

# İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİMİNE GENEL BİR BAKIŞ

■ Erman CAR Metalurji Mühendisi

## ÖZET

Alüminyum metalinin kullanım alanlarının çeşitlenmesi ve buna bağlı olarak talebin artışı, hammadde ve enerji kaynaklarının tükenebilirliğinin farkına varılması, enerji tüketimi yoğun olan birincil alüminyum üretim fabrikalarının Amerika ve Avrupa'da kapanarak, yeni yatırımların enerji kaynaklarının yoğun olduğu Orta Doğu'da yoğunlaşmaya başlaması, fosil yakıt kaynaklı çevresel sorunlar ve bunun en büyük ve somut sonucu olan "küresel ısınma tehdidi", ikincil alüminyum üretiminin önemini ve toplam üretim içindeki payını günden güne arttırmaktadır. Bu çalışma ikincil alüminyum üretim literatüründe kullanılan temel kavramların anlaşılması ve aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma kavramı ışığında ekonomik, sosyal ve çevresel önemini yeniden vurgulamaya çalışmaktadır.

## 1. ALÜMİNYUM METALİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Alüminyum ve alaşımları aşağı yukarı bütün sektör ve endüstrilerde kullanım alanı bulan bir malzemedir. Doğal olarak her uygulama farklı özellikler gerektirir ve bu nedenle çok farklı alaşım ve fiziksel yapıda alüminyum malzemeler ile karşılaşmak mümkündür. Dolayısıyla çok fazla farklılık ve çeşitlilikte alüminyum hurda, ikincil endüstrinin hammaddesi olarak sisteme dahil olur ve bu çeşitlilik ve farklılıklar "hurda hazırlama", "ergitme" ve "metal rafinasyonu" işlemlerinin de karmaşıklaşmasına yol açar.

Alüminyum, esnek, çok yönlü ve yeniden değerlendirilebilme yeteneğinden ötürü enerji tüketen değil enerji depolayan bir metaldir. Bu özellikleri işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği ile kombine edildiğinde bugün ve gelecek için bir çok ürünün alüminyum metalinden ve alüminyum alaşımlarından üretilmesi mümkündür.



Bununla birlikte çevre açısından bakıldığında hafifliği nedeni ile başta taşımacılık olmak üzere bir çok endüstriyel uygulamada enerji tüketiminin azalmasına yol açar. Bu özellik mühendislik açısından çok büyük önem taşır.

Alüminyum, mühendisler kadar tasarımcıların da gözdesi olan bir metaldir. Bununla birlikte düzgün, estetik ve zarif görünüşü ile cep telefonları ve bilgisayarlar da dahil olmak üzere bir çok ürün için aranan bir malzeme olmasını sağlar.



**Hafiflik**, demirin özgül ağırlığı 7.87 gr/cm<sup>3</sup>, bakırın özgül ağırlığı 8.93 gr/cm<sup>3</sup> ve çinkonun özgül ağırlığı 7.14 gr/cm<sup>3</sup> iken alüminyumun özgül ağırlığı 2.69 gr/cm<sup>3</sup>'dür. Bu özelliği ile öncelikle motorlu taşıt endüstrisinde, günden güne önem kazanmaktadır. Hafif malzemeden üretilmiş taşıt araçları, düşük kütlede dolayı daha az enerji tüketirler ve daha yüksek manevra yeteneğine sahiptirler. Öte yandan hafiflik, daha az yakıt tüketimi nedeni ile daha az CO<sub>2</sub> salınımını da beraberinde getirir. Dünya atmosferine sera gazı salınımının % 19'u taşımacılık endüstrisi kaynaklıdır.



Taşıtlara eklenen her bir ton alüminyum, taşıtın kullanım süresi boyunca ortalama 20 ton daha az CO<sub>2</sub> salmasına neden olur.

Alüminyum alaşımları uzay, uçak ve gemicilik sanayileri için de vazgeçilmez malzemelerdir. Bununla beraber, düşük montaj ve bakım maliyeti ve yüksek atmosferik korozyon direnci ile beraber hafifliği, inşaat sektöründe alüminyumu çok cazip bir malzeme yapmaktadır.



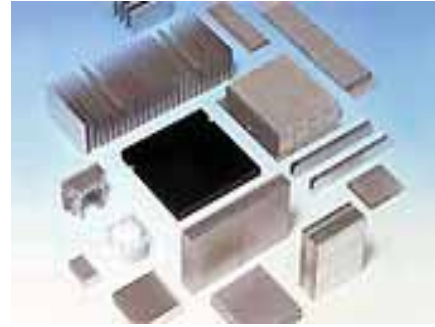
**Mekanik dayanım**, alaşımlandırılarak değişik mekanik dayanım değerlerine ulaşmak olanaklıdır. Böylece otomotiv sanayinden uzay sanayine kadar çok değişik sektörlerde çok değişik ihtiyaçlara cevap verebilecek

alüminyum malzemeler üretmek mümkündür. Yüksek dayanım özelliğini düşük sıcaklıklarda bile koruyabilir.

**Dayanım/ağırlık oranı**, yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olması, başta uzay ve uçak endüstrisi olmak üzere bir çok endüstri kolunda tercih edilmesine neden olur.

**Korozyon dayanımı**, yüzeyinde oluşan doğal oksit filmi nedeni ile korozyon dayanımı yüksektir. Bu nedenle alüminyum ve alaşımları inşaat, gemicilik ve kimya sanayi için çok önemli malzemelerdir. Bu düşük bakım maliyeti ve uzun malzeme ömrü anlamına gelir.

**Isıl iletkenlik**, maliyet ve ağırlık değerleri ile birlikte ele alındığında diğer metallerden daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahiptir.



**Elektriksel iletkenlik**, elektriksel iletkenlik değeri aynı miktardaki bakırın % 63'ü kadardır. Yüksek iletim yeteneği nedeni ile elektrik mühendisliği uygulamalarında alüminyum malzemeler geniş yer tutar.

**Yüksek elastisite**, elastik bir malzemedir ve şokları söndürme yeteneği vardır.

**Yansıtıcılık**, ışık, radyo dalgaları ve kızılötesi ışınımına karşın koruyucu olarak kullanılabilir.



**Kıvılcımsızlık**, kıvılcım oluşturmadığı için yakıcı atmosfer ve patlayıcı maddelerle güven içinde kullanılabilir.

**Estetik görünüm**, doğal rengi ve parlaklığının yanısıra çeşitli yüzey işlemleri uygulanarak değişik renk ve görünümde malzemeler elde edilebilir.

**Döküm ve plastik şekil alabilme kolaylığı**, çeşitli döküm yöntemleri ile karmaşık parçalar bile kolaylıkla dökülebilir. Bununla beraber tüp, levha, profil ve karmaşık kesitli bir çok malzeme alüminyumdan üretilir. En tipik örnek, çok ince alüminyum levhadan üretilen içecek kutularıdır.

**Yapıştırma ve kaynak edilebilme kolaylığı**, bütün kaynak ve yapıştırma teknikleri, alüminyumdan üretilmiş ürünlere uygulanabilir.

**Çok iyi optik özellikler**, ısı ve ışık dahil olmak üzere elektro-manyetik ışınlar karşı yansıtıcılığı sayesinde bu ışınları düşük oranlarda absorbe eder.

**Kolay işlenebilmesi**, alüminyumdan üretilmiş parçaların kesilmesi ve çok kısa süreli proseslerle işlenebilmesi olanaklıdır.



**Manyetik nötralizasyon ve nükleer etkilere karşı davranışı**, alüminyum paramanyetikdir ve yarılanma ömrü çok düşük bir malzemedir.

**Antitoksik oluşu**, gıda sektöründen ilaç sektörüne kadar bir çok sektörde ambalaj malzemesi olarak kullanılabilir.

**Maliyet**, birincil üretimdeki yüksek enerji girdisinden ötürü pahalı bir metaldir.

**Fiyat**, LME (Londra Metal Borsası) tarafından saptanır.

**Yeniden üretilebilirlik (recyclability)**, ekonomik ömrünü doldurmuş ve proses sürecinde hurdaya çıkmış malzemeler başlangıçtaki metalurjik özelliklerini büyük ölçüde yitirmeden, birincil üretimin % 5'i kadar bir enerji tüketimi ile yeniden kullanılabilir. Bu aynı zamanda birincil üretimdeki kirli gaz salınımlarının da sadece % 5'inin ikincil üretimde salınacağı anlamında da gelir. Yeniden değerlendirilebilme özelliği sürekli tekrarlanabilir bir özelliktir. Bu süreç özellikle alüminyum metalini "sürdürülebilir kalkınma" projesi içerisinde çok önemli bir konuma getirmiştir.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR

Yeniden değerlendirme işleminin uygulandığı alüminyum üretim endüstrisi "ikincil alüminyum endüstrisi" olarak tanımlanır.

Alüminyum "yenilenebilir" bir malzemedir. Alüminyum ürünler, kullanım ömürleri boyunca kendi işlevlerini yerine getirirler. Kullanım ömürlerinin dolmasının anlamı yüksek dayanım, korozyon direnci, yüksek elastisite, elektrik ve ısı iletkenlik gibi özelliklerinin kaybolması anlamına gelir. Ancak hurdaya çıkan alüminyum malzeme, uygun koşullarda yeniden işlenerek, ikincil alüminyum olarak, bu tüm kaybettiği özelliklerini yeniden kazanarak sisteme tekrar girer. 1 ton alüminyum hurda yeniden üretim sürecine sokularak, yaklaşık olarak (hurda hazırlama ve ergitme kayıpları nedeni ile) 0.9 ton yeni alüminyum malzeme üretilir. Alüminyum ekonomisi bir döngü ekonomisidir. Alüminyum ürünler yalnızca kullanılır, kaybolmaz. Kullanım ömürleri dolduğunda, yeniden ikincil alüminyum endüstrisinin hammaddesi olarak sisteme dahil olurlar. Yeter ki uygun koşullarda prose edilsinler. Bu nedenle yeniden değerlendirilmeyen her bir gram alüminyum "kayıp" ve buna izin vermek ise "hatadır".

Aynı zamanda alüminyum enerji bankasıdır, üretimi sırasında gerekli olan enerji tüketilmez, ikinci üretim nedeni ile korunmuş ya da depolanmış olur.

**Sonuç olarak**, alüminyum yeniden değerlendirildiğinde, sürdürülebilir kalkınma kavramının üç ayağını oluşturan , ekonomik, çevresel ve sosyal yararlar sağlar.



Yeniden değerlendirme (recycling), toplama, gerikazanım (recovery = upgrading) ve yeniden ergitme (remelting) işlemlerini kapsayan bir süreçtir. Recycling sözcüğü Türkçeye geridönüşüm olarak çevrilmiştir. Ancak geridönüşüm terimi recycling sürecindeki prosesleri içermediğinden ve süreci dikkate almadan yalnızca sonucu tanımladığından bu yazıda yeniden değerlendirme terimi kullanılacaktır.

Proses etme farkından ötürü zaman zaman recycling 'yerüstü madenciligi' olarak tanımlanır.

**Birincil hammadde (primary raw materials):** Boksit cevherlerinden Bayer işlemi ile metalurjik kalite alümina ( $Al_2O_3$ ) ve alüminadan ergimiş tuz elektrolizi yöntemi ile metalik alüminyum üretim süreci sonunda elde edilen, metal saflığı % 99,0 ile % 99,8 arasında olan işlenmemiş, ham alüminyumdur.

**İkincil hammadde (secondary raw materials):** İkincil kaynaklardan elde edilen yani kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemeler (eski hurda) ve çeşitli alüminyum işleme süreçlerinde oluşan işlem artıkları ve ister birincil ister ikincil alüminyumun ergitilme sırasında oluşan curufun içerdiği metalik alüminyumdur.

İkincil malzemeler genellikle tanımlanabilen malzemeler değildirler ve kendileri dışında bir çok diğer malzemelerle ve kirliliklerle beraber bulunurlar. Bu nedenle toplandıktan sonra proses edilmeleri gerekir.

Yani toplanırlar, gruplanırlar, ayrılırlar, çeşitli hazırlama işlemlerine tutulurlar ve ergitilirler.

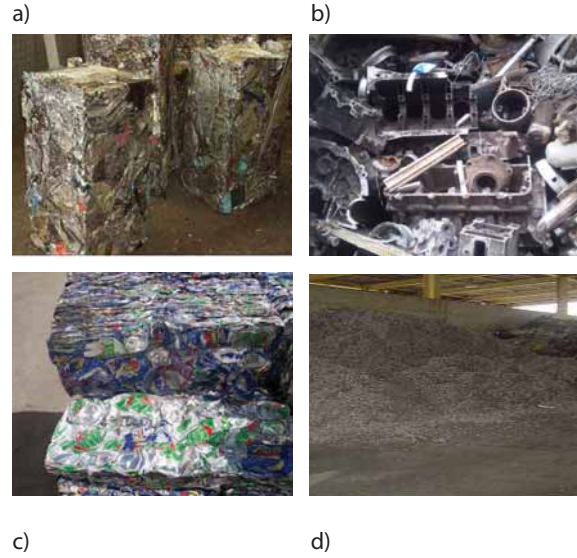
### İkincil alüminyum hammaddeler ise kendi içerisinde 3 sınıfta incelenebilir :

1. Eski hurda, kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemelerdir,
2. Yeni hurda, alüminyum üretim süreçlerinde oluşan işlem artıklarıdır,
3. Curuf, alüminyum ergitme, rafinasyon ve aktarma süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksit karışımlarıdır.

### Malzeme akışı açısından bakıldığında yeniden değerlendirme kavramı 2 grupta incelenebilir ;

1. Kapalı döngü yeniden değerlendirme ile kullanım ömrünü tamamlamış olan alüminyum malzeme yeniden ergitilerek, orijinal amacına uygun hale getirilip, yeniden kullanılır. Örneğin alüminyum meşrubat kutularının yeniden ergitilerek tekrar meşrubat kutularına çevrilmesi.

2. Açık döngü yeniden değerlendirme sürecinde ise, kullanım ömrünü doldurmuş farklı aşamalarda alüminyum malzemeler, ergitilir ve alaşımlandırılır. Böylece yeni alaşım ve kullanım amacına sahip alüminyum malzemeler üretilir. Örneğin jant talaşlarından piston kapağı üretimi.



**Şekil 1:** Alüminyum hurda tipleri: a) Preslenmiş yumuşak hurda (taint-tabor), b) Sert, döküm hurdası (tense), c) Alüminyum içecek kutusu (UBC), d) Talaş,

Alüminyum hurda sadece yeniden değerlendirilebilir olduğundan ötürü değil, aynı zamanda ekonomik olarak değer taşıdığı için de oldukça önemlidir. Alüminyum malzemelerin yeniden değerlendirilebilirlik oranının artırılması ve ikincil alüminyumun daha çok kullanılması ile yeniden değerlendirme döngüsü kapatılabilir ve böylece daha önce de sıralanan daha az sera gazı üretimi ve böylece küresel ısınma riskinin azaltılması ve enerji tasarrufu sağlanabilir.

Yüksek kaliteli işlem aşamaları çok büyük oranda kapalı döngüye dahil olurken, döküm aşamaları genellikle açık döngü içinde üretilir. Kapalı döngünün uygulanabilirliği arttıkça, ideal kalite ve miktarda ve maliyet ile yeniden değerlendirme yapabilmek olanaklı olacaktır. Ancak alüminyum ürünlerin farklı kullanım ömürleri ve düzenli bulunabilirlik sorunu nedeni ile genellikle açık döngü çalışır.

Malzemelerin küresel olarak, yeniden değerlendirilebilme oranlarına bakıldığında, yaygın alüminyum kullanımına sahip taşımacılıkta kullanılan ürünlerin % 95'e kadar, inşaatta kullanılan ürünler % 98'e kadar ve içecek kutuları % 65-70 oranında üretime geri dönebilmektedir.

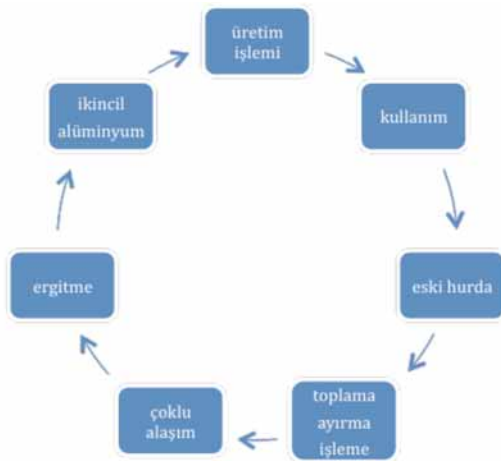




Şekil 2: Kapalı döngü yeniden değerlendirme



Şekil 3: Tipik kapalı döngü yeniden değerlendirme Novelis'de yaklaşık 1.5 milyon adet kullanılmış alüminyum içecek kutusunun yeniden ergitilmesi ile üretilen 27 ton ağırlığında, 9x1.8x0.5 metre boyutlarında slabın sıcak haddelenerek yeniden içecek kutusuna çevrilmesi.



Şekil 4: Açık döngü yeniden değerlendirme

### 3. DÜNYA İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİMİ

Toplam dünya alüminyum üretimi içinde ikincil üretimin payı 1950'li yıllarda % 15'lerde iken bugün % 30'lara ulaşmıştır. Özellikle sınırlı enerji kaynaklarında sahip Güney Amerika ve Avrupa ülkelerinde çok yüksek oranlarda hurda toplama yeteneğine sahip toplama ağları kurulmuş ve "yeniden değerlendirme" bilinci toplumun tüm katmanlarına yayılmıştır.

Burada Japonya çok ilginç bir örnektir. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrası, enerji fiyatlarının artması ile birinci alüminyum üretimini durdurmuş ve ikincil üretime ağırlık vermiştir.



Şekil 5: Dünya birincil ve ikincil alüminyum üretimi

### 4. BİRİNCİL VE İKİNCİL ALÜMİNYUM TESİSLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Endüstriyel anlamda bakıldığında ise, ikincil tesis yatırımları gerek yatırım altyapısı, planlaması ve işletmesi açılarından, birinci tesislerden çok daha sade ve hızlı üretime geçebilen yatırımlardır. Çok kabaca aynı kapasiteye sahip bir ikincil alüminyum tesisi yatırım bedeli, birincil alüminyum tesisi yatırım bedelinin yaklaşık % 10-25' kadardır. Bir ikincil tesisin üretime geçme süresi ise, birincil tesise göre % 70 daha kısadır.

Birincil alüminyum endüstrisi	İkincil alüminyum endüstrisi
Yüksek yatırım maliyeti	Düşük yatırım maliyeti
Uzun üretime geçme süreci	Kısa üretime geçme süreci
Yüksek enerji tüketimi	Enerji tasarrufu
Doğal boksit kaynaklarının hammadde olarak kullanımı	Boksit kaynaklarının kullanımında tasarruf
Yüksek oranda kirli gaz salınımı	Düşük oranda kirli gaz salınımı

Tablo 1: Birincil ve ikincil alüminyum endüstrilerinin karşılaştırılması

## 5. İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİMİNİN SAĞLADIĞI YARARLAR

### Ekonomik yararlar,

• Alüminyum metali enerji bankası olarak tanımlanır. Çünkü boksit madenciliğinden döküm sürecine kadar geçen zaman içinde 1 ton birincil alüminyum için yaklaşık 194,000 MJ enerji harcanır. Ancak bu enerji kaybolmaz. Malzeme ömrünü doldurarak, hurdaya çıktığında 10,500 MJ (yaklaşık birincil üretimde harcanan enerjinin % 5'i) enerji harcanarak ve çok büyük ölçüde ilk özelliklerini kaybetmeden yeniden üretilebilir.



• Örneğin cevherden üretilen birincil alüminyum ürünü 1 adet içecek kutusu üretimi için gerekli olan enerji ile hurdadan 20 adet içecek kutusu üretilebilir. 1 adet alüminyum içecek kutusunun hurdadan üretilmesi sonucu tasarruf edilen enerji miktarı ise , televizyonun 3 saat içinde tükettiği enerji miktarına eşittir.

• Yeniden değerlendirme ile rasyonel hammadde kullanımı ve buna bağlı olarak doğal kaynakların korunması sözkonusudur.

• Alüminyum hurda değerli bir ticari malzemedir ve kazanç sağlanabilecek bir işkoludur. Bu ekonomik değer aynı zamanda ikincil alüminyum üretimi için bir itici güç olmuştur. Özellikle Sovyet Birliği'nin dağılmasından sonra bağımsızlıklarını kazanan ülkeler, buna tipik örnekler.

• İkincil üretim ile daha az alaşım elementi kullanılarak, benzer avantajlar bu elementler için de yaratılmış olur.

### Çevresel yararlar,

• Birincil alüminyum üretimi, insan kaynaklı toplam sera gazı üretiminin % 1'ini tek başına üretir. Bu % 1'lik payın

yaklaşık % 40'ı alüminyum üretim sürecinde üretilen doğrudan sera gazları iken, kalan % 60 alüminyum üretimi için gerekli olan enerji üretimi sürecinde oluşan salınımlardır.

• 1 kg birincil alüminyum üretimi sırasında yaklaşık olarak 9.7 kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı atmosfere salınır. Bunun 5.4 kg'ı elektrik üretimi sırasında, kalan 4.3 kg'ı ise boksit madenciliği ve alümina üretimi sırasında ortaya çıkar. Eski teknolojiye sahip elektroliz tesislerinde ve elektriğin kömürden elde edildiği tesislerde bu sera gazı salınımı oldukça artar. Kömür bazlı elektrik üretimi yapıldığında kg alüminyum başına CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazı üretimi 20.8 kg'a kadar çıkabilir.

• Günümüzde "eski alüminyum hurdaların" yeniden üretime katılmasıyla yıllık yaklaşık olarak 80 000 000 ton daha az sera gazı salınımı yapılmaktadır. Bu rakam 15 milyon adet binek arabanın ürettiği sera gazı miktarına eşittir.

• Atık malzeme depolama için yapılan doğa tahribatı ve bunun yarattığı çevresel sorunlar azalır. Örneğin alüminyum meşrubat ya da aerosol kutularının doğada kaybolması için 500 yıl gerekir.

• Birincil alüminyum üretimi sırasında 1 ton alüminyum üretimi için 650 kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri 0.1 kg floride üretilirken, ikincil üretim sonucunda açığa çıkan seragazı miktarı 250 kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri kadardır.

• Sürdürülebilir kalkınma kavramı açısından bakıldığında, alüminyum bu kavram içinde yer bulan tek metalik malzemedir.

• Boksit madenciliği ve alümina üretim süreçlerinde oluşan zararlı atıklar ve yüksek su kullanımı, ikincil süreçte oluşmaz.

• Böylece yeniden değerlendirme ile hem madde kaynakları hem de enerji kaynaklarının kullanımı azalacak ve gelecek kuşallara daha temiz ve varlıklı bir dünya bırakılabilecektir.

	1 ton birincil alüminyum külçe için	1 ton ikincil alüminyum külçe için
Enerji tüketimi		
Toplam (MJ)	193,702	10,321
Yenilenebilir enerji (MJ)	57,352	452
Fosil yakıtlardan sağlanan enerji (MJ)	136,350	9,869
Kömür (MJ)	50,807	937
Petrol (MJ)	21,268	1,319
Doğal gaz (MJ)	36,335	7,151
Nükleer enerji (MJ)	8,282	419
Diğer enerji (MJ)	0	44
Boksit madenciliği + alümina üretimi (MJ)	19,657	0
Sera gazı salınımı		
CO <sub>2</sub> (kg)	10,470	620
Perflorokarbon (kg)	0.30	0
PFC, CO <sub>2</sub> eşdeğeri (kg)	2,227	0

**Tablo 2:** Birincil ve ikincil üretim için tüketim ve salınım değerleri

### Sosyal yararlar,

• İkincil alüminyum üretimi bir endüstridir ve hurda toplayıcılarından ergiticilere ve bunları destekleyen diğer yan endüstrilerle beraber çok ciddi iş alanı yaratır.

- Atık depolama ve atık yok etme maliyetlerini azaltır,
- Atık depolama süreçlerinde ortaya çıkan yer altı sularının kirlenme riskini ortadan kaldırır.

Yukarıda sayılan tüm ekonomik, çevresel ve sosyal yararların ışığında, alüminyum üreticileri için temel amaç, kullandıkları hammadde kombinasyonu içinde, kaliteden ödün vermeden ikincil malzeme miktarını arttırmaktır.

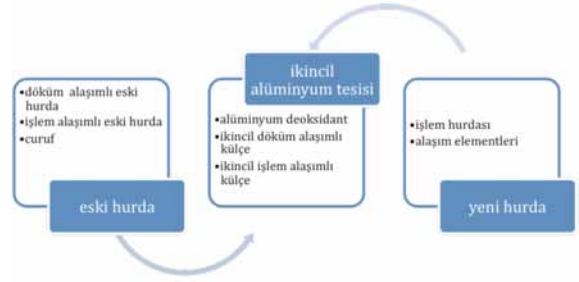
## 6. İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜRECİ

Birincil alüminyum üretiminde en kritik konu enerji iken, ikincil alüminyum üretiminde "hurda kalitesi ve bulunabilirliğidir".

### İkincil alüminyum üretim süreci 7 aşamalı bir prosestir:

- Hurda toplama,
- Hurda ayırma, hazırlama ve ön-işlemler,
- Ergitme,
- Alaşımlandırma,
- Metal rafinasyonu,

- Döküm,
- Curuf temizleme ve curuf değerlendirme.



**Şekil 6:** Tamamen hurda kullanılan bir ikincil alüminyum tesisi için tipik malzeme akışı

## 7. TEKNOLOJİK GELİŞİM

Dünya alüminyum tüketiminin yaklaşık %30'u ikincil kaynaklardan sağlanmaktadır. Genel tüketim içinde ikincil alüminyumun bu denli yüksek payı olmasına karşın, ikincil alüminyum üretim hızı ve dolayısıyla ikincil malzemelerin tüketim hızı oldukça düşüktür.

### Buradan bakıldığında teknik olarak ikincil alüminyum mühendislerinin önünde 6 temel ve potansiyel çalışma alanı bulunmaktadır:

- Hurda hazırlama ve hurda ayırma (özellikle döküm ve işlem alaşımlarının birbirinden ayrılması yani alaşım bazında ayırım) teknolojilerinin geliştirilmesi (temassız ve ana alaşım elementi bazında ayırım yapabilen LIBS: laser induced breakdown spectroscopy, XRF: X-ray fluorescence ve PGNA: prompt gamma neutron activation analysis teknolojilerin geliştirilip yaygınlaştırılması),
- Alüminyum hurda üzerindeki alüminyum dışı metallerin ve metal dışı kirliliklerin (lak, boya, yağ vs) temizlenme teknolojilerinin geliştirilmesi,
- Hurda hazırlama - ayırma ve hurda temizlemedeki gelişmelere bağlı olarak ve düşük kaliteli hurdaların verimli olarak kullanılabilmesine olanak yaratılması,
- Ergitme sırasında enerji tüketiminin en aza indirilmesi atık ısının yeniden kullanılması,
- Curuf ve tuz keki üretimini azaltacak ve bu atıkların yeniden farklı sektörlerde değerlendirilmesine olanak verecek teknolojilerin üretilmesi,

f) Ergimiş alüminyum birincil alüminyum kalitesine yaklaştıracak ve böylece kullanım alanlarını arttıracak ergimiş metal rafinasyonu işlemlerinin geliştirilmesi.



**Şekil 7:** Modern ergitme sistemleri: İki kamaralı ergitme fırını ve Rejeneratif yanma sistemi (Sistem Teknik)

Bu teknik gelişim potansiyeli, aynı zamanda yasal düzenlemeler ve eğitim çalışmaları ile desteklenerek, tüketme yerine "hurda toplama ve değerlendirme" kavramının yaygınlaştırılması ile desteklenmelidir. Bunların sonucunda;

- Alüminyum ürünlerin tasarım aşamasında, yaşam boyu değerlendirme (life cycle assesment) sistematigi ile yeniden üretimin, alüminyum ürünlerin ve/veya üretim işlemlerinin bir parçası olduğu dikkate alınarak tasarlanması,
- İkincil alüminyumun kullanıldığı ürünlerin çeşitlendirilmesi ile ikincil alüminyum tüketiminin arttırılması,
- Toplam alüminyum tüketimi içinde, ikincil ürünlerin birincil ürünlerin daha fazla yerine geçmesi,
- Sürdürülebilir kalkınma sürecine alüminyum metalinin uygunluğu ve ikincil üretimin desteklenmesi sonuçları ortaya çıkacaktır.

Burada ikincil alüminyum endüstrisinin önündeki en önemli engel, her geçen gün farklı alayım ve formda ve dolayısıyla farklı kimyasal kirlilikleresahip (lak, boya, plastik gibi) yeni ürünlerin kullanıma girmesidir. Ancak özellikle "küresel ısınma" gerçeği sayesinde artan duyarlılıklar hem alüminyum hem de diğer "yeniden değerlendirilebilir" malzemelerin kullanıldığı tasarımlarda, "daha kolay ikincil çevrime katılabilir malzeme kullanımını" temel kriterlerden birisi haline getirmiştir.

## 8. SONUÇ

Bütün bu gelişmeler sonucunda temel amaç bugün toplam alüminyum tüketiminin % 30'unu karşılayan ikincil alüminyum malzeme miktarını arttırmaktır. Ticari alüminyum üretiminin başladığı 1890 yılından 2010 yılına kadar yaklaşık olarak 970 milyon ton alüminyum üretildiği kabul edilebilir. Bu metal miktarının yaklaşık % 75'i yani 727 milyon tonu hala kullanımdadır, diğer bir deyişle ikincil alüminyum endüstrisi için potansiyel hammadde kaynağıdır ve sürdürülebilir alüminyum ekonomisinin itici gücüdür.

Bu rakam dünyanın 15 yıllık birincil alüminyum üretimine eşdeğerdir. Aynı zamanda birincil alüminyum üretimi arttıkça, ikincil alüminyum hammadde kaynaklarında rakamsal olarak artmaya devam edecektir.

Halen kullanımda olan alüminyum metalinin depoladığı enerji miktarı yaklaşık 50 000 petajoule kadardır ve bu rakam Afrika ve Latin Amerika ülkelerinin yıllık enerji gereksiniminden daha büyük bir rakamdır.

İkincil alüminyum endüstrisinin temel hedefi ya da toplam alüminyum endüstrisi referans alınarak bakıldığında, ikincil alüminyum endüstrisinin temel işlevi, en çok miktarda alüminyum malzemeyi ikincil çevrime sokmak, ikincil çevrimin "kapalı döngü yeniden değerlendirme" bazında ilerlemesini sağlamak ve her bir çevrim de hurda hazırlama, ergitme ve rafinasyon aşamalarında metal kaybını minimize etmektir. Ulaşılabilecek ideal nokta budur.

## KAYNAKLAR

1. Aluminium Recycling : A Key Sustainability Element for the Primary Produces and The Alcoa Commitment / Greg Wittbecker – Alcoa / Metal Bulletin 23rd International Aluminium Conference/ Montreal / September 2008
2. The European Aluminium Industry / Tadeu Nardocci / Novelis / 11th OEA Congress / February 2011 - Vienna
3. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri / Erman Car / TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu / Yayım No:2 / 1998
4. Aluminium Recycling – Key Messages / EAA / November 2006 / www.oea.org



5. A New System for the Classification of Aluminium Scrap Material / Hoberg H. – Meier-Kortwig J. – Wolf S. / Institute for Mineral Processing, Coking and Briquetting and Chair for Processing and Recycling of Solid Waste Material / RWTH / Aachen
6. Aluminium Recycling Report / DOE / 1998
7. Aluminium & Recycling – An Economic & Ecofriendly Concept / N.K. Choudhay / Indal / 1999
8. Recycling Metals for the Environment / I. Werrick – N.J. Themelis / Annual Reviews Energy and Environment Vol: 23 / 1998
9. Metal Recycling: An Assessment Using Life Cycle energy Consumption As a Sustainability Indicator / T.E. Norgate / CSIRO Minerals / 2004
10. Non-ferrous Metals Recycling: Economic, Technical and Environmental Aspects of Aluminium and Lead Market in Brazil / Heloisa V. Medina / CETEM – Centro de Tecnologia Mineral / Recycling Workshop / St. Petersburg / 2003
11. Material Cycle not Product Cycle / Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. / www.aluinfo.de
12. Just the Facts / www.gvrd.bc.ca
13. Recycling: The Next Growth Driver in Aluminium Industry / Metalworld Research Team / Metalworld / May 2008
14. Processing and Use of Aluminium Scrap in a Changing Supply Scenario / Franz Bijlhouwer – Quality Consultant / Metal Bulletin's 11th International Secondary Aluminium Conference / Paris / November 2003
15. Aluminium Recycling: The Commercial Benefits, the Technical Issues and the Sustainability Imperative / Pal Vigeland – HYDRO / Metal Bulletin 9th International Secondary Aluminium Conference / Prag / 2001
16. Urban Mining-Opportunity to Further Close the Aluminium Loop? / Stefan Glimm / GDA / 11th OEA Congress / February 2011 - Vienna
17. Aluminium Recycling in Switzerland – A Model for Europe / Jurg Gerber / 11th OEA Congress / February 2011 - Vienna
18. The Aluminium Industry's Sustainability Programme / Implementing the OECD Environmental Strategy Meeting / Robert Chase / IAI / March 2006
19. Aluminium Recycling / Logan Waste Services / www.visy.com.au
20. Recycling Works! / State and Local Solutions to Solid Waste Management / U.S. Environmental Protection Agency / April 1999 / www.epa.gov
21. Global Aluminium Recycling, the Global Energy Cycle and the Role of Society Regarding Collection / IEA-IAI Workshop / Jurg Gerber / Alcan / May 2007
22. Aluminium Recycling: The Climate Change / Andry Doran / Novelis
23. European and Global Trends of Aluminium Recycling / Gunter Kirchner / OEA-EAA / St. Petersburg 2003
24. Perspectives of Aluminium Recycling in Europe in the next Decade / Günter Kirchner – OEA / 11th OEA Congress / February 2011 - Vienna