



**T.C.  
BİLECİK ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine ve İmalat Mühendisliği**

**ALÜMİNYUMUN GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ VE SÜREÇTE  
KULLANILAN MALZEMELERİN ALÜMİNYUM  
BİLEŞENLERİNE ETKİLERİ**

**Çağla EDİZ  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ**

**BİLECİK, 2011**

 <b>BİLECİK ÜNİVERSİTESİ</b> <b>FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ</b>	<b>YÜKSEK LİSANS/DOKTORA</b> <b><u>JÜRİ ONAY FORMU</u></b>
---	---

Bilecik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Çağla EDİZ'in "Alüminyum Geri dönüşüm Süreci ve Süreçte Kullanılan Malzemelerin Alüminyum Bileşenlerine Etkileri" konulu tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

## **JÜRİ**

### **ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ**

**ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Birol AKYÜZ**

**ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Şenol AVCI**

## **ONAY**

Bilecik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

**İMZA/MÜHÜR**

## ÖZET

Bir alüminyum geri dönüşüm tesisinde, piyasadan kullanılmış olan alüminyumların toplanıp sınıflandırılmasından, müşteri tarafından talep edilen spesifikasyonlara uygun olarak üretilmiş alüminyum alaşımların sevkiyatına kadar olan ikincil alüminyum üretme işlemi bir süreç olarak düşünülmüş ve bu süreç esnasında kullanılacak malzemeler ve flakslar, ocağa ilave edilen gazlar, ergitme esnasında ulaşılan sıcaklıklar gibi başlıca parametrelerin bu süreç üzerine etkilerine değinilmiştir. Üretilen ürün bileşenlerine önemli bir parametre olarak etki eden geri dönüşümde kullanılan malzeme gruplarının, geri dönüşümle üretilen alüminyum alaşımı bileşenlerine katkısı regresyon analizi ile incelenmiştir.

### **Anahtar Kelimeler**

İkincil alüminyum üretimi, regresyon analizi, alüminyum bileşenleri, geri dönüşüm süreci

## **ABSTRACT**

In an aluminum recycling plant, the aluminum recycling, from classification of the aluminum that was collected from the market to the distribution of the aluminum which was produced according to the customer specifications, was considered as a process and in this process, the effect of the different parameters like the used recycling materials, fluxes, the blowing gases, the reached temperatures during melting are studied. The used recycling material groups that is one of the most important parameter influence the produced aluminum components are analyzed by the regression method.

### **Key Words:**

Secondary aluminum production, regression analysis, aluminum components, recycling process

## TEŞEKKÜR

3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. Fabrika Müdürü Yüksek Mühendis S. Vakkas Öztürk ve çalışanlarına, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet Fevzi Savaş'a, desteklerinden ötürü şükranlarımı sunarım. Ayrıca kıymetli vaktini ayırarak yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç Dr. Serpil Türkyılmaz'a teşekkür ederim.

Beni yetiştiren anneme, babama ve ağabeyime, her konuda beni destekleyen ve cesaretlendiren eşime sevgilerimle.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ:</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ALÜMİNYUM VE KULLANIM ALANLARI</b> .....	3
2.1. Alüminyumun Tarihçesi ve Özellikleri .....	3
2.2. Alüminyum Üretim Teknikleri .....	7
2.2.1. Birincil ve İkincil Üretim .....	8
2.3. Döküm Endüstrisi Ürünleri .....	10
2.3.1. Döküm ürünleri .....	10
2.3.2. Hadde Ürünleri .....	11
2.3.3. Ekstrüzyon Ürünleri .....	11
2.3.4. Parça Döküm Ürünleri .....	11
2. 4. Alüminyum Ve Alaşımları Kullanım Alanları .....	12
<b>3. ALÜMİNYUMUN GERİ DÖNÜŞÜMÜ</b> .....	17
3.1. Alüminyum Geri Dönüşüm Süreci .....	20
3.1.1. Gruplandırma .....	20
3.1.2. Yağ Giderme .....	21
3.1.3. Briketleme .....	21
3.1.4. Demirli parçaların ayrılması .....	22
3.1.5 Boya giderme ve yakma .....	22
3.2. Döküm Öncesi Sıvı Alüminyuma Uygulanan İşlemler .....	23
3.3. Alüminyum Dökümü Etkileyen Etkenler .....	23
3.4. Döküm Ocakları .....	24
3.5. Potaya Gaz Üfleme .....	27

3.6. Kullanılan Yakıt.....	28
3.7. Eritkenler (Flakslar) .....	28
3.8. Ergitmede Karşılaşılabilen Problemler .....	30
3.9. Eriyiğin Ölçülmesi Ve Takviyeler .....	33
3.10. Ergitilmiş Alüminyum Özelliklerinin İyileştirilmesi.....	33
<b>4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....</b>	<b>36</b>
4.1. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması .....	36
4.2. Alaşımda Kullanılan Elementlerin Alaşıma Etkileri .....	37
<b>5. GERİ DÖNÜŞÜMDE KULLANILAN MALZEMELERİN .....</b>	<b>40</b>
<b>ÜRETİLEN ÜRÜNE ETKİLERİ.....</b>	<b>40</b>
5.1. Regresyon Analizi.....	40
5.2. Metot .....	40
5.3.Hipotezler.....	42
5.4.Regresyon Analizi Sonuçları .....	44
5.4. Kullanılan Malzemeler İle Üretilen Ürünler Arasındaki İlişki Grafikleri .....	45
5.6. Bir Üretimin Hesap Edilen ile Karşılaştırılması .....	51
5.7. Alüminyum Bileşenlerinin Program ile Tahmini .....	52
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>61</b>
Ek 1. Müşteri Alüminyum Spesifikasyon Talebine Bir Örnek.....	61
Ek 2. 3A Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Bileşimlerinden Bazıları(%) .....	62
Ek 3. Regresyon Analizleri .....	63
Ek 4. Periyodik Cetvel .....	67
Ek 5. Özgeçmiş .....	68

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b>Çizelge 2.1.</b> Metallerin doğada bulunma yüzeylei .....	3
<b>Çizelge 2.2.</b> Dünya Alüminyum Üretimleri (Bin Ton).....	4
<b>Çizelge 2.3.</b> Saf alüminyum metalinin özellikleri .....	6
<b>Çizelge 2.4.</b> Boksit mineralleri .....	8
<b>Çizelge 2.5.</b> Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve şekillendirme yöntemleri .....	13
<b>Çizelge 2.6.</b> Otomobilde kullanılan alüminyum parça ağırlıkları .....	15
<b>Çizelge 3.1:</b> Hurdaların değerlendirilmesinde geri kazanım oranları.....	27
<b>Çizelge 5.1.</b> İlişki hipotezleri.....	42
<b>Çizelge 5.2.</b> Regresyon Modelleri Tahmin Sonuçları .....	44
<b>Çizelge 5.3.</b> Şubat 2011 dönemine ait üretimden seçilen bir geri dönüşüm malzemeleri karışımı.....	51
<b>Çizelge 5.4.</b> Gerçek ve tahmin edilen üretim değerleri .....	52



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1.</b> Türkiye'nin yıllar itibari ile alüminyum dış ticareti .....	5
<b>Şekil 2.2:</b> Alüminyum üretim tekniği .....	7
<b>Şekil 2.3.</b> Stoklarda bekleyen alüminyum ingotlar .....	10
<b>Şekil 2.4.</b> Kullanım yerlerine göre alüminyum dağılım yüzdeleri .....	12
<b>Şekil 2.5.</b> Otomobilde alüminyum kullanımı .....	14
<b>Şekil 2.6.</b> ABD'de 1972 'den itibaren alüminyum içecek kutusu ağırlığındaki değişimi .....	16
<b>Şekil 3.1.</b> 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. alüminyum geri dönüşüm süreci .....	18
<b>Şekil 3.2.</b> 3A Alaşımları A.Ş. Alüminyum ingotların dökümü .....	19
<b>Şekil 3.3.</b> İstiflenmiş gazoz kutuları .....	21
<b>Şekil 3.4.</b> Preslenmiş kap kakak malzemeleri.....	22
<b>Şekil 3.5.</b> Döner fırına geri dönüşüm malzemeleri eklenmesi.....	26
<b>Şekil 3.6.</b> 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. üretim akışı.....	27
<b>Şekil 3.7.</b> Döner Fırından taşıma arabalarına aktarılmış curuflar.....	30
<b>Şekil 3.8.</b> Hidrojen miktarı ve gözeneklilik arasındaki ilişki .....	31
<b>Şekil 3.9.</b> Alüminyum içindeki hidrojen erirliliğinin sıcaklıkla değişimi .....	31
<b>Şekil 3.10.</b> Sürekli Döküm Tesisatı ve Ana Elemanlar .....	35
<b>Şekil 4.1.</b> Döküm alüminyum alaşımları .....	37
<b>Şekil 5.1.</b> Regresyon modelleri şemasal görünüm.....	41
<b>Şekil 5.2.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kakak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin demir oranına etkileri .....	46
<b>Şekil 5.3.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kakak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin bor oranın etkileri .....	47
<b>Şekil 5.4.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kakak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin krom oranına etkileri.....	47
<b>Şekil 5.5.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kakak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin manganez oranına etkileri .....	48
<b>Şekil 5.6.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kakak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin zirkonyum oranına etkileri .....	49

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)**

<b>Şekil 5.7.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin magnezyum oranına etkileri.....	49
<b>Şekil 5.8.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin gümüş oranın etkileri .....	50
<b>Şekil 5.9.</b> Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin fosfor oranına etkileri.....	50
<b>Şekil 5.10.</b> Tahmini değerlerin programla hesaplanması .....	53

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ:**

- A.Ş. : Anonim Şirketi  
Ltd. Şti. : Limited Şirketi  
LNG : Sıvılaştırılmış Doğal Gaz  
LPG : Sıvılaştırılmış Petrol Gazı  
MTA : Maden Teknik Arama  
TALSAD : Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği  
TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odalar Birliği  
TOBB : Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği  
UV : Ultraviyole

## 1. GİRİŞ

Yeryüzünün yaklaşık % 8'inde bulunan alüminyum (Demircioğlu, 2002), ancak 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla endüstriyel çapta üretilebilmiştir (Edwards, 2001). Alüminyum içeren cevherin işlenmesiyle alüminyum üretilmesine birincil üretim, daha önce birincil üretimden elde edilen alüminyumun kullanılarak tekrar alüminyum elde edilmesine de ikincil üretim denilmektedir. Birincil alüminyum üretim süreci yüksek yatırım gerektirir, çevreci değildir ve üretim maliyetleri yüksektir. Diğer yandan ikincil üretim çok daha az maliyetlerle daha çevreci bir şekilde yapılabildiğinden, alüminyum geri dönüşüm oranları her geçen gün artmaktadır (Mert, 2006). Alüminyum geri dönüşüm süreci ile ilgili literatüre baktığımız zaman, geri dönüşüm sürecinin daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi (Kamavaram vd., 2005) ve geri dönüşüm sürecinde yüksek basınç sağlayan farklı metodların uygulanması (Zhang, 1998) gibi daha çok sürecin içindeki parametreleri değiştirerek iyileştirme yapmayı amaçlayan çalışmaları görmekteyiz. Bir başka çalışma da flaks, tuz kullanmadan alüminyum alaşımın elde edilmesi (Puga vd., 2009) için özel ekipmanların tasarlanması ile ilgilidir. Alüminyumun eritildiği esnadaki termodinamik reaksiyonların, alüminyum geri dönüşüm malzemelerinin içinde bulunan bazı elementlerden arındırılabilmesi için kullanılması (Brommer vd., 2010) sektörde kullanılan eski bir yöntemdir. İstatistiki bilgileri kullanarak proses parametrelerinin değiştirilip, kalite ile ekonomik değer arasında optimum bir değere ulaşılması (Khoei vd., 1999) için Taguchi Yönteminin uygulanması da literatürde bulunan çalışmalar arasındadır. Bu tezde ise amaçlanan, alüminyum geri dönüşümünde kullanılan farklı malzeme gruplarının, üretilen alüminyum alaşımdaki bileşenlere ne şekilde etki ettiklerinin istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmesi ve müşteri tarafından istenen alaşım bileşenlerine hangi malzeme gruplarından ne kadar kullanarak ulaşabileceklerini gösteren bir modelin oluşturulmasıdır.

Üretim dataları kullanılan 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş., 1974 yılında Kiska Holding tarafından kurulmuş, Türkiye'nin ilk alüminyum geri dönüşüm tesisidir. 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de Eylül 2010 ile Haziran 2011 tarihleri arasında üretilen alüminyumda kullanılan geri dönüşüm malzeme grup yüzdeleri ile üretilen alüminyum numunelerden ölçülen bileşen miktarları kullanılarak regresyon yöntemi ile bu parametreler arasındaki istatistiksel anlamdaki ilişki incelenmiştir.

İkinci bölümde alüminyumun özellikleri, tercih sebepleri ve kullanım alanlarına değinilmiştir. Bu kısımda, alüminyumun geri dönüşüm prosesinde hangi parçaların kullanıldığı ve hangi şekillerde imal edildikleri incelenmiştir. Ayrıca alüminyum üretiminde birincil üretimdeki prosesler kısaca açıklanarak, ikincil üretimin birincil üretime göre sağladığı avantajlara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, alüminyum geri dönüşümü bir süreç olarak düşünülmüş, bu sürece etki eden parametreler ve ilgili parametrelerin çıktı üzerine yansımalarına değinilmiştir.

Dördüncü bölümde, alüminyumun bileşenlerine göre sınıflandırılması ve alüminyum alaşımların içinde bulunan elementlerin alaşıma etkilerine değinilmiştir.

Beşinci bölümde, 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de yaklaşık bir yıllık tutulan kayıtlardan faydalanılarak istatistiksel çalışma yapılmış ve geri dönüşüm prosesi esnasında kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kutuları olarak başlıca üç gruba ayrılmış malzemelerin ve bu malzemeler için izlenen geri dönüşüm prosesinin, çıkan alüminyum ürününün kapsadığı elementlere etkileri analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda bir model program hazırlanarak, üretim öncesinde kullanılacak malzeme gruplarının, müşteri talebindeki alüminyum alaşım bileşenlerini sağlayıp sağlayamayacağının görülmesi amaçlanmıştır.

## 2. ALÜMİNYUM VE KULLANIM ALANLARI

### 2.1. Alüminyumun Tarihçesi ve Özellikleri

Saf alüminyum, hafif mavimsi beyaz bir metaldir ve Al ile sembolize edilmektedir. Atomik ağırlığı 26,981 g/mol'dür. Alüminyum, 1807 yılında Sir Humprey Davy tarafından ilk defa oksit halindeki bileşiğinden ayrıştırılarak elde edilmiştir. Yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra bulunan üçüncü element olmasına ve dünya kabuğunun % 8'ini oluşturmasına rağmen, alüminyum bileşiklerinin çok dengeli olması sebebiyle, alüminyumun endüstriyel çapta üretimine ancak 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul T. Heroult'un birbirinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile geçilmiştir. Böylece, elektroliz yöntemi ile üretimin keşfedilmesinden günümüze kadar alüminyum üretimi dünyada, yıllık 13 ton'dan, 21 milyon ton'un üzerine yükselmiştir ve demir ve çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal olmuştur. Üretim adetlerinin artışıyla alüminyumun birim fiyatı ilk çıktığı yıllarda altın ve gümüş gibi kıymetli metaller sınıfında yer almasına rağmen, şu an bakır ile karşılaştırılabilir düzeye düşmüştür (Ankara Alüminyum Sanayicileri Derneği, 2003).

Alüminyum üretim miktarı açısından demirden sonra ikinci sırayı alır (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995). Alüminyum, hafifliği, kolay işlenebilirliği, iletken olması, sağlamlığı ve korozyondan etkilenmemesi gibi diğer metallere göre sahip olduğu avantajlar sebebiyle pek çok üretim dalında tercih edilen bir metaldir. Saf olarak kullanıldığı gibi, alaşım olarak da kullanılabilir. Sıcak çekilmeyi azaltmak, korozyona olan direnci, akışkanlığı, işlenebilme ve kaynak edilebilme özelliklerini arttırmak amacı ile alüminyuma yüzden fazla çeşitte alaşım elementleri eklenebilmektedir (Yağcıgil, 1997).

Çizelge 2.1. Metallerin doğada bulunma yüzdeleri (Demircioğlu, 2002).

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
%	7,5	4,7	1,9	0,58	0,02	0,018	0,01	0,002

Çizelge 2.1.'de görüldüğü gibi alüminyumun doğada bulunma yüzde oranının diğer metallere göre yüksekliğine rağmen alüminyum kullanıma oranı, demirin kullanıma oranına yetişememesinin nedenleri şunlardır (Demircioğlu, 2002) :

- Alüminyum parçalanması mümkün olmayan pek çok mineralin bileşiminde bulunur.
- Alüminyum yüz yıldır teknik olarak kullanılabilmesine rağmen demir ilk çağlardan beri kullanılmaktadır.
- Alüminyum sertleştirilemediğinden takım malzemesi olarak kullanılamamaktadır.

Çizelge 2.2.'de yıllar itibariyle dünya alüminyum üretimleri görülmektedir. Birincil alüminyum üretiminde 2010 yılı itibariyle Kanada ve ABD ile temsil edilen Kuzey Amerika ile Doğu ve Orta Avrupa ön plana çıkmıştır (Ankara Demir ve Demirdışı Metaller İhracatçıları Birliği, 2011).

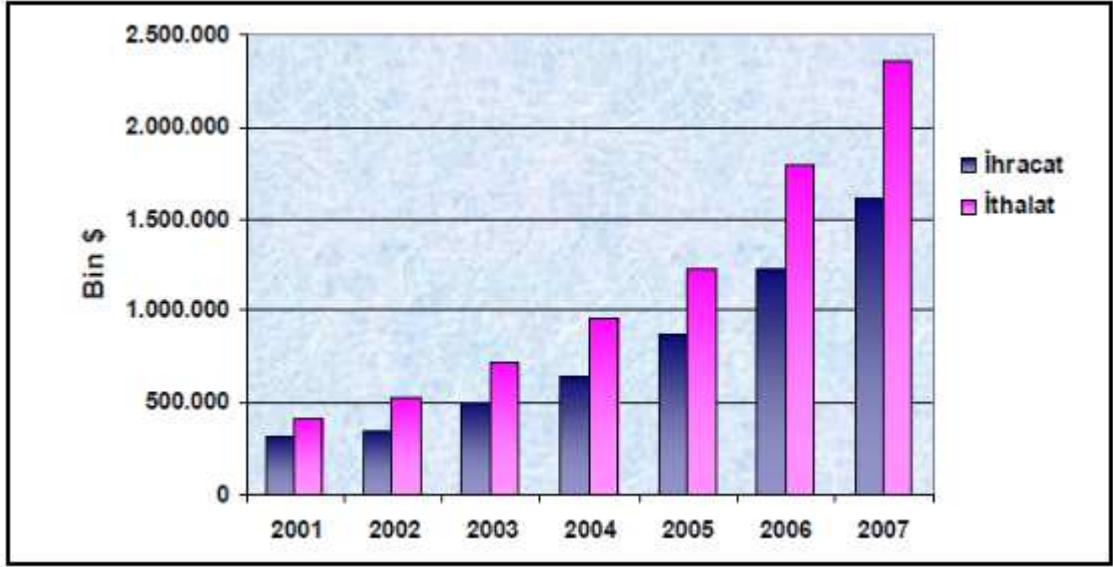
Çizelge 2.2. Dünya Alüminyum Üretimleri (Bin Ton), (Ankara Demir ve Demirdışı Metaller İhracatçıları Birliği, 2011).

	Afrika	K. Amerika	G. Amerika	Asya	Batı Avrupa	Doğu ve Orta Avrupa	Okyanusya	GAC/ Körfez Bölgesi	TOPLAM
2005	1.753	5.382	2.391	3.139	4.352	4.194	2.252		23.463
2006	1.864	5.333	2.493	3.493	4.182	4.230	2.274		23.869
2007	1.815	5.642	2.558	3.717	4.305	4.460	2.315		24.812
2008	1.715	5.783	2.660	3.923	4.618	4.658	2.297		25.654
2009	1.681	4.759	2.508	4.400	3.722	4.117	2.211		23.398
2010	1.742	4.689	2.305	2.500	3.800	4.253	2.277	2.722	24.288

Türkiye'de alüminyum sanayisinin kurulmasına yönelik çalışmalar, 1960'lardan itibaren, özellikle dayanıklı tüketim mallarının üretimine başlanmasına ve otomotiv sektöründeki gelişmelere paralel olarak artmıştır. 1962 yılında M.T.A. Konya ili Seydişehir ilçesi Mortaş ve Doğanlı köylerinde başlatmış olduğu araştırmalar sonucunda, 1964 yılında bu yörede 25 milyon ton boksit rezervi bulunduğunu saptanmış ve 1965 yılında bu maden sahaları işletilmek üzere Etibank'a devredilmiştir (Ankara Alüminyum Sanayicileri Derneği, 2003). Tüketim 1970 yılında 20.000 tondan 1992 yılında 150.000 tona, 2005'de ise 700.000 tona (TALSAD, 2011) yükselmiştir. Türkiye'de 2.5 kg./yıl olan kişi başına tüketim, gelişmiş ülkelerdeki 30 kg./yıl seviyesindeki tüketimin çok altındadır (MMP Ön Raporu, 2011).

Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi Türkiye'deki alüminyum ithalatı ve ihracatı yıldan yıla artış göstermektedir. Ancak tüm yıllarda dış alım, dış satımdan daha büyüktür. Bunun sebebi ülkenin girdi temininde dışa bağımlı olması ve ithal girdi ile üretilen ekstrüzyon

ürünleri ve yassı ürünler dış satımının toplam dışalımını karşılayacak düzeyde olmamasıdır (Alan, 2008).



Şekil 2.1. Türkiye'nin yıllar itibari ile alüminyum dış ticareti (Alan, 2008).

Alüminyum hafif olması ile yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, kolay işlenebilirliği, korozyona dayanıklılığı, soğuk ve sıcak şekillenebilme gibi özellikleri nedeniyle kullanım alanı çok olan bir elementtir (Kocabıçak, 1996). Benzer özelliklerdeki diğer metallere oranla nispeten daha ucuz oluşu ve teminindeki kolaylık, alüminyumu tercih edilir kılmaktadır. Bu sebeple dünyada kullanılan en yaygın ikinci metaldir. Çekme dayanımı düşük olmasına rağmen, alüminyum alaşımlarının ısıl işlem sonrası gerilme dayanımları 600 MPa'a kadar çıkabilmektedir (Tenorio ve Espinosa, 2003).



Çizelge 2.3. Saf alüminyum metalinin özellikleri (\* saflık derecesine bağlı)  
(Kocacıbaşı,1996).

Kristal Yapısı	Yüzey merkezli kübik (KYM)
Yoğunluk	2,7 gr/cm <sup>3</sup>
Yeniden kristalleştirme sıcaklığı	150-300 °C *
Isı iletkenliği (25°C)	645-660 (KCal/Sa/cm/°C)
İşlem sıcaklığı	300-500 °C
Ergime sıcaklığı	660 °C
Çekme dayanımı	39-85 MPa *
Akma dayanımı	10-30 MPa *
Sertlik (BHN 2.5)	12-20 HP *
Elastik modül	7,06 x10 <sup>6</sup> MPa *
Kayma modülü	2,65 x 10 <sup>6</sup> MPa *
Kopma uzaması	% 30-40

Alüminyum metalinin elektriksel uygulamalar haricinde saf olarak kullanımı oldukça sınırlı olup, daha çok saf alüminyum; elektrik iletiminin istenildiği yerlerde, ambalaj sanayinde ve dekoratif amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır (Kocacıbaşı, 1996).

Saf alüminyum mekanik özelliklerini ve dökülebilirliğini geliştirmek için çeşitli elementlerle alaşımlandırılır. Alüminyum alaşımlarının sahip olduğu başlıca özellikleri şöyle sıralayabiliriz (Yılmaz ve Şen, 1996):

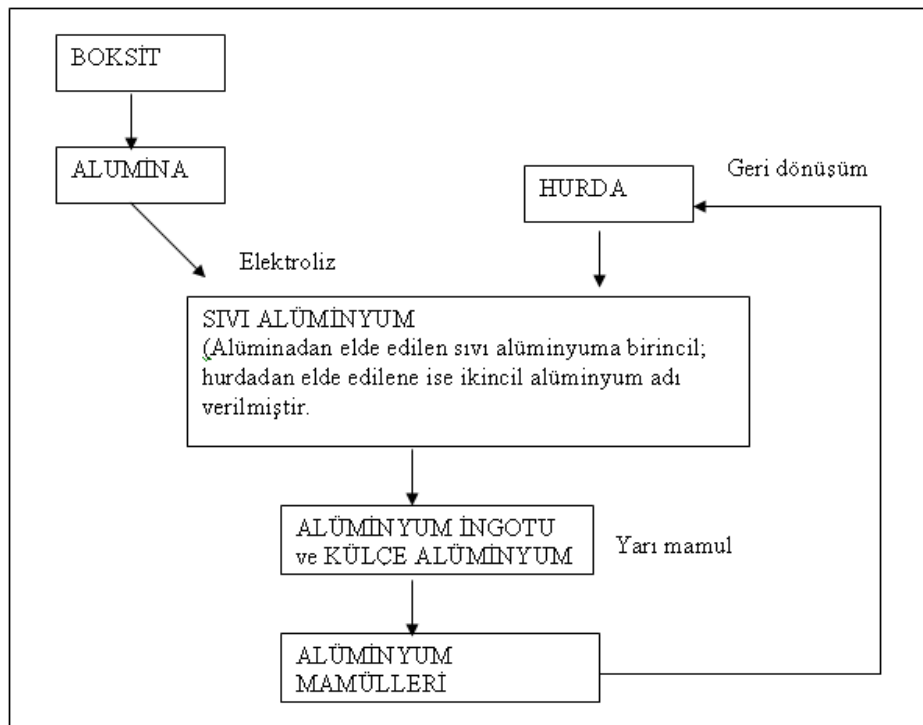
- Mukavemet/ağırlık oranı yüksektir.
- Çok geniş periyotta mukavemet değerleri gösterirler.
- Isıl işlemle sertleştirilebilirler.
- Ergime sıcaklıkları düşüktür ve dökümü kolaydır.
- Elektrik ve ısı iletkenliği iyidir.
- Atmosferik korozyona karşı direnci yüksektir.
- Dekoratif görüntüsü vardır.
- Zehirleyici özelliği yoktur.
- Şekillendirebilme kabiliyeti iyidir.
- Hacme bağlı olarak fiyatı diğer metallere oranla daha ekonomiktir.
- Alüminyum, elektrolitik olarak oksitlendirilerek değişik renklerde üretilir.

Alüminyum alaşımlarının çoğu kolaylıkla ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilebilir ve ayrıca alüminyum, derin çekme işlemlerinde de oldukça yaygın kullanılmaktadır. Günümüzde alüminyum alaşımları; mutfak gereçlerinde, mimari amaçlı yapı endüstrisinde, boya sanayinde, süslemecilikte ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanım potansiyeline sahiptir.

Alüminyum alaşımının kullanımını sınırlayan nedenlerden biri alüminyum alaşımlarının aşınma dirençlerinin oldukça düşük olmasıdır. Ancak son yıllarda alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilerek aşınma dirençleri çok yüksek malzemeler elde edilmiştir. Bir başka neden ise alüminyum alaşımların kimyasal ortamlarda korozyon dirençleri, bakır ve nikel esaslı alaşımlara ve paslanmaz çeliğe göre daha düşük olmasıdır (Yılmaz ve Şen, 1996).

## 2.2. Alüminyum Üretim Teknikleri

Alüminyum dünyada bileşik halinde bulunur. En önemli hammaddesi boksittir. Dört ton boksitten bir ton alüminyum elde edilmektedir. Türkiye'nin dünyanın boksit rezervinin % 1'ini barındırdığı bilinmektedir. Cevherlerin % 95'i (422 milyon ton) Toroslar kuşağında yer almaktadır (OVVA Alüminyum San. Ve Tic. Ltd. Şti., 2011).



Şekil 2.2. Alüminyum üretim tekniği (Yağcıgil, 1997).

Şekil 2.2.' de görüleceği gibi, alüminyum üretimi, birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boksit cevherinin işlenmesi ile elde edilen alümina, birincil alüminyumun hammaddesini oluşturmakta, alüminadan elektroliz yöntemi ile sıvı alüminyum elde edilmektedir. Çeşitli alanlarda kullanılıp geri dönüşümü sağlanan hurda veya elektroliz yöntemiyle elde edilen erimiş alüminyum, alaşımlandırma elementleri ile birlikte alaşımlandırma fırınına girmekte ve döküm işlemi ile haddelemeden sonra çeşitli alüminyum mamulleri şeklinde ortaya çıkmaktadır. Eski veya yeni hurdalardan elde edilen alüminyuma ikincil alüminyum denilmektedir. Birincil alüminyum üretimi sırasında oluşan hurdalar yeni hurda, geri dönüşüm ile oluşan hurdalara da eski hurda adı verilmektedir.

### 2.2.1. Birincil ve İkincil Üretim

Çizelge 2.4.'de belirtilen mineraller boksit olarak adlandırılırlar ve doğada değişik oranlarda karışımlar şeklinde bulunurlar. Bu nedenle, alüminyum yatakları boksit yatakları olarak bilinir. Boksit, homojen bir kimyasal bileşime ve kristal yapıya sahip bir mineral olmayıp, belirtilen minerallerin heterojen bir karışım şeklindedir. Alüminyum üretebilen tek mineral grubu, alüminyum oksitli ve hidroksitli mineraller olup, en önemlileri şunlardır:

Çizelge 2.4. Boksit mineralleri (London Metal Exchange, 2005).

Mineral Adı	Kimyasal Formülü	Sertlik	Yoğunluk
Gibsit/Hidrarjilit	$Al(OH)_3$ veya $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	2,5-3	2,4
Böhmit	$AlOOH$ veya $Al_2O_3 \cdot H_2O$	3,5-4	3,01
Diyaspor	$HAIO_2$ veya $Al_2O_3 \cdot H_2O$	6-7	3,3-3,5
Korund	$Al_2O_3$	9	4

Alüminyum metali başlıca gibsitik ve böhmitik boksit cevherlerinden üretilir. Diyaspor ve böhmite aynı kimyasal formüle sahip olmalarına karşın şebeke yapıları farklı minerallerdir. Diyaspor, böhmite kadar Al üretimine uygun değildir. Korund ise aşındırıcı olarak kullanılmaktadır (London Metal Exchange, 2005).

Boksitler, genellikle metalik alüminyum üretiminde kullanılırlar. Dünya boksit üretiminin % 90'ı alümina ( $Al_2O_3$ ) ve alüminyum (Al) üretimine yöneliktir. Alüminyum

metali başlıca gipsit ve böhmitik boksit cevherlerinden üretilir (London Metal Exchange, 2005).

Alüminyum metalinin üretimi, kimyasal prosesle önce boksitten alümina ve daha sonra ergimiş elektrolitte çözüldürülmüş alüminadan elektroliz yöntemi ile alüminyumun üretilmesi şeklinde iki kademeli gerçekleştirilir (Yılmaz ve Şen, 1996).

Boksit cevherinin işlenmesi ile elde edilen alümina, birincil alüminyumun hammaddesini oluşturmakta, alüminadan elektroliz yöntemi ile sıvı alüminyum elde edilmektedir.

Birincil alüminyum üretiminde ikinci kademede boksit cevheri yıkandıktan sonra kırılıp öğütülür. Öğütülüp, ham pulp haline getirilmiş boksitler, yüksek ısı ve basınçta NaOH çözeltisi ile reaksiyona sokulmak suretiyle, kimyasal yolla cevherdeki alümina ( $Al_2O_3$ ) sodyum alüminat ( $NaAlO_2$ ) çözeltisi ve demir, silis, titanyum vb. gibi safsızlıkları içeren sıvı faza alınır. Çözünmeyen bileşenler tankın dibine çökerek, oluşan atıklar (kırmızı çamur) ayrılır. Yıkamış çamur, özel baraja sevk edilip depolanarak, ihtiva ettiği sudkostiğin çevreyi kirletmesi önlenmektedir.

Başka bir tanka gönderilen istenilen temizlikteki sodyum alüminat çözeltisi aşılana tabanda  $Al(OH)_3$  kristali halinde çöktürülür. Elde edilen hidrat, akışkan yataklı veya döner fırınlarda  $1100-1200$  °C sıcaklıkta kimyasal bağlı suyu uçurularak alümina elde edilmektedir. Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın elektrolizi ile metalik alüminyuma dönüştürülmesidir. Birincil alüminyum, alüminanın alüminyum elektroliz hücrelerinde yüksek akım (100-400 kA) altında ki  $960-970$  °C sıcaklıkta elektrolit adı verilen kriyolit-alüminyum florür ergimiş tuz eriyiği içinde çözünmesi, ayrışması ve indirgenmesi sonucu nötürleşen alüminyum metalinin tabanda birikmesi ile elde edilmektedir. Proses sırasında alüminanın parçalanmasıyla açığa çıkan oksijen ise petrol koku ve bağlayıcı olarak taş kömürü zifti'nden oluşan anot karbonu ile birleşerek oluşan  $CO_2$ , CO,  $C_nH_n$  ve elektrolitteki reaksiyonlar sonucu gaz fazına geçen flor bileşikleri ile birlikte gaz temizleme sistemine gitmektedir. Tabanda biriken sıvı alüminyum belirli periyotlarla kapalı vakum potalarıyla çekilip alaşımlandırma ve kalıplara dökülmek üzere dökümhane birimine gönderilmektedir. Genel olarak, ağırlıkça 2 ton alüminadan 1 ton alüminyum elde edilmektedir. Bu kademede, üretim maliyetinde en önemli girdi elektrik enerjisidir (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

### 2.3. Döküm Endüstrisi Ürünleri

En kaba şekli ile alüminyum dökümleri ingot dökümler ve şekilli parça dökümler olarak ikiye ayırabiliriz.

İngot Dökümler: İngotlar genellikle basit şekilli dökümler olup haddeleme, dövme, çekme, ekstrüzyon v.b işlemlerle plaka, çubuk, tel değişik profiller v.b. gibi başka şekillere dönüştürülebilir. İngot her ne kadar yukarıda belirtilen işlemler esnasında gerek yapı gerekse özellik açısından büyük değişikliklere uğruyorsa da, ilk döküm yapısının son ürün özelliklerine olabilecek kalıcı etkisi göz önünde tutulursa, ingot dökümünde de döküm teknolojisinin önemli bir rolü olduğu açıktır. Şekil 2.3.'de 3A Alüminyumları A.Ş.'de istiflenmiş olan ingotlar görülmektedir.



Şekil 2.3. Stoklarda bekleyen alüminyum ingotlar.

Şekilli Parça Dökümler: Şekilli parça dökümler ise tamamlanmış ürünler ve yarı ürünler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Tamamlanmış ürünler doğrudan kullanıcıya veya dağıtıcıya iletilenlerdir (Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş., 2011).

Üretim süreci sonunda ortaya çıkan alüminyum mamulleri daha detaylı sınıflandırıldığında başlıca gruplar aşağıda yer almaktadır (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995):

#### 2.3.1. Döküm ürünleri

Başlıca döküm ürünleri şunlardır:

- Döküm İngotu: Alaşımli Külçe, Alaşımatsız Külçe,
- İşleme İngotu:

Yuvarlak ve Köşeli İngot (Ekstrüzyon ürünlerinin üretiminde kullanılır)

Yassı İngot: Hadde mamülleri üretiminde kullanılır

- Sürekli Döküm Levha (Filmaşın) ve çubuk
- Granüle Alüminyum
- Toz Alüminyum

### 2.3.2. Hadde Ürünleri

Hadde ürünleri sıcak hadde, soğuk hadde ve folyo olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

- Sıcak Hadde (Levha, Rulo) : Kalınlığı 6 mm' den fazla olanlar
- Soğuk Hadde (Levha, Rulo, Şerit, Disk) :Kalınlığı 0,2 mm–0,6 mm arasında
- Folyo: 7-200 mikron

### 2.3.3. Ekstrüzyon Ürünleri

Ekstrüzyon ürünleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Platina (40 mm kalınlığına kadar olan plakalardır)
- Alüminyum çekme boru ve çubuk
- Alüminyum iletkenler, teller
- İçi dolu profiller
- İçi boş profiller

3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de üretim, kalıplara dökülen ingotlar şeklinde yapılmakta ve daha sonraki prosesler için müşterilere gönderilmektedir. Müşteriler, kullanacakları proses ve ürünü düşünerek malzeme taleplerinde bulunmaktadırlar (Ek1.).

### 2.3.4. Parça Döküm Ürünleri

Kum döküm, kokil döküm ve basınçlı döküm mamülleri olarak başlıca üç gruba ayrılmaktadırlar (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası).

Kum dökümleri mamülleri: Genellikle büyük ve az sayıda üretilecek parçalar için seçilir. 10 tona kadar parçaların dökümü mümkündür. Tane irileşmesini önlemek için aşılama yapılabilir. Üretim için ilk yatırım gereği en az olan bir döküm tipidir. Kum döküm en basit ve en çok uygulama alanı bulan bir döküm metoddur (Han, 1984).

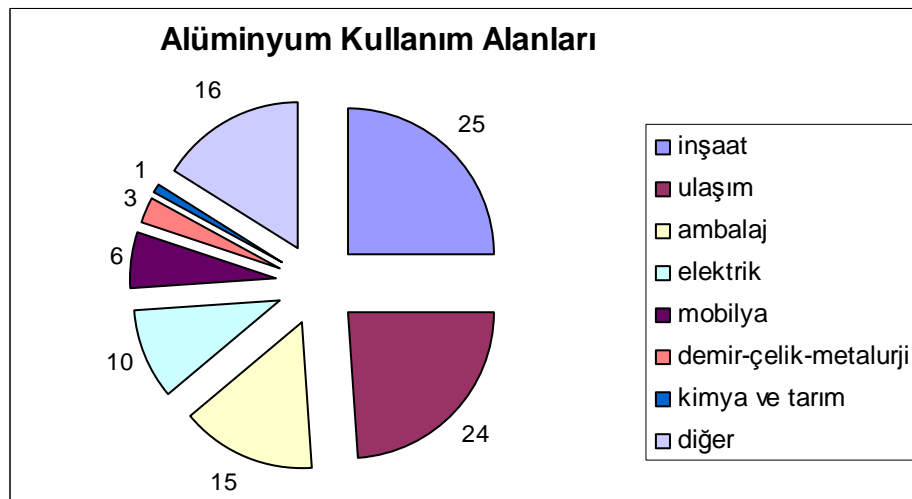
Kokil dökümleri mamülleri: Genellikle 10 kg'ın altında kalan, fakat 100 kg'a kadar çıkabilen parçaların üretilmesi için kullanılır. Basınçlı dökümde sıvı metal 200

atmosfere yaklaşan yüksek basınç altında çelik kalıplara basılır. İçyapı ince taneli olduğundan mekanik özellikleri kum döküme oranla daha iyidir.

Basınçlı döküm mamulleri: Yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntem için özel alaşımlar geliştirilmiş olup, bileşiminde yaklaşık % 1 Fe bulunması alüminyum alaşımlarının demir esaslı kalıplara yapışmasını önler. Basınçlı dökümde gözeneklilik en az düzeydedir.

#### 2. 4. Alüminyum Ve Alaşımları Kullanım Alanları

Alüminyum ve alaşımları inşaattan tarıma kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi alüminyum en yüksek oranda inşaat ve ulaşım sektörlerinde kullanılmaktadır. Bunları ambalajlama ve elektrik sektörleri izlemektedir.



Şekil 2.4. Kullanım yerlerine göre alüminyum dağılım yüzdeleri (Kocacıbaşı, 1996 ).

**İnşaat:** Konut ve diğer yapılar, karayolları, radyatör, bina çatı iskeleti, seralar, kapı/pencere doğramaları, cephe/çatı kaplamaları ve aksesuarlar gibi pek çok alanda kullanılır. Alüminyum sağlamlığı yanında dekoratif görünümü ile de tercih edilir. Gerek natürel veya renkli anodik oksidasyon kaplama, gerekse lake boyama ile alüminyum; mimar ve mühendisler için inşaat sektöründe zengin seçenekler sunar (Kocacıbaşı,1996 ).

**Otomobil ve Ulaşım:** Gün geçtikçe, alüminyumun yüksek mukavemet / ağırlık avantajından yararlanmak için otomobillerde alüminyum kullanımı artmaktadır (Öztürk, 1998). Otomobillerde daha çok döküm parçaları kullanılır. Karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu taşıtlarında kullanılmaktadır.

Alüminyum, araçlarda mukavemetinden herhangi bir taviz verilmeden ağırlığın azaltılabildiği anahtar bir malzemedir. Bunun neticesinde aynı hacimdeki bir motorla daha kısa zamanda istenen hıza ulaşılabilir ve araçta yakıt tasarrufu sağlanabilir. Böylece, alüminyum alaşımlarının ilk alış fiyatı çeliğe göre daha pahalı olmasına rağmen hem araç performansı artırılmış, hem de uzun vadede tasarruf sağlanmış olur. Yakıtın daha az harcanması dolayısıyla çevreye yayılan emisyon miktarı da düşürülür. Arabadan azaltılan her 100 kg'lık ağırlık yakıt tüketiminde yaklaşık 0,6 litre / 100 km yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Mert, 2006).

Çizelge 2.5.'de taşıtlarda kullanılan alüminyum parçaların hangi şekillendirme yöntemi kullanılarak üretildikleri, bu şekilde üretilen parçaların taşıtlarda kullanım yüzdeleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.5. Taşıtlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve şekillendirme yöntemleri (Eker,2008).

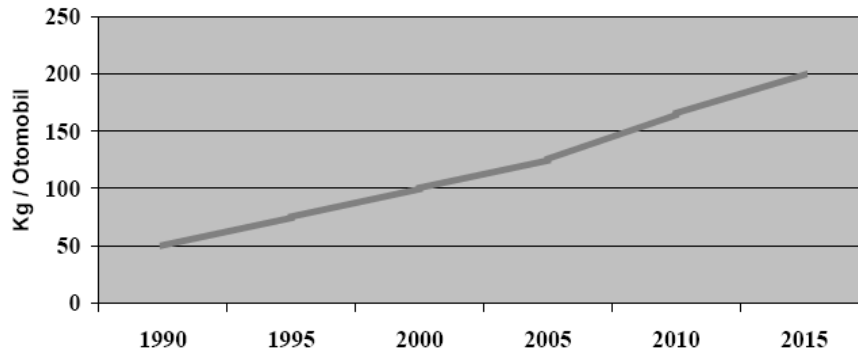
Şekillendirme yöntemi	Toplam yüzde	Ana kullanım yerleri
Döküm	38%	Motor blokları, transmisyon, jantlar, dış parçalar,ısı değiştiriciler, iç parçalar, direksiyon sistemi, elektrik
Düşük basınçlı döküm	34%	Motor blokları, fren sistemi, şase ve süspansiyon sistemi
Levha	4%	Isı kalkanları, tamponlar, iç-dış parçalar, gövde yapısı, kapatma panelleri
Kum döküm	4%	Motor
Lehimli levha	4%	Isı değiştiriciler
Ekstrüzyon	3%	Şase ve süspansiyon sistemi, tamponlar, iç-dış parçalar, gövde yapısı, direksiyon sistemi
Ekstrüze boru	3%	Isı değiştiriciler
Dövme	2%	Jantlar
Sıvı presleme (hidroform)	1%	Motor
Diğer	4%	Fren sistemi, frenler, şase ve süspansiyon sistemi, gövde yapısı, diraksiyon sistemi

Geri dönüşüm dikkate alındığında alüminyum diğer tüm malzemelerden daha verimlidir. Alüminyum kalitesinden bir şey kaybetmeden tekrar geri dönüştürülebilir. Yüksek hurda değeri, geri dönüşümü ve tekrar kullanımını garanti etmektedir. Otomotiv



sektöründe kullanılan alüminyumun % 95'i toplanarak geri dönüştürülmektedir. Hafiflik özelliğinin yanında alüminyum malzeme, boyasız veya kaplamasız olsa bile sudan ve yol tuzlarından kaynaklanan korozyona karşı dayanıklıdır. Görsel olmayan parçalarda çelik için gerekli olan ve ilave maliyet getiren galvanizleme, kaplama veya boyama alüminyum için gerekli olmayabilir. Alüminyum, boyanın çizilmesi veya kalkması durumunda çelik gibi paslanmaz, korozyona dirençlidir. Bazı plastik malzemeler gibi çöl sıcağı, kuzey soğuşu veya UV ışınlarının etkisi sonucunda özellikleri zayıflayarak kırılmaşmaz (Eker, 2008).

Araçlarda demir çelik yerine kullanılan her kilogram alüminyumun, araç ömrü boyunca CO<sub>2</sub> emisyonunu 19 kg azalttığı ve ek olarak çeliğe göre % 10 daha hafif olması dolayısıyla % 5-% 7 arasında yakıt tasarrufu sağladığı görülmüştür (Cui ve Roven, 2010). Bu nedenle alüminyum paslanmaz çeliğe göre daha pahalı bir malzeme olmasına karşılık otomobilde alüminyum kullanım oranı Şekil 2.5.'de de görüldüğü gibi günden güne artmaktadır.



Şekil 2.5. Otomobilde alüminyum kullanımı (Alan, 2008).

Motor sistemi, kutular, çerçeve bağlantı elemanları, fren sistemi ve enjeksiyon sistemi temel gruplarında yer alan otomobil parçaları ve ağırlıkları Çizelge 1.6'da belirtilerek özetlenmiştir.

Çizelge 2.6. Otomobilde kullanılan alüminyum parça ağırlıkları  
(Mert,2006).

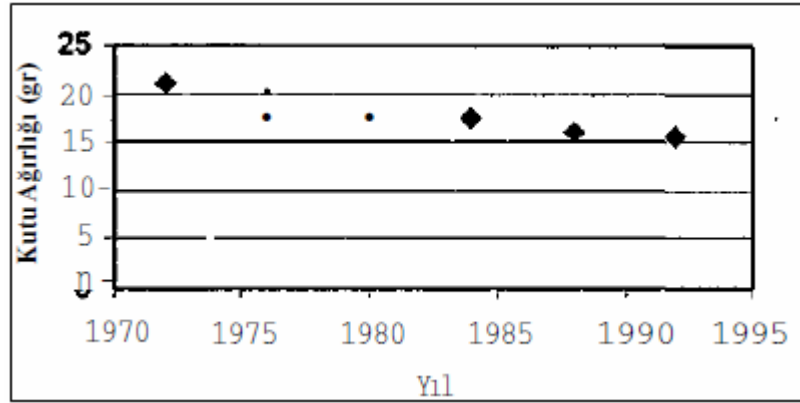
Döküm Parçasının Adı	Ortalama Ağırlığı(kg)	Döküm Parçasının Adı	Ortalama Ağırlığı(kg)
<b>MOTOR</b>		<b>Çalıştırma Sistemi</b>	
Silindir başlığı	10	Vites kutusu	3-6
Pistonlar	0.5	Transformotor kutusu	4.0
Emme Manifoldu	2	Debriyaj kutusu	4.5
Motor bloğu	12	Kardan Kutusu	0.4
Su pompası kutusu	0.5	Direksiyon çubuğu	0.4
Enjeksiyon	0.6	<b>DİĞER PARÇALAR</b>	
Ateşleme Parçaları	0.4	Debriyaj pedalı	0.4
Jeneratör Kutusu	0.2	Pedal bağlantıları	0.5
Starter	0.5	Askı tertibatı	5.0
Yağ filtresi	0.6	Fren pedalı	0.5
Alternatör jeneratörü	1.1	Fren kavrama kutusu	0.4
Dengeleme kolu kapağı	1.5	Direksiyon simidi	0.4
Dağıtıcı başlığı	0.5	Motor bloğu	5
Dengeleme kolu	0.5	İnce döşeme parçaları	14.5
Yağ Pompası	1.0	Arka ask kutusu	6
Dizel yakıt pompa kutusu	0.22	Krank kolu	0.5
Karbüratör	1.0	ABS sistemi	4x5+1.7
Termostat başlığı	0.12	Enjeksiyon	1+1
Motor mesneti	0.7	<b>FRENLER</b>	
<b>HAREKET</b>		Ana fren silindirleri	-
Direksiyon kutusu	0.7	Fren kolu	-
		<b>JANTLAR</b>	6.5

Ambalaj ve İçecek: Alüminyum hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi dolayısıyla, konteynır imalatından ilaç kutularına, diş macunu tüpünden folyolarına ve meşrubat kutularına kadar kullanılmaktadır.

Alüminyum folyo gıdaların hijyen şartlarında taze kullanılabilmesi için kullanılmaktadır. Alüminyum folyolar % 98 saflıkta üretilmektedir. Meyve sulu kutular ve kahve torbaları gibi paketlerde ince bir tabaka (5µm) alüminyum folyo içerir (Öztürk, 2003).

Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların % 80'i alüminyumdur. Bunun nedenleri hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir. Toplumun çevre bilincinin artması ve alüminyum üreticilerinin desteğiyle alüminyum içecek kutularını toplama ve geri kazanım programları hızla gelişmiştir. Bu durum özellikle alüminyumun yüksek Pazar payının böyle projeleri gerekli kılan yatırımları teşvik ettiği ülkeler için daha geçerlidir (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

Kullanılmış alüminyum içecek kutuları % 70'e yaklaşan bir geri kazanım hızına sahiptir. Kutu tasarımı 1970'lerin sonlarında üç parçadan iki parçaya dönüşmüştür. Kutu ağırlığı, düşük kalınlıklı levha kullanılmasıyla azaltılmıştır ve yapısal tasarımın geliştirilmesiyle daha az metal kullanılırken, kutunun mukavemeti de korunmaktadır. Şekil 2.6.'da ABD'de 1972'den beri kutu ağırlığındaki azalma eğilimi görülmektedir (TMMOB Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu, 1999).



Şekil 2.6. ABD'de 1972 'den itibaren alüminyum içecek kutusu ağırlığındaki değişimi (TMMOB Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu, 1999).

1970'li yıllarda 0,45 kg ağırlığındaki alüminyum levhadan 22 adet kola veya soda kutusu üretilirken, bugün 30 adedin üzerinde kola veya soda kutusu üretilmektedir (Alan, 2008).

Elektrik ve Elektronik Sektörü: İletkenliği nedeni ile iletişim sektöründe kullanılmaktadır. Tel ve kablo üretimi, enerji dağıtım cihazları, güç üretim ve düzeltme araçlarında, haberleşme ve elektronik cihazlarda, iç dağıtım ve aydınlatma gereçlerinde kullanılmaktadır (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995).

Diğer Kullanım Alanları:

- Toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede,
- Alüminyumun çok hızlı oksitlenme özelliği, kati roket yakıtı olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Mert, 2006). Masif olarak yanmaz özellikte olan alüminyum mikro parçalar haline getirildiğinde büyük ısı açığa çıkararak yanar. Bu özelliği nedeniyle roketlerde yakıt olarak kullanılabilir (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

### 3. ALÜMİNYUMUN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

1980'den itibaren ikincil alüminyum sektöründeki büyüme hızı, birincil alüminyumdan daha büyüktür. Son 20 yılda birincil alüminyum üretimindeki büyüme yaklaşık % 2,5 iken, ikincil sektördeki bu değer % 5'dir. Alüminyum üretiminde bir döngü söz konusudur.

Eski hurdaların yeniden dönüşümü, birincil üretimin yaklaşık % 5'i kadar enerji sarfiyatı gerektirdiği için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca birincil alüminyum için gerekli olan entegre bir tesisin yatırım bedeli 4000 \$/ton iken, ikincil alüminyum tesisinin yatırım bedeli sadece 300 \$/ton kadar olduğu belirtilmektedir (Yağcıgil, 1997).

Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretildiğinde % 95 daha az enerji tüketilir, işçilik ve yatırım maliyeti en aza düşer. Bir ton kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretilirse;

- 1300 kg boksit bakiyesi
- 15000 litre soğutma suyu
- 860 litre proses suyu
- 2000 kg CO<sub>2</sub> ve 11 kg SO<sub>2</sub> emisyonu daha az oluşur (Alan, 2008).

Kullanılmış alüminyumun geri kazanılması demek, daha az enerji ve hammadde tüketimi demektir. Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretilerek sera gazı emisyonu % 95 ve atık su kirlenmesi % 97 oranında azaltılabilir (Kılıçlar Geri Kazanım Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2010). Ek olarak, birincil alüminyumun elde edilmesinde yatırım maliyetinin yüksekliği ve ana maliyetlerden olan elektrik enerjisinin pahalı olması sebepleriyle kullanılan alüminyumların geri dönüşüme katılma oranlarını gün geçtikçe arttırmaktadır.

İkincil Alüminyum üretimi pek çok açıdan birincil üretime göre avantajlı olmasına rağmen, küçük ölçekli firmalar tarafından (genellikle hurdacılar) yetersiz teknoloji ve sermaye ile yapılmaya çalışılmaktadır. Bunun sonucu olarak hurda sınıflandırması ve rafinasyon yetersiz yapıldığından dolayı yurtiçi geri dönüşümü yapılan alüminyum, içersindeki demir ve magnezyum gibi element oranlarının artması ile gün geçtikçe kirlenmektedir. Önlem alınmadığı takdirde külçe alüminyum konusunda dışa bağımlılık hızla artacaktır (MMP Ön Raporu, 2011).Geri dönüşümde kullanılan alüminyumların başlıca iki kaynağı vardır (TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2003):

- İşlem ve döküm ürünlerinin üretimi sırasında oluşan geri kazanma olasılığı % 100 olan yeni hurda,
- Kullanım ömrünü doldurmuş geri kazanma olasılığı yapısı, şekli ve et kalınlığına göre % 30-95 arasında değişen eski hurda.

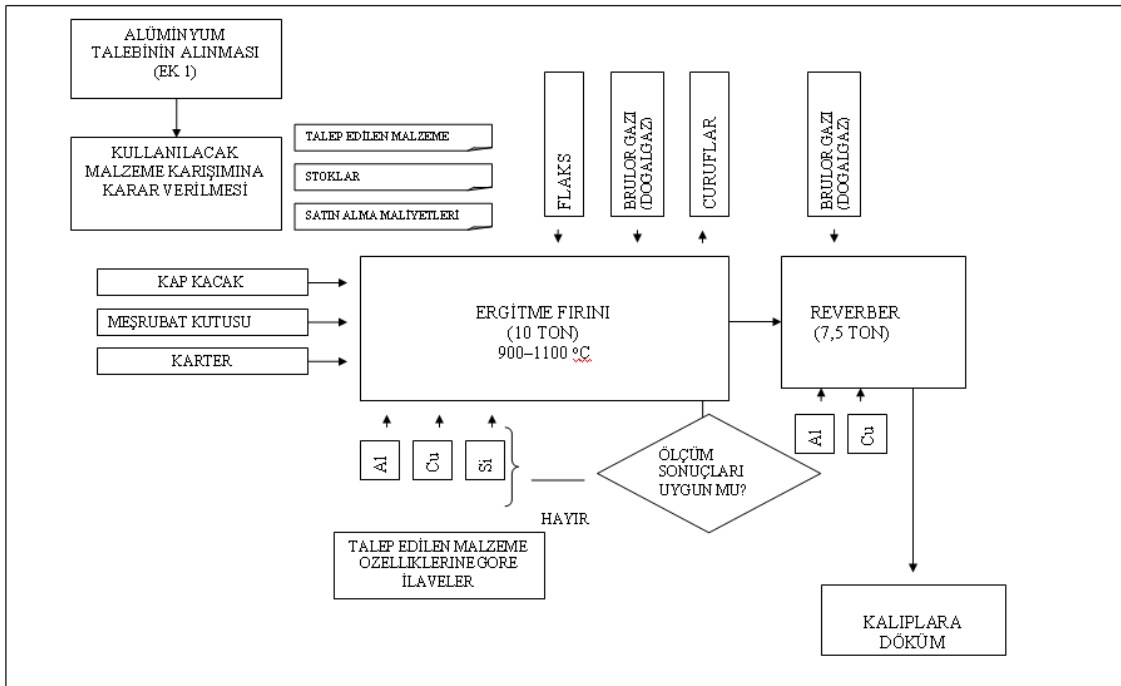
Başka bir gruplandırma ise şu şekilde yapılmaktadır (Meriç vd., 1999).

- Ana üretim yerlerindeki teknolojik hurda,
- Kullanım ömrünü doldurmuş parçalar,
- Ocak artıkları,

Alüminyum hurdaların farklı özellikleri nedeniyle her grubu için ayrı değerlendirme yöntemleri vardır

Ana üretim yerlerindeki teknolojik hurdalar, ana üretim yapılan tesislerdeki ekstrüzyon, hadde, yarı mamul gibi artıklardır. Bu artıklarda, henüz yeni işlemde çıktıkları için oksitlenme ve korozyona uğrama gibi problemlerle sık karşılaşmaz.

3A Alüminyumda, geri dönüşüm için kullanılan artıklar, piyasadan toplanan parçalar ile geri dönüşüm işlemi esnasında ortaya çıkan ve ikincil hurda olarak adlandırılan hurdalardır. Piyasadan toplanan artıklar genel olarak üç kategori altında toplanmaktadır. Bunlar, içecek kutuları, karter (taşıt ve beyaz eşya malzemeleri) ile kap-kacaklardır.



Şekil 3.1. 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. alüminyum geri dönüşüm süreci.

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi, bir alüminyum geri dönüşüm prosesi müşterinin istediği alüminyum alaşımı talep etmesiyle başlar. Müşterinin istediği alüminyum spesifikasyonlarını ve miktarı sağlayacak alüminyum için hangi grup hurdalardan, ne kadar kullanmak gerektiğine karar verilir. Bu karar verilirken stoklardaki geri dönüşüm malzemeleri ve bu malzemeleri satın alma maliyetleri de göz önünde tutulur. Daha sonra, uygun görülen karışım ergitme fırınında (döner fırın) doğal gaz kullanılarak ergitilir. Ergitme esnasında, hem alüminyum eriyiği oksitlenmeden koruyacak, hem de istenmeyen malzemelerden arındırılarak temizlenmesini sağlayacak flaks ilaveleri atılır. Bu esnada fırın içinden numune eriyik alınarak içersindeki bileşenler ölçülür ve gerekli görüldüğü takdirde bakır, silisyum gibi çeşitli elementler ilave edilir. Daha sonra eriyik, konverter (reverber) fırınlara aktarılır ve ergitme fırınında üstte kalan cüruflar fırın altından taşıma arabalarına doldurularak fırın içi temizlenir. Konverter fırınında kullanılan alüminyum alaşımı için son ölçümler ve ilaveler yapıldıktan sonra Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi konveyör yardımıyla erimiş alüminyum alaşım kalıplara doldurularak ingot haline getirilir.



Şekil 3.2. 3A Alaşımları A.Ş. Alüminyum ingotların dökümü

### 3.1. Alüminyum Geri Dönüşüm Süreci

Alüminyumun tekrar tekrar kullanılabilmesi için bilinçli bir şekilde ergitilmesi ile sağlanabilir. Alüminyum hurdaların eritilmesi öncesinde şunlar yapılmaktadır.

#### 3.1.1. Gruplandırma

Alüminyum hurdalar cinslerine göre bir araya gruplandırılmasıdır. Çok sayıda aynı cins hurda bir araya getirilir. Özellikle otomobil parçalarının cinsine göre ayrıştırılması için, demir malzemelerin demir olmayan malzemelerden ayrılması için manyetik ayrıştırma yaygın olarak kullanılmaktadır (Cui ve Roven, 2010). 3A Alüminyum Alaşımlarında, pres tezgahında parçalanmış olan geri dönüşüm malzemeleri, manyetik bantlar üzerinden geçirilerek içerisindeki demir parçacıklarının ayrıştırılması sağlanır.

Alüminyumun kendi içinde gruplandırma yapmak için bilgisayar analizi ile renk araştırma yöntemi endüstride kullanılan bir yöntemdir. Patenti alınan bu yöntemde göre hurda alüminyumun rengi içerdiği alaşımlara göre farklılık gösterdiğinden, renk analizi ile alüminyumun hangi elementleri içerdiği bulunabilmektedir. Örneğin, içerisinde çok miktarda silikon ve mangan bulunan alüminyum gri renk alırken, içinde yüksek çinko ve bakır bulunan alüminyum kararmaktadır. Ancak, renk analizi bize her bir alaşımı detaylı söyleyememektedir. Örneğin bir alaşım yüksek oranda çinko ve düşük bakır kapsamı ile yüksek oranda bakır ve düşük çinko kapsamı, alaşıma aynı rengi vermektedir. Bu sebeple daha detaylı analizler için lazer spektroskopları kullanılmaktadır (Cui ve Roven, 2010). 3A Alüminyum Alaşımlarında renk ayırımına dayalı gruplandırma tecrübeye dayalı olarak yapılmaktadır. Geri dönüşüm için getirilen malzemelerin satın alınması ve ödemenin yapılmasında, tecrübeye dayalı görsel alüminyum analizi de bir teknik olarak kullanılmaktadır.

Alüminyum hurda arzının önemli bir kısmı içecek kutularından kaynaklanmakta olup, dünya ikincil alüminyum üretiminde içecek kutularının payı % 27-55 arasında değişmektedir. Bu pay ülkelerin yaşam standartlarına ve nüfuslarına paralel bir artış eğilimi göstermektedir (Alan, 2008).

Hurdaların gruplandırılmasında, 3A Alüminyum Fabrikasında izlenen yöntem, hurdaların genel olarak üçe ayrılması ve kayıtlara bu şekilde işlenmesidir. Bunlar, gazoz kutuları, kap kaçak ve otomobil ve beyaz eşya parçalarını temsil eden karter grubudur.

Aşağıdaki Şekil 3.3.'de 3A Alüminyum Fabrikasında gruplanmış ve istiflenmiş olan gazoz kutuları görülmektedir.



Şekil 3.3. İstiflenmiş gazoz kutuları.

### 3.1.2. Yağ Giderme

Alüminyum talaşlar eritilmeden önce üzerindeki yağlardan arınabilmeleri için önce yağ arındırma işleminden geçirilmeli ve daha sonra nemi gidermek için kurutma fırınlarına sokulmalıdır. Merkezkaç kuvvetinin etkisi ile çapakların yağları belli oranda giderilebilse de, bu yöntemle % 2-3'ün altına düşürülmesi pek mümkün olmamaktadır. Yağ giderme işlemi sonucunda, alüminyum eritilirken daha az enerji harcanmakta ve ocak kayıpları daha az olmaktadır (Muter, 1984).

### 3.1.3. Briketleme

İşlem artıkları alüminyum parçalar (folyo, ince plaka, ince tel gibi) yağlı olmama, demirli malzeme ile karışmama koşulu ile hem hacim azaltılması hem de ergitmede yanma kaybını önlemek için hidrolik preslerde sıkıştırılarak briket bloklar haline getirilirler. Bu briketlerin yoğunluğu  $1,2-1,5 \text{ gr/cm}^3$  dür. Alüminyum talaş, çapak ve folyoların briketlenmesi masraf arttırıcı bir işlem olmasına karşılık ergitmede sağlayacağı verim nedeniyle büyük ekonomi sağlamaktadır (Meriç vd., 1999). Aşağıdaki Şekil 3.4.'de preslerde sıkıştırılmış olan kap kacak grubu yer almaktadır.





Şekil 3.4. Preslenmiş kap kacak malzemeleri.

### 3.1.4. Demirli parçaların ayrılması

İçinde burç, demir saplama, yatak gibi parçalar bulunan hurdalar eritilmeden önce ayrılmalıdır. Parçaların eğimli ızgaralar üzerinde  $650^{\circ}\text{C}$ 'nin altında ısıtılarak alüminyumun akmasını sağlama şeklinde demir ile alüminyumun ayrıştırılması yapılabilmektedir (Muter, 1984). 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de kullanılan yöntem geri dönüşüm parçalarının önce tamburlarda parçatılması daha sonra ise manyetik alanlardan geçirilerek içersindeki demir parçacıklarının temizlenmesi yönündedir.

### 3.1.5 Boya giderme ve yakma

Alüminyum yiyecek ve içecek kutuları, karton üzerine ince alüminyum kaplamalı ambalajlar, üzeri boyalı artıkların yeniden değerlendirilmesinden önce yakılarak yok edilmesi gerekmektedir. Yakma işleminde sıcaklık, karton, boya, plastik gibi kısımların yanabileceği kadar yüksek, alüminyumun oksitlenmeyeceği kadar düşük olmalıdır. (Muter, 1984)

### 3.2. Döküm Öncesi Sıvı Alüminyum Uygulanan İşlemler

Yeni eritilmiş alüminyumda aşağıdaki problemler mevcut olabilir, bu sebeple ölçülmesi ve gerekli tedbirlerin alınması gereklidir (Çakmak, 1984) :

- Çözelti içinde giderilmesi gerekli Mg, Na ve benzeri elementler içerebilir.
- Hidrojen çözünmüş haldedir. Katılaşma sonucunda gözeneklilik problemleri ortaya çıkar.
- Çözelti içinde çeşitli katı parçacıklar, oksitler ve bileşikler vardır.

Bu tür heterojen yapıyı istenilmeyen içerikleri engellemek için bazı eritkenlerin kullanılması zorunlu olabilir.

### 3.3. Alüminyum Dökümü Etkileyen Etkenler

Alüminyum döküme etki eden etkenleri döküm sıcaklığı, kalıp malzemesi, döküm şekli ve döküm metodu olarak başlıca dört kısma ayırabiliriz:

**Döküm sıcaklığı:** Döküm sıcaklığı ise katılaşma şeklini etkilediğinden bu sıcaklığın seçiminde, dökümden istenen yapıda olması göz önünde tutulmalıdır. Düşük sıcaklık maksimum tane küçülmesi ve eşeksizli kristallerin oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklık ise birçok alışımda kolonsal yapıyı teşvik eder. Genel uygulamada seçilen sıcaklık, yeterli metal akışını sağlayan, iri tane oluşumuna ve sıcak yırtılmaya sebep olmayacak yükseklikteki sıcaklıktır ( Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş., 2011).

**Kalıp malzemesi:** Kalıp malzemesinin kum yerine metal oluşu önemli oranda tane küçülmesine neden olur. Kalıbın sıcaklık etkisiyle; genleşme miktarı ne kadar fazla olursa, özellikle gerçek savurma dökümde, sıcak yırtılma riski de o kadar az olacaktır (Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş., 2011).

Kalıp malzemesinin ısı iletkenliği de soğuma hızını etkileyeceğinden döküm yapısı üzerinde etkilidir. Genelde döküm hızını azaltacağından ve katılaşmanın tam olarak gerçekleşmediği ara bölge uzunluğunu düşüreceğinden yüksek iletkenlik avantajlıdır (Meriç, 1976).

**Şekil:** Döküm kalın bir kesite sahipse, ciddi bir büzülme yaşanır ve bu sebeple tedarik için gerekli besleme yapılmalıdır. İnce bir kesit söz konusu ise çekme de az olacaktır. Eğer kesitleri homojen olmayan bir şekil dağılımı söz konusu ise büzülme boşlukları daha kalın olan kısımlarda görülmesi muhtemeldir (Meriç, 1976).

**Metod:** Dönme hızının, döküm yapısı gerek tane boyutunu küçültücü gerekse mikro bileşenlerin homojen dağılımını sağlayıcı bir etkisi vardır. Yüksek hızla döküm türbülansa sebep olabileceği için tercih edilmemelidir. Döküm yavaş hızla yapıldığında besleme daha etkin olur ve sıcak yırtılma eğilimi azalır.

### 3.4. Döküm Ocakları

En çok kullanılan ocaklar, dairesel, yukarıdan şarjlı, EMS motorlu karıştırıcılı, yenilebilir yakıcılar ve oksijen sağlayıcılarına sahip olanlardır. Verilen hava, yakıt oranına göre ayarlanabilmekte ve ocak basıncı kontrol altında tutulabilmektedir. Eğimli yapısı, metalin tutucuya hızlı bir şekilde transfer edilebilmesini sağlamakta ve hurdaların şarjı esnasında herhangi bir yatıklık olmamaktadır (Whiteley, 2009).

Ocaklar genel olarak sabitlenmiştir. Küçük, tuğla ile örülmüş, küçük kapıları bulunan ve hurda dökümü lift veya araçlarla yapılan ocaklardır. Temizlenmeleri zordur. Aşırı enerji harcayan, temizlemesi ve alarım değişimi pahalı, zor ve vakit alıcı ocaklardır.

Bir ocağın daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, ocağa hurda ve birincil alüminyumların yüklenmesi, ısının tüm döküm malzemesine ulaşabilmesi, gibi işlemlerin hızlı bir şekilde olurluğu sağlanmalıdır.

İkincil alüminyum üretiminde fırınlar döner, reverber ve indüksiyon fırınlar kullanılmaktadır. Kullanılacak fırın tipini belirlemede ergitilecek hurdanın cinsi, büyüklüğü ve kirlilik derecesi göz önünde bulundurulmaktadır. Ergitilecek hurdanın cinsine ve yapılmak istenen ürünün özelliklerine göre mevcut ergitme tekniklerinden bir veya birkaçı kullanılmaktadır.

Bir kısmı devrilebilir olan, daha çok düşük değerli çok demirli alüminyum hurdalar ve alüminyum cürufunun ergitilmesi için tercih edilen döner fırınlarda ergitme işleminde yakıt olarak fuel oil veya gaz yakıtlar ve genellikle oksijen brülörler kullanılır.

Brülörden refrakter duvarına iletilen ısı, dönme sırasında ısınmış refrakterle temas eden şarj malzemelerinin ısınmasını sağlar. Metalden önce şarj edilen flaks eriyerek metal yüzeyine çıktığından sıvı alüminyumun havayla temasını keserek oksitlenmeyi engeller. Ergitme firesinin düşük olduğu, ısı veriminin çok yüksek (% 55 civarında) olduğu ve çok çeşitli hurda malzemenin ergitilebildiği bu fırınlarda rafinasyon işlemleri ve alarımama yapılamaz. Döner fırınlar büyük parçalar için uygun fırınlar değildir (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995). Döner ocakların önemli bir

dezavantajı tuz sarfiyatının yüksek olmasıdır. Kullanılan hurda alüminyum içindeki oksit ve yabancı madde miktarına bağlı olarak 1 ton sıvı alüminyum elde etmek için 100-400 kg tuz kullanılmaktadır. Döner ocaklarda ısı verimi yüksek olduğu halde tuz masraflarının yüksek olması sebebiyle fazla oksitli olmayan ve içinde fazla yabancı maddeler bulunmayan hurdaların döner ocakta eritilmesi ekonomik olmamaktadır (TMMOB Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu, 1999). Şekil 2.4.'de 3A Alüminyumları A.Ş.'de döner fırına ilave malzemeler eklenmesi görülmektedir. Şekilde sağda tekerlekli olan taşıma arabası ile ana geri dönüşüm malzemeleri döner fırına atılmakta, ilaveler ise elle yapılmaktadır.



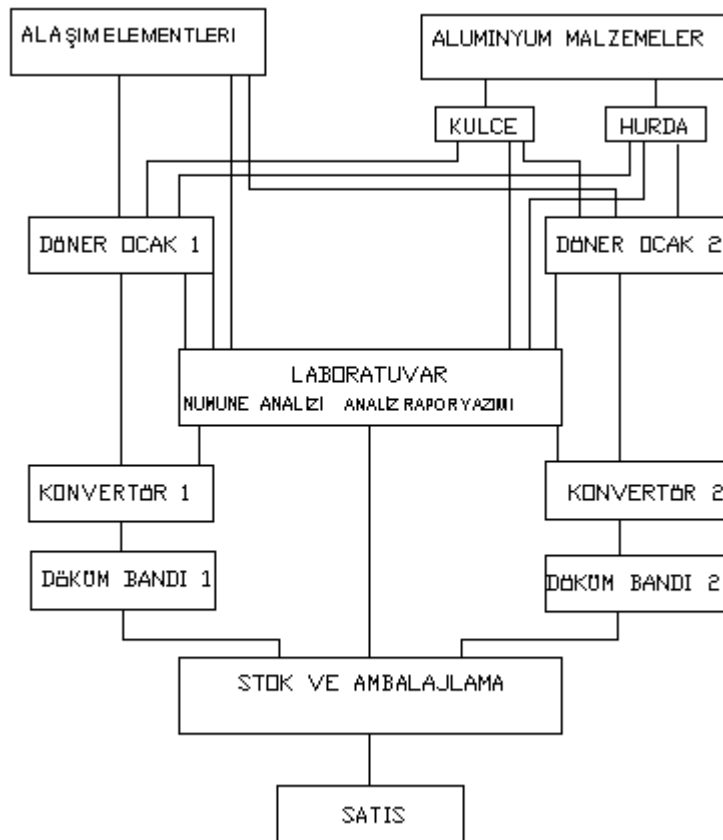
Şekil 3.5. Döner fırına geri dönüşüm malzemeleri eklenmesi.

Reverber fırınlar özellikle büyük hurdaların şarj edilebilmesi için uygun fırınlardır. Fakat geniş kapaklara sahip olması hem kaçakların artmasına hem de şarj sırasında yüksek ısı kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle verimleri döner fırınlara göre daha düşüktür. Ancak baca gazının yanma havasının veya şarjın ön ısıtılmasında kullanılması ile ısı verimi % 20'den % 40'a kadar yükseltilebilir. Cüruf oluşumu nedeniyle alüminyum kaybı da döner fırına göre yüksektir. Yani yüzey alanı/hacim oranı yüksek hurda malzemelerin ergitilmesi için uygun değildir. Ancak bu fırınlarda rafinasyon ve alaşımlama yapılabilmektedir (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995).

3A Alüminyumları A.Ş.'de de reverber fırınlar son testlerin yapılarak, gerekli görüldüğü takdirde içersine gereken elementlerin katılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca reverber fırınlarda, ergitme fırınlarından gelen flaks kalıntılarının ppm seviyelerine düşürülebilmesi için, fırınların içersine argon, helyum ya da klor gazı brülör aracılığı ile gönderilmektedir.

Ergitme fırınından reverbere ergimiş metalin aktarılması esnasında, ergitme fırınındaki temizleme ve gaz giderme işlemleri ile elde edilen sonucun korunması isteniyorsa, transfer işlemi olabildiğince düzgün ve türbülanssız bir şekilde yapılmalıdır.

Şekil 3.6.'da 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. üretim akış şemasında, akışta yer alan ocaklar görülmektedir. Çoğu alaşım önce döner ocaklara gönderilerek içindeki istenmeyen maddelerin ayrıştırılması sağlanmakta, daha sonra ise reverber ocaklara gönderilerek ergitmedeki işlemi tamamlanmaktadır.



Şekil 3.6. 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. üretim akışı

İndüksiyon fırınları temiz ve küçük hurda malzemelerin ergitilmesi için uygundur. Isıl verimi % 40 civarındadır. Tutma amaçlı da kullanılabilir. Elektromanyetik

karıştırma ile şarj ve alaşım metallerinin uygun biçimde karıştırılması sağlanır. Fırın sıcaklığı otomatik olarak kontrol edilebilir. Yanma gazının olmaması ve flaks kullanımının çok az olması çevreye zarar vermemesi açısından önemlidir (Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, 1995) .

Genel olarak ocakları geri kazanma oranlarına göre değerlendirecek olursak, Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi en yüksek geri kazanım oranlarının sırasıyla indüksiyon, döner fırın ve reverber fırın olduğunu görmekteyiz.

Çizelge 3.1. Hurdaların değerlendirilmesinde geri kazanım oranları  
(Temürtürkan ve Kabukçu, 2003).

Hurda Cinsi	R. Fırını	D. Fırını	İ. Fırını
Levha, Kırpıntı	87	90	93
Preslenmiş Talaş, Folyo	80	85	90
Döküm Makine Parçaları	85	88	-
İçecek Kutuları	75	85	85
Şişe Kapakları	65	70	75

### 3.5. Potaya Gaz Üfleme

Alaşımındaki sıvı metal içerisine aşağıdaki amaçlarla gaz üflenmektedir. Üflenen gaz çoğu zaman argondur, bunun dışında helyum ve klor gazı da aynı amaçla kullanılmaktadır.

- Sıvı metal içindeki deoksidasyon artıklarını temizlemek,
- Sıvı metalin hidrojen miktarını azaltmak,
- Üflenen gazın karıştırma etkisi ile potada homojen bir sıcaklık dağılımını sağlamak (Avcı,1993).

Klor zehirleyici bir gaz olduğundan çok dikkatli kullanılmalıdır. Na ve Ca giderimi sadece klor ve klor karışımı gazlarla mümkündür. Sıvı metale bir boru vasıtasıyla verilen klor gazı, alüminyumla reaksiyona girerek alüminyum klorit ( $AlCl_3$ ) oluşturur.  $AlCl_3$  mevcut sıcaklıkta gaz fazındadır. Küçük kabarcıklar halindeki  $AlCl_3$  gazı sıvı metaldeki hidrojeni bünyesine çekerken, oksitleri flotasyon etkisiyle banyo yüzeyine süpürür.  $AlCl_3$  gazının bir özelliği de havadan daha ağır olmasıdır. Dolayısıyla banyo yüzeyinde yoğunlaşarak örtü vazifesi görür. Alüminyumda Mg varsa klor gazı Mg'la tepkimeye girerek  $MgCl_2$  oluşturur. Klor gazının metale verilmesi borularla olur.

İyi bir gaz dağılımı sağlamak için basınç ve debimetrelerle kontrol edilen ve gazı küçük kabarcık halinde enjekte eden tertibat kullanılmalıdır. Ergintinin safsızlığına bağlı olarak 1000 kg için 2-5 kg arasında klor gazına ihtiyaç vardır. 300 kg'lık eriyiğin işlem süresi 5-10 dakika arasında değişir (Öztürk, 1998).

### **3.6. Kullanılan Yakıt**

3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. ocaklarda kullanılan ve dökümün içine brülörlerden üflenen yakıt olarak önceleri motorin kullanmakta idi. 1994 yılından sonra LPG, 2007 yılından itibaren de doğalgaz kullanılarak üretim yapılmaktadır. Böylece hem ürün içine üflenen yakıtın ürüne karışma olasılığı azaltılmış hem de çevre ve insan sağlığını tehdit eden emisyon değerlerinin yönetmelikçe istenen değerlerin altına inmesi sağlanmıştır.

3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de analizi yapılmış tasniflenmiş malzemeler üretimi yapılacak alaşımın cinsine bağlı olarak gerekli miktarlarda ergitmek üzere döner fırınlara şarj edilir. Döner fırın sıcaklığı 800-900°C'ye getirilerek ergitilme işlemi başlatılır. Yakıt olarak LNG kullanılır. Ergimenin her kademesinde numune alınarak üretimi yapılan eriyiğin standartlara uygunluğu kontrol edilir. Döner fırın, yatay silindirik şekilli yatay eksenli etrafında 360 derece dönebilen içersinde yaklaşık 28 ton ısıya dayanıklı özel tuğla ile örülmüş 7,5 ton sıvı alüminyum kapasiteli yakma sistemi ile donatılmış ergitme fırınıdır (ESÇEM Enerji Sistemleri ve Çevre Etüt Merkezi San Tic Ltd Şti, 2011).

3A Alüminyumları Alaşımları A.Ş.'de, yanan yakıtın tahliyesi için 6000–72000 m<sup>3</sup>/h arası kapasiteli torbalı filtreler kullanılmaktadır. Torba aralıkları tozlu havanın filtre yüzeyinin tamamını taraması ve temizleme anında tozun rahatça dökülmesi için geniş bırakılmıştır. Torbalar filtre gövdesine konik olarak geçmekte, değiştirme zamanı daha önce kullanılan cıvatalı sisteme göre ciddi şekilde düşmektedir. Tozlu hava giriş haznesi hızın düşürülmesi için geniş tutulmuştur. Bu sayede torbaya zarar verecek büyük partiküllerin çökmesi sağlanmıştır. Hazne duvarlarında birikinti olmadan toz helezon konveyöre rahatça dökülür (TOBB Kapasite Rapor No:278, 2009).

### **3.7. Eritkenler (Flakslar)**

Alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde koruma ve temizleme flaksları kullanılır. Koruyucu flakslar flüorür ve klorür içeren tuzlardır. Koruyucu flakslar ocak içerisinde oluşan oksitlerin ve gazların sıvı metal ile temasını keserek gazların emilmesine engel

olurlar. Temizleme flaksları sıvı metalin içindeki oksit ve gazları gidermek için kullanılır. Bu flakslar genellikle magnezyum, sodyum klorür ve flüorür içerirler. Bu eritkenler sıvı alüminyum içindeki oksitleri ve yabancı bileşikleri eriyikten dışarı çıkarırlar. Özgül ağırlıkları metale yakındır, karıştırılarak sıvı metalin üzerinde toplanırlar. Tamamen nemsiz olmaları gerekmektedir. Çünkü ocağın soğuması ile kalsiyum klorür ve magnezyum klorür higroskopik oldukları için ortamdaki nem toplarlar ve ocağın astarlarında da nemlenmeye sebep olurlar. Bu nedenle kullanımından sonra eritkenler ocaktan dışarı alınmalıdır (Meriç, 1999).

3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de de ergitme fırınlarına atılan flakslar, özgül ağırlıklarının alüminyumun özgül ağırlığına göre daha hafif olması sebebiyle erimiş metalin üzerinde bulunmaktadırlar. Bu flakslar, alüminyumun reverber fırınlara aktarılma işlemi bittikten sonra, ergitme fırınının alt tarafındaki kapağın açılmasıyla Şekil 3.7.'de görülen taşıyıcılara aktarılmaktadır.



Şekil 3.7. Döner Fırından taşıma arabalarına aktarılmış curuflar

Ne kadar çok kirli ve küçük parçalı hurda ergitilirse o kadar çok flaks kullanmak gereklidir. Çünkü eriyik yüzeyinde oldukça çok miktarda sıvı alüminyumla karışmış köpük şeklinde curuf oluşur. Sıvı metalle ıslanmış bu curuf, flakslanmadan fırından çekilirse, yüksek miktarda metal kaybına sebep olur (Öztürk,1998) .



Flaks tuzları ocaklara ısıtmanın başlangıcında ilave edilir ve ilave edilen flakslar eriyiğin ağırlıkça % 20-65'ini oluştururlar. Flaks aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Tenorio ve Espinosa, 2003).

- Ergime noktaları, alüminyum için uygun koşulun oluşturulduğu 720°C'nin altında olmalıdır.
- Rahat bir şekilde eriyik içinde karışımının sağlanabilmesi için düşük viskoziteli olmalıdır
- Sıvı banyodan kolayca ayrılabilir olmalıdır, metalle herhangi bir şekilde tepkimeye girmemelidir. Katkı olarak metalin içine eklenmemelidir.
- Nem çekecek bir malzeme olmamalıdır.
- Buhar basıncı düşük olmalı
- Maliyeti ve ısı işlem işçilikleri düşük olmalı.

Koruma ve temizleme flakslarının kullanılmasına rağmen sıvı metalde yine de gaz bulunabilir. Bunun için sıvı maden içine çeşitli gazlar (azot, argon, helyum, klor) verilerek temizleme yapılabilir (MEGEP, 2007) .

Alaşımında iri tanelerin oluşmaması için sıcaklık yükselmelerinden kaçınılır. Normal sıcaklıklarda döküm yapılır. Kokiller parçalarda tane inceliği sağlar. Ayrıca nikel, sodyum, bor, krom, titan vb. elementler tane inceliğine yardım etmektedir.

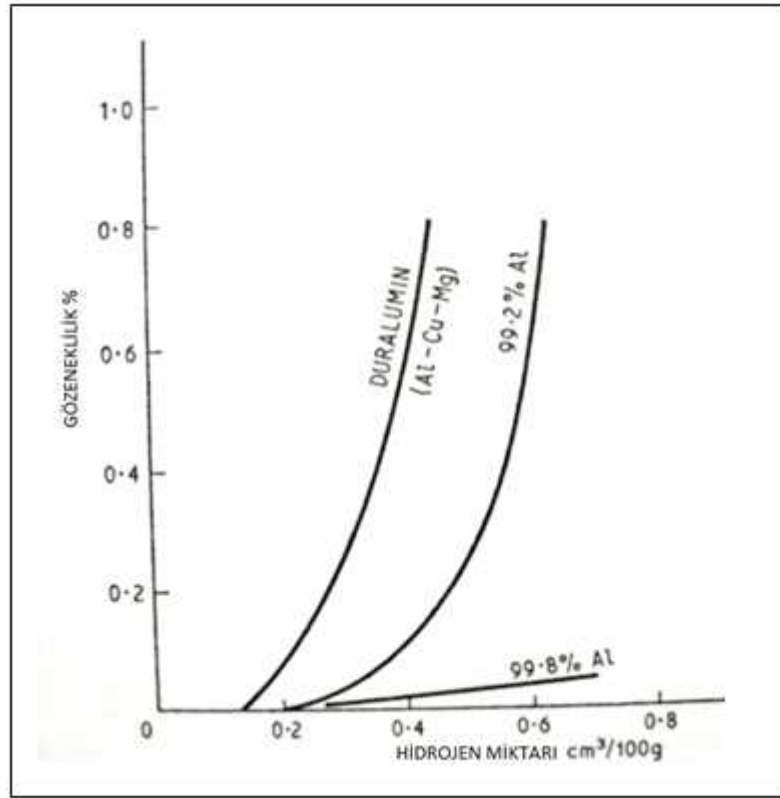
. 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş.'de kullanılan montanol flaks % 70 NaCl, % 28 KCl ve % 2 oranında da CaF<sub>2</sub> içermektedir. Sodyum klorür de 800 °C ve daha fazla sıcaklıklarda magnezyum kaybına neden olmaktadır.



Buna göre döner ocaklarda magnezyum tuz banyosuna geçerek fazla miktarda kayba uğramaktadır. Silisyum, çinko, demir, bakır gibi metallerinde alüminyum içindeki yüzdelerini kayba uğratarak azaltmak mümkün değildir. Metalik sodyum; antimon, kurşun, bizmut ve kalayla bileşik meydana getirerek bunların kaybına sebep olmaktadır (TMMOB Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu,1999).

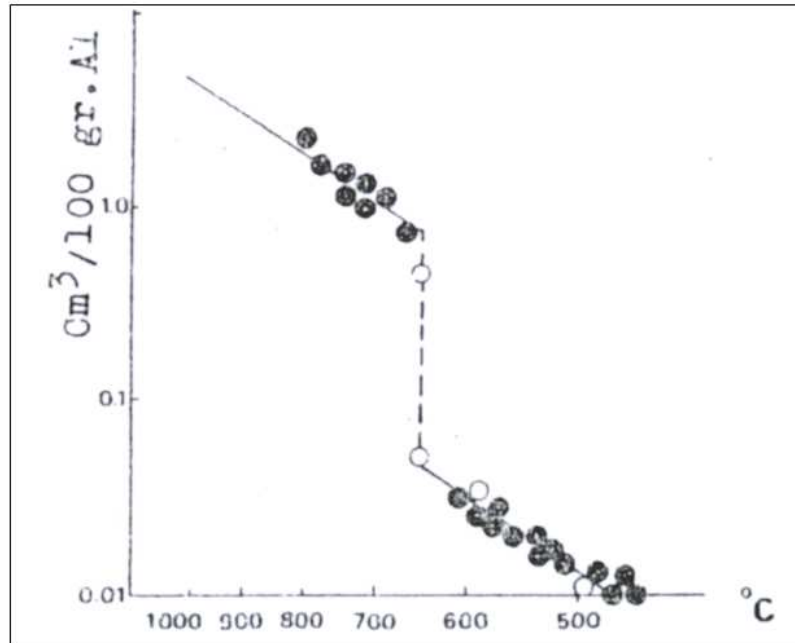
### 3.8. Ergitmede Karşılaşılabilen Problemler

Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi hidrojen alüminyumdaki gaz boşluklarının ana sebebidir. Bunun sebebi erimiş haldeki alüminyum alaşımlarının, gazlarla çözünme meyilinin yüksek oluşudur.



Şekil 3.8. Hidrojen miktarı ve gözeneklilik arasındaki ilişki (Varley, 1970).

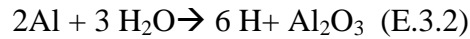
Hidrojen çözünme katı alüminyumda çok azdır ve Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi sıcaklıkla birlikte çözünme miktarı hızlı bir artış gösterir.



Şekil 3.9. Alüminyum içindeki hidrojen erirliliğinin sıcaklıkla değişimi (Çakmak,1984).

Eğer proses esnasındaki adımlar kontrol altına alınmazsa son ürün kalitesini etkileyecek miktarda hidrojen alüminyum içinde çözülebilir. Bu hidrojen erimiş metal ile fırının atmosferinde bulunan nemin tepkimeye girmesinden meydana gelir ve alüminyumun atomik yapısında çözünmeye sebebiyet verir. Hidrojenin sıvı alüminyumdaki çözünürlüğü yüksektir; fakat katı metalde çözünürlük çok azdır.

Erimiş alüminyumun bulunduğu ortamda, eğer nem varsa, bu su buharı hızlı bir şekilde erimiş alüminyum ile tepkimeye girer ve ortama, katılma esnasında gözenekliliğe sebep olacak hidrojen gazı ile döküm alüminyum homojenliliğini etkileyecek alüminyum oksit bileşikler salar. Bu tepkime şu şekildedir:



Örnek olarak  $1m^3$  havada bulunabilen 10 gram kadar su buharının, erimiş alüminyum ile tepkimeye girdiğini düşünürsek, tepkime sonucunda yaklaşık 1 gram hidrojen gazı açığa çıkar ve bu miktarda bir gazın bulunması 1 ton kadar bir alüminyumun reddi için yeterlidir (Ara, 1999). Benzer şekilde bir ingot dökümün gaz boşluklarının kabul edilebilir olabilmesi için erimiş metaldeki gaz boşluğu  $0,15 \text{ cm}^3/100\text{gr}$  değerinin altında olmalıdır (Varley, 1970).

Hidrojen gazının alüminyum oksitlerinin ortamda bulunması ise ortamdaki nemden kaynaklanır. Bu hidrojen gazının farklı sebepleri olabilir. Bunlar (Çakmak, 1984) :

- Fırın atmosferinin fark edilebilir oranda su buharı içermesi,
- Refrakterlerin veya flaksların nemli olması,
- Fırın aletlerinin kirliliği,
- Islak hurdanın kullanılması,

Hidrojen gazını engellemek için:

- Yanma gazlarında nem bulunabilen ve verimi düşük olan potalı ocakların yerine elektrikli ocakların kullanılması tercih edilmeli ve elektrikli ocak kullanılsa bile nem giderme prosesleri yapılmalıdır (Öztürk, 1998).
- Sıcaklıkla birlikte oluşan tepkime sayısı ve dolayısıyla hidrojen miktarı arttığından, erimiş alüminyum gereksiz yüksek sıcaklıklara ısıtılmamalıdır (Çakmak, 1984).

- Eriyik içersinde bulunan Mg elementi de su buharı ile tepkimeye girdiğinden oluşan hidrojen miktarını arttırırken, eriyik içersinde bulunan Cu ve Si ‘un, hidrojen gazının çözünlüğü azaltıcı etkisi vardır (Öztürk, 1998).
- Ergimiş metalin çok hızlı katılaşması, oluşan hidrojen gazının sıvı metalden ayrılmasını engeller. Bu sebeple katılaşma çok hızlı yapılmamalıdır (Öztürk,1998).
- Ergimiş metalin katılaşma süresi çok uzun olursa, katılaşma esnasında büyüyen kristalleri içeren eriyik büzölmeleri emer ve dökümün dış yüzeyinde bir içbükeylik oluşacak şekilde form oluşabilir (Meriç, 1976).
- Ergimiş metal 720°C dökme sıcaklığına sahip bir şekilde tutulursa, kapsadığı hidrojen miktarı fırın atmosferindeki buharın sahip olduğu hidrojen miktarına eşitleninceye kadar düşmeye devam edecektir. Ancak bu uzun bir zaman gerektirecektir (Varley, 1970).

Flakslar, oksit tabakasını kırarak hidrojen gazının hızlı bir şekilde kaçmasını gerçekleştirirler (Varley, 1970) .

### **3.9. Eriyiğın Ölçölmesi Ve Takviyeler**

Karışık hurdalardan elde edilen ve alüminyum içinde istenmeyen elementler saf alüminyumla azaltılmaya gidilirken, müşteriler tarafından talep edilen alüminyum alaşımının cinsine bağılı olarak değışen eksik elementler ise dışarıdan takviye edilmektedir.

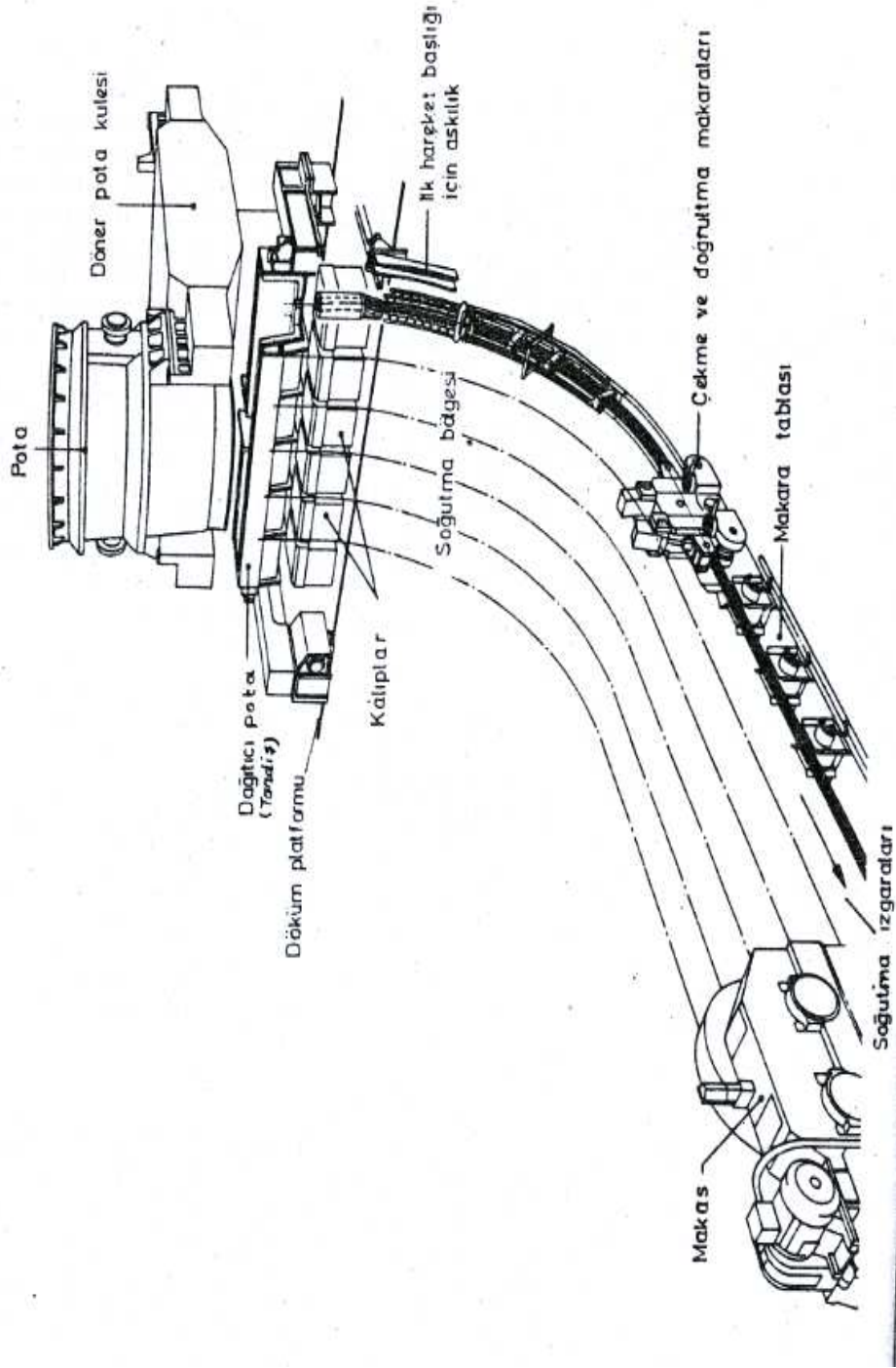
Alüminyum alaşımına, 3A Alüminyum Alaşımına A.Ş.’de alaşımın cinsine bağılı olarak dışarıdan katılan en yaygın katkı malzemeleri Si, Cu ve Mn’dur. Silisyum ilavesi olarak Al-Si ön alaşım kullanılabilceğı gibi öğütölmüş metalik silisyum da kullanılabilir. Genel olarak alüminyum sıcaklığı 800–850 °C’ye çıkarılmakta ve ocağın yüzeyine silisyum parçacıkları serilmektedir. Bir süre bekletildikten sonra mekanik karıştırma hareketi ile sisteme dahil edilmektedir (Muter, 1984).

### **3.10. Ergitilmiş Alüminyum Özelliklerinin İyileştirilmesi**

Nitelikli dökümlerin üretimi, öncelikle hazırlanan sıvı metal banyosunun özelliklerinin iyileştirilmene bağılıdır. Bu amaçla, sıvı alüminyumun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yeterince bilinmesi gereklidir (Çakmak, 1984).

- Ergimiş alüminyum, oksijenle veya nemle birleşip yoğunluğu metal yoğunluğuna yakın olan ve bu sebeple ayrıştırması zor olan alüminyum curufları oluşturabilirler.
- Nemli maddelerdeki hidrojen, eriyikte hidrojen emilimine sebep olabilir ve eriyen hidrojen gazı katılaşmada gözeneklere sebep olur.
- Ergimiş dökümün katılaşması esnasında % 10'a varabilen çekmeler olabilmektedir.
- Ergimiş alüminyumun hidrostatik basıncının düşüklüğü ve yüzey geriliminin büyüklüğü, döküldüğü kalıbı besleme zorluğu oluşturabilmektedir. Ayrıca, katılaşma esnasında da büzülme oluşabileceğinden, döküm ağzı, yolluklar ve besleyici gibi kısımların uygun tasarlanması gereklidir.
- Ergitilmiş alüminyum yüzeyinde oluşan oksit tabakası, erintinin gaz kapmasına ve curuf oluşturmaya engel olur. Bu sebeple, taşıma gibi işlemler esnasında bu tabakanın zarar görmemesi için hassas davranılmalıdır.
- Alaşım miktarı yüksek olan bileşimlerde, alaşım elementinin tabana çökme ve çamur oluşturma ihtimali vardır.
- Demirin alüminyum içindeki çözünürlüğü çok fazla olduğundan sıvı alüminyum, potalardaki demirle reaksiyona girerek demir kapabilir. Bu sebeple, alüminyum refrakter içinde taşınmalı ve eritilmelidir.
- Alüminyumun özgül ısısı, döküm esnasında sıcaklığın ani olarak düşmesini engelleyecek kadar yüksek olduğundan aşırı ısıtma gereksizdir.

Şekil 3.10.'da, hem türbülansı azaltılmış ve standartlaştırılmış olarak dökümün yapılmasını sağlayan, hem de otomasyonla akışı hızlandıran konveyör sistemi görülmektedir.



Şekil 3.10. Sürekli Döküm Tesisatı ve Ana Elemanlar (Avcı,1993)

#### 4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımlarında kullanılan başlıca alaşım elementleri; bakır, silisyum, mangan, çinko, krom, kalay, magnezyum, demir, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

##### 4.1. Alüminyum Alaşımlarının Gruplandırılması

1XX.X: Saf alüminyum

2XX.X: Esas alaşım elementi bakırdır

3XX.X:Esas alaşım elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşım elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı 3XX.X serisidir (Han,1984).

4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur.

5XX.X: Esas alaşım elementi magnezyumdur.

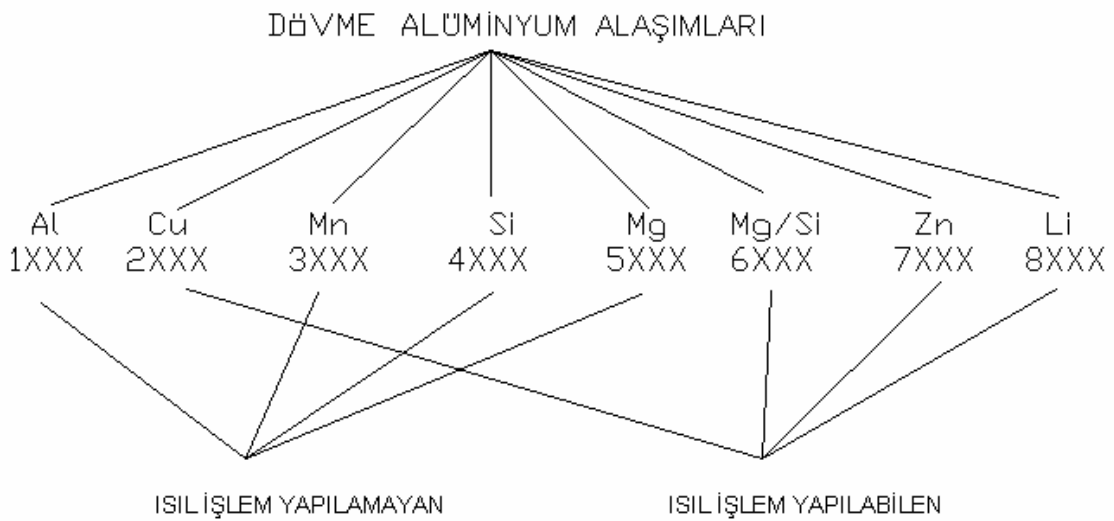
6XX.X: Bu seride hem Mg ve hem Si birlikte bulunmaktadır.

7XX.X: Esas alaşım elementi çinkodur.

8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır

Ticari saflıkta (% 99-99.7) alüminyum düşük mukavemet ve döküm özelliğinden dolayı, dökümcülükte ancak çok özel uygulamalar için kullanılır. Alaşım elemanları malzemeye, yoğunluğunu değiştirmeden mukavemet ve sertlik kazandırır. Buna karşılık alaşımların saf alüminyuma göre elektrik iletkenliği ve korozyona karşı dirençleri azdır (Han,1984).

Şekil 4.1.'de ısıtılabilir ve ısıtılmayan alüminyum alaşımları gruplandırılmıştır.



Şekil 4.1. Döküm alüminyum alaşımları (Eker,2008).

#### 4.2. Alaşımda Kullanılan Elementlerin Alaşıma Etkileri

Etkilerini ve önemini daha iyi kavrayabilmemiz için, alaşım malzemeleri dört sınıfa ayrılabilir. Bunlar majör, minör, mikro yapı düzenleyiciler ve katışıklar olarak sıralayabiliriz. Ancak bazen istenmeyen katkı malzemeleri de majör elementleri olabilmektedir (Apelian, 2009).

- Majör elementler silisyum (Si), bakır (Cu) ve magnezyum (Mn),
- Minör elementler nikel (Ni) ve kalay (Sn); doğada yaygın olarak alaşımlarda bulunup kalıp dökümünde bulunması istenmeyen mikro yapı düzenleyiciler,
- Titanyum (Ti), bor (B), stronsiyum (Sr), Fosfor (P), berilyum (Be), Mangan (Mn) ve krom (Cr) ,
- İstenmeyen katkı elementleri olarak genellikle demir (Fe), krom (Cr) ve çinko (Zn) içerir.

**Silisyum (Si):** Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementlerinden biridir. Silisyum iyi dökümün sağlanabilmesi için, alaşıma döküm kalıplarını dolduracak akışkanlığı ve soğuma esnasında oluşabilecek kırılma ve çatlamların olmamasını sağlar. Alüminyum alaşımlarına akışkanlık, mukavemet ve kaynak kabiliyeti kazandırır.



**Bakır (Cu):** Bakır elementi, hem ısıtılmalı veya ısıtılmamış olan döküm alaşımına, hem de ortam sıcaklığında yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır. Öte yandan Cu katkısının dezavantajı, genellikle alüminyum alaşımının korozyon direncini azaltması ve korozyon sebepli gerilmeleri arttırmasıdır (Apelian, 2009).

Alüminyum kullanılması ilk zamanlarında yaygın olarak kullanılan bakır elementi zamanla yerini silisyuma bırakmıştır.

**Magnezyum (Mg):** Magnezyum elementi alüminyuma yüksek mukavemet, iyi süneklik, iyi korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti sağlar (Kocacı, 1996). Ancak magnezyum ilavesi bir cürufleşme meydana getirdiği için alüminyum dökümünü zorlaştırır. Bunu önlemek için berilyum ilave edilir (Demircioğlu, 2002).

**Krom (Cr):** Krom elementinin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü sınırlıdır.  $CrAl_7$  bileşimini oluşturur.  $CrAl_7$  kaba metaller arası bileşimi titanyum, mangan veya demir ile inceltilir. Ayrıca alüminyum anodizasyonunda krom altın sarısı renk verir (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Nikel (Ni):** Nikel yüksek sıcaklıkta malzemeye mukavemet kazandırmak amacıyla ilave edilir. Nikel içeren alüminyum alaşımlarında ısıtılma katsayısı düşüktür (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Çinko (Zn):** Çinko ilavesinin, alaşımın sıcak şekil almada gevreklik meydana getirmesi ve korozyona dayanıklı olmadığı görüşü sebebiyle önceleri istenmeyen bir katkı olarak görülmüştür. Fakat, yakın zamanlarda yapılan çalışmalar, % 2,5'a kadar çinko ilavesi ile mekanik özellikler çok az değiştiği ve korozyon açısından da bir farkın oluşmadığı görülmüştür. Buna ek olarak çinko ilavesi, işleme özelliğini daha da iyileştirmektedir (Kocacı, 1996).

**Manganez (Mn):** Manganez elementi genelde işlem alaşımlarında kullanılan bir elementtir ve döküm alaşımlarında sınırlı miktarda kullanılmaktadır. Manganez elementi setleştirici etkisinin yanı sıra demirin kötü etkisini engelleyici rol oynamaktadır. % 0,75 mangan ilavesi setliliği arttırırken, süneklikte bir miktar düşmeye sebep olur (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Zirkonyum (Zr):** Döküm alaşımlarında tane küçültücü alaşım elementi olarak kullanılır. Alüminyum alaşımlarında korozyon direncini arttırıcı rolü vardır ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme direncini arttırır (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Demir (Fe):** Genellikle alüminyum alaşımlarda istenmeyen bir elementtir, mümkün olduğunca az olmasına çalışılmalıdır. Alüminyum alaşımlarındaki dezavantajlarının yanında, alüminyum-nikel-bakır alaşımlarında yüksek sıcaklıklarda mukavemet artırıcı rol oynar ve korozyon direncini artırıcı etkisi de vardır (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Berilyum (Be):** Milyonda birkaç oranındaki berilyum eklenmesi oksidasyon kayıplarının engellenmesi için etkilidir. Bu element demir içeren parçacıklara nüfuz ederek dayanıklılık ve sünekliliği arttırmalar. Berilyum oksit çok zehirleyici olduğundan ergitme ve dökme gibi prosesler esnasında gerekli tedbirler alınmalıdır (Totten ve MacKenzie, 2003).

**Fosfor (P):** Ötektik üstü alaşımlarda primer ötektik yapısının inceltmesi ve düzgün olarak dağıtılması için alüminyum alaşımlarına ilave edilir. Fosforun alüminyum içersinde çözünme oranı ppm değerlerindedir (Yılmaz ve Şen, 1996).

**Kalay (Sn):** Alüminyum alaşımlarda kalay kullanılması sürtünmeyi azalttığından burç, mil yatakları gibi parçalarda kullanılır. Bu alaşımlarda kalay fazı çok düşük sıcaklıklarda erir. Bu sebeple aşırı ısınmanın olduğu sürtünme yüzeylerinde kalay eriyip sızarak yağlama vazifesi görür. Genellikle kalıplı dökümlerde çok tercih edilmemektedir (Apelian, 2009).

**Bor (B):** Titanyum (Ti) ve bor (B) elementlerinin % 0,01 gibi az bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi göstermektedir. Tane inceltme işlemi uygulanmış alüminyum dökümlerinde inceltme uygulanmamış olanlara göre daha iyi beslenebilirlik ve daha gözeneksiz bir yapı elde edilmektedir (Çolak ve Kayıkçı, 2009).

## 5. GERİ DÖNÜŞÜMDE KULLANILAN MALZEMELERİN ÜRETİLEN ÜRÜNE ETKİLERİ

Geri dönüşüm prosesinde kullanılan malzemeleri 3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. genel olarak üç gruba ayırmışlardır. Bunlar:

**Kap kakak:** Bu grup alüminyumdan üretilmiş tencere, tava gibi mutfak eşyalarını içerdiği gibi, içerisindeki alüminyum yüzdesi diğer gruplara nazaran yüksek olan profil levhaları da içermektedir. Satın alma değeri en yüksek olan gruptur.

**Karter:** Bu grup otomotiv malzemeleri ve beyaz eşya sektörü ile ilgili malzemeleri içermektedir. Bu gruptaki malzemeler değişiklik gösterebilmekle birlikte alüminyum değeri olarak kap kacadan daha düşüktür.

**Gazoz Kutuları:** İçecek kutularından elde edilen alüminyum geri dönüşüm malzemeleridir.

### 5.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla sayıda bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Tek bir bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır. Birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizine ise çok değişkenli regresyon analizi denilir. Çok değişkenli regresyon şu şekilde genel bir formül ile gösterilebilir (Altunışık vd., 2010) :

$$Y_i = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \varepsilon \quad (E.5.1.)$$

E.5.1.'de a ve b regresyon katsayıları olup, X değerleri bağımsız değişkenleri göstermektedir.

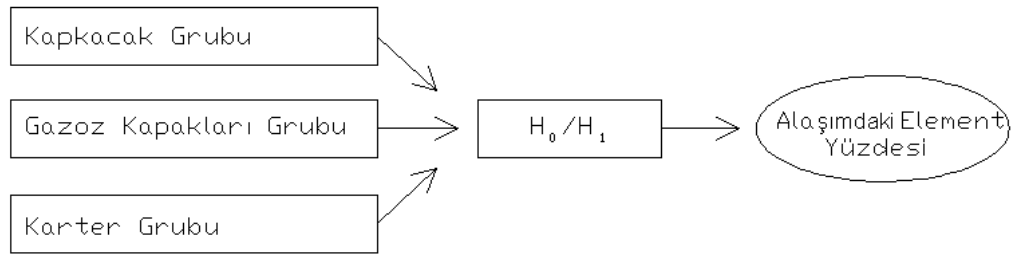
### 5.2. Metot

3A Alüminyum Alaşımlar A.Ş.'de Eylül 2010 tarihinden Haziran 2011 tarihine kadar yapılan 126 adet üretimdeki, üretim analiz kayıtları değerlendirilmiştir. Geri dönüşüm prosesine katılan malzemeler yukarıdaki şekilde üç gruba ayrılmış ve her üretim için hangi malzemelerden ne kadar miktarda geri dönüşüm prosesinde kullanıldığı kayıt edilmiştir. Her üretim sonucunda da elde edilen ürünlerden numune parçalar alınmış ve alaşımın bileşiklerinde bulunan elementler ölçülmüştür.

Regresyon analiziyle, geri dönüşüm malzemelerinin üretilen alüminyum bileşenlerine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı araştırılmaktadır. Üretilen alüminyum bileşenlerine, kullanılan alüminyum grupları dışında, etki eden pek

çok parametre bulunmaktadır. Çalışma, geri dönüşümde kullanılan alüminyum malzeme gruplarının alüminyum bileşenlerine katkısının incelenmesi ile sınırlandırılmıştır. Numune içersindeki element bileşenlerini ölçmek için spektrometre cihazı kullanılmaktadır. 3A Alüminyumları A.Ş.'de kullanılan ölçüm cihazı ARL tipi spektrumdur. Ölçüm esnasında, spektrum tezgâhı yanma odasına konulan alüminyum numune üzerine argon gazı verilir ve metal yüzeyinin yanması sağlanır. Yanmış yüzeyden dalga boyu kullanılarak elementlerin atomik kütle ölçümleri yapılır.

Proses, gerekli durumlarda dışarıdan, Si ve Cu katılmaktadır. Ayrıca ölçüm sonuçlarında Be, Co, V, Li ve Sr değerleri çok düşük değerlerdedir. Ti ve Ni değerlerinde ise gruplar arasındaki fark çok düşüktür. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarda Be, Co, Cu, Li, Ni, Si, Sr, Ti ve V değerleri için hipotez oluşturulmamıştır.



Şekil 5.1. Regresyon modeli şemasal görünüm

Şekil 5.1.'de üretilen alüminyum alaşımlarında bulunan Ag, B, Bi, Ca, Cd, Cr, Fe, P, Mg, Mn, Na, Sn, Pb Zn, Zr, element miktarları yüzdesinin, proste girdi olarak kullanılan kap kakak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağımlı olarak değişip değişmediğinin hipotezlerle incelenmesi için hazırlanan regresyon modeli şemasal görünümü bulunmaktadır. Daha detaylı bir şekilde açıklamak için Çizelge 5.1.'de görülen hipotezler oluşturulmuştur.

### 5.3. Hipotezler

Çizelge 5.1. İlişki hipotezleri

1	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Ag değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Ag değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
2	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki B değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki B değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
3	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Bi değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Bi değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
4	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Ca değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Ca değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
5	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Cd değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Cd değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
6	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Cr değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Cr değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
7	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Fe değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Fe değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.

8	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Mg değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Mg değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
9	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Mn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Mn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
10	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Na değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Na değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
11	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki P değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki P değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
12	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Pb değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Pb değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
13	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Sn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Sn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
14	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Zn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Zn değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.
15	H <sub>0</sub>	Üretilen ürünlerdeki Zr değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapaklar kullanım oranlarına bağlı olarak değişmemektedir.
	H <sub>1</sub>	Üretilen ürünlerdeki Zr değeri, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir.

#### 5.4. Regresyon Analizi Sonuçları

Çalışmada numune içerisindeki elemanların geri dönüşüm malzemelerine katkısının istatistiksel katsayısını belirlemede çok değişkenli regresyon analizinden yararlanılmış, klasik doğrusal regresyon modelleri SPSS paket programı kullanılarak tahmin edilmiştir. Veriler yüzde olarak kullanılmıştır. Üretilen ürünlerdeki her Ca, Cd, Na, Sn, Pb değerinin bağımsız olarak proseste kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağımlı olarak değişmesi istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Bu nedenle model sonuçlarına çalışmada yer verilmemiştir. Diğer yandan, üretilen ürünlerdeki her Ag, B, Bi, Cr, Fe, P, Mg, Mn, Zn, Zr değerinin bağımsız olarak proseste kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağımlı olarak değişmesinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Kartar çoğu üretimde kullanılmadığı ve yüzde oranı çok düşük olarak üretime katıldığından model içinde karter katkısının anlamsızlığı, bazı elementler için ihmal edilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan regresyon modellerinin tahmin sonuçları her bir element için Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Regresyon Modelleri Tahmin Sonuçları

	Sabit	Kapakcak yüzdesi	Gazoz Kutusu yüzdesi	Karter yüzdesi	Modelin Genel Anlamlılığı	R <sup>2</sup>
Gümüş (Ag)	0,002 (0,001)*	-0,0000141 (0,015)*	-0,0000123 (0,035)*	-0,0000357 (0,009)*	0,049*	0,075
Bor (B)	-0,002 (0,002)*	0,0000485 (0,000)*	0,0000565 (0,000)*	0,0000255 (0,082)**	0,000*	0,516
Demir (Fe)	-5,958 (0,000)*	0,079 (0,000)*	0,084 (0,000)*	0,054 (0,000)*	0,000*	0,783
Krom (Cr)	-0,213 (0,000)*	0,003 (0,000)*	0,003 (0,000)*	0,002 (0,135)	0,000*	0,325
Fosfor (P)	0,004 (0,000)*	-0,0000306 (0,000)*	-0,0000331 (0,000)*	-0,00000726 (0,626)	0,000*	0,282
Zirkonyum (Zr)	-0,006 (0,001)*	0,000076 (0,000)*	0,0000748 (0,000)*	0,000059 (0,134)	0,000*	0,475
Bizmut (Bi)	0,004 (0,001)*	-0,000003 (0,782)	0,000006 (0,582)	-0,000022 (0,381)	0,005*	0,087
Magnezyum (Mg)	0,318 (0,011)*	-0,002 (0,077)**	-0,003 (0,025)*	-0,001 (0,647)	0,006*	0,111
Mangenez (Mn)	-0,051 (0,829)	0,005 (0,052)**	0,004 (0,096)**	0,002 (0,679)	0,000*	0,244
Çinko (Zn)	0,472 (0,025)*	0,000 (0,855)	0,001 (0,493)	0,003 (0,516)	0,002*	0,131

\* P (Olasılık) < 0,05

\*\* P (Olasılık) > 0,05

Alaşımında kullanılan karter yüzdesi her zaman düşük tutulmasından dolayı, Çizelge 5.2.'de, karter için çıkan sonuçlar ihmal edilebilir. Bizmut ve çinko için tahmin edilen regresyon modelleri katsayılarının, 0,10 anlam düzeyinde, istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Bu nedenle, çinko ve bizmut için regresyon modeli oluşturulmamıştır. Diğer elementler için, geri dönüşüm malzeme bileşenleri tahmininde kullanılacak regresyon modelleri aşağıda verilmiştir:

$$\text{Ag Yüzdesi} = 0.002 - 0.0000141 * \text{kapkacakyüzdesi} - 0.0000123 * \text{gazozkutuyüzdesi} - 0.0000357 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.2.)}$$

$$\text{B Yüzdesi} = -0.002 + 0.0000485 * \text{kapkacakyüzdesi} + 0.0000565 * \text{gazozkutuyüzdesi} + 0.0000255 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.3.)}$$

$$\text{Fe Yüzdesi} = -5.958 + 0.079 * \text{kapkacakyüzdesi} + 0.084 * \text{gazozkutuyüzdesi} + 0.054 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.4.)}$$

$$\text{Cr Yüzdesi} = -0.213 + 0.003 * \text{kapkacakyüzdesi} + 0.003 * \text{gazozkutuyüzdesi} + 0.002 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.5.)}$$

$$\text{P Yüzdesi} = 0.004 - 0.0000306 * \text{kapkacakyüzdesi} - 0.0000331 * \text{gazozkutuyüzdesi} - 0.00000726 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.6.)}$$

$$\text{Zr Yüzdesi} = -0.006 + 0.000076 * \text{kapkacakyüzdesi} + 0.0000748 * \text{gazozkutuyüzdesi} + 0.000059 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.7.)}$$

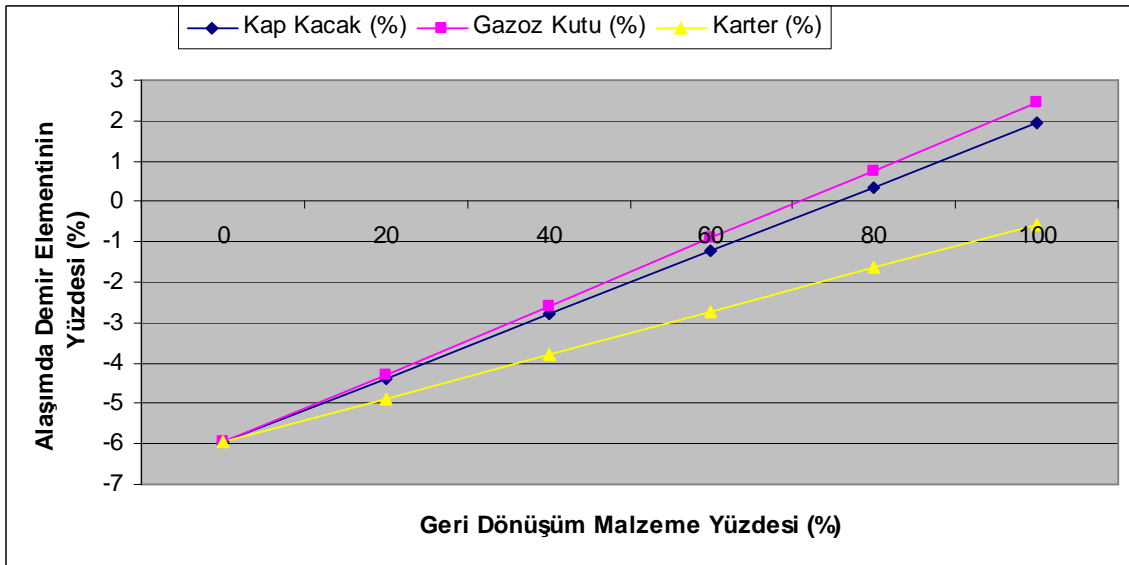
$$\text{Mg Yüzdesi} = 0.318 - 0.002 * \text{kapkacakyüzdesi} - 0.003 * \text{gazozkutuyüzdesi} - 0.001 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.8.)}$$

$$\text{Mn Yüzdesi} = -0.051 + 0.005 * \text{kapkacakyüzdesi} + 0.004 * \text{gazozkutuyüzdesi} + 0.002 * \text{karteryüzdesi} \text{ (E.5.9.)}$$

#### **5.4. Kullanılan Malzemeler İle Üretilen Ürünler Arasındaki İlişki Grafikleri**

Kap kakak, gazoz kutu ve karter gruplarının kullanım yüzdelerinin, geri dönüşüm prosesi sonucunda elde edilen alaşımın bileşenlerini oluşturma yüzdelerine etkisi grafiklerle incelenmeye çalışılmıştır. Şekil 5.2.'den Şekil 5.9.'a kadar olan grafikler, istatistiksel olarak geri dönüşümde kullanılan malzeme gruplarının alüminyum içerisindeki elementlere anlamlı olarak katkı sağladıkları hesaplanan elementlerin ( Ag, B, Fe, Cr, P, Zr, Mg, Mn) grafikleridir. Bu grafikler, sadece kap kakak, sadece gazoz kutusu ve sadece karter kullanma yüzdeleri ile bu yüzdelerin kullanılması neticesinde regresyon analizi ile hesaplanan elementlerin yüzde değerlerini göstermektedir.

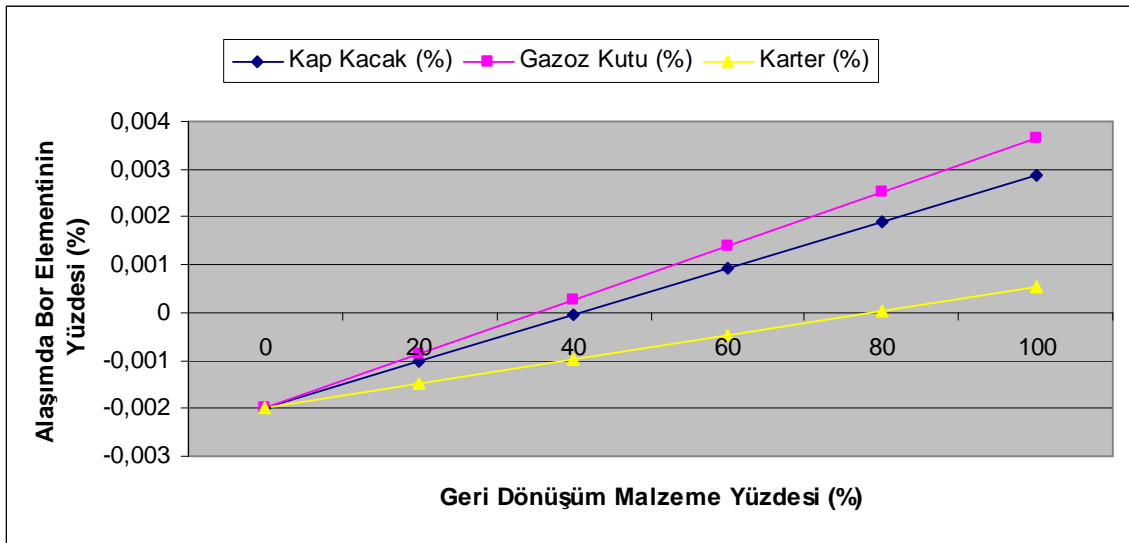




Şekil 5.2. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin demir oranına etkileri.

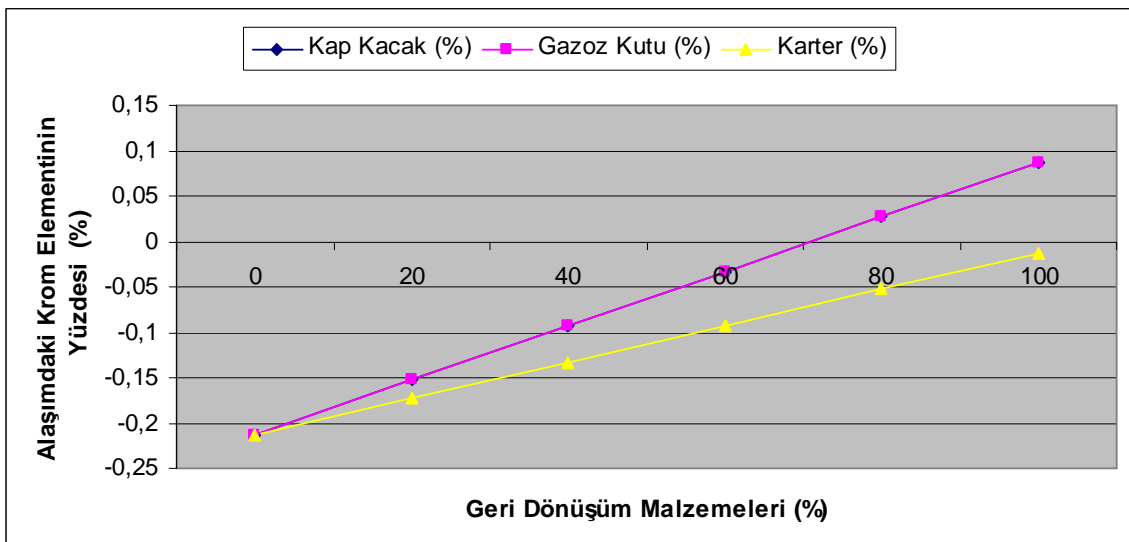
Demir (Fe): Gazoz kutularının demir içeriği düşüktür, bu sebeple eriyik çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılabilmekte ve bu durum da ocakta kalmış olan demir elementinin alaşıma geçmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple gazoz kutularının kullanıldığı alaşımlarda demir yüzdesi yüksek gözlenmiştir.

Karter malzemesinin içerisinde ise demir miktarı fazla olması sebebi ile ergitme esnasında malzeme döner ocaklardan soğuk olarak alınmakta ve böylece dibe çöken demirin alaşım içerisine karışmadan konvertör ocaklarına aktarımı sağlanmaktadır ve böylece karter için demir yüzdeleri çok düşük değerdedir. Kap kacak kullanılan alüminyumlarda ise demir elementinin yüzdesi gazoz kutuları kullanılan alaşımlarda olduğu gibi yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.3. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin bor oranına etkileri.

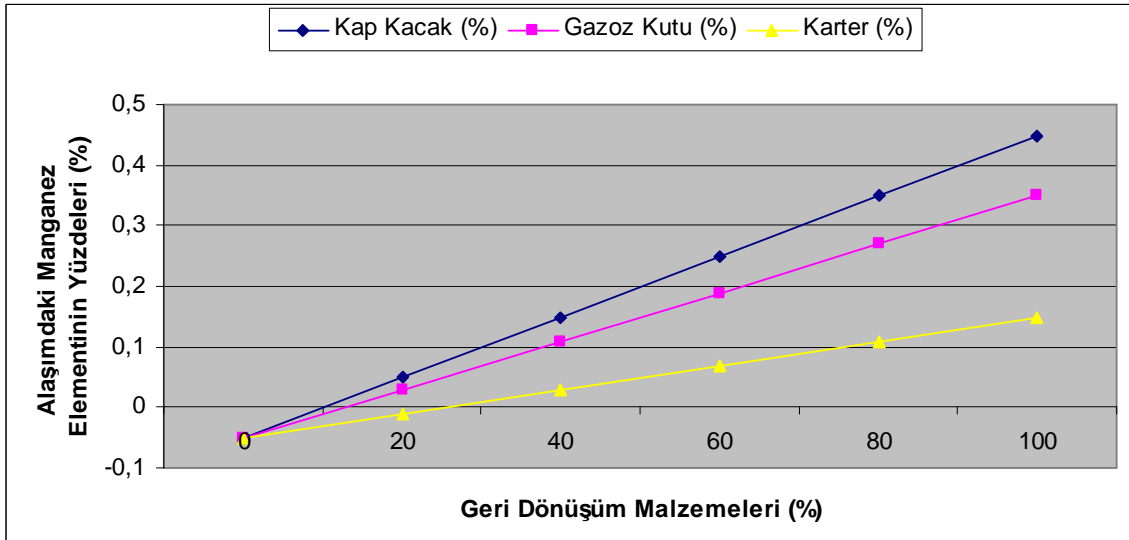
Bor (B): Bor elementinin, alaşıma tane inceltici yapı kazandırması ve gözenekleri engellemesi etkileri dolayısıyla sızdırmazlığın önemli olduğu gazoz kutuları ve kap kacak grubu kullanılan alaşımlarda en yüksek oranlarda olduğunu görmekteyiz. Karter grubu kullanılan alaşımlarda ise bor yüzdesi düşük çıkmıştır.



Şekil 5.4. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin krom oranına etkileri.

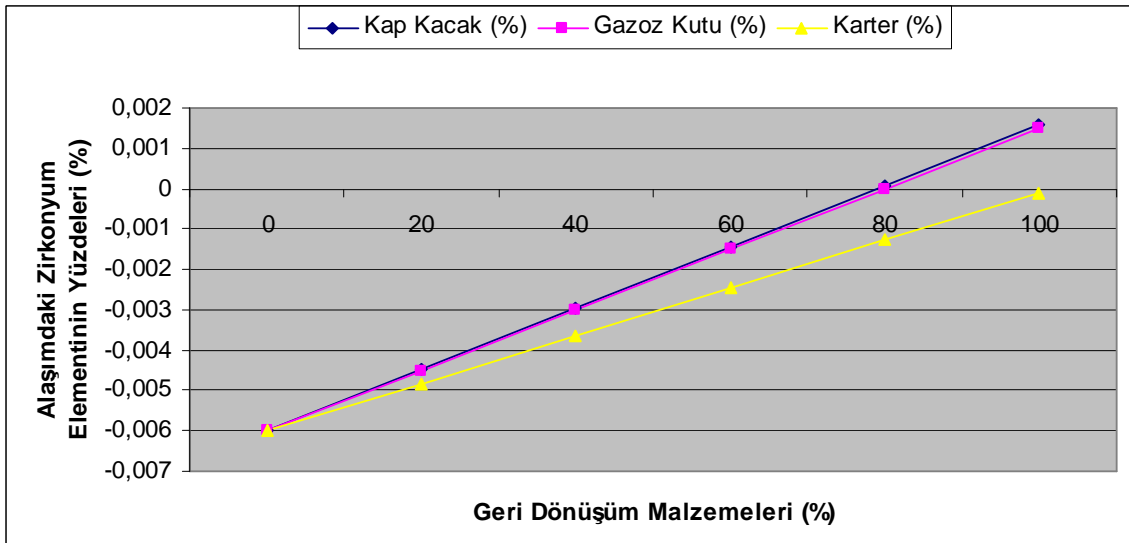
Krom (Cr): Kap kacak ve gazoz kapakları kullanılarak üretilen alüminyum alaşımda bulunan krom oranının aynı derecede olduğunu (% 0,07) görmekteyiz. Karter kullanılan ürünlerde, kap kacak grubundan içerisinde alüminyum oranı daha yüksek olan

parçaların seçilmiş olma sebebi ile, karter için krom değerleri sıfırın altında çıkmış olabilir.



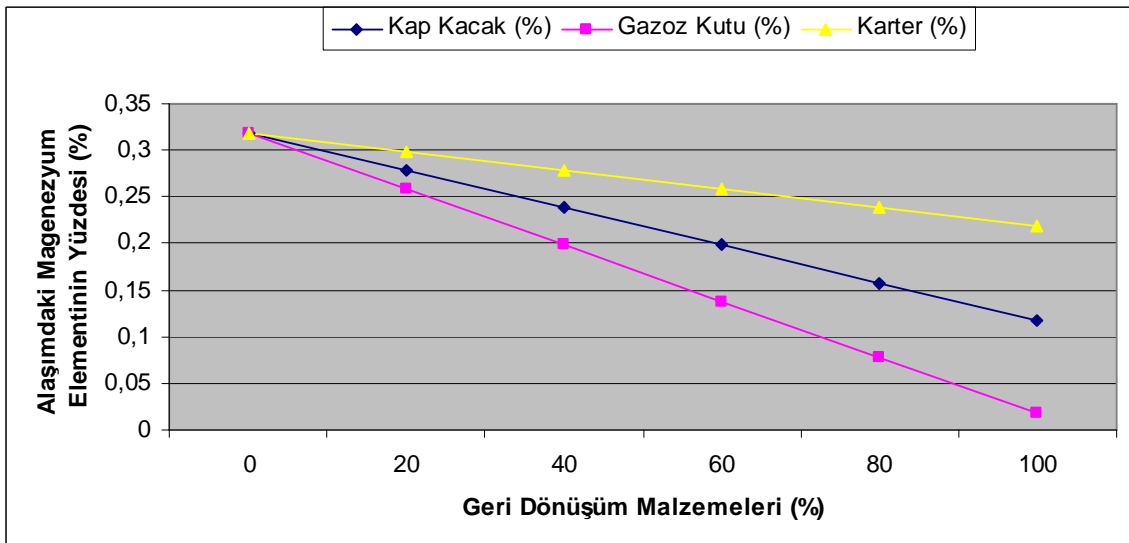
Şekil 5.5. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelерinin manganez oranına etkileri.

Manganez (Mn): En yüksek manganez oranı kap kacak grubundan oluşturulan alüminyum alaşımlarda, daha sonra gazoz kutularından üretilen alüminyumda ve en düşük karter grubundan oluşturulan alüminyum alaşımlarda hesaplanmıştır. Kap kacak ve gazoz kutularına, sertlik kazanması için mangan katıldığından, mangan oranının yüksek çıkması beklenen bir durumdur.



Şekil 5.6. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin zirkonyum oranına etkileri.

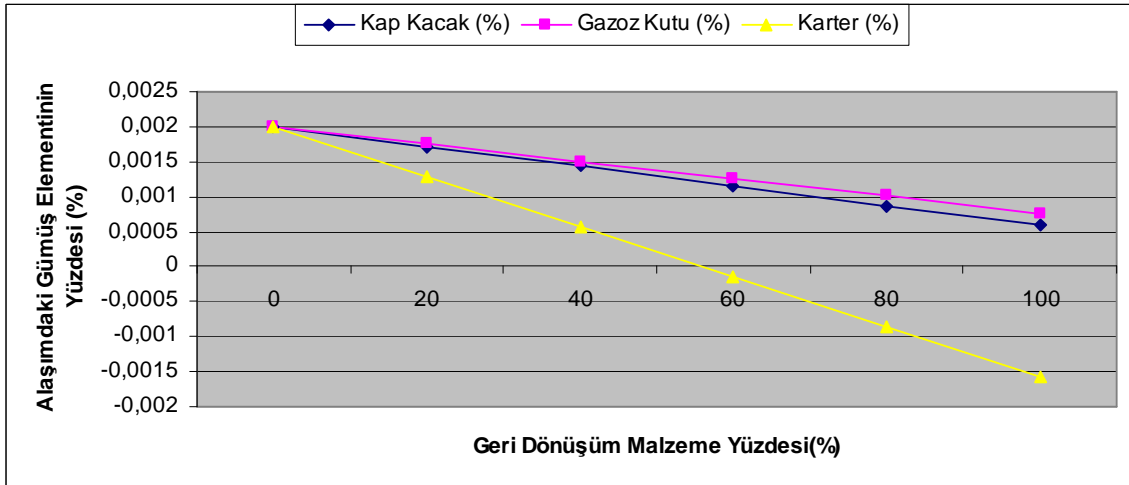
Zirkonyum (Zr): Zirkonyum tüm malzeme grupları için beklenildiği gibi çok düşük değerlerde çıkmıştır.



Şekil 5.7. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin magnezyum oranına etkileri.

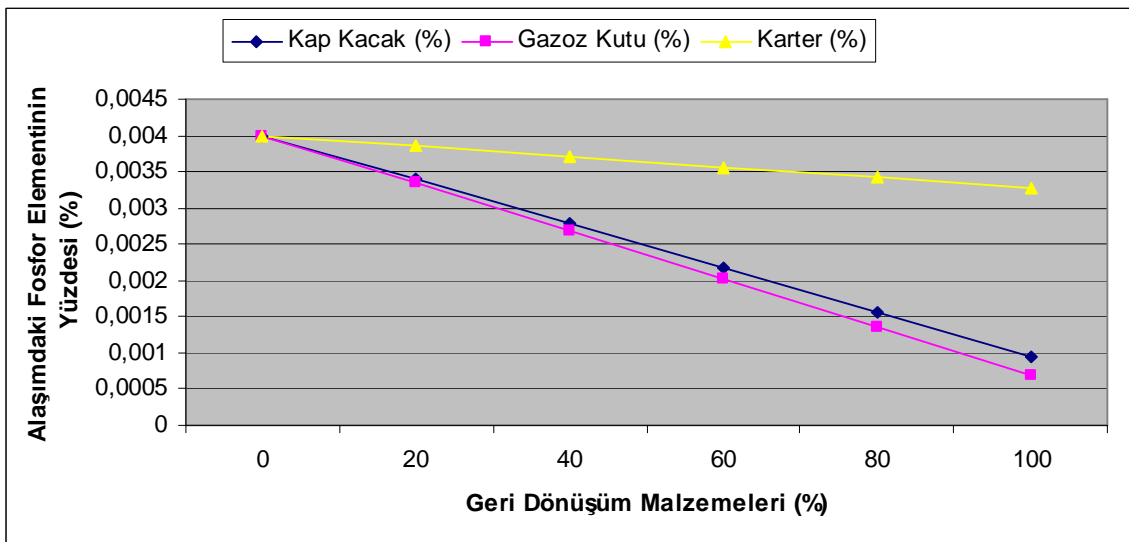
Magnezyum (Mg): Beklenen durum gazoz kutularında magnezyum oranının yüksek çıkmasıdır. Ancak geri dönüşüm prosesinde, gazoz kutularında demir miktarı az olduğu için, gazoz kutuları çok yüksek değerlere kadar ısıtılması, gazoz kutularının üzerindeki magnezyumun yanmasına sebep olmaktadır. Karterde ise demir miktarının fazla olması ve yüksek sıcaklıklarda alaşıma demir geçeceği için çok yüksek

sıcaklıklarda ısıtılmamaktadır. Bu da magnezyumun alaşımda kalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.8. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin gümüş oranına etkileri.

Gümüş (Ag): Kap kacak ve gazoz kutularında aynı seviyede görülen gümüş değeri karter için daha düşüktür. Karter ilave edilen ürünlerde, kap kaçak grubundan, içerisinde alüminyum oranı daha yüksek olan parçalar kullanıldığı için gümüş değerleri sıfırın altında çıkmış olabilir.



Şekil 5.9. Geri dönüşümde kullanılan kap kacak, gazoz kutusu ve karter yüzdelerinin fosfor oranına etkileri.

Fosfor (P): Tüm gruplar için fosfor değerleri çok düşüktür.

### 5.6. Bir Üretimin Hesap Edilen ile Karşılaştırılması

Regresyon analizi sonuçlarını herhangi bir gerçek verilerle kıyaslamak istenmiştir. Bu sebeple içinde üç grubun da girdi olarak bulunduğu bir üretim örnek olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.3. Şubat 2011 dönemine ait üretimden seçilen bir geri dönüşüm malzemeleri karışımı

	kilogram	yüzde
Si (kg)	1150	8,586575
Cu (kg)	53	0,395729
Kap kacak (kg)	7950	59,35937
Gazoz Kutu (kg)	3875	28,93302
Karter (kg)	365	2,725304

Regresyon Yöntemi ile elde edilecek alüminyum bileşenleri şu şekilde tahmin edilmektedir:

$$\text{Ag Yüzdesi} = 0.002 - 0.0000141 * 59.35937 - 0.0000123 * 28.93302 - 0.0000357 * 2,725304$$

$$\text{B Yüzdesi} = -0.002 + 0.0000485 * 59.35937 + 0.0000565 * 28.93302 + 0.0000255 * 2,725304$$

$$\text{Fe Yüzdesi} = -5.958 + 0.079 * 59.35937 + 0.084 * 28.93302 + 0.054 * 2,725304$$

$$\text{Cr Yüzdesi} = -0.213 + 0.003 * 59.35937 + 0.003 * 28.93302 + 0.002 * 2,725304$$

$$\text{P Yüzdesi} = 0.004 - 0.0000306 * 59.35937 - 0.0000331 * 28.93302 - 0.00000726 * 2,725304$$

$$\text{Zr Yüzdesi} = -0.006 + 0.000076 * 59.35937 + 0.0000748 * 28.93302 + 0.000059 * 2,725304$$

$$\text{Mg Yüzdesi} = 0.318 - 0.002 * 59.35937 - 0.003 * 28.93302 - 0.001 * 2,725304$$

$$\text{Mn Yüzdesi} = -0.051 + 0.005 * 59.35937 + 0.004 * 28.93302 + 0.002 * 2,725304$$

Çalışmada tahmin edilen bileşen değerleri ile gerçek değerler Çizelge 5.4.'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.4. Gerçek ve tahmin edilen üretim değerleri

	Tahmin Edilen Değer	Gerçek Değer	Hata
Gümüş (Ag)	0,00074	0,00055	0,00019
Bor (B)	0,00248	0,00250	-0,00002
Demir (Fe)	1,43500	1,37600	0,05900
Krom (Cr)	0,05733	0,03190	0,02543
Fosfor (P)	0,00127	0,00130	-0,00003
Zirkonyum (Zr)	0,00068	0,00120	-0,00052
Magnezyum (Mg)	0,11450	0,10770	0,00680
Mangenez (Mn)	0,35546	0,33620	0,01926

Çizelge 5.3.'de Ag, B, Fe, Cr, P, Zr, Mg ve Mn yüzdeleri, seçilen üretimde girdi olarak karter, kap kakak, gazoz kutuları, silisyum ve bakır değerleri kullanılarak regresyon analizi modeline göre hesaplanmış ve bu hesaplanan ölçümler, üretimde spektrometre tezgahından ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonucunda Çizelge 5.4.'de görüldüğü gibi en yüksek hata yüzde olarak kromda çıkmıştır. Bu hatalar aynı adla adlandırılan ve geri dönüşümde kullanılan malzemelerin içeriğinin değişken olmasından, ilave olarak geri dönüşümde kullanılan malzemelerin, elde edilen alüminyum bileşenleri için tek etken olmamasından kaynaklanmaktadır. Geri dönüşümde ısıtma süreleri, ulaşılan sıcaklıklar, kullanılan flaksların miktar ve bileşenleri gibi pek çok parametre geri dönüşüm sonucu elde edilen ürünün bileşenlerine etki etmektedir.

### 5.7. Alüminyum Bileşenlerinin Program ile Tahmini

3A Alüminyumları A.Ş 'e, müşteri talepleri doğrultusunda alüminyum alaşım bileşenleri elde edebilmelerini kolaylaştırmak amacı ile tahmin edilen regresyon modellerine dayalı olarak aşağıdaki program Visual Basic'de hazırlanmıştır.

Programda, üretimde kullanılacak kap kakak, gazoz kutuları ve karter ağırlıkları girilmekte ve program sonucunda girilen karışım sonucunda oluşacak demir, bor, krom, mangenez, nikel, zirkonyum, bizmut, magnezyum, kalay, fosfor ve çinko oranları regresyon yöntemi ile hesaplanarak çıktı olarak verilmektedir.

3A ALUMINYUM ALAŞIMLARI A.Ş. ÜRETİM TAHMİN PROGRAMI

KAP KACAK (kg):

GAZOZ KUTUSU (kg):

KARTER (kg):

SİLİSYUM (kg):

BAKIR (kg):

HESAPLAT

ÇIKIŞ

Ag(%)	B(%)	Fe(%)	Cr(%)	P(%)	Zr(%)	Mg(%)	Mn(%)
0.00068	0.00326	2.1961	0.087	0.00081	0.00154	0.06718	0.39818

Şekil 5.10. Tahmini değerlerin programla hesaplanması



## 6. SONUÇ

Alüminyum geri dönüşüm sürecinde, çıktı olan alüminyumun hem kalite değerlerine hem de bileşen değerlerine birçok parametre etki etmektedir. Geri dönüşüm sürecinde kullanılan malzemelerin cinsleri, proses öncesinde geri dönüşüm malzemelerine uygulanan hazırlık işlemleri, proses esnasında kullanılan flakslar, enerji sağlamak için kullanılan yakıtın cinsi, süreç esnasında ulaşılan sıcaklık ve sıcaklık değişim hızları, ocağın nemi, eriyiğin taşıma ve döküm hızları gibi pek çok parametre, alüminyumun kalite ve bileşenlerine etki etmektedir.

Geri dönüşüm prosesi sonucunda üretilen alüminyumun bileşenlerine etki eden en önemli unsur, geri dönüşümde kullanılan malzemelerin çeşitleridir. 3A Alüminyumları A.Ş.'de, girdi olan geri dönüşüm malzemeleri ana olarak, kap kakak, gazoz kutuları ve beyaz eşya ile otomotiv parçalarını temsil eden karter olarak üç temel gruba ayrılmış ve üretime verilen malzemelerin bu şekilde üç grup olarak kaydı tutulmuştur. Yine her üretim sonucunda alınan bir numunenin ölçüm makinesi ile bileşenleri ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. Alüminyum içerisindeki her element, alaşıma farklı bir avantaj veya dezavantaj sağladığından, alüminyumun kullanılacağı yere göre farklı bileşenlere sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple, alüminyum geri dönüşüm tesisinden alüminyum satın almak isteyen her müşteri kendi spesifiklerini talep etmektedir. Bu spesifikler içinde satın almak istedikleri alüminyumun içinde bulunması gereken element yüzdelerinin hangi aralıklarda olması gerektiği ya da bazı elementlerde kabul edebilecekleri maksimum yüzdenin kaç olabileceği gibi bilgiler yer almaktadır. Geri dönüşüm tesisinin yapması gereken bu spesifiklere en uygun şekilde, kaliteden taviz vermeden en düşük malzeme, işçilik ve enerji gibi genel gider maliyetleri ile bu üretimi gerçekleştirmektir. Bu sebeple, geri dönüşümcü firmaya, gruptaki malzemelerden ne kadar kullanılırsa, çıkan alüminyum bileşenlerinin ne olacağını üretim öncesi görmelerini sağlayacak bir sistem geliştirmeye çalışılmıştır. Böylece hem yöneticiler, üretim için stoklarda bulunan malzemelerden seçim yaparken ekonomik olarak hangi malzemeleri kullanabileceklerine daha rahat karar verebilecekler, hem de üretim esnasında defalarca uygulanan numune olarak fırındaki eriyiğe ekstra ilaveler atarak istenen müşteri bileşenlerine ulaşma çalışmaları azaltılmış olacaktır. Bu amaçla, üretime atılan malzeme kayıtları ile üretim sonucunda elde edilen malzeme bileşen kayıtları birleştirilmiştir. Birleştirilme esnasında, kg olarak girilen kayıtlar, hesaplarda anlamlı olabilmesi için yüzdeliğe çevrilmiştir.

Ayrıca bazı üretimlere saf silisyum, bakır gibi elementler eklendiğinden, doğru orantı ile elementlerin yüzdeleri değiştirilmiştir.

Geri dönüşüm prosesi sonucunda üretilen alüminyumun içeriğindeki Ag, B, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Sr, Ti, Zn ve Zr element miktarlarının, kap kacak, gazoz kutuları ve karterden oluşan üç çeşit grubun kullanım oranlarına bağlı olarak değişip değişmediği incelenmiştir. Çalışmada istatistiksel olarak regresyon analizi uygulanmış ve regresyon analizinin sonucunda, Ca, Cd, Na, Sn, Pb değerlerinin proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağımlı olarak değişmediği, diğer yandan Ag, B, Co, Fe, V, Cr, P, Zr, Sr, Bi, Mg, Mn, Ti, Zn değerlerinin, proseste girdi olarak kullanılan kap kacak, karter ve gazoz kapakları kullanım oranlarına bağlı olarak değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Üretime girdi olarak katılan malzemelerin, üretim sonucunda elde edilen alüminyum ürünündeki bileşenlere ne şekilde etki ettiğini gözlemlemek için, girdilere bağımlı olduğu tespit edilen elementlerin, regresyon analizi sonucunda çıkan katsayı oranlarına ve bunların model için istatistiksel anlamlı olup olmadığına bakılmıştır. Modelde anlamlı olduğu görülen verilerin katsayıları kullanılarak Ag, B, Fe, Cr, P, Zr, Mg, Mn elementleri için eşitlikler oluşturulmuştur. Böylece üretimde kullanılan malzeme gruplarının oranlarına göre üretilecek alüminyumdaki bu elementlerin oranları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bazı elementlerin modellerinde, karter grubunun modele katkı sağlamadığı görülmektedir. Buna rağmen, üretimlerde genel olarak karterin hiç kullanılmaması ve karter kullanılan üretimlere eklenen karter grubu oranının düşük olması sebebi ile model olduğu gibi kabul edilmiştir. Bu anlamsızlık, çok farklı malzemelerin karter olarak adlandırılmasından ve genel olarak karter kullanılan üretimlerde kap kaçak grubunun da daha özenle seçilip kullanılıyor olmasından kaynaklanabilmektedir.

Geri dönüşüm tesisinde, müşteri spesifiklerine göre alüminyum üretilmesine yardımcı olmak için, kullanılan malzeme gruplarına göre üretilecek alüminyumun Ag, B, Fe, Cr, P, Zr, Mg, Mn elementlerini tahmin ederek hesaplayacak program oluşturulmuştur.

Çalışmada gözlenen bir başka sonuç da, süreç esnasında, geri dönüşüm prosesine atılan malzeme gruplarına göre farklı metodların uygulanması ve bunun neticesinde bazı elementlerin miktarının gruplara göre artması veya azalmasıdır. Örneğin gazoz

kutularında mangan içeriği yüksek olmasına rağmen, gazoz kutularının diğer malzeme gruplarına göre daha yüksek sıcaklıklara ısıtılarak konvertör ocaklarına transferinin yapılması, gazoz kutularındaki manganın yanarak yok olmasına ve gazoz kutularından elde edilen alüminyum alaşımlarda mangan miktarının dşuk olmasına sebep olmaktadır.

Gelecekte, alüminyum geri dönüşüm prosesinde daha isabetli tahminler yapılabilmesi için, geri dönüşüm tesisi tarafından üretim prosesine girdi olarak kullanılan alüminyum malzemeler daha alt gruplara ayrılarak kayıtları tutulabilir. Ayrıca sıcaklık, flakslar gibi farklı parametrelerin de sürece etkilerini değerlendirmek için kayıtları tutulabilir ve regreyon analizinde bağımsız değerşken olarak kullanılabilir. Daha kapsamlı bir çalışma yapılarak, her tahmin programı çalıştırıldığında geçmişte tutulan kayıtların program tarafından otomatik bir şekilde regresyon analizine tabi tutulup değerlendirilmesi ve bir nevi tecrübeden faydalanan yapay zeka programının yapılabilmesi mümkündür. Ayrıca geri dönüşüm prosesine katılacak stok bilgileri, bu stokların satın alma fiyatları, müşteri spesifik bilgileri gibi pek çok parametrenin hazırlanacak olan yeni programa dahil edilmesiyle daha etkin bir şekilde çalışma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Alan, S., “Alüminyum Raporu”, [http://www.demirbirlik.org/content/docs/aluminyum\\_rapor.pdf](http://www.demirbirlik.org/content/docs/aluminyum_rapor.pdf), 2008.
- Altunışık R., Coşkun R., Bayraktaroğlu S. ve Yıldırım E., “Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı”, Sakarya Yayıncılık, Sakarya, 231, ( 2010).
- Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu, “Alüminyum Çalışma Grubu Raporu”, TC Başbakanlık Devlet *Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı*, Yayın No:DPT 2406-ÖİK:467, 1995.
- Ankara Alüminyum Sanayicileri Derneği, “Alüminyum Tarihçesi, Gelişimi, Mevcut Durumu ve Hedefleri”, <http://ankaraasad.org.tr/2011/06/1-turkiye-aluminyum-sempozyumu-13-mayis-2003/9/>, 2003.
- Ankara Demir ve Demirdışı Metaller İhracatçıları Birliği, “Dünya ve Türkiye’de Alüminyum Ticareti Raporu”, <http://www.demirbirlik.org/tr/dunya-ve-turkiyede-aluminyum-ticareti-raporu> , 2011.
- Apelian, D., “Aluminum Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance”, *North American Die Casting Association, Wheeling, Illinois*, 2009.
- Avcı, A.U., “Metallerin Sürekli Dökümü”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Sayı:278, 38, 1993.
- Brommer, T., Olivetti, E. ve Kirchain, R., “Improving Aluminium Recycling Through Investigations of Thermodynamic Effects in Remelting”, *2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems & Technology (ISSST)*, Arlington, (2010).
- Cui, J. ve Roven, H.J., “Recycling of Automotive Aluminium”, *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*,20(2010) 2057-2063, 2010.
- Çakmak, H. F., “Eritilmiş Alüminyumun Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Nitelik Denetimi”, *III. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi*, Seydişehir, 215-237, (1984).
- Çolak, M., Kayıkçı, R., “Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme”, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 11-17 (2009).
- Demircioğlu, P., “Alüminyum Alaşımların Dökümünde Gaz Oluşumu ve Gaz Giderme Tekniklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği*, İstanbul, 2002.

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Edwards, C., “Aluminium Furniture, 1886-1986; The Changing Applications and Reception of a Modern Material”, *Journal of Design History*, 14 (3), 207, 2001.
- Eker Akdoğan, A., “Alüminyum ve Alaşımları”,  
[http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum\\_ve\\_Aluminyum\\_Alasimlari.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf), 2008.
- ESÇEM Enerji Sistemleri ve Çevre Etüt Merkezi San Tic Ltd Şti, “3A Alüminyum Alaşımları A.Ş. Adapazarı Fabrikası Emisyon Ölçüm Raporu”, Rapor No: ESC-CEV-11/28-157, 2011.
- Fidaner, S., Çelik, S., Doğmuş, H., Süzen C. ve Duran, A. D., “Orta Dereceli Endüstriyel Teknik Öğretim Okulları Genel Dökümcülük Bilgisi Temel Ders Kitabı”, Cilt:3, *Milli Eğitim Basımevi*, 93-111, 1981.
- Han, A., “Alüminyum Parça Dökümcülüğü Türkiye’deki Durumu, Üretim ve Tüketim Sorunları”, II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, Seydişehir, 195-213, (1984).
- Kamavaram, V., Mantha, D. Ve Reddy, R.G., “Recycling of aluminum metal matrix composite using ionic liquids: Effect of process variables on current efficiency and deposit characteristics”, *Electrochimica Acta*, 50 (2005), 3286-3295, 2005.
- Kocabıçak, G., “Malzeme seçiminde bilgi tabanlı sistemler ve alüminyum döküm alaşımlarına uygulanması” , Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 1996.
- Kılıçlar Geri Kazanım Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Alüminyum Üretim Cürufu ve Alüminyum Ambalaj Atığı Geri Kazanım Tesisi ÇED Raporu”,  
[http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/inceleme\\_degerlendirme\\_sureci/183\\_ids.pdf](http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/inceleme_degerlendirme_sureci/183_ids.pdf), 2010.
- Kohei, A.R., Gethin, D.T. ve Masters, I., “Design Optimisation of Aluminium Recycling Process Using the Taguchi Approach”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 127, Issue 1, 96-106, 2002.
- London Metal Exchange, (<http://www.forumaden.com/forum/aluminyum/aluminyum-genel-bilgi/>), 2005.
- MEGEP, “Alüminyum Alaşımları”, Ankara,  
[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/modul\\_pdf/521MMI066.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/521MMI066.pdf), 2007.

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Meriç, C., Tokdemir, M. ve Köksal, N., “Alüminyumun hurdadan geri kazanılması”, *Makine İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, 88-98, 1999.
- Meriç, L., “Development of The Low Pressure Die Casting Technique for Aluminum Alloys”, Yüksek Lisans Tezi, *Middle East Technical University Metallurgical Engineering*, Ankara, 1976.
- MMP Ön Raporu, Ek 2 F  
[http://www.tubitak.gov.tr/tubitak\\_content\\_files/vizyon2023/mm/Ek2f.pdf](http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2f.pdf), erişim 04.09.2011
- Muter, Ş., “Alüminyumun Yeniden Değerlendirilmesi”, *III. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi*, Seydişehir, 209-308, (1984).
- Özcömert, M., “Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum”, İstanbul Ticaret Odası, Aralık, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-68.pdf>, 2006.
- Öztürk M., “Alüminyumun Geri Kazanılması”,  
<http://www.belgeler.com/blg/1jsd/aluminyum-geri-kazanilmasi>, 2003
- Öztürk, S. V., “3A Alüminyum Alaşımları Anonim Şirketinde Toplam Kalite Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, 1998
- Puga, H., Barbosa, J., Soares, D., Silva, D. Ve Riberio, S., “Recycling of Aluminium Swarf by Direct Incorporation In Aluminium Melts”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 209 (2009), 5195-5203, 2009
- Sipahi, B., Yurtkoru, E.S. ve Çinko, M., “Sosyal Bilimlerde SPSS’le Veri Analizi”, *Beta*, 2008
- Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş.  
<http://www.kokildöküm.com/kokil-dokum/aluminyum-dokum-kalitesini-etkileyen-faktorler/>, 2011
- Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş.  
<http://www.kokildöküm.com/kokil-dokum/dokum-urunleri/>, 2011
- TALSAD, 1971 Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği,  
<http://www.talsad.org.tr/SektorelVeriler.asp?m=5>, 2011
- Temürtürkan, Y., Kabukçu, K.S., “I. Alüminyumun Sektördeki Yeri ve Önemi”, *II Alüminyum Sempozyumu*, Seydişehir, 57, (2003)


**KAYNAKLAR (devam ediyor)**

- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, “Alüminyum Raporu”,  
<http://www.ostar.com.tr/rapor.pdf> , 2003
- TOBB (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği) Kapasite Raporu, Rapor No:278, 2009
- Totten, G. E. ve Mackenzia, D. S., “Handbook of Aluminum”, Volume 1: Physical Metallurgy and Processes, *CRC Pres*, 591, 2003
- Whiteley, P., “A Historical Review of The Developments in Cast House Technology and a Peek into the Future”, *Aluminium Cast House Technology XI*, Editör: Taylor, J.A, Grandfield, J.F. ve Prasad, A., 3-8, 2009
- Varley, P.C., “The Technology of Aluminium and Its Alloys”, *London Newness-Butterworths*, 9-14, 1970
- Yağcıgil, H., “Alüminyum Mamulleri Sanayi”, *Türkiye İş Bankası A.Ş. Genel Müdürlük*, İktisadi Araştırma ve Planlama Müdürlüğü, 1997
- Yılmaz, F. ve Şen, U. “Alaşımın Yapı ve Özellikler”, *TC Sakarya Üniversitesi Yayınları 18*, 54-77, Adapazarı, (1996)

## EKLER

## Ek 1. Müşteri Alüminyum Spesifikasyon Talebine Bir Örnek

00-ALU-2010 16-19 FROM ERDENTR ID 021KTSB035 P.34/46

	<b>ALAŞIM ELEMANLARI SPEŞİFİKASYONU</b> <b>ALUMİNYUM</b>	Doküman No	YON.SPE.00057
		Revizyon No	4
		Yürürlük Tarihi	27.06.2010
		Sayfa No	1 / 3

**A) Kullanım Amacı**

Çelik üretim sürecinde deoksiasyon, alaşımlama ve kimyasal ısıtma amaçlı olarak kullanılacaktır.

**B) Spesifikasyon ve Red / Ceza Limitleri**

Malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri spesifikasyon limitlerine uygun olacaktır. Spesifikasyon limiti ile red limiti arasında malzeme kabulü yapılması durumunda malzemenin fab değeri üzerinden ceza uygulanması yapılır. Red limitinin üzerinde ise malzeme kabulü yapılmaz.

**1) Kimyasal Özellikler (Granüle, Külçe ve Biriket Alüminyum için)**

Element*	Alt Red Limiti	Spesifikasyon		Üst Red Limiti	Birim Sapma (%)	Birim Ceza Oranı (%)	Ceza Oranı** (%)	Max. Ceza Oranı (%)
		Min.	Max.					
Al	93,0	95,0	—	—	0,1	1,0	**	20,0
Cu	—	—	1,00	1,50	0,1	1,0	**	5,0
Zn	—	—	0,80	1,00	0,1	1,0	**	2,0
Mg	—	—	0,30	0,50	0,1	1,0	**	2,0
Si	—	—	1,00	1,50	0,1	1,0	**	5,0

\*Alüminyum hariçindeki elementlerin toplamı % 5'i geçmemelidir.

\*\*Spesifikasyon limitleri dışında malzeme kabulü durumunda uygulanacak ceza oranı:

"Ceza Oranı = [Sapma Miktar (%)] / [Birim Sapma (%)] x Birim Ceza Oranı (%)" formülü ile hesaplanır.

Sapma Miktar (%) : Spesifikasyon limitinin dışında kalan miktar

Birim Sapma (%) : Spesifikasyon limitinin dışında kalan ceza uygulanması yapılacak en küçük birim

Birim Ceza Oranı (%) : Her birim sapma oranı için malzemenin fab değeri üzerinden uygulanacak ceza oranı

Ceza Oranı (%) : Sapma miktarına göre malzemenin fab değeri üzerinden uygulanacak ceza (Örneğin; ceza oranı %2 ise fab değerinin %2'si kadar ceza uygulanacaktır.)

Max. Ceza Oranı (%) : Red limitinde uygulanabilecek en yüksek ceza oranı

**KONTROLSÜZ DOKÜMAN**



Ek 2. 3A Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Bileşimlerinden Bazıları(%)

3A ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI A.Ş.	ALAŞIMLARIN KİMYASAL BİLEŞİMLERİ (% AĞIRLIK)													Tipe	Özellikler
	Si	Fe	Mn	Mg	Ni	Zn	Al	Ti	Cu	Co	Mo	Cr	Diğer		
3A-20	10-13	0,001	0,04	0,01	-	0,30	0,1	0,15	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-21	11-15	1	0,243	0,10	0,3	0,1	0,1	0,15	0,2	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-21P	11-13	1	0,252	0,10	0,3	1,1	0,3	0,15	0,2	0,1	0,05	0,05	0,05	0,15	
3A-22	0-1	0,3	0,261	0,2-0,3	0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	-	-	-	0,05	0,15	
3A-23	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	-	0,20	0,1	0,15	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-24	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	0,1	1	1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-25	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	0,1	0,2	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-26	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	0,1	0,2	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-26P	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	0,1	1,1	1,0	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-40	0-1	0,01	0,04	0,2-0,3	0,1	0,2	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-35	1-2	0,01	0,04	0,2-0,3	-	0,3	0,1	0,15	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-42	0,1	0,01	0,04	1,5-3,5	-	0,3	0,1	0,15	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-55	0,5-1,5	0,01	0,04	0,2-0,4	-	0,15	0,07	0,11	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-56	0,1	0,01	0,04	-	-	0,15	0,07	0,11	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-57	0,01	0,01	0,04	0,2-0,3	-	1	1	0,15	-	-	-	-	0,05	0,15	
3A-58	11-13	1,0-1,5	0,1	0,2	0,1	1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-61	0,01	1,0-1,5	0,1	0,2-0,3	0,3	0,5	0,3	0,11	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	
3A-62	0,01	0,1-0,3	0,30	0,3	0,1	1	1	0,1	0,10	0,20	0,05	0,05	0,05	0,15	

### Ek 3. Regresyon Analizleri

#### Bağımlı Değişken: Ag

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,002	0,001	3,522	0,001
KapKacak	-0,0000141	0,000	-2,477	0,015
GazozKutu	-0,0000123	0,000	-2,132	0,035
Karter	-0,0000357	0,000	-2,669	0,009

R<sup>2</sup> 0,075  
 F istatistiği 2,59  
 P değeri 0,049

#### Bağımlı Değişken: B

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	-0,002	0,001	-3,179	0,002
KapKacak	0,0000485	0,000	7,839	0,000
GazozKutu	0,0000565	0,000	8,980	0,000
Karter	0,0000255	0,000	1,756	0,082

R<sup>2</sup> 0,516  
 F istatistiği 32,280  
 P değeri 0,000

#### Bağımlı Değişken: Bi

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,004	0,001	3,488	0,001
KapKacak	-0,00000298	0,000	-0,278	0,782
GazozKutu	0,00000601	0,000	0,522	0,582
Karter	-0,00002216	0,000	-0,880	0,381

R<sup>2</sup> 0,087  
 F istatistiği 3,981  
 P değeri 0,005

#### Bağımlı Değişken: Ca

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,003	0,004	0,808	0,420
KapKacak	-0,000012	0,000	-0,324	0,747
GazozKutu	-0,0000051	0,000	-0,139	0,889
Karter	0,000014	0,000	0,172	0,864

R<sup>2</sup> 0,010

F istatistiği 0,293  
P değeri 0,882

**Bağımlı Değişken: Cd**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,003	0,001	2,863	0,005
KapKacak	-0,0000143	0,000	-1,197	0,234
GazozKutu	-0,0000169	0,000	-0,961	0,339
Karter	0,0000376	0,000	-1,339	0,183

R<sup>2</sup> 0,024  
F istatistiği 0,755  
P değeri 0,557

**Bağımlı Değişken: Cr**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	-0,213	0,049	-4,384	0,000
KapKacak	0,003	0,001	5,254	0,000
GazozKutu	0,003	0,001	5,978	0,000
Karter	0,002	0,001	1,505	0,135

R<sup>2</sup> 0,325  
F istatistiği 14,575  
P değeri 0,000

**Bağımlı Değişken: Fe**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	-5,958	0,447	-13,329	0,000
KapKacak	0,079	0,005	17,180	0,000
GazozKutu	0,084	0,005	17,918	0,000
Karter	0,054	0,011	5,016	0,000

R<sup>2</sup> 0,783  
F istatistiği 109,067  
P değeri 0,000

**Bağımlı Değişken: Mg**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,318	0,124	2,568	0,011
KapKacak	-0,002	0,001	-1,784	0,077
GazozKutu	-0,003	0,001	-2,266	0,025
Karter	-0,001	0,003	-0,459	0,647

R<sup>2</sup> 0,111  
 F istatistiği 3,769  
 P değeri 0,006

**Bağımlı Değişken: Mn**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	-0,051	0,235	-0,216	0,829
KapKacak	0,005	0,002	1,962	0,052
GazozKutu	0,004	0,002	1,679	0,096
Karter	0,002	0,006	0,415	0,679

R<sup>2</sup> 0,244  
 F istatistiği 9,754  
 P değeri 0,000

**Bağımlı Değişken: Na**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,005	0,003	-1,922	0,057
KapKacak	-0,000060	0,000	2,224	0,028
GazozKutu	-0,000066	0,000	2,388	0,018
Karter	0,000037	0,000	0,530	0,597

R<sup>2</sup> 0,070  
 F istatistiği 2,276  
 P değeri 0,065

**Bağımlı Değişken: P**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,004	0,001	6,788	0,000
KapKacak	-0,0000306	0,002	-4,830	0,000
GazozKutu	-0,0000331	0,002	-5,150	0,000
Karter	-0,00000726	0,006	- 0,489	0,626

R<sup>2</sup> 0,282  
 F istatistiği 11,869  
 P değeri 0,000

**Bağımlı Değişken: Pb**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
--	---------	---------------	---------------	---

C	0,022	0,045	0,485	0,628
KapKacak	-0,000	0,000	0,567	0,572
GazozKutu	-0,000	0,000	0,922	0,359
Karter	0,000	0,001	-0,212	0,832

R<sup>2</sup> 0,031  
 F istatistiği 0,983  
 P değeri 0,420

**Bağımlı Değişken: Sn**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,013	0,007	2,049	0,043
KapKacak	0,0000042	0,000	0,063	0,950
GazozKutu	0,0000043	0,000	0,627	0,532
Karter	0,000	0,000	-1,052	0,295

R<sup>2</sup> 0,070  
 F istatistiği 2,283  
 P değeri 0,064

**Bağımlı Değişken: Zn**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	0,472	0,209	2,263	0,025
KapKacak	0,000	0,002	-0,183	0,855
GazozKutu	0,001	0,002	0,688	0,493
Karter	0,003	0,005	0,651	0,516

R<sup>2</sup> 0,131  
 F istatistiği 4,573  
 P değeri 0,002

**Bağımlı Değişken: Zr**

	Katsayı	Standart Hata	t istatistiği	p
C	-0,006	0,002	-3,444	0,001
KapKacak	0,000076	0,000	4,554	0,000
GazozKutu	0,0000748	0,000	4,417	0,000
Karter	0,000059	0,000	1,508	0,134

R<sup>2</sup> 0,475  
 F istatistiği 27,332  
 P değeri 0,000

Ek. 4. Periyodik Cetvel

### The Periodic Table of the Elements

1	2																																
<b>H</b> Hydrogen 1.00794	<b>He</b> Helium 4.003																																
3	4																																
<b>Li</b> Lithium 6.941	<b>Be</b> Beryllium 9.012182																																
11	12																																
<b>Na</b> Sodium 22.989769	<b>Mg</b> Magnesium 24.30509																																
19	20																																
<b>K</b> Potassium 39.0983	<b>Ca</b> Calcium 40.078																																
37	38																																
<b>Rb</b> Rubidium 85.4678	<b>Sr</b> Strontium 87.62																																
55	56																																
<b>Cs</b> Cesium 132.90545	<b>Ba</b> Barium 137.327																																
87	88																																
<b>Fr</b> Francium [223]	<b>Ra</b> Radium [226]																																
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																								
<b>Sc</b> Scandium 44.955910	<b>Ti</b> Titanium 47.867	<b>V</b> Vanadium 50.9415	<b>Cr</b> Chromium 51.9961	<b>Mn</b> Manganese 54.938045	<b>Fe</b> Iron 55.845	<b>Co</b> Cobalt 58.933200	<b>Ni</b> Nickel 58.6934	<b>Cu</b> Copper 63.546	<b>Zn</b> Zinc 65.39																								
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48																								
<b>Y</b> Yttrium 88.90585	<b>Zr</b> Zirconium 91.224	<b>Nb</b> Niobium 92.90638	<b>Mo</b> Molybdenum 95.94	<b>Tc</b> Technetium [98]	<b>Ru</b> Ruthenium 101.07	<b>Rh</b> Rhodium 102.90550	<b>Pd</b> Palladium 106.42	<b>Ag</b> Silver 107.8682	<b>Cd</b> Cadmium 112.411																								
57	72	73	74	75	76	77	78	79	80																								
<b>La</b> Lanthanum 138.9055	<b>Hf</b> Hafnium 178.49	<b>Ta</b> Tantalum 180.9479	<b>W</b> Tungsten 183.84	<b>Re</b> Rhenium 186.207	<b>Os</b> Osmium 190.23	<b>Ir</b> Iridium 192.217	<b>Pt</b> Platinum 195.078	<b>Au</b> Gold 196.96655	<b>Hg</b> Mercury 200.59																								
89	104	105	106	107	108	109	110	111	112																								
<b>Ac</b> Actinium [227]	<b>Rf</b> Rutherfordium [261]	<b>Db</b> Dubnium [262]	<b>Sg</b> Seaborgium [263]	<b>Bh</b> Bohrium [264]	<b>Hs</b> Hassium [265]	<b>Mt</b> Meitnerium [266]	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>																								
69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																
<b>Tm</b> Thulium 168.93421	<b>Yb</b> Ytterbium 173.04	<b>Lu</b> Lutetium 174.967	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>																
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112																						
<b>Md</b> Mendelevium [258]	<b>No</b> Nobelium [259]	<b>Lr</b> Lawrencium [260]	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>109</b>	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>																						
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112																						
<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>109</b>	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>																						

### **Ek 5. Özgeçmiş**

1978 yılında Sakarya'da doğdu. İlköğrenimini Sakarya'da tamamladı. Liseyi Ankara Fen Lisesinde okudu. 2000 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.

2000-2007 tarihleri arasında Koç Holding Bünyesinde faaliyet gösteren Iveco-Otoyol San. A.Ş.'de üretim mühendisliğinde ve 2007-2009 tarihleri arasında Yazaki'de ürün mühendisliğinde çalıştı. Mart 2009 tarihinden itibaren Bilecik Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Otomotiv Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

Çağla EDİZ