye zarar verici hiçbir unsur barındırmadığı görülmüştür.
- Sanayi alanında külçe alüminyum üretimi gerçekleştirilirken her ne kadar safsızlıklar uzaklaştırılmaya çalışılsa da elde edilen alüminyumun yeterli saflık düzeyinde olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde alüminyum geri dönüşümü yapan tesislerin alüminyumunu saflaştırmak için eriyik haldeki malzemeye daha saf alüminyum katarak saflık düzeyinin yükseltildiği belirlenmiştir.
- Bu çalışmada bir ilk olarak saflaştırma işlemi kimyasallar kullanarak gerçekleştirilmiştir. Saflık bakımından %99.28 düzeyinde bulunan alüminyum malzeme, kimyasallardan ürettiğimiz tabletler sayesinde ergitme yöntemiyle saflık düzeyi %99.65 seviyelerine çıkarılmıştır.
- Çalışmamızda kullanılan tablet içerik olarak NaCl, NaOH, portakal kömürü.. vb kimyasallar ihtiva etmektedir.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığı altında curuflardan alüminyum geri dönüşümü enerji tasarrufu sağlamakla birlikte, sınırlı sayıda rezerve sahip olan boksit kaynaklarının tükenmesi, ekolojik açıdan yaşanabilir bir çevre ve ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir. Diğer taraftan bu süreç içerisindeki saflaştırma kısmının kimyasallarla sağlanması saflık düzeyi yüksek olan alüminyum tüketimini azaltmakla birlikte ekonomik açıdan büyük tasarruf sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Çırakoğlu Z., İstanbul Demir ve Demir Dışı Metaller İhracatçıları Birliği, Haziran 2017 Değerlendirme Raporu.
- [2] Sözbir, N., Akçıl, M., Okuyucu, H. Alüminyum Cürufundan Alüminyum Metali ve Flaks Eldesi. ISEM2014 Adıyaman. 1109-1113s.
- [3] Yücel, O., Car, E., Alüminyum Curuflarının Değerlendirilmesi ve Kalsiyum Alüminat Sentetik Curuf Yapıcı Üretimi, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası, Metalurji Sayı:175 Ağustos 2015, 35s.
- [4] <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity/> (Erişim Tarihi: Ağustos 2017).
- [5] “Global Aluminium Recycling”, International Aluminium Association, 15 Jan. 2013
- [6] Djukanovic, G., “The Growing Importance of Recycling”, Aluminium Times Annual Review 2015, s:6-8, European Aluminium Association
- [7] Yılmaz, Fevzi, "Alüminyumda Geri Dönüşümün Artan Önemi", Alü & Art Alüminyum Cephe Yapı Mimari Proje Dergisi, 39 (2016): 1-3.
- [8] Çelik, O.H., 2015. ‘Alüminyum Siyah Curuflarındaki Alüminyumun ve Bileşiklerinin Hidro ve Pirometalurjik Yöntemler ile Geri Kazanılması’. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 3s.
- [9] Kasaplar, G. 2007. ‘Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi’. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 4s.
- [10] <http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosyad99a9f359794117ac8f5e2a1c3902f86b.pdf> (Erişim Tarihi: 05.01.2017).
- [11] Karahan T., 2007. ‘Alüminyum Elektrolizinde İleri Teknoloji Uygulamaları’. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 8-10.s
- [12] Yalvaç, N., (2003), “Eti Alüminyum Dahili Eğitim Yayınları”, 2003
- [13] http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/ESA/ga/2006-GA/GA-06-0708_Aluminyum_Sektörü_Hakkında_Bir_Değerlendirme.pdf (Erişim Tarihi: 05.01.2017).
- [14] Günay, D. (2006). Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Ekonomik ve Sosyal araştırmalar Müdürlüğü, Eylül 2006, Ankara.
- [15] Car E., “ Alüminyum Üretimi, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri, Alüminyum Alaşımları”, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu, Yayın No:2

- [16] Alüminyum Komisyonu, “Alüminyum Raporu”, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
- [17] Gündeş, A., “Al-Ni-Si Alaşımlarının Hızlı Katılaştırma ile Üretilmesi ve Fiziksel, Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, FBE, Kahramanmaraş.
- [18] Deschamps, A., Dumont, D., Brechet, Y., Sigli, C. ve Dubost, B. (2001), Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties, ASM International, Materials Park, OH, 298-305
- [19] Durmus, S., Akgün, S. ve Sahin, S. (2009), Çökelme Sertleştirilmesi uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikro yapı ile değişiminin incelenmesi, 5. Uluslar arası Dleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük
- [20] Mondolfo, L.F., Al-Si-Mg Alloys, Aluminium Alloys Structure Properties, Butterworths London, 759 -774.
- [21] Tımaç G., Samur R., (2006) Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi FBE, İstanbul.
- [22] Demirci, M.K., Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye’nin Yeri. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi_161/d161_1729.pdf (Erişim: 07.01.2017)
- [23] <http://www.world-aluminium.org/statistics/> (erişim tarihi: 12.10.2017).
- [24] <https://www.statista.com/statistics/271671/countries-with-largest-bauxite-reserves> (Erişim tarihi 12.10.2017)
- [25] <http://metalpedia.asianmetal.com/metal/aluminum/resources&production.shtml> (Erişim tarihi 12.10.2017)
- [26] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2010. Madencilik Özel ihtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Boksit Çalışma Grubu Raporu, Ankara
- [27] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Komisyonu (2004), Alüminyum Raporu
- [28] Yılmaz, M., Alüminyum Sektör Değerlendirmesi, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Ve Malzeme Mühendisleri Odası, Metalurji Sayı:177 Aralık 2015
- [29] ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği 50. Yıl Sempozyumu 29 Haziran 2016, Ankara
- [30] İzgi, N., “Alüminyumun Geri Dönüştürülmesi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul, 2011.

- [31] European Commission. (2014). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries
- [32] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretimi, ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2016.
- [33] Dash, B., Das, B. R. ve Tripathy, B. C. (2008). Acid Dissolution of Alumina From Waste Aluminium Dross, *Hydrometallurgy*, 45 - 53
- [34] Sözbir N., arkd., “ Alüminyum Cürufundan Alüminyum Metali ve Flaks Eldesi ”, ISEM 2014 Adıyaman – TÜRKİYE
- [35] Zhou, Y., Wu, L. ve Wang J. (2013). Alumina Extraction from High – Alumina Ladle Furnace Refining Slag, *Hydrometallurgy*, DOI:10.1016/j.hydromet.2013.08.007
- [36] Dai, Chen. Aluminum dross - based material for engineering application developing. Dis. Worcester Politeknik Institute, 2012.
- [37] Tsakiridis, P. E., Oustadakis, P. ve Leonardou, S. A. (2013). Aluminium recovery during black dross hydrothermal treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1, 23 - 32

EK-1

Name and formula

Reference code: 03-065-2869
ICSD name: Aluminum
Empirical formula: Al
Chemical formula: Al

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225

a (Å): 4,0497
b (Å): 4,0497
c (Å): 4,0497
Alpha (°): 90,0000
Beta (°): 90,0000
Gamma (°): 90,0000

Volume of cell (10⁶ pm³): 66,42
Z: 4,00

RIR: 4,30

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Alloy, metal or intermetallic
Modelled additional pattern
Quality: Calculated (C)

Comments

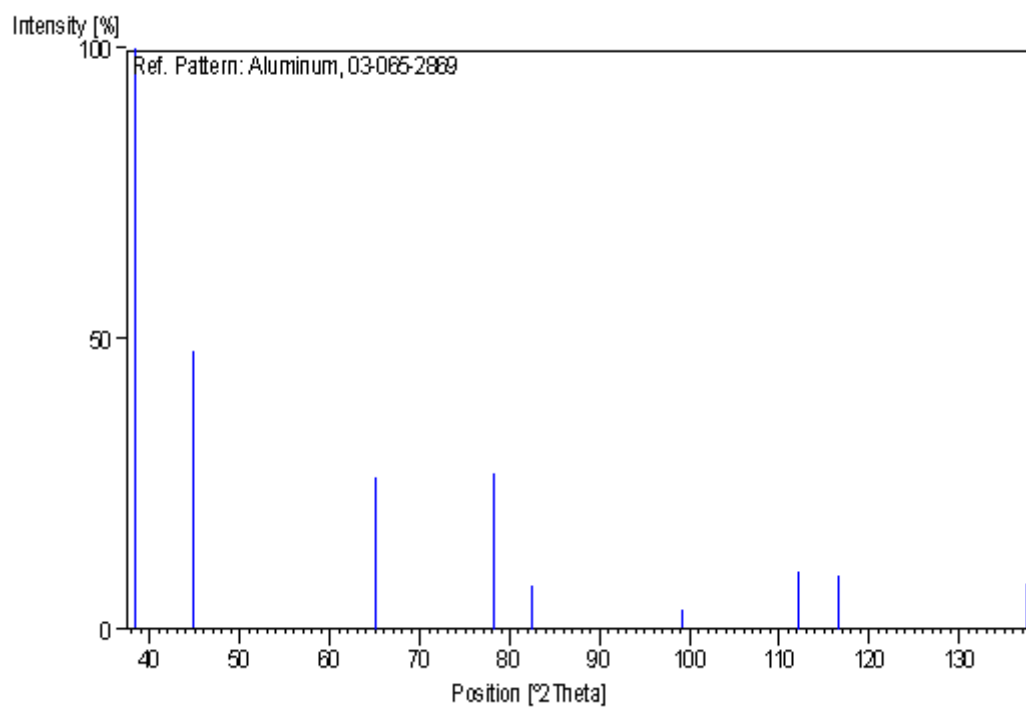
References

Primary reference: Calculated from NIST using *POWD-12++*
Structure: M.E.Straumanis, *J. Appl. Phys.*, **20**, 726, (1949)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	
1	1	1	1	2,33810	38,471	100,0	
2	2	0	0	2,02485	44,720	47,8	
3	2	2	0	1,43178	65,095	26,1	
4	3	1	1	1,22103	78,227	26,8	
5	2	2	2	1,16905	82,434	7,5	
6	4	0	0	1,01242	99,078	3,3	
7	3	3	1	0,92906	112,015	9,9	
8		4	2	0	0,90554	116,565	9,4
9		4	2	2	0,82664	137,448	7,9

Stick Pattern



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Mahir ÇEVİK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.10.1985 /Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (344) 216 11 63
e-posta : mahir_407@windowslive.com

Eğitim

Derece

Eğitim Birimi

Yüksek lisans

KSÜ /Kamu Yönetimi Anabilim Dalı (2012)
KSÜ/ Fizik Anabilim Dalı (2018)
KİYÜ/ Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı (2017)

Lisans

CÜ/ İlköğretim Matematik Öğretmenliği Bölümü (2009)
KSÜ/ Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü (2015)
ANADOLU Ü/ Kamu Yönetimi Bölümü (2016)
KSÜ/ İnşaat Mühendisliği Bölümü (Son sınıf)

Ön Lisans

ATAÜ/ Adalet Programı (son sınıf)

Lise

K.Maraş KÇAL (2004)

İş Deneyimi

Yıl

2009/2018

Yer

MEB

Görev

Matematik Öğretmeni (Görevde)

Yabancı Dil

İngilizce

YAYINLAR

- Çevik, M., Yıldız, A., Delihacıoğlu, K.,** “The Use Of Submersible Pumps In Photovoltaic Power Assisted Micro Irrigation Systems And Kahramanmaraş City Example”, International Conference on Natural Science and Engineering(ICNASE’16) March 19-20, 2016, Kilis, 528-532s.
- Çevik, M., Yıldız, A., Delihacıoğlu, K.,** “ A Study of Experimental Efficiency of PV-Hydrogen Generation Hybrid Energy System”, International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE), 2017, Elazığ.
- Çevik, M., Delihacıoğlu, K., Yıldız, A.,** “ Fotovoltaik Güç Destekli Hibrit Bir Hidrojen Üretim Sistemi Dizaynı Kilis İli Örneği”, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2017.
- Çevik, M., Yıldız, A., Delihacıoğlu, K.,**“A Case Study To Desing Pv Solar Energy System For A Rezidance İn Kahramanmaraş-Turkey”, International Congress of the New Approachesand Technologies for Sustainable Development September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY
- Çevik, M., Gündeş, A., Küçükönder, A.,** “ İn Terms of Ecological Sustainability The Importance of The Recycling of Metal from Aluminum Dross” International Congress of the New Approachesand Technologies for Sustainable Development September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY

Posterler:

- Çevik, M., Gündeş, A., Küçükönder, A.,** “ Metal Recycling Of Aluminum Dross” Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi. 2017, Muğla, Bodrum.
- Gündeş, A., Çevik, M., Köklü, M.,** “Examination Of Plastic Deformation Characteristics Of Aluminum Materials With Different Purity Ratios” Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi. 2017, Muğla, Bodrum.